

**TİTANYUM KATKILI İŞ MAKİNALARI TIRNAKLARININ MİKROYAPISAL
VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl KAMBAK

Danışman

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Eylül 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİTANYUM KATKILI İŞ MAKİNALARI TIRNAKLARININ
MİKROYAPISAL VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Anıl KAMBAK

Danışman
Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Eylül 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Anıl Kambak tarafından hazırlanan “Titanyum Katkılı İş Makinaları Tırnaklarının Mikroyapısal Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

İmza

Başkan : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Yusuf KAYALI
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇOLAK
Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler M. Y. O

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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/09/2019

Anıl KAMBAK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**TİTANYUM KATKILI İŞ MAKİNALARI TIRNAKLARININ MİKROYAPISAL VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Anıl KAMBAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Madenler farklı bölgelerde ve farklı yapıdadırlar. Yaygın olarak bulunan bu işletmelerde temel avantajları sırlamak gerekirse: İşletme emniyeti: Delik delme, patlatma, kazma ve yükleme işlemleri açık sahada ve düz zeminde yapıldığından kullanılan makineler daha verimli ve emniyetli çalışırlar. Büyük kapasiteli iş makinelerinin kullanılması ile işletme maliyetleri düşer. Yüksek verim elde edilir. Makine boyutlarının doğru seçilmesi ile hava koşullarından etkilenmeden planlanan üretim yapılabilir. Üretim amacıyla kullanılan bu makinalardaki uçların aşınması ciddi bir problem olmaktadır ve sıklıkla değiştirmek gerekmektedir. Gerek maliyet açısından ve gerekse zaman açısından kazanım amacıyla bu uçların hem darbe ve hem de sürekli aşınma şartlarında dayanması gerekmektedir. MOTUS A.Ş. tarafından dökülen kazıcı uçların yeni bir bileşimi geliştirilmiş ve bu uçların mikroyapısal karakterizasyonu yapılacaktır. Değişik ısıtma işlem rejimi ile beraber elde edilecek olan sertlikler ve aşınma direncine göre yeni öneriler getirilecektir.

2019, xi + 58 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ti alaşımlandırma, Isıl işlem, Aşınma, Kazıcı uçlar,

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**EXAMINATION OF MICROSTRUCTURAL AND WEAR PROPERTIES OF
TITANIUM CONTAINING WORK MACHINE NAILS**

Anıl KAMBAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Şükrü TALAŞ

Mines are in different regions and different structures. The main advantages of these establishments are to be listed as follows: Operating safety: Drilling, blasting, digging and loading are done on open ground and on flat ground and the machines used are working more efficiently and safely. Operating costs decrease with the use of large capacity work machines. High efficiency is achieved. With the correct selection of machine dimensions, planned production can be done without being affected by weather conditions. Wear of the ends of these machines used for production is a serious problem and it is often necessary to change them. In order to gain both in terms of cost and time, these ends must be able to withstand both impact and continuous wear conditions. MOTUS Inc. a new composition of the excavating tips that has been poured by the microstructural characterization of these ends will be made. New recommendations will be introduced according to the hardness and wear resistance that will be obtained with the different heat treatment regime.

2019, xi + 58 pages

Keywords: Ti alloying, Heat treatment, Wear, Digging tips

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şükrü TALAŞ, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Eşim Gülçin KAMBAK'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Anıl KAMBAK
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Döküm Teknolojisi	2
2.2 Çelik Dökümler.....	2
2.2.1 Çelik Döküm Çeşitleri ve Kimyasal Bileşimi	3
2.2.1.1 Alaşimsız Çelik Dökümler.....	3
2.2.1.2 Alaşımli Çelik Dökümler.....	7
2.2.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkisi	8
2.2.2.1 Karbon.....	8
2.2.2.2 Azot.....	8
2.2.2.3 Alüminyum	9
2.2.2.4 Molibden	9
2.2.2.5 Niyobyum	9
2.2.2.6 Krom	9
2.2.2.7 Silisyum	10
2.2.2.8 Vanadyum	10
2.2.2.9 Kükürt	10
2.2.2.10 Fosfor	10
2.2.2.11 Titanyum	11
2.3 Isıl İşlemin Temelleri.....	12
2.3.1 Demir – Sementit Denge Diyagramındaki Temel Fazlar	13
2.3.2 Çelik Dökümlere Uygulanan Isıl İşlemler.....	19
2.2 Aşınma	21

3. MATERYAL ve METOT	25
3.1 Tanıtım.....	25
3.2 Isıl İşlem ve Metalografik İşlemler.....	25
4. BULGULAR	29
4.1 Optik Mikroskop Çalışmaları	29
4.2 Sertlik Deneyi Çalışmaları.....	41
4.3 Aşınma Deneyi Çalışmaları	46
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	54
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	58



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

mA	Miliamper
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
μg	Mikrogram

Kısaltmalar

AISI	American Insitute for Standards and Investigation
SAE	Society of Automotive Engineers



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Ç 1020 malzemenin mikroyapısı	4
Şekil 2.2 Çeliklerde farklı mikroyapılar için karbon içeriğinin fonksiyonu olarak sertlik değişimi	4
Şekil 2.3 Ç 1040 malzemenin mikroyapısı	5
Şekil 2.4 Düz karbonlu çeliklerin mikroyapısı üzerinde karbon içeriğinin etkisi.....	6
Şekil 2.5 Farklı ray çeliklerinde perlit lamelleri arası mesafe ile sertliğin değişimi.....	6
Şekil 2.6 Demir Sementit (Fe-Fe ₃ C) denge diyagramı	13
Şekil 2.7 Çeliğin mikro yapısında gözlemlenen fazlar – α -ferrit	15
Şekil 2.8 Çeliğin mikro yapısında gözlemlenen fazlar – γ -ostenit.....	16
Şekil 2.9 Fe-C denge diyagramında görülen fazlar ve içyapılarının şematik olarak gösterimi	18
Şekil 2.10 Çeliklere uygulanan ısıtma işlemlere ait sıcaklık bölgeleri	19
Şekil 2.11 Östenitin soğuma hızına bağlı olarak yaptığı dönüşümler.....	20
Şekil 2.12 Aşınma türleri	21
Şekil 2.13 Birbirlerine değen yüzeylerde yerel akma ve kaynama	22
Şekil 2.14 Adeziv aşınma	22
Şekil 2.15 Abrasif aşınma	23
Şekil 2.16 Tipik bir korozyon hücresi	23
Şekil 2.17 Yorulma aşınması oluşum mekanizması.....	24
Şekil 4.1 Titanyum katkısız numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri	42
Şekil 4.2 %0.1 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri	43
Şekil 4.3 %0.2 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri	43
Şekil 4.4 Titanyum katkısız numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri	44
Şekil 4.5 %0.2 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri	45
Şekil 4.6 650°C’de ısıtma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.....	49

Şekil 4.7 650°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	49
Şekil 4.8 650°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	50
Şekil 4.9 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.....	50
Şekil 4.10 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	51
Şekil 4.11 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	51
Şekil 4.12 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.....	52
Şekil 4.13 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	52
Şekil 4.14 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Çelik dökümlerin kimyasal bileşimi	3
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan titanyum katkısız numunenin kimyasal bileşimi	24
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan ağ. % 0.1 titanyum katkılı numunenin kimyasal bileşimi	25
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan ağ. % 0.1 titanyum katkılı numunenin kimyasal bileşimi	25
Çizelge 4.1 Belirli sıcaklıklarda ısıtılma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen sertlik değerleri	42
Çizelge 4.2 Belirli sıcaklıklarda ısıtılma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri	44
Çizelge 4.3 650°C’de ısıtılma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	46
Çizelge 4.4 750°C’de ısıtılma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	47
Çizelge 4.5 950°C’de ısıtılma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri	48

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Deneylerde kullanılan numuneler	26
Resim 3.2 Zımparalama makinası	27
Resim 3.3 Mikro sertlik ölçüm cihazı	28
Resim 3.4 Aşınma testi cihazı	28
Resim 4.1 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune	29
Resim 4.2 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune	29
Resim 4.3 500X, %0.2 titanyumlu numune	30
Resim 4.4 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune	30
Resim 4.5 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune	30
Resim 4.6 500X, %0.2 titanyumlu numune	31
Resim 4.7 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune	31
Resim 4.8 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune	31
Resim 4.9 500X, %0.2 titanyumlu numune	32
Resim 4.10 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune	32
Resim 4.11 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune	32
Resim 4.12 500X, %0.2 titanyumlu numune	33
Resim 4.13 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune	33
Resim 4.14 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune	33
Resim 4.15 500X, %0.2 titanyumlu numune	

34

Resim 4.16 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune
34

Resim 4.17 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 500X, %0.1 titanyumlu numune
34

Resim 4.18 100X, %0.2 titanyumlu numune ve 500X, %0.2 titanyumlu numune
35

Resim 4.19 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune
35

Resim 4.20 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune
35

Resim 4.21 500X, %0.2 titanyumlu numune
36

Resim 4.22 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune
36

Resim 4.23 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune
36

Resim 4.24 500X, %0.2 titanyumlu numune
37

Resim 4.25 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune
37



Resim 4.26 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune
37

Resim 4.27 500X, %0.2 titanyumlu numune
38



1. GİRİŞ

Bugün mühendislik icraatlarında yeni bir malzeme ihtiyacımız, malzeme biliminin ve tabii ki mühendisliğin kapsamına dünyaca ilgilenilen, endüstriyel seviyedeki yatırımda ister milli olsun veya özel araştırma olsun veya araştırma geliştirme programlarında yansımalarıyla ölçülebilmektedir. En büyük tasarımdaki sınırlamalarından birini, modern malzemelerin kullanımı sırasındaki şart olan yeterlilikleri göstermek olduğu iyi bilinmektedir. Öyle ki çoğu gelişme, malzemenin daha iyi olan bir başkasıyla da değiştirilmesi sonucunda meydana çıkabilir (Muscat 1993).

Modern teknolojilerinin birçoğu geleneksel olarak metallerin ve onların alaşımlarını, seramikler ve türevlerini veya polimerik esaslı malzemeler ile karşılamayacak pek çok özellikleri iç içe istemektedir. Çok özel uygulamada yeni malzemelerin türlerini üretmede endüstriyel trend her geçen gün artmaktadır; basit olan ve üretilen bir malzeme son 30 yıl içinde ihtiyacı duyulan birçok gereksinimleri karşılayamaz durumdadır (Song ve arkadaşları 2003; Tang ve arkadaşları 2004). Kompozitler ve üretim tekniklerinin iyileştirilmesi ile birlikte, modern üretim teknolojisinin bir ihtiyacı olan modern ve istenen dayanıma ve özelliklere sahip malzeme ve bunların kombinasyonlarında çığır açılmıştır. Kompozitler kabaca tarif edilecek olursa, birbirinden çok farklı olan en az iki veya daha fazla sayıda farklı özellikteki malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilen yeni bir tür malzemedir ve bileşimindeki malzemelerin herhangi birisinin tek olarak göstermesi mümkün olmayan birçok özelliği de gösteren malzemelerdir (Schwartz 1984). Bu düşünce ile kompozitler, kendisinden beklenen yüksek dayanımı ve uygun bir rijitlik değerini gösteren bir malzemenin veya malzeme grubunun özelliği iyi olan başka temel malzeme tarafından örtülenmesi sonucu oluşan malzemeler olarak gösterilebilir (Schwartz 1997).

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Döküm Teknolojisi

Döküm, arzulanan bir şekli yapmak için, belirlenen metal veya alaşımının ergitilmesi ve söz konusu şeklin negatifi olan kalıp boşluğuna dökülmesi işlemi olarak tarif edilmektedir (Çavuşoğlu 1992). Başka bir tarifile, ergitilmiş sıvı metalin bir kalıba veya boşluğa akıtılarak onun yapısını alacak tarza katılaştırılmış şeklidir (Ersümer 1967).

Döküm işlemi sıvı metalin bir kalıp boşluğuna akıtılması ve metalin istenen şekilde sertleşmesine müsaade edilmesiyle olur. Metal dökümüne seçenек olarak birçok metal şekil verme metodu bulunmaktadır. Birisi, bir metal bloğunun seçilip amaçlanan yapıya ulaşana kadar işlem görmesidir. Bir diğeri cıvata veya kaynak ile parçanın bir araya getirilmesidir. Ayrıca metal parçaların bir şekilde sıkıştırılarak işleme ile sonlandırılmasıdır. Ama parça büyük, karmaşık ya da malzeme kolayca dökülebiliyorsa metal dökümü metal parçaların şekillendirilmesinde tercih edilen bir metot olur (Uluç 2006).

2.2 Çelik Dökümler

Çelik dökümler, döküm işleminden sonra talaş kaldırmadan başka bir biçimlendirme yöntemi yapılmadan ve yapısında ağı. %2'den az miktarda karbon ihtiva eden demir karbon alaşımlarıdır (Erbayık 2012). Çelik dökümler döküm yoluyla şekillendirilen çelik malzemelerdir. Birçok imalat sektöründe çelik döküm malzemeye gereksinim duyulmaktadır. Bu sayede kaynaklı birleştirme işlemi ile birleştirilen birçok parçanın kullanımı ortadan kalkabilmektedir. Çelik döküm yöntemi ile çok büyük ve karmaşık parçaların pratik ve ekonomik bir şekilde üretimi mümkün olmaktadır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip çelik dökümler için endüksiyon, ark ocakları gibi özel ergitme ünitelerine ve yüksek sıcaklığa dayanıklı kalıp malzemelerine gereksinim bulunmaktadır. Çelik dökümler, döküm sırasında daha düşük sıvı akıcılığına sahiptirler ve bu yüzden, geniş yolluk kanallarına ve yüksek katılaşma çekmesi gösterdiğinden dolayı yüksek miktarda besleyiciye de ihtiyaç göstermektedir. Özellikle büyük

parçalarda meydana gelen yavaş soğumadan kaynaklı iri tane yapısı nedeniyle parçalara dökümden sonra ısıtıl işlem uygulanmalıdır. Döküm sonrası parçaya bağlanmış olan yolluk ve besleyicilerin mekanik veya ısıtıl yolla kesilmesi gerekmektedir. Pikden farklı olarak yüksek ergime ve döküm sıcaklığına sahip olan çelik esaslı dökümlerde indüksiyon, ark ocakları gibi sıradan olamayan çok özel ergitme üniteleri ve sistemlerine, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan kalıplama malzemelerine gereksinim duyulmaktadır. Genellikle, çelik dökümlerin daha düşük akıcılığa sahip olduğu düşünülürse, geniş yolluk kanallarına, katılaşma sırasında da yüksek çekme oluşması nedeniyle besleyiciye miktarı yüksek olmaktadır. Özellikle büyük parçalarda meydana gelen yavaş soğumadan kaynaklı, iri tane yapısı nedeniyle parçalara dökümden sonra ısıtıl işlem uygulanmalıdır. Döküm sonrası parçaya bağlanmış olan yolluk ve besleyicilerin mekanik veya ısıtıl yolla kesilmesi gerekmektedir (Üçkardeşler 2013).

2.2.1 Çelik Döküm Çeşitleri ve Kimyasal Bileşimi

Çelik demirin karbonla yapmış olduğu alaşımıdır. Çelik döküm özelliklerine en çok bileşiminde bulunan karbon etki eder. Karbon miktarına göre, çelik döküm özelliklerinde büyük değişiklikler görülür (Erbayık 2012). Çelikler içerdiği karbon miktarına göre düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılmaktadır (Üçkardeşler 2013).

2.2.1.1 Alaşımız Çelik Dökümler

Alaşımsız çelik dökümler, sade karbonlu malzemeden dökülmüşlerdir. Sade karbonlu çeliklerin bileşiminde karbondan başka silisyum, manganez, fosfor, kükürt ile arıtma gibi işlemler sonucu bileşimde çok az da olsa kalan alüminyum, bakır vb. elementler bulunabilir. Çelik dökümlerin kimyasal bileşimi Çizelge 2.1’de verilmiştir (MEB 2011).

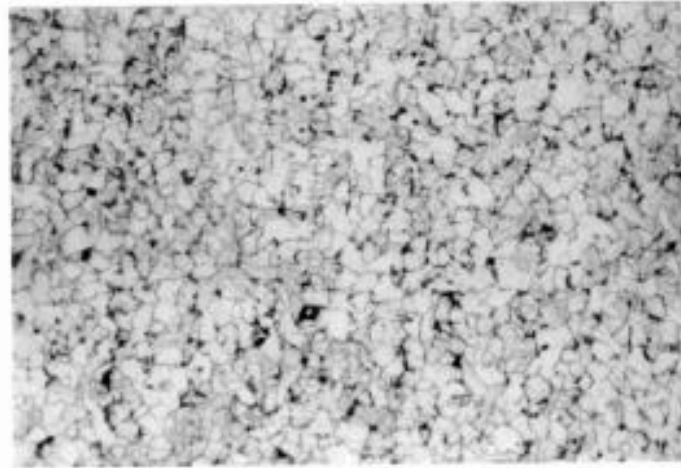
Çizelge 2.1 Çelik dökümlerin kimyasal bileşimi.

Elementin Adı	Miktarı (ağ. %)
Karbon (C)	0.25 - 1,7 (2,0)
Manganez (Mn)	0.50 - 1,00
Silisyum (Si)	0.20 - 0,80

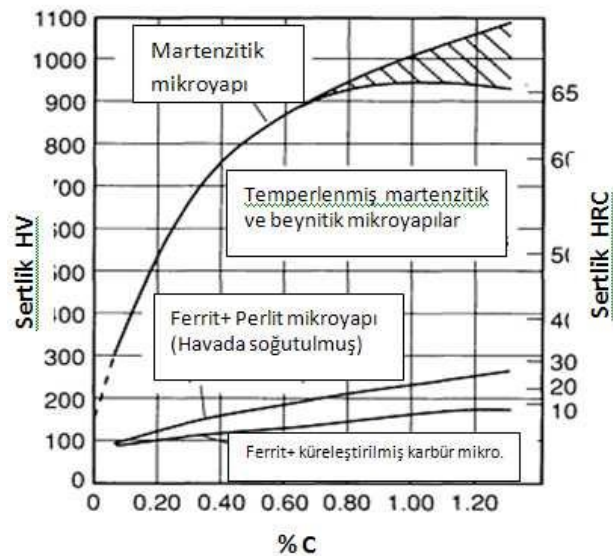
Fosfor (P)	0.05 en çok
Kükürt (S)	0.06 en çok

a) Düşük karbonlu çelikler

Bu çelikler, ağırlık %0.25 oranına kadar karbon ihtiva ederler ve çok yumuşak ve yumuşak çelikler olarak ikiye ayrılırlar. Ç 1020, Ç 1040 çelikleri makine imalat endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, ferrit ağırlıklı bir faz yapısına sahiptir (Üçkardeşler 2013). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sertlik karbon miktarında artış ile meydana gelmektedir. Sertlikte meydana gelen artış ile birlikte çeliğin mukavemeti de artmaktadır (American Society for Metals Handbook 1993).



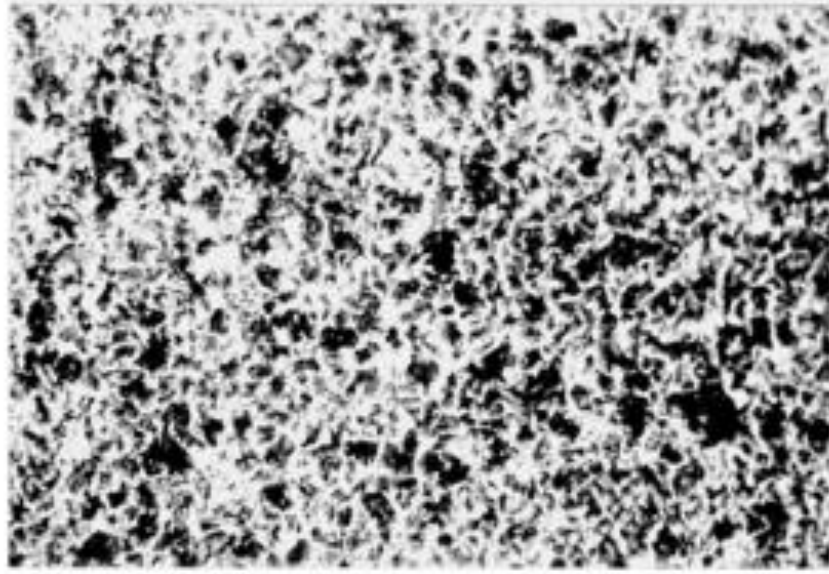
Şekil 2.1 Ç 1020 malzemenin mikroyapısı (Uzkut ve Özdemir 2001).



Şekil 2.2 Çeliklerde farklı mikroyapılar için karbon içeriğinin fonksiyonu olarak sertlik değişimi (American Society for Metals Handbook 1993).

b) Orta karbonlu çelikler

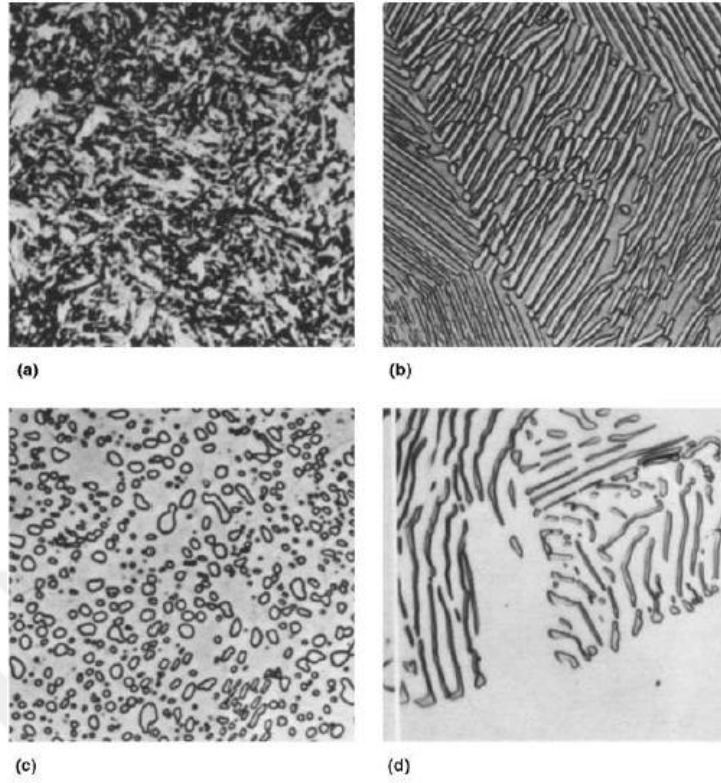
Orta karbonlu çelik malzemeler, ağı. %0.25 ile ağı. %0.55 arasında karbon içeriğine sahiptir. Bu çelikler ısıtıl işlem yapılmasına uygun çeliklerdir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi perlit hacim oranı nispeten daha yüksek olan bu çeliklere ısıtıl işlem uygulanarak sahip olduğu yapı ve özellikleri önemli oranda değiştirebilir (Üçkardeşler 2013).



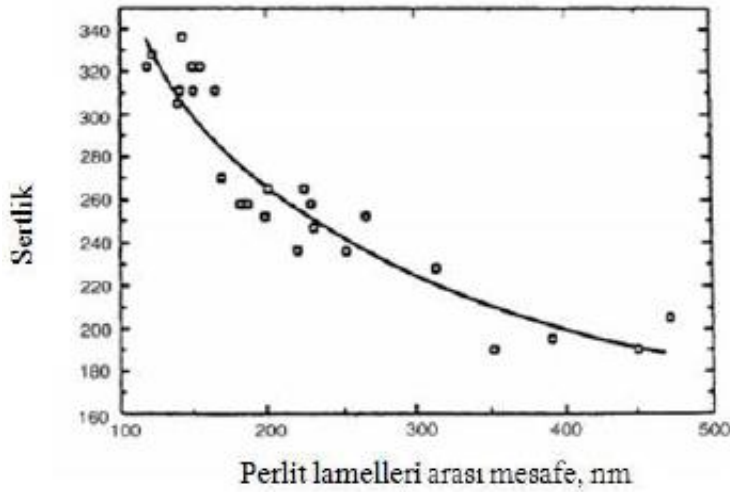
Şekil 2.3 Ç 1040 malzemenin mikroyapısı (Uzkut ve Özdemir 2001).

c) Yüksek karbonlu çelikler

Bu çeliklerin karbon içeriği ağı. %0.55 ile %0.9 C arasında olup, yüksek dayanma ve aşınmaya karşı direncin gereksinim duyulduğu alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.4’ de orta ve yüksek karbonlu çelik malzemelerin yapıları görülmektedir (Üçkardeşler 2013). Öte yandan perlit fazında lameller arası mesafenin sertlik açısından önemli olduğu bilinmektedir. Şekil 2.5’de ray çeliklerinde perlit lamelleri arası mesafenin artması ile sertliğin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir (American Society for Metals International 1993).



Şekil 2.4 Düz karbonlu çeliklerin mikroyapısı üzerinde karbon içeriğinin etkisi, a) ağı. %0.4 C içeren öktoid altı beyaz matrisli çelikte ferrit taneleri (beyaz) ve perlit (gri çizgiler), b) ağı. %0.77 C içeren öktoid çelikte tamamı perlitte oluşan mikroyapı, c) Küresel formda sementit ile birlikte 0.77 C içeren öktoid çeliğin yapısı, d) ağı. %1.0 C içeren perlit ile birlikte aşırı sementitin tane sınırlarında biriktirdiği mikroyapı, X1000 (American Society for Metals International 2006).



Şekil 2.5 Farklı ray çeliklerinde perlit lamelleri arası mesafe ile sertliğin değişimi (American Society for Metals International 1993).

2.2.1.2 Alaşımli Çelik Dökümler

İçerisinde belli oranda karbon dışında mekanik özellikleri iyileştirmesi amacı ile diğer metallerden de içeren çeliklere verilen isimdir. Genellikle bu metaller krom, nikel, molibden, vanadyum, silisyum ve titanyumdan oluşur. Her biri çelik üzerinde farklı bir etki gösterir. Bu yüzden miktarlarına dikkat edilmelidir. Özellikle silisyum fazla kullanıldığında parçanın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Fosfor ve kükürt istenmeyen elementlerdir. Bu elementler döküm parçada gevrekliğe ve kırılganlığa neden olur (Demirkaya 2017).

Yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon direnci gerektiren yerlerde alaşım elementi ihtiva eden çeliklerin kullanımı zaruridir. Çünkü Cr, V, Mn, Mo korozyon direncinin arttırılmasında önemli etkilere sahiptir. Alaşımli çeliklerin korozyon dayanımı yetersizdir. Ayriyeten özellikle düşük sıcaklıklarda tokluğun arttırılmasında nikel oldukça faydalıdır (Turgut 2013).

Bunun yanında alaşımli çeliklerin sertleşme kabiliyeti yeterli olmadığından bu çeliklerden üretilen parçaların mukavemetini istenen seviyeye çıkarmak mümkün olmayabilir. Alaşımli çeliklerin sertleşme derinliği yeterli değildir. Ayrıca su verilerek sertleştirilen çelikler, kafes yapılarının bozulmuş olması ve yüksek iç gerilmelerden dolayı gevrek davranış gösterirler. Söz konusu gevrekliğin azaltılması veya giderilmesi yani tokluğunun arttırılması amacıyla çeliğe menevişleme işlemi uygulanır. Menevişleme (temperleme) sıcaklığı arttıkça sertleştirilen karbon çeliğinin sertliğinde alaşımli çeliğin sertliğine göre çok daha fazla azalma meydana gelir. Bu nedenle oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yüksek sertlik veya mukavemet istenen uygulamalar için alaşımli çelikler tercih edilir (Turgut 2013).

Alaşımli çelik dökümler, alaşımli çelik malzemedan dökülmüş çeliklerdir. Alaşımli çelikler, bileşiminde sade karbonlu çeliklerde belirtilen oranları aşan ve özel maksatla içerisinde diğer alaşım elementlerinden bir veya birden çoğu bulunan çeliklerdir. Alaşımli çelikler, bileşimindeki alaşım elementlerinin toplamına göre aşağıdaki gibidir (Erbayık 2012).

a) Az alaşımlı çelik dökümler:

Bileşimindeki alaşım elementlerinin toplamı ağı. %5'i (bazı kaynaklarda ağı. %8'i) geçmeyen çelikler.

b) Yüksek alaşımlı çelik dökümler:

Bileşimindeki alaşım elementlerinin toplamı ağı. %5'i (bazı kaynaklarda ağı. %8'i) geçen çeliklerdir.

2.2.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkisi

Karbonlu çeliklerde yalın halde sağlanamayan kendine özgü özellikleri elde etmek için, bir veya daha fazla alaşım elementi ilave edilmesiyle alaşımlı çelikler elde edilebilmektedir. Özel alaşımlı olarak tabir edilen çeliklerde ise, çelikte bulunan karbon, silisyum, mangan ve krom değerlerine ilaveten bor ve benzeri elementler ilave edilerek, özellikle bor ilavesi ile sertleşebilirlik özelliği elde edilir. Genel olarak çeliklere katılan elementlerin çeliklerin yapısına etkisi element bazında aşağıdaki şekilde belirtilmiştir (Meydan 2017).

2.2.2.1 Karbon

Karbon, demirin çelik olması için vazgeçilmez bir elementtir. Yüksek dayanım ve sertlik kazandıran önemli bir elementtir. Çeliğin cinsine göre ya da istenilen özelliklere göre ilave edilir. Östenit yapıcı elementtir (Meydan 2017).

2.2.2.2 Azot

Çeliklerde olumsuz etkilere sahiptir. Nitrür oluşturma özelliği çok fazladır. Aynı zamanda gaz halinde kalması muhtemel ve çelik kütük içinde gaz boşluğu oluşumuna sebebiyet vermesi olasıdır. Çeliklerin içinde 120 ppm değerini geçmemesine dikkat edilir. Kırılganlığa neden olur. Çelik üretiminde eski yöntemlerde sıvı çeliğin

karıştırılması için kullanılır. Ancak son zamanda yerini argon gazına bırakmıştır. Azot, vanadyum kullanılan çeliklerde çözülebilirliği artırmaktadır (Yang and Glodowski 2012).

2.2.2.3 Alüminyum

Sakinleştirilmiş çelik üretiminin vazgeçilmez elementidir. Çeşitli çelik modifikasyonlarında deoksidasyon için ana element olarak kullanılır. Alüminyumda ki metal içeriği %14 üzerindedir. Bu metal içeriğinde ağı. %4 Silisyum, ağı. %10 olarak ise demir, magnezyum, kalsiyum, vb. elementler bulunmaktadır (Fila *et.al* 2004).

2.2.2.4 Molibden

Çeliğin çekme dayanımını artırır. Şekillendirme özelliğini düşürür. Kaynaklanabilme özelliğini artırır. Karbür ve ferrit yapıcı özelliği vardır. Genelde krom ile birlikte kullanılır (Radovic *et.al* 2010).

2.2.2.5 Niyobyum

Tane küçültücü etkisi vardır. Mukavemeti ve sertliği artırmak için kullanılmaktadır. Vanadyumla eş değer etkilere sahiptir (Meydan 2017).

2.2.2.6 Krom

Krom, aşındırma ve paslanma etkisini azaltır. Sertleşebilme özelliğini iyileştirir. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma mukavemetini artırır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşmeyi azaltır (Radovic *et.al* 2010).

2.2.2.7 Silisyum

Oksijen giderici olarak kullanılır. Çeliğin akma, çekme, yüzde uzama miktarını ve çekme/akma mukavemeti oranını artırır. Şekillendirilebilirlik özelliğini düşürür. Silisyum miktarı arttıkça tufalleşme azalır (Maalekian 2007).

2.2.2.8 Vanadyum

Tane küçültücü etkisi vardır. Akma ve çekme mukavemetlerini yükseltir. Sertleşebilme özelliğini yükseltir, menevişleme ve ikinci sertleşme için faydalıdır. Tane küçültücü ve karbür yapıcı özelliğiyle niyobyum ve titanyum ile beraber kullanılan mikro alaşım elementleridir (Yang and Glodowski 2012).

2.2.2.9 Kükürt

Malzemenin yüzde uzamasını ve tokluğuna negatif yönde etkisi vardır. Kaynaklanabilme özelliğini azaltır. Demir ile birleşerek FeS fazını meydana getirir. Bu faz düşük ergime sıcaklığında olduğundan dolayı haddeleme esnasında ergiyerek sıcak kırılganlığa sebebiyet verir. Bu nedenle çeliğe mangan ilavesi ile MnS fazı oluşturarak bu ihtimal düşürülür. Çeliklerde en yüksek bulunması gereken kükürt değerleri çeliklerin kalitelerine göre değişmektedir. 20 MnB₄ alaşımlı çelik tel çubuklarda en yüksek kükürt miktarı ağ. %0.025 ve inşaat çeliklerinde ise en yüksek ağ. %0.050' dir (Rudyuk *et.al* 1974).

2.2.2.10 Fosfor

Yüzde uzamayı ve esnekliği oldukça azaltır. Soğuk kırılganlığa sebebiyet vermektedir. Çelikte istenmeyen bir elementtir. Çeliklerde en yüksek bulunması gereken fosfor değerleri çeliklerin kalitelerine göre değişmektedir. 20 MnB₄ alaşımlı çelik tel çubuklarda en yüksek kükürt miktarı ağ. %0.025 ve inşaat çeliklerinde ise en yüksek ağ. %0.050' dir (Rudyuk *et.al* 1974).

2.2.2.11 Titanyum

Titanyum oda sıcaklığında sıkı paket hekzagonal (SPH) kristal yapısındaki α fazı olmasına rağmen yaklaşık 885°C’de hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki “ β dönüşüm sıcaklığı” olarak adlandırılır. Oksijen, azot ve karbon gibi α fazını kararlı hale getiren ara yer elementlerin oldukça güçlü etkisiyle yükselen bu sıcaklık; yer alan alaşım elementlerinin etkisiyle ya düşmekte ya da yükselmektedir (American Society for Metals Handbook 1993).

Kuvvetli karbür yapıcı özelliği vardır ve sertliği artırır. Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak da kullanılır. Tane inceltici etkiye sahiptir (İnt.Kyn.1).

Titanyum, çok kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Ayrıca temizleyici bir elementtir. Başta oksijen ve azot olmak üzere diğer yabancı maddelerle dengeli bileşikler kurar. Genellikle oksijen alıcı olarak az miktarlarda kullanılır ve çeliklerin bileşiminde ağı. %0.25’e kadar bulunabilir. Az karbonlu deokside edilmemiş çelikleri deokside etmek için potaya orta veya yüksek karbonlu ferro-titanyum katılır (Erbayık 2012).

Titanyumun etkinliği niobyumunkinden çok daha düşüktür. Alaşımlama oranıyla mukavemet yükseltici etki paralel yükseldiğinden, titanyumla iyi mukavemet yükselmeleri amaçlanır. Titanyum mikro alaşımlı çelikler de aynı şekilde yeniden kristalleşme ataletine meyletmektedir. Sıcak deforme edilebilirlik, azota olan aşırı afiniteden dolayı ve bunun neticesi bağlama yüksek sıcaklıklarda sürekli iyileştirilir. Titanyum nitrür fiziksel ve termodinamiksel olarak niobyum karbonitrüre baya benzer. Titanyum nitrür kaynak sırasında ısı tesiri içindeki bölgedeki tane kabalaşmasını engeller. Titanyum tane küçültme etkisi niobyum ile vanadyum arasındadır; çökelti sertleştirme karakteristiği ise vanadyuma benzemektedir (Hannane 1989).

2.3 Isıl İşlemin Temelleri

Günümüzün gelişen teknolojisi ile birlikte çeliklerin yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısı işlemler artarak önemli bir hale gelmektedir (American Society for Metals Handbook 1993).

Teknolojik yöntemlerle kazanılan bu özellikler, çeliğin ya da alaşımın, ısıl yöntemiyle istenilen düzeye getirilir. Bu işlem çeliğin yapımı kadar önemlidir. Isıl işlem yöntemi, çelikte olumlu en üstün koşulları sağlama tekniğidir. Genelde malzemenin en önemli özelliği olan mekanik özellikler gerek imalat sırasında işlem kolaylığı sağlamak için gerekse imalat sonrası kullanım yerinin gerektirdiği değerleri sağlamak için çeşitli işlemlerle değiştirilebilir (Uzkut ve Özdemir 2001).

Isıl işlem ile metalin özelliklerinde belirgin bir değişiklik sağlamak amacıyla metal veya alaşımlarının ısıtılması, ısıtıldığı sıcaklıkta bir süre tutulması ve son olarak oda sıcaklığına soğutulması işlemlerine ısıl işlem denir. Isıl işlem istenen değişikliklerin yanı sıra istenmeyen değişiklikler de yaratabilir. Isıl işlem istenerek yapılabileceği gibi başka bir işlemin sonucu veya yan etkisi olarak da ortaya çıkabilir. Buna örnek olarak kaynak veya kesme sırasında oluşan sıcaklıktan dolayı ürünün kesme veya kaynak bölgelerinde mikro yapı değişiklikleri gösterilebilir (Kuzyaka 2014).

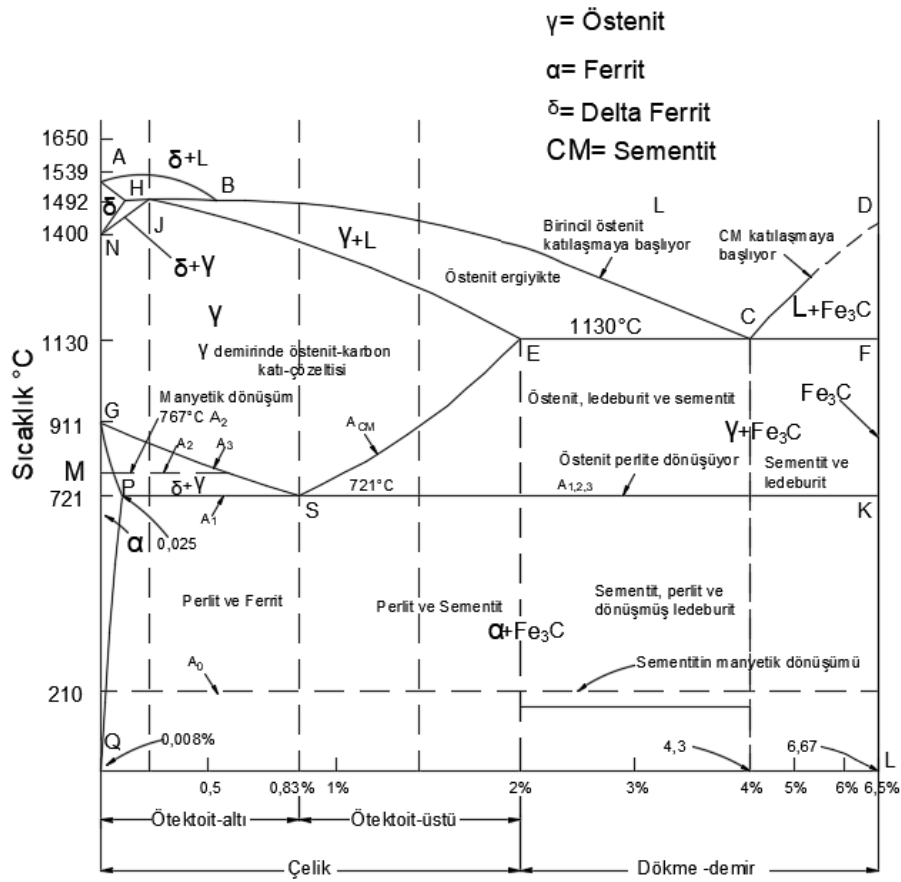
Çeliklerde martenzitik yapının elde edilmesi için kullanılan geleneksel ısıl işlemler, gerekli sıcaklığa ısıtılarak ostenitlenen çeliğin, su, yağ veya hava gibi ortamlarda hızlı soğutulmasıdır. Su verme ve bunu takiben uygulanan temperleme (menevişleme) işleminden sonra, çeliğe uygun özelliklerin kazandırılmasında içyapının büyük oranda veya mümkünse tamamen martenzite dönüştürülmüş olması önemlidir. Martenzit dönüşümü sırasında perlit veya beynit oluşumuna müsaade edilmesi durumunda, en iyi mekanik özellik kombinasyonlarının elde edilmesi engellenmiş olur. Su verme sırasında parçanın tüm kesitini aynı hızda soğutmak mümkün değildir. Yüzeydeki soğuma hızı her zaman için iç bölgelerden yüksektir. Parça kesitinde gerçekleşen farklı soğuma hızları, parçanın içinde konuma bağlı olarak farklı mikroyapıların dolayısıyla farklı özelliklerin elde edilmesine neden olur (Callister and Rethwisch 2013).

Çelik malzemelere uygulanan ısıl işlemin temel amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) Şekillendirmeler sonucundaki kalıntı gerilmeleri gidermek,
- 2) Talaşlı işlenebilirliği iyileştirmek,

- 3) Mekanik özellikleri iyileştirmek,
- 4) Sertliği ve darbe direncini iyileştirmek,
- 5) Elektrik ve manyetik özellikleri geliştirmek,
- 6) Tane yapısını değiştirmek, olarak özetlenebilir.

Şekil 2.6’da verilen Fe-Fe₃C diyagramı ısı işlemin türünü ve etkilerini belirleyen temel diyagramdır. Çünkü çeliğin sertleşme miktarını belirleyen temel element karbondur. Fe-Fe₃C diyagramı esas alınarak teknik ısı işlemler, dönüşümün etkili olmadığı ve dönüşüme bağımlı ısı işlemler halinde iki ana gruba ayrılabilir (Harman 2003).



Şekil 2.6 Demir Sementit (Fe-Fe₃C) denge diyagramı (Topbaş 1998).

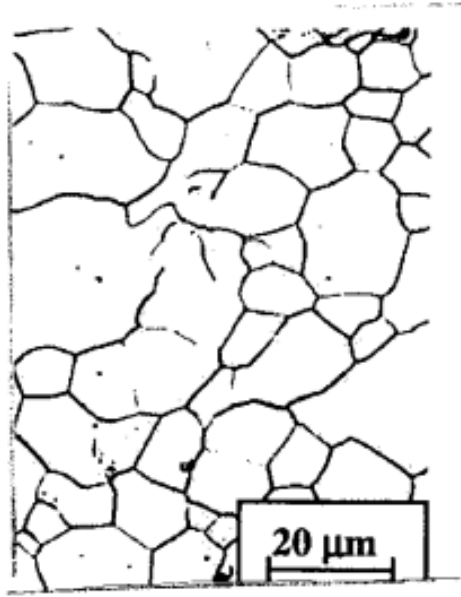
2.3.1 Demir – Sementit Denge Diyagramındaki Temel Fazlar

Saf demirin ısıtılması sırasında ergimeden önce iki defa kristal yapı değişikliğine uğrar. Oda sıcaklıklarında demir, α-demiri veya ferrit adını almakta olup hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya sahiptir. Ferrit 912°C’nin üzerine çıkıldığında yüzey merkezli

kübik (YMK) yapıya sahip γ -demirine veya ostenit fazına dönüşür. Ostenit fazı 1394°C'ye kadar devam etmekte ve bu sıcaklıktan sonra δ -ferrit olarak tanımlanan ve HMK kristal yapıya sahip faza dönüşerek sıcaklığın 1538°C'ye ulaşmasıyla ergimektedir (Callister and Rethwisch 2013).

Kimyasal bileşimin belirtildiği yatay eksen, sadece ağırlık %6.67 C miktarına kadar uzanmaktadır. Bu karbon miktarında bir metaller arası bileşik olan demir karbür veya daha yaygın olarak kullanılan ismiyle sementit (Fe_3C) oluşur ve demir-sementit faz diyagramının sağ tarafındaki düşey eksenle temsil edilir. Böylece demir-karbon sistemini demirce zengin olan ve ağırlık %6.67 C sınırına kadar olan bölümü ile faz diyagramında gösterilmemiş olan ağırlık %6.67 C ile %100 C (saf grafit) arasında kalan bölümü olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bu diyagramın ağırlık %6.67 C bileşimi, ağırlık %100 Fe_3C 'e karşılık gelmektedir (Callister and Rethwisch 2013).

Karbon, demir içinde bir arayer elementi olup Şekil 2.6'da verilen faz diyagramına göre α -ferrit, δ -ferrit, γ -ostenit fazlarıyla katı çözeltiler oluşturur. HMK α -ferrit fazında karbonun çözünürlüğü oldukça sınırlıdır ve en yüksek C çözünürlüğü 727°C'de ağırlık %0.022 oranında gerçekleşir. Sınırlı çözünme, HMK kristal yapıdaki arayerlerin şekli ve boyutuyla ilgili olup, C atomlarının rahatça bulunmalarına imkan vermeyecek ölçüde kısıtlı yer sunmalarıdır. Çok küçük miktarlarda kafes yapısında bulunmasına rağmen, C atomları α -ferritin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu faz nispeten yumuşak davranış göstermekte olup 768°C sıcaklığın (Curie Sıcaklığı- A_2) altında manyetik özelliğe sahiptir. Özgül ağırlığı 7.88 g/cm³ olan α -ferrite ait tipik bir mikro yapı Şekil 2.7 de verilmiştir (Callister and Rethwisch 2013).



Şekil 2.7 Çeliğin mikro yapısında gözlemlenen fazlar – α -ferrit (Savaşkan 2009).

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi, demirin ostenit yani γ fazı sadece karbon ile alaşımlanmış olması durumunda 727°C ’nin altında denge durumunda değildir. Ostenit fazının en yüksek karbon çözünürlüğü 1147°C ’nin ve ağı. %2.14 C oranında gerçekleşir. Ostenitin en yüksek C çözünürlüğü α -ferrite ait en yüksek C çözünürlüğünün yaklaşık 100 katı olup, bu durum ostenitin sahip olduğu YMK kristal kafesin daha büyük ve uygun ara yer konumları içermesiyle açıklanır. C atomlarının kafese daha rahat girebilmeleri ve yerleşebilmeleri nedeniyle, kristal kafesteki çarpılma ve şekil değişimleri daha düşüktür. Ostenit fazı özellikle çeliklerin ısıtılma uygulamaları açısından çok önemlidir. Ostenit fazı manyetiklik özelliğine sahip olmayıp buna ait tipik bir mikro yapı Şekil 2.8’de verilmiştir (Callister and Rethwisch 2013).

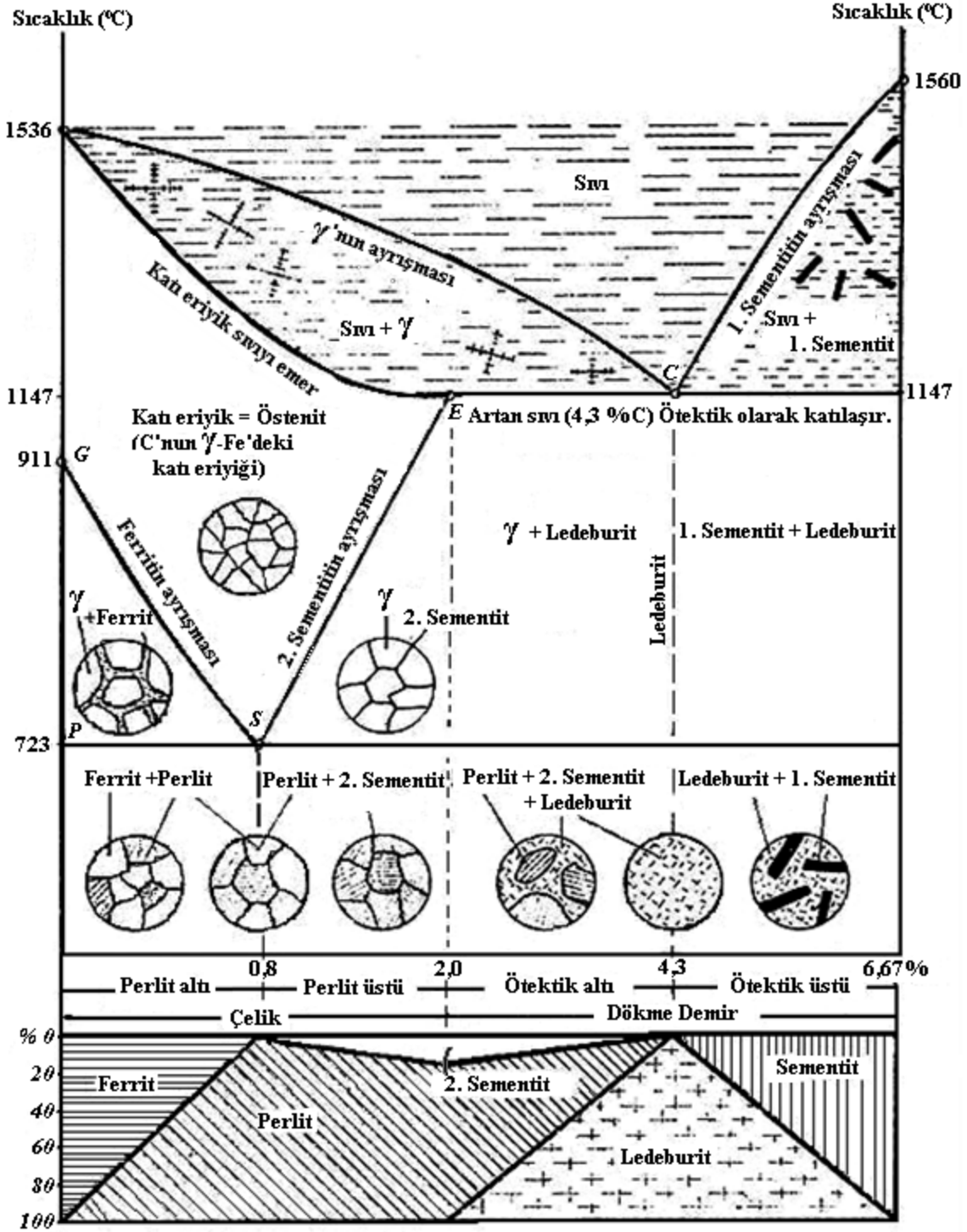


Şekil 2.8 Çeliğin mikro yapısında gözlemlenen fazlar – γ -ostenit (Savaşkan 2009).

Sementit (Fe_3C) 727°C 'nin altında α -ferrit fazının C çözündürme sınırının aşılması halinde oluşur. Şekil 2.6'da görüleceği gibi, Fe_3C , 727°C ile 1147°C arasında γ fazı ile de bir arada bulunmaktadır. Sementit diğer metaller arası bileşiklerde olduğu gibi, mekanik özellikleri açısından çok sert ve gevrek olup çeliklerin yapılarında bulunmaları halinde dayanımlarını arttırmada önemli rol oynar (Callister and Rethwisch 2013).

Sementit oda sıcaklıklarında yarı kararlı bir özellik gösterir. Diğer bir ifadeyle, bu sıcaklıklarda neredeyse sonsuza kadar bileşik halinde kalabilir. Ancak 650°C ile 700°C aralığına ısıtıldığında ve bu sıcaklık aralığında birkaç yıl gibi bir süreyle bekletildiğinde, yapısında değişiklik oluşmaya başlar ve sonuçta α -ferrit ve grafit halindeki karbondan oluşan bir yapıya dönüşür. Bu yapı oda sıcaklığına soğutulsa da yapısal bileşenleri açısından içeriğini korur. Sementit dengeli bir bileşik olmadığından, Şekil 2.6'daki faz diyagramının aslında gerçek denge durumunu yansıtan bir diyagram olmadığı anlaşılır. Ancak sementitin çözünme hızının çok yavaş olması nedeniyle, çeliklerin yapısındaki karbon, grafit yerine sementit şeklinde bulunur ve demir-sementit faz diyagramının kullanımı pratik uygulamalar için daha geçerlidir (Callister and Rethwisch 2013).

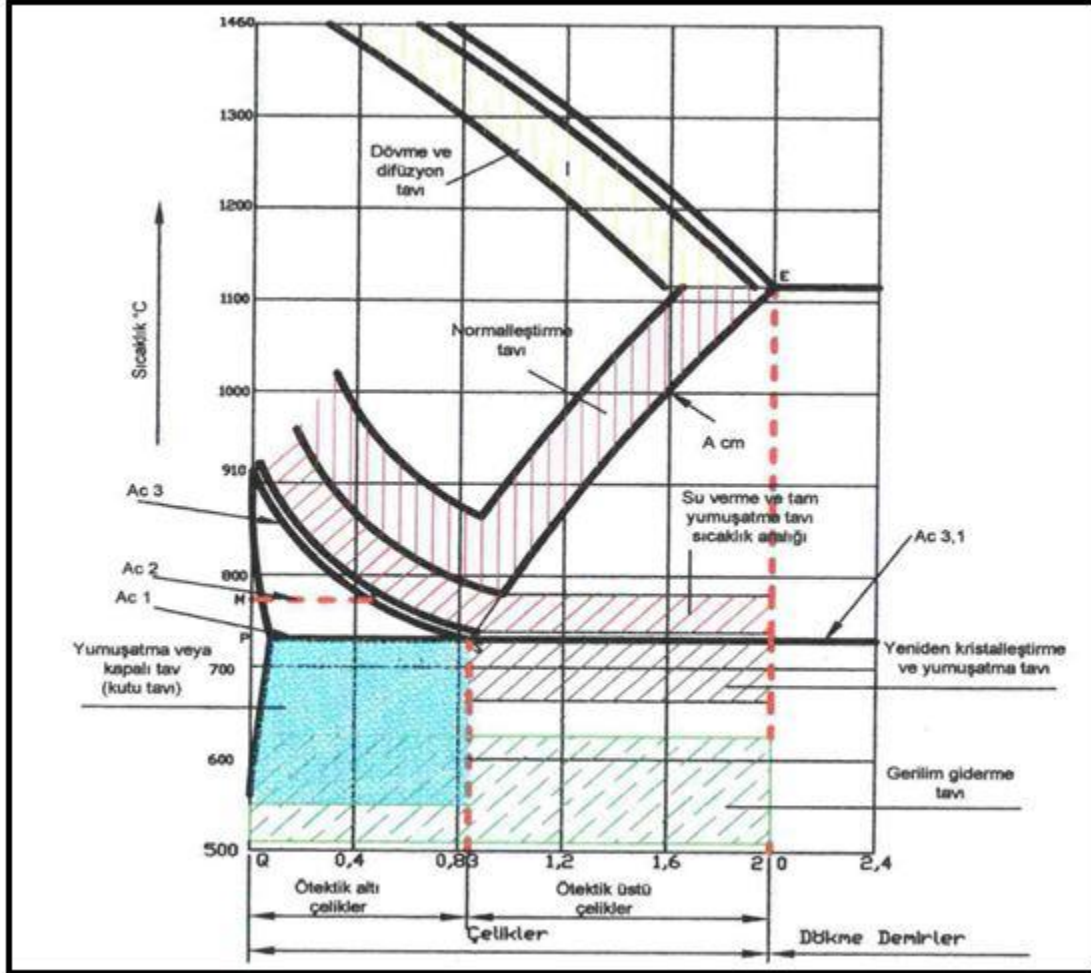
Demir esaslı alaşımlarda karbon ana alaşım elementi olarak bulunmakla birlikte, diğer bazı elementler de kimyasal bileşimde yer alabilir. Karbon miktarına göre demir esaslı alaşımların bir sınıflandırılması yapılacak olursa; saf demir, çelik ve dökme demir olarak üç çeşit malzemenin yer aldığı görülür. Ticari saflıktaki demir bileşimi, ağırlıkça en çok ağı. %0.008 oranında C içerir ve oda sıcaklığında iç yapısında sadece ferrit fazı bulunur. Kimyasal bileşiminde ağı. %0.008 ile ağı. %2.14 oranında karbon içeren demir-karbon alaşımları çelik olarak isimlendirilir. Çoğu çeliğin iç yapısında α ve Fe_3C fazları birlikte bulunur. Oda sıcaklığına soğutma sırasında bu karbon bileşimi aralığındaki alaşımlar γ , yani ostenit fazı bölgesinin en azından bir bölümünden geçmek zorunda kalır ve bu durum farklı özelliklerde iç yapıların oluşmasına neden olur. Teorik olarak çelikler en çok ağı. %2.14 oranında karbon içerse de pratikteki uygulamalarda ağı. %1.10'un üzerinde karbon içeren çeliklere nadir olarak rastlanır. Dökme demirler teorik olarak kimyasal bileşimlerinde ağı. %4.5'ten daha az oranda C içermektedir (Callister and Rethwisch 2013).



Şekil 2.9 Fe-C denge diyagramında görülen fazlar ve içyapılarının şematik olarak gösterimi (Weissbach 1998).

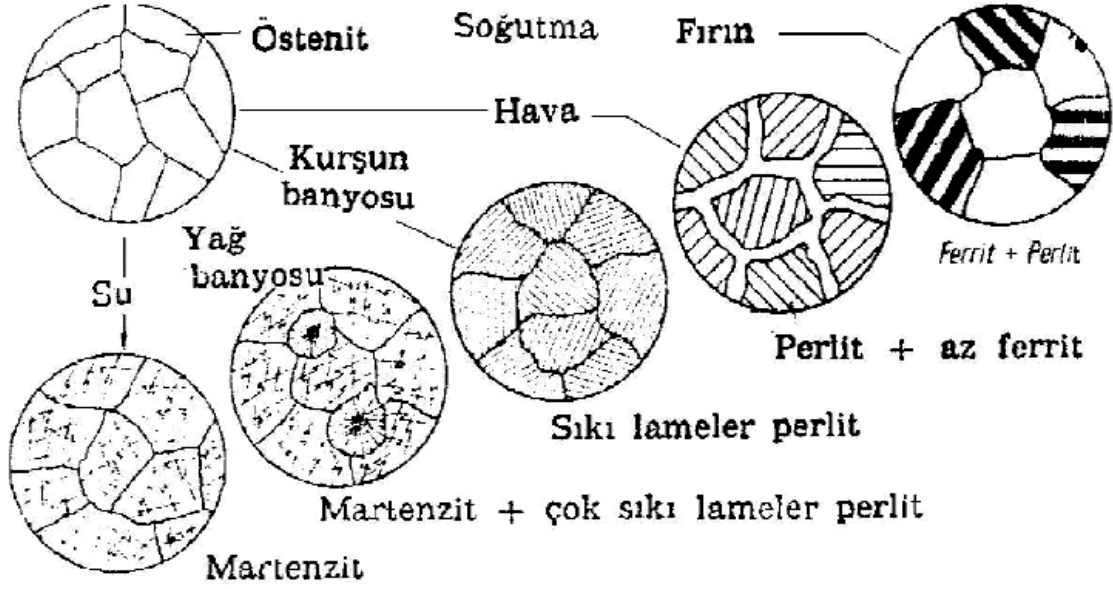
2.3.2 Çelik Dökümlere Uygulanan Isıl İşlemler

Çelik dökümlere uygulanan ısı işlemleri aşağıdaki gibi belirtmek mümkündür. Bu işlemler için kullanılan diyagram Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10 Çeliklere uygulanan ısı işlemlerine ait sıcaklık bölgeleri (Erbayık 2012).

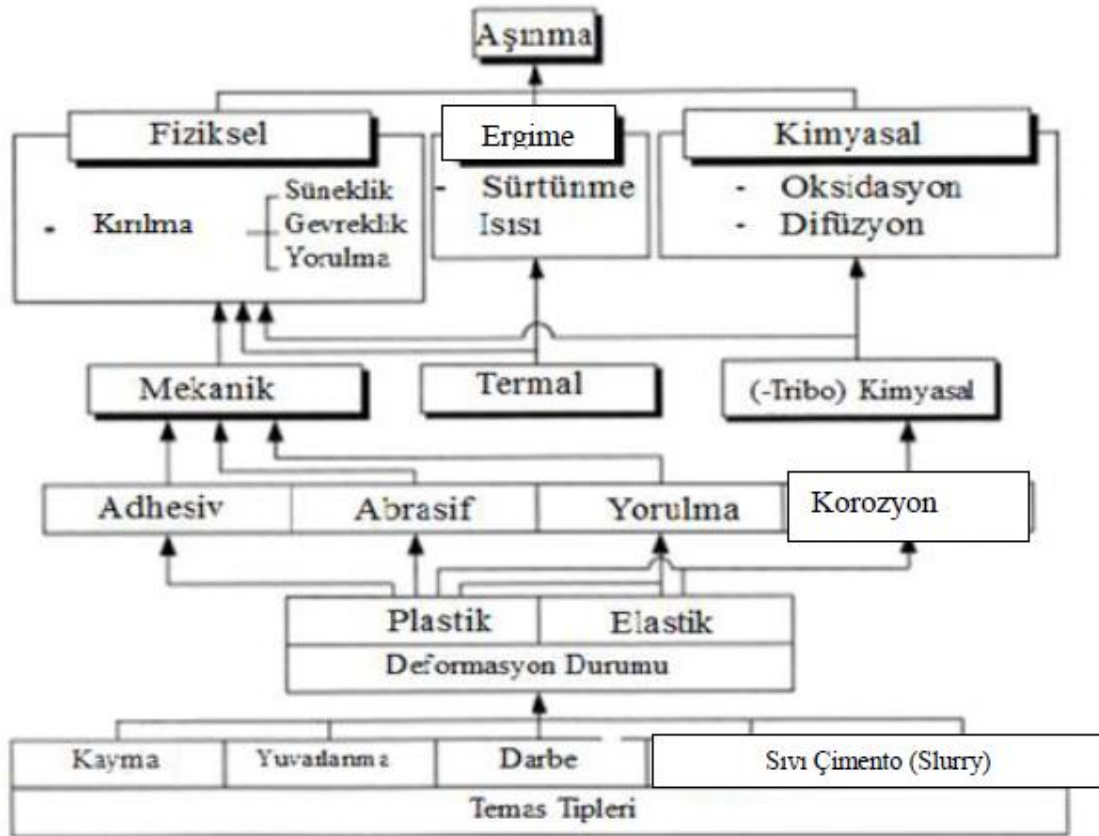
Çeliklere uygulanan tüm ısıt işlemler, östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm işlemleri sonucu oluşan içyapı türü ve bileşimi çeliğin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkiler (Weissbach 1998).



Şekil 2.11 Östenitin soğuma hızına bağlı olarak yaptığı dönüşümler (Weissbach 1998).

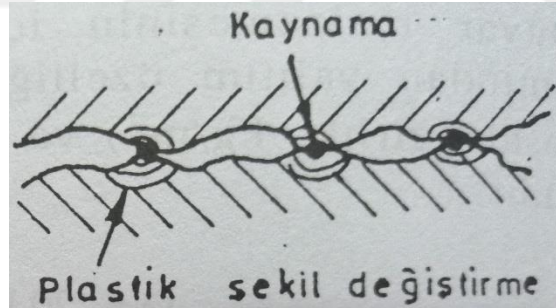
2.4 Aşınma

Aşınma sürtünen yüzeylerden malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır (Onaran 2009).

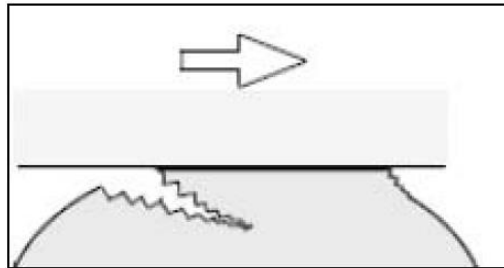


Şekil 2.12 Aşınma türleri (Bhushan 2000).

Malzeme kaybına neden olan dört tür aşınma vardır: Adezif aşınma, abrazif aşınma, korozyon aşınması ve yüzey yorulmasıdır. Makine elemanlarında işleme kalitesi ne olursa olsun yüzeyler daima pürüzlü olur, bu nedenle iki yüzey birbirine temas edemez. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi çıkıntı noktalarındaki gerçek temas alanı görünen alana göre küçüktür. Yük uygulandığı zaman bu temas noktalarındaki gerilmeler kolaylıkla akma sınırına erişir ve adeziyon etkisi ile yerel kaynamalar oluşur. Yanal kuvvetlerin makaslama etkisi ile zayıf parçadan kopan malzeme yüksek mukavemetli parçaya transfer olur. Adezif aşınma denen bu tür aşınma en tahrip edici türdür, hatta aşırı halde değen yüzeylerde plastik sarma olayı görülür, bu durumda sistem kullanılamaz hale gelir. Yapılan araştırmalar özellikle yumuşak ve katı eriyik oluşturabilen homojen yapıli metallerde adeziyonun daha kolay oluştuğı, dolayısıyla aşınmanın daha şiddetli olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan birbirlerinden farklı türde sert ve homojen olmayan metaller arasında adezif aşınma eğilimi daha azdır. Örneğın östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler, titanyum ve gümüş şiddetle aşındığı halde dökme demir ile yüzeyleri çok sertleştirilmiş ve kromla kaplı çeliklerde aşınma daha azdır (Onaran 2009).

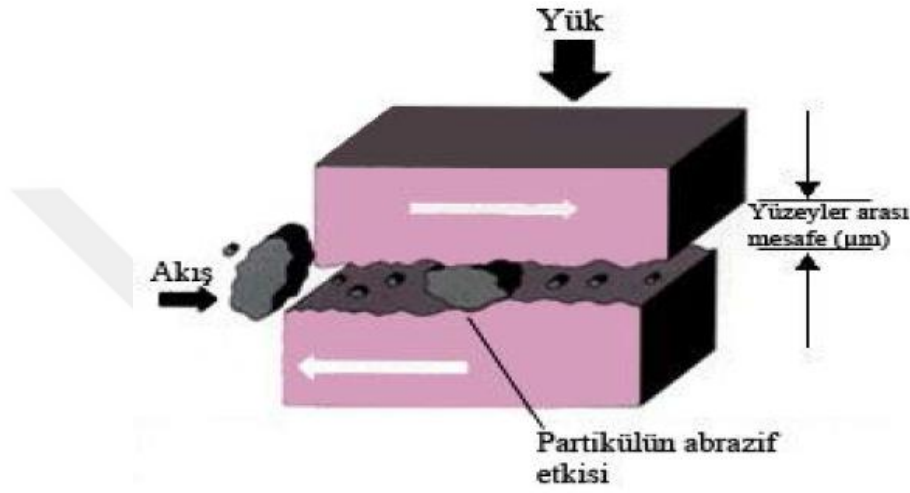


Şekil 2.13 Birbirlerine değen yüzeylerde yerel akma ve kaynama (Onaran 2009).



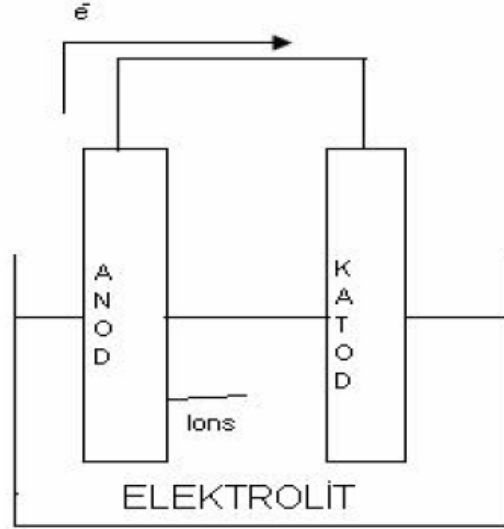
Şekil 2.14 Adezif aşınma (Bhushan 2002).

Abrazif aşınmada sert bir malzeme veya sert parçacık yumuşak bir malzeme yüzeyinden çizerek veya kazıyarak parça kopartır. Abrazif aşınma yumuşak parça tükeninceye kadar kararlı bir şekilde devam eder, adezif aşınma kadar şiddetli olmaz ve sarma olayı beklenmez. İki yüzey arasına giren sert parçacıklar etkin aşındırma yapabilir (Onaran 2009).



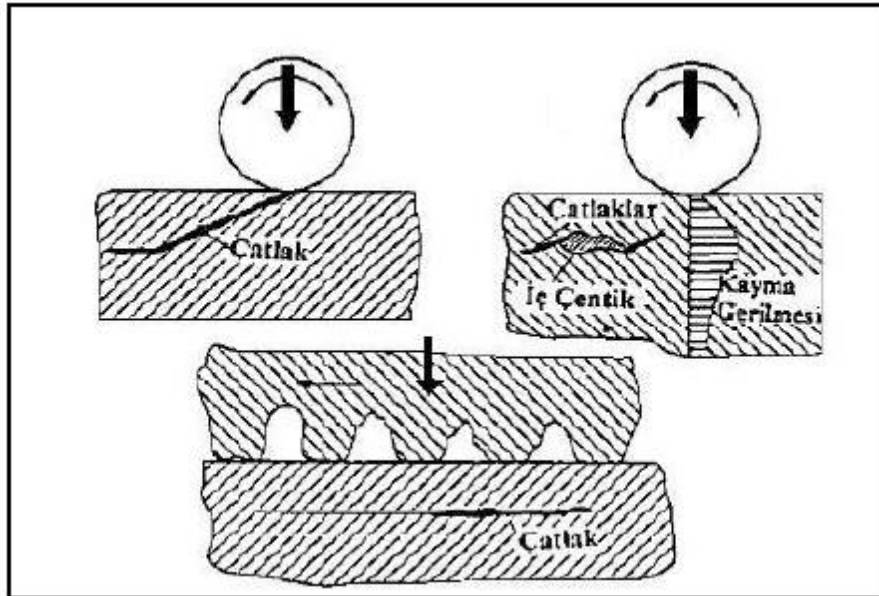
Şekil 2.15 Abrasif aşınma (Erbayık 2012).

Korozif aşınmada mekanik etkenlerin yanında çevrenin kimyasal etkisi de olaya karışır. Sürtünen yüzeylerde oluşan korozyon ürünü sert parçacıklar halinde koparsa aşınma görülür (Onaran 2009).



Şekil 2.16 Tipik bir korozyon hücresi (Erbayık 2012).

Yüzey yorulması birbiri üzerinde yuvarlanan parçalarda görülür. Değen yüzeylerde plastik şekil değiştirme dolayısıyla pekleşme oluşur ve malzeme gevrekleşir. Gevrekleşen malzeme üzerinden geçen tekrarlı kuvvet etkisi ile çatlaklar oluşur. Metallerde bu çatlama yüzeyden 0.2 – 0.3 mm derinlikte başlar. Bu çatlaklar zamanla yayılır ve yüzeyden pul şeklinde malzeme kopar. Bu tür yüzey yorulmasını önlemek için yüzeylerin sertleştirilmesi ve iyi parlatılması gerekir (Onaran 2009).



Şekil 2.17 Yorulma aşınması oluşum mekanizması (Yıldızlı vd. 2003).

3. MATERİYAL ve METOT

3.1 Tanıtım

Bu tez çalışmasında titanyum katkısız ve titanyum katkılı (ağ. %0.1 ve %0.2) dökme çelik numunelerinin ısıtıl işlem (950°C, 750°C, 650°C) gördükten sonra su, yağ, kum gibi ortamlarda ani soğutmaya tabi tutulup numunelerin yüzeyi parlatıldı, mikroyapılarına bakıldı ve sertlikleri ölçüldü. Daha sonra numunelere aşınma testi yapılarak sonuçlar incelendi.

3.2 Isıl İşlem ve Metalografik İşlemler

Deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında aşağıdaki malzemeler ve cihazlar kullanılmıştır. 1200°C'ye kadar kullanım kapasitesi olan ısıtıl işlem fırınları, değişik sürelerde ve ısıtılma hızlarında ayarlanabilen PID mikroişlemciye sahip olup, kamara tipi fırınlardır.

Titanyum katkılı dökme çelik numuneleri Konya ilinde bulunan MOTUS firmasından temin edilmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimleri aşağıdaki çizelgelerdedir. Isıl işlem sonrasında numunelerin, soğutılma hızlarını simüle etmek için bir kova içerisinde oda sıcaklığında su, yağ ve kum temin edilmiştir. Isıl işlemten hemen sonra numunelere bu üç ortamda su verme işlemi yapıp parlatmaya hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan titanyum katkısız numunenin kimyasal bileşimi.

Elementin Adı	Miktarı (ağ. %)
Karbon (C)	0.28
Manganez (Mn)	0.9
Silisyum (Si)	1.35
Fosfor (P)	0.025
Kükürt (S)	0.025
Krom (Cr)	2.05
Molibden (Mo)	0.4
Nikel (Ni)	0.22
Titanyum (Ti)	0.05
Alüminyum (Al)	0.045
Demir (Fe)	Denge

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan ağ. % 0.1 titanyum katkılı numunenin kimyasal bileşimi.

Elementin Adı	Miktarı (ağ. %)
Karbon (C)	0.28
Manganez (Mn)	0.9
Silisyum (Si)	1.35
Fosfor (P)	0.025
Kükürt (S)	0.025
Krom (Cr)	2.05
Molibden (Mo)	0.4
Nikel (Ni)	0.22
Titanyum (Ti)	0.10
Alüminyum (Al)	0.045
Demir (Fe)	Denge

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan ağ. % 0.2 titanyum katkılı numunenin kimyasal bileşimi.

Elementin Adı	Miktarı (ağ. %)
Karbon (C)	0.28
Manganez (Mn)	0.9
Silisyum (Si)	1.35
Fosfor (P)	0.025
Kükürt (S)	0.025
Krom (Cr)	2.05
Molibden (Mo)	0.4
Nikel (Ni)	0.22
Titanyum (Ti)	0.20
Alüminyum (Al)	0.045
Demir (Fe)	Denge



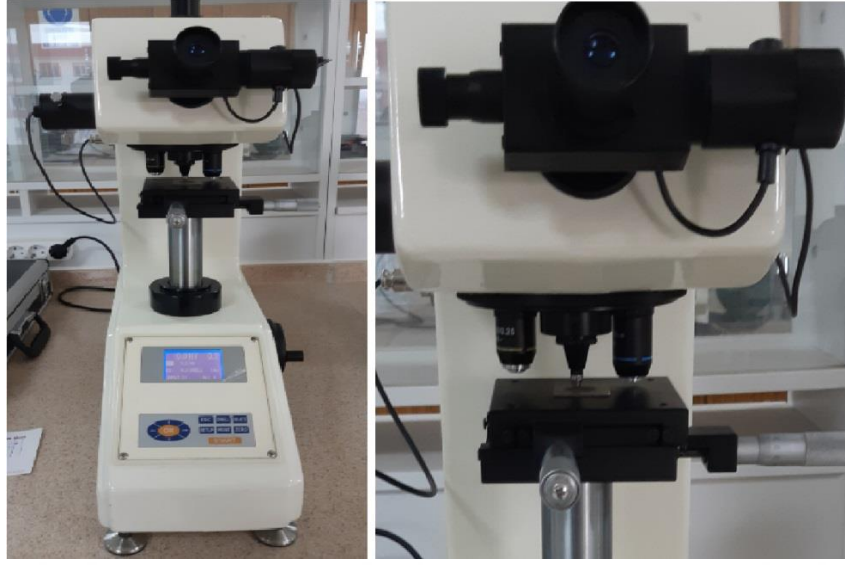
Resim 3.1 Deneylerde kullanılan numuneler.

Numuneler sıcak kalıplama yardımıyla bakalit kullanılarak sabitlenmiş ve ardından 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 gritlik zımparalar ile yüzey çiziklerinden arındırılmıştır. Parlatma aşamasında, çuha üzerinde, 1 mikron partikül boyutunda alümina (parlatma işlemi için) tozları kullanılmıştır. Parlatmanın ardından numunelerin mikro yapılarını net görmek amacıyla %3 lük seyreltilmiş nital solüsyonu ile dağlanmıştır.



Resim 3.2 Zımparalama makinası.

Numunelerin mikroyapıları fotoğraflandıktan sonra Micro Sertlik Ölçüm Cihazı yardımıyla H_V (Vickers sertliği) cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür. Numuneler ölçüm yapılacak cihazın tablasına konulmuştur. Uç yaklaşık on saniye H_V 100 gr yük uygulayacak şekilde numunenin üzerine yük uygulamaktadır. Yük uygulandıktan sonra uç geriye dönerek numune üzerinde eşkenar dörtgen oluşturmuştur. Burada da yük oluşan izin eğik yüzeylerin toplam alanına bölündüğünden sertlik sonuçları kgf/mm^2 olarak bulunmaktadır.



Resim 3.3 Mikro sertlik ölçüm cihazı.

Sertlikleri ölçülen numunelere bilye-disk sisteminde kuru ortamda aşınma deneyi yapılmıştır. 14 mm çapındaki çelik disk numuneler 8 mm çapında WC-Co bilyeye karşı aşındırılmıştır. Deneyler 5 N yük altında, sabit kayma hızında (yaklaşık 0.3 m/s) oda sıcaklığında yapılmıştır. Aşınma hızı, Rugosimeter marka pürüzlülük cihazından aşınma hacim miktarı belirlenmiş ve $(\text{Aşınma hızı} = \text{Aşınma hacim miktarı} / (\text{uygulanan yük} \times \text{kayma mesafesi}), \text{mm}^3/\text{Nm})$ parantez içerisindeki bağıntıdan aşınma hızı hesaplanmıştır. Deneyler 3 kere tekrar edilerek ortalaması alınmıştır. Resim 3.3’ de aşınma deneylerinde kullanılan cihaz gösterilmiştir.



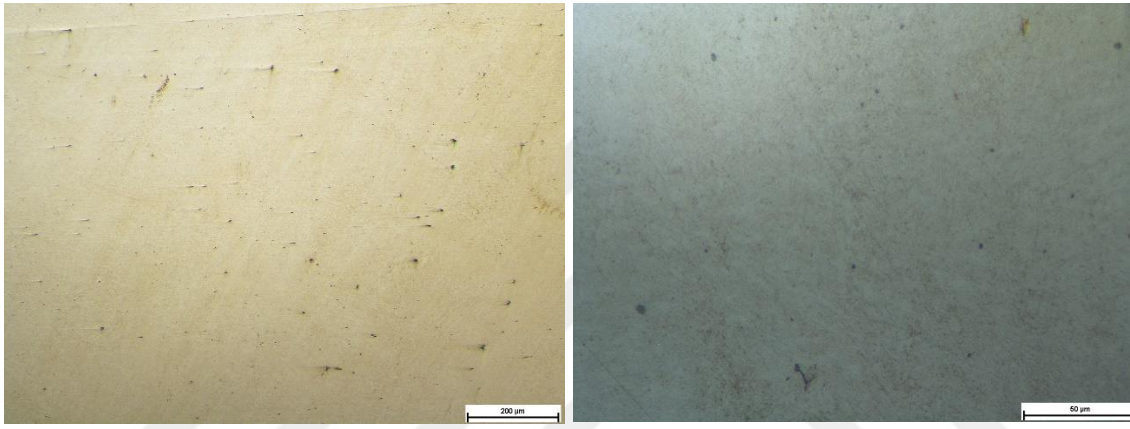
Resim 3.4 Aşınma testi cihazı.

4. BULGULAR

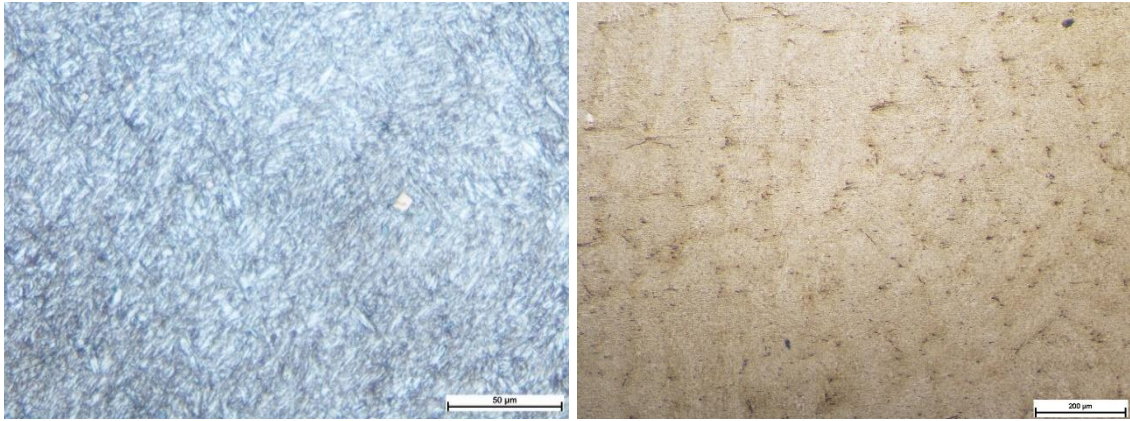
4.1 Optik Mikroyapı Çalışmaları

Çalışmanın bu kısmında mikroyapı numunelerinden alınan fotoğraflardan elde edilen tane yapıları, gözlemlenen fazlar değerlendirilmiştir.

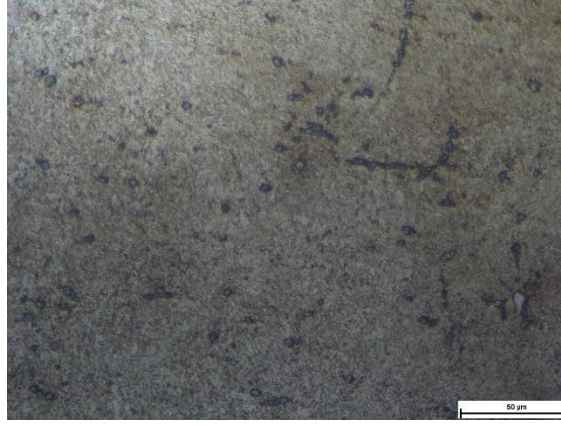
650°C’de ısıtılmış ve suda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3’de gösterilmiştir.



Resim 4.1 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

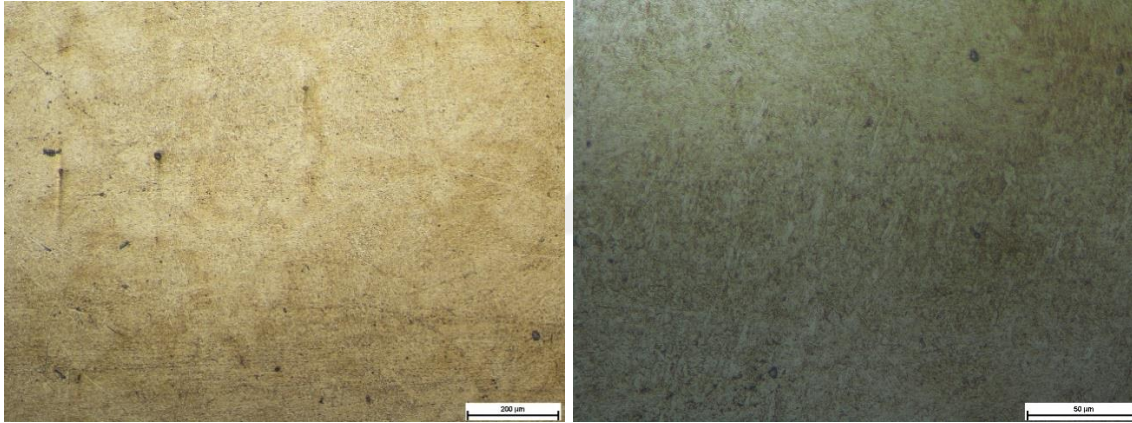


Resim 4.2 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

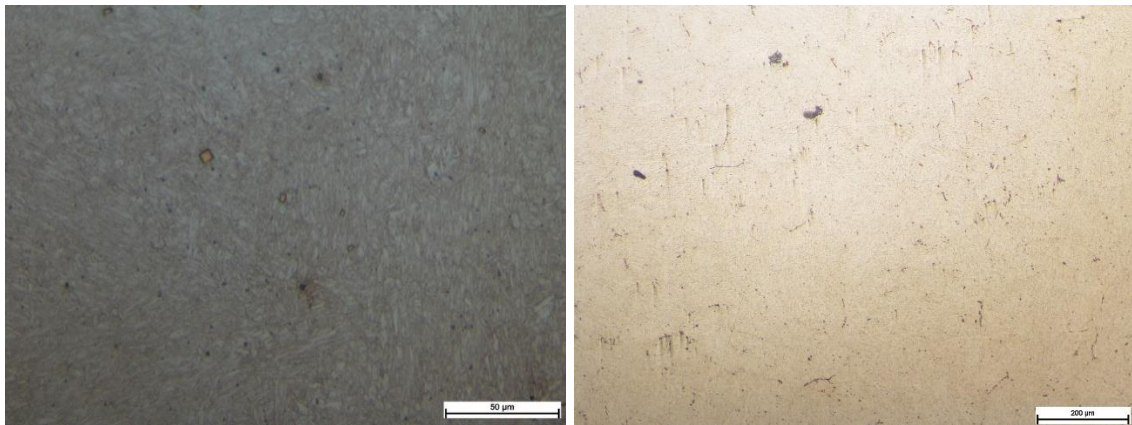


Resim 4.3 500X, %0.2 titanyumlu numune.

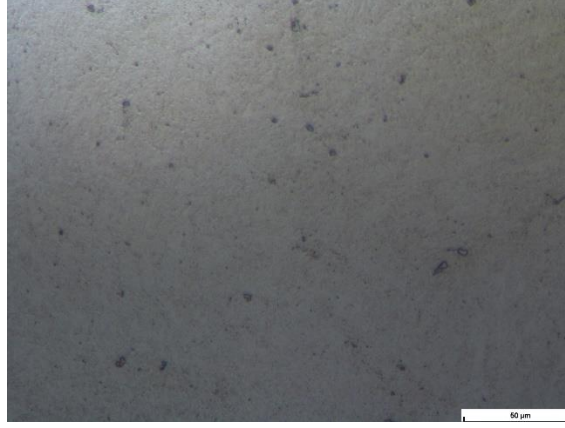
650°C’de ısıtıl işlem görmüş ve yağda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.4, Resim 4.5 ve Resim 4.6’da gösterilmiştir.



Resim 4.4 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

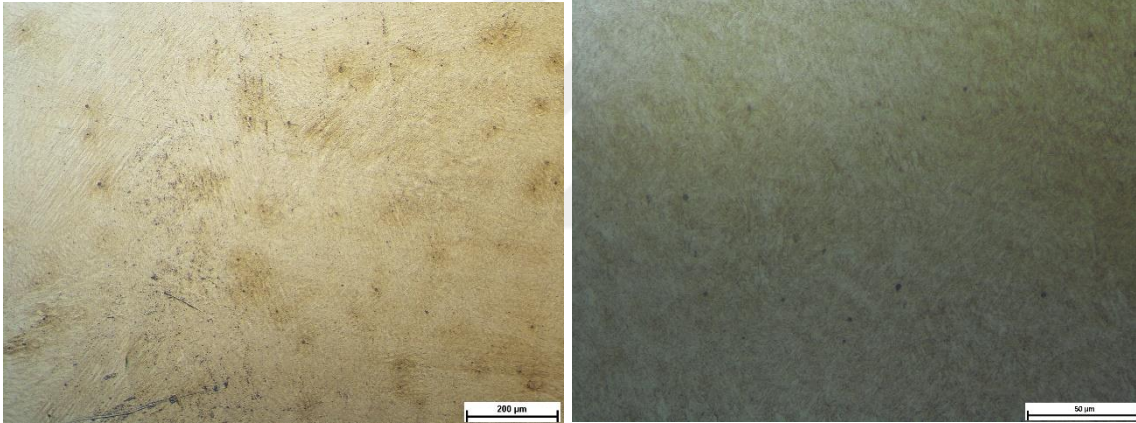


Resim 4.5 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

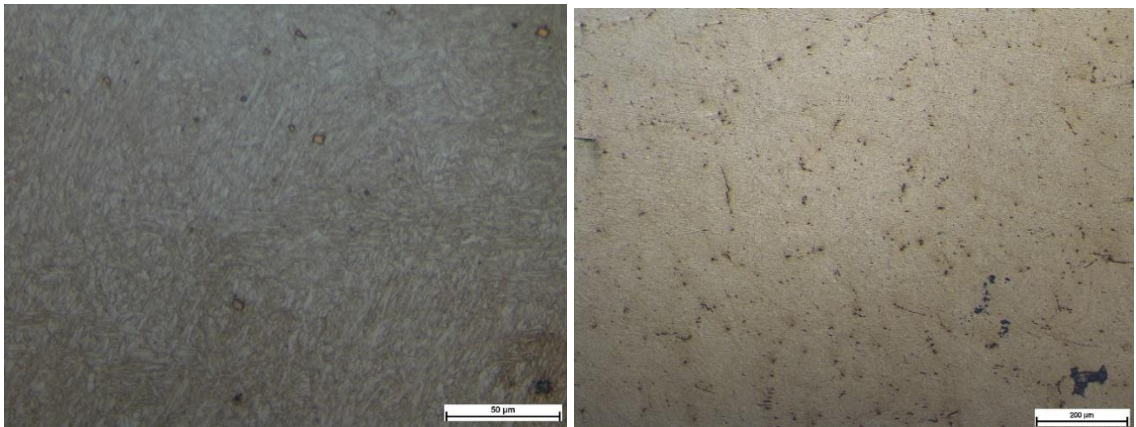


Resim 4.6 500X, %0.2 titanyumlu numune.

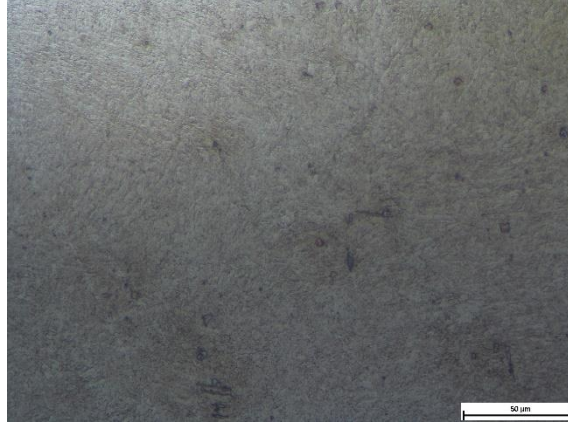
650°C’de ısıtıl işlem görmüş ve kumda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.7, Resim 4.8 ve Resim 4.9’da gösterilmiştir.



Resim 4.7 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

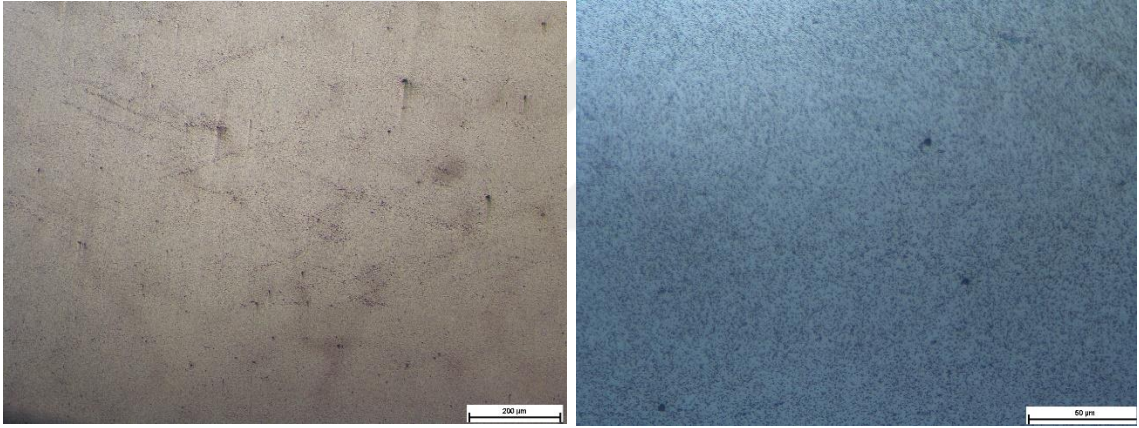


Resim 4.8 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

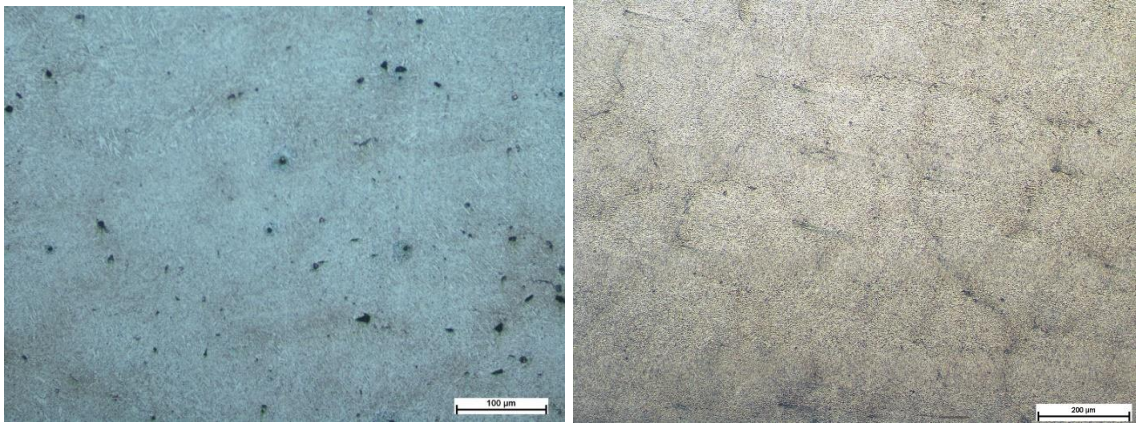


Resim 4.9 500X, %0.2 titanyumlu numune.

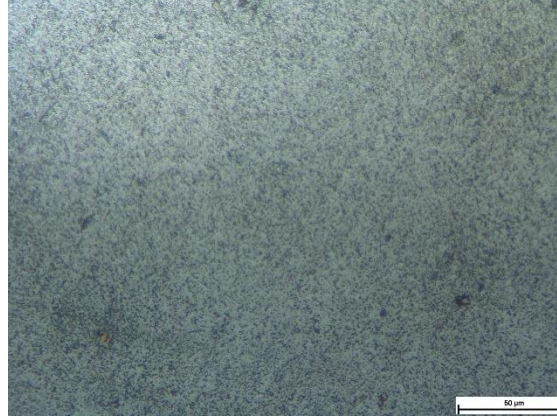
750°C’de ısıt işlem görmüş ve suda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.10, Resim 4.11 ve Resim 4.12’de gösterilmiştir.



Resim 4.10 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

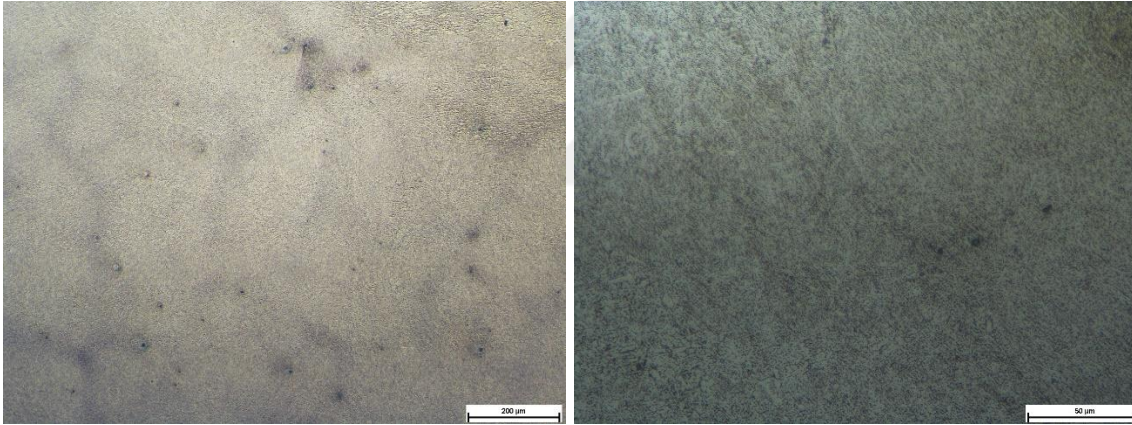


Resim 4.11 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

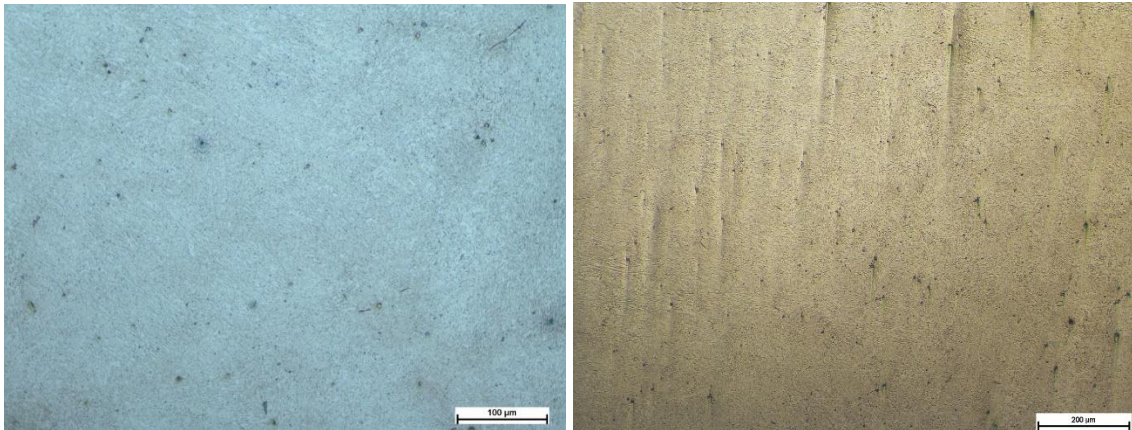


Resim 4.12 500X, %0.2 titanyumlu numune.

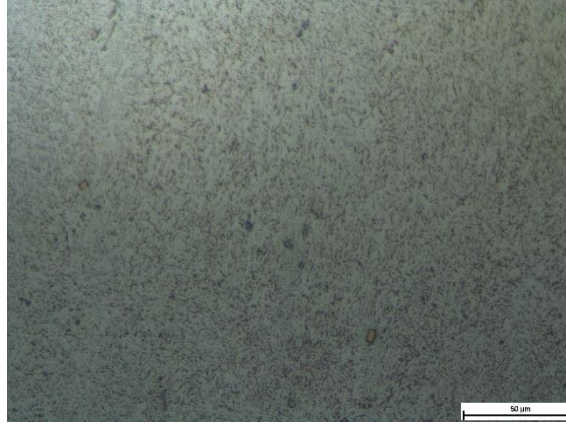
750°C’de ısıtıl işlem görmüş ve yağda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.13, Resim 4.14 ve Resim 4.15’de gösterilmiştir.



Resim 4.13 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

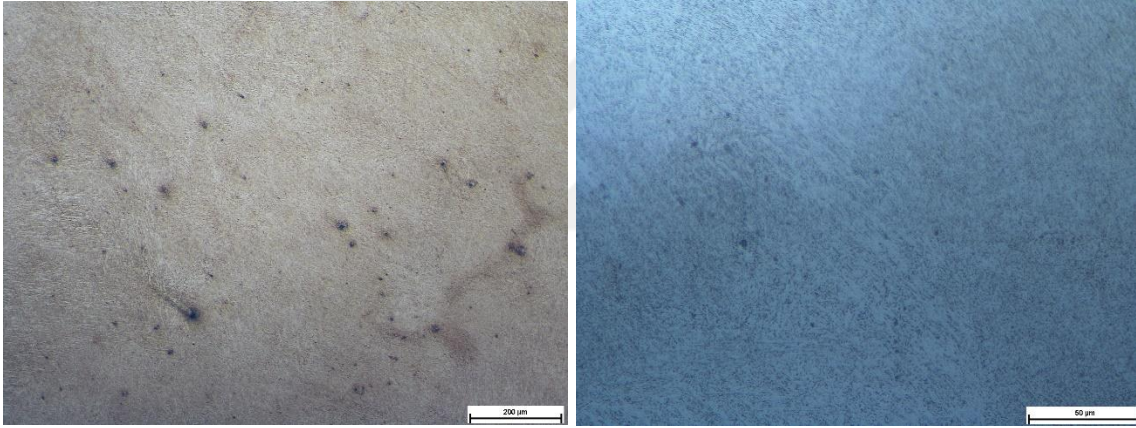


Resim 4.14 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

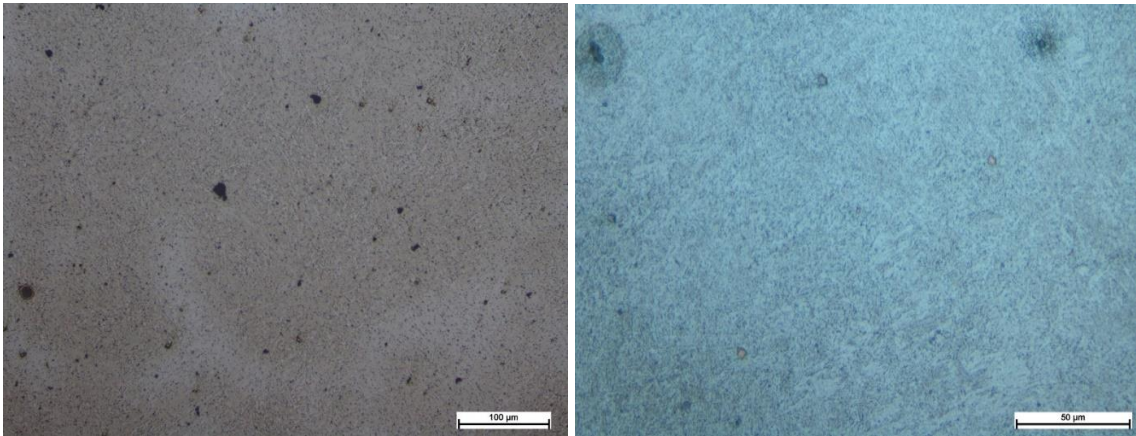


Resim 4.15 500X, %0.2 titanyumlu numune.

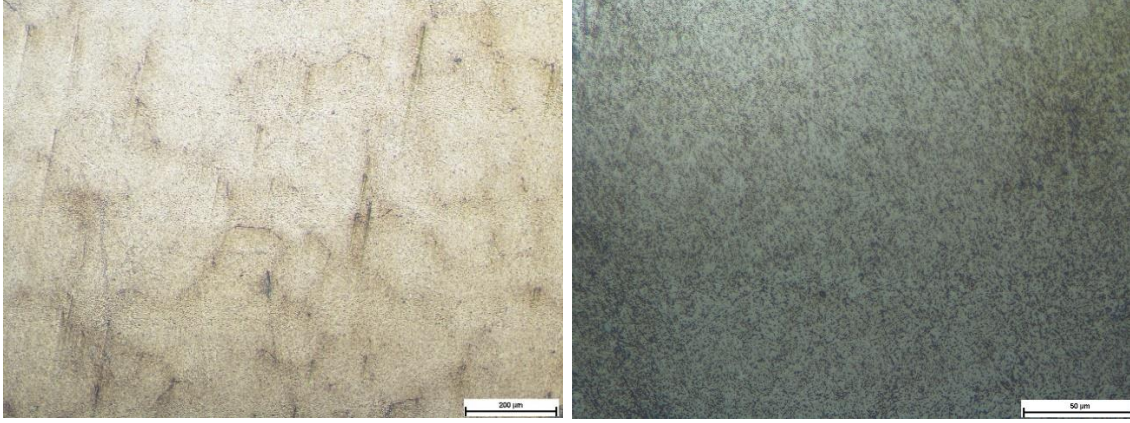
750°C’de ısıt işlem görmüş ve kumda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.16, Resim 4.17 ve Resim 4.18’de gösterilmiştir.



Resim 4.16 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

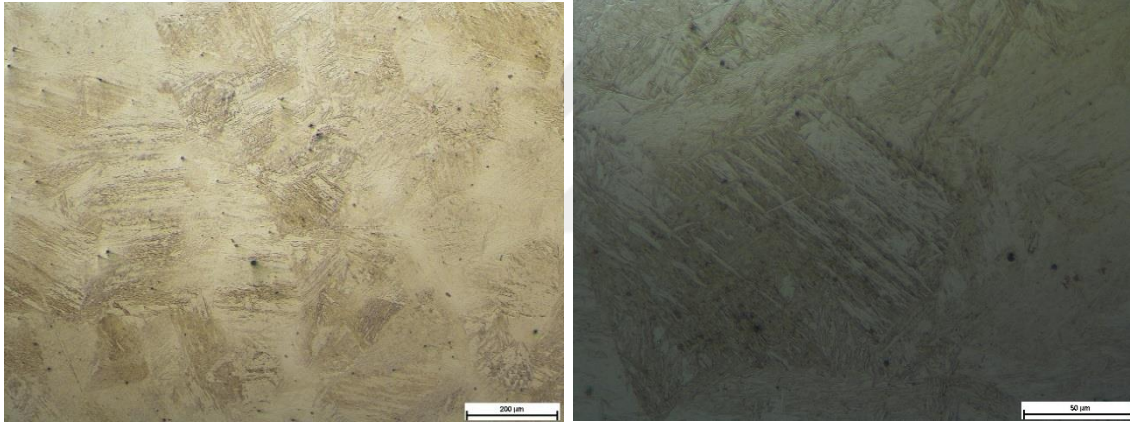


Resim 4.17 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 500X, %0.1 titanyumlu numune.

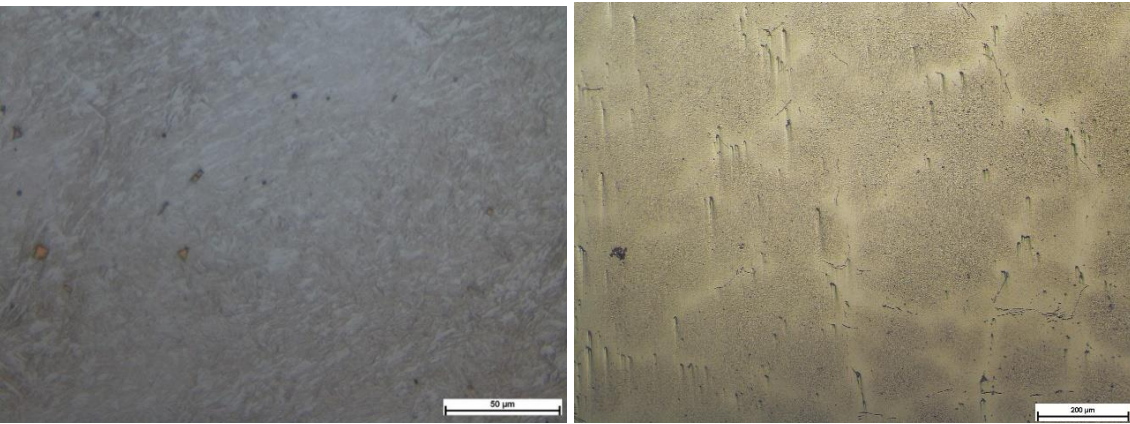


Resim 4.18 100X, %0.2 titanyumlu numune ve 500X, %0.2 titanyumlu numune.

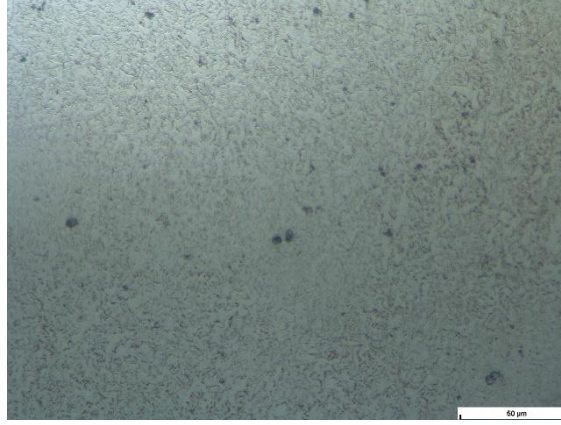
950°C’de ısıtıl işlem görmüş ve suda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.19, Resim 4.20 ve Resim 4.21’de gösterilmiştir.



Resim 4.19 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

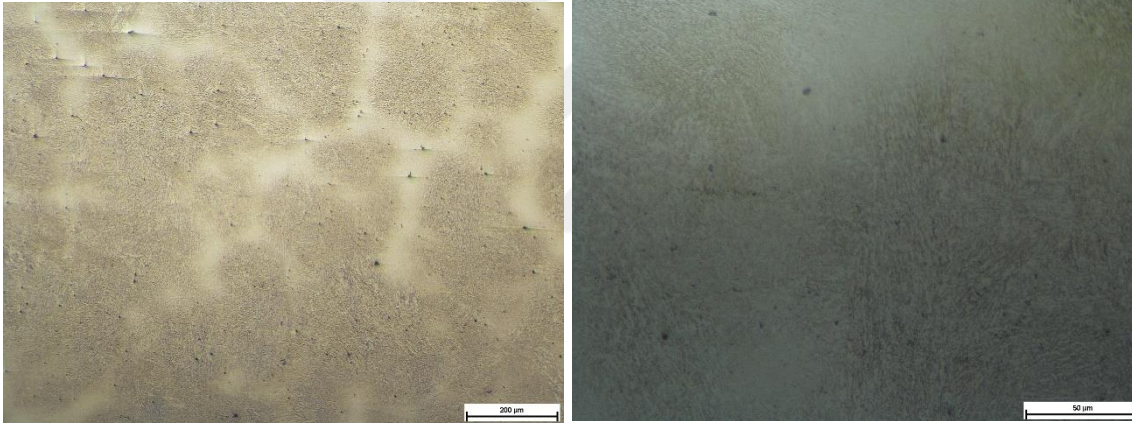


Resim 4.20 100X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

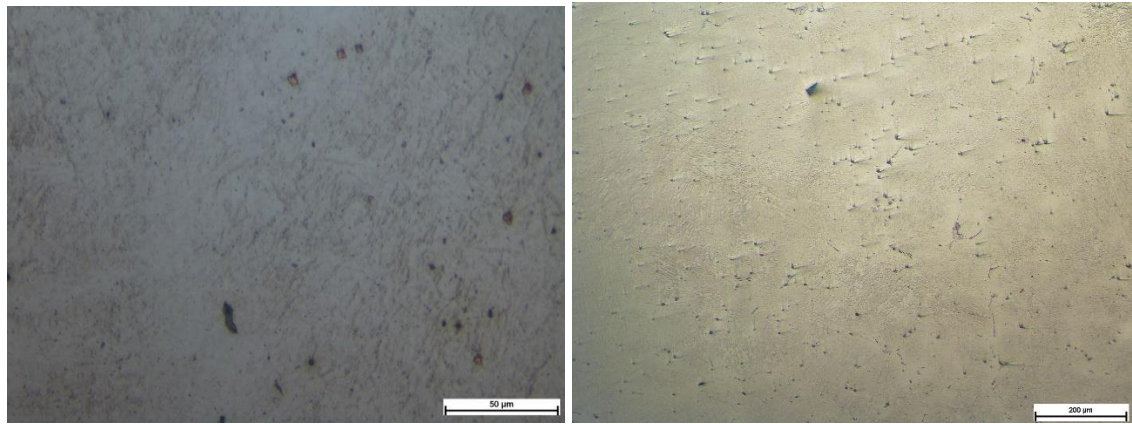


Resim 4.21 500X, %0.2 titanyumlu numune.

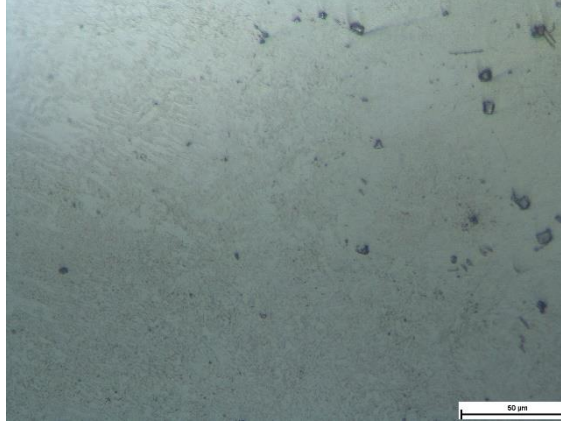
950°C’de ısıt işlem görmüş ve yağda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.22, Resim 4.23 ve Resim 4.24’de gösterilmiştir.



Resim 4.22 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.

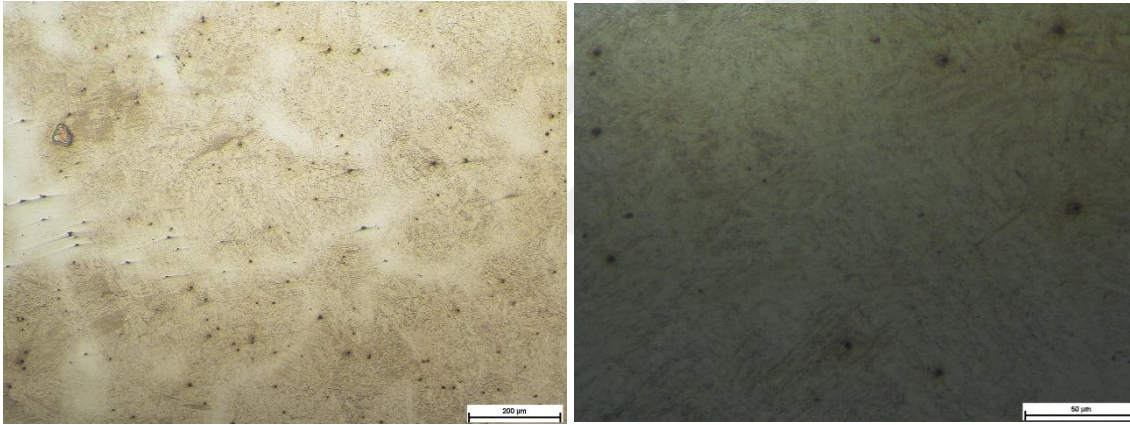


Resim 4.23 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.

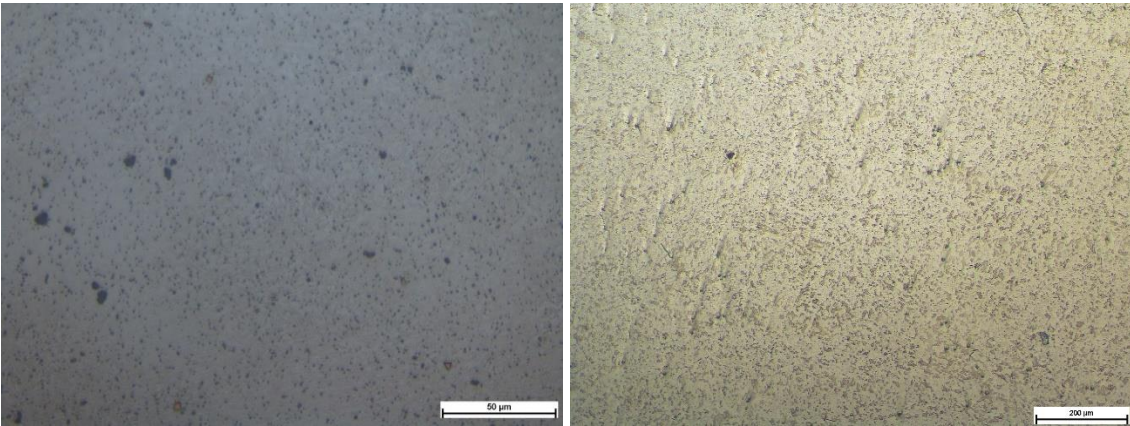


Resim 4.24 500X, %0.2 titanyumlu numune.

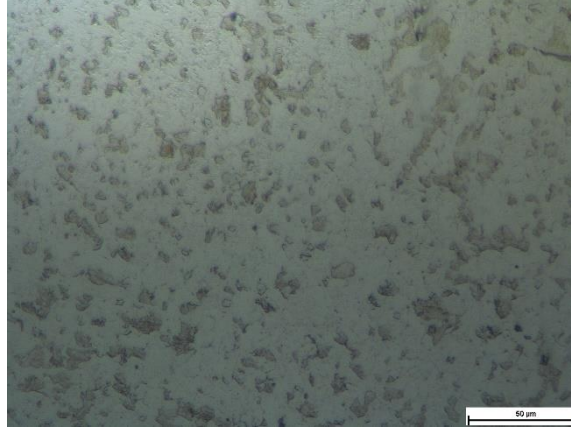
950°C’de ısıt işlem görmüş ve kumda soğutulmuş numuneler aşağıdaki Resim 4.25, Resim 4.26 ve Resim 4.27’de gösterilmiştir.



Resim 4.25 100X, %0.0 titanyumlu numune ve 500X, %0.0 titanyumlu numune.



Resim 4.26 500X, %0.1 titanyumlu numune ve 100X, %0.2 titanyumlu numune.



Resim 4.27 500X, %0.2 titanyumlu numune.

650°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız kumda soğutulmuş numunede ferrit + perlitik (siyah bölgeler) yapılar görülmektedir. 650°C’de ısıtıl işlem görmüş %0 titanyumlu suda soğutulmuş numunede iğnemsî yapılar ve çok ince perlit yapıları bulunmaktadır. 650°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız yağda soğutulmuş numunede beynitik + perlitik yapılar vardır. Plakalar paralel bir şekilde dizilmiş olup düzgün morfolojiye sahip değildir bu da soğumanın yavaş yavaş olduğuna hızlı bir soğumadan sonra temper etkisinin ortaya çıktığını göstermektedir.

750°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız kumda soğutulmuş numunede iri ferritik oluşumlar görülmüştür. Numunenin tane şekli belirsizdir. TiC taneleri iri şekilde morfolojide dağılmıştır. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız yağda soğutulmuş numunede yapı daha ince, temperlenmiş görünümündedir. Başlangıç mikroyapısı iğnemsî yapıda olsa da daha sonra yavaş soğumanın etkisi düzensiz bir yapı meydana getirmiştir. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız suda soğutulmuş numunede çift fazlı bölgede ve östenitik bölgeye yakın olduğu için karbür tanelerinin daha ince ve homojen dağıldığı görülmektedir. Düzensiz alt tane şekilleri bunların hızlı soğumaya maruz kaldığını göstermektedir.

950°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız kumda soğutulmuş numunede küçük siyah noktalar karbür olarak da düşünülebilir. Çünkü çelik döküm olduğu için hurda şarjlarla çalışılmaktadır. Bu da bileşim kontrolünü zorlaştırmaktadır. Eş kenarlı yapılar baskın olarak görülmektedir. Belirgin bir karbür dağılımı yoktur. Tane içi morfolojisi

kaba yapıya işaret etmektedir.

950°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız yağda soğutulmuş numunede yapı oldukça ince, tane sınırı belirli bir seviyede olup çift fazlı yapıdan dönüşen mikroyapının yer yer kabalaşmaya maruz kaldığı ortaya çıkmaktadır. Siyah noktalar bulunmaktadır. Bunlar daha önce belirtildiği gibi dökümden kaynaklanan oluşumlardır. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş titanyum katkısız suda soğutulmuş numunede 750°C’ye göre çok daha ince yapıyla sonlanmıştır. Temperlenmiş martenzit ve bazı yerlerde beynitik yapılar yoğun olarak bulunmaktadır.

Ağ. %0.1 titanyum katkılı yağda soğutulmuş numunelerde TiC oluşumu vardır. Tane incelmesi görülmesi sebebiyle A₁ dönüşüm sıcaklığı perlitik faz dönüşümüne yol açacak olan karbonca zengin östenitik bölgeleri göstermektedir. Yağda soğutulmuş numunelerde kısmen martenzitik, perlitik ve ferritik yapılar vardır. Ağ. %0.1 titanyum katkılı kumda soğutulmuş numunelerde beynitik yapılar vardır. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş kumda soğutulmuş numunede çok ince karbür yapılar siyah yapılar var. TiC matriste yerleşmiştir. Yapıda çelik – alfa demir belirgindir. Tane oluşumu yok. Tane boyutu 60µ civarında. Kumda soğutmanın gereği olarak taneler iri ve morfoloji görülmemektedir. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş kumda soğutulmuş numune iğnemsî ferritik yapılar düzenli ve düzensiz bir şekilde dağılmıştır. Tane içi yapı daha çok bozuk beynitik yapıdadır. Karbürler mikroyapı içerisinde dağılmış ve yer yer kar veya açılı karbür taneleri de görülmektedir.

650°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.1 titanyum katkılı suda soğutulmuş numunede martenzitik (koyu olan bölgeler), beynitik yapılar görülmektedir. TiC rastgele dağılmış olarak yapıda bulunmaktadır. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.1 titanyum katkılı suda soğutulmuş numunede çok miktarda TiC partikülleri vardır. İğnemsî ferritik yapılar ortaya çıkmıştır. Belirgin bir tane yapısı yoktur. Tane boyutları yaklaşık 80 – 100 µ civarındadır. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.1 titanyum katkılı suda soğutulmuş numunede yapı ince tanelerden oluşmaktadır. Yer yer ferrit plakaları ortaya çıkmıştır. Hızlı soğutmadan dolayı iğnemsî yapılar mikroyapıyı oluşturmaktadır. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0,1 titanyum katkılı numuneler A₃ çizgisinin üzerinde

olup östenitik bölgede bulunmaktadır. Genel olarak ağ. %0.1 titanyum katkılı numunelerin mikroyapı fotoğraflarına bakılarak martenzit yapıda oldukları görülmüştür.

650°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu kumda soğutulmuş numunede yer yer küçük taneler vardır. Titanyum oranı bütün karbonları bağlayarak tane sınırlarında TiC oluşumunu meydana getirmiştir. 650°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu yağda soğutulmuş numunede karbür oluşumları homojen olarak dağılmıştır. Tane sınırlarında karbür dizilimleri vardır. Bazı yerlerde iri karbürlerin çözüldüğü görülmektedir. Temperlenmiş iğnemsiz ferritik yapılar görülmektedir. 650°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu suda soğutulmuş numunede oldukça yüksek miktarda karbür vardır. Matris yapısı oldukça ince bir şekildedir. Bazı yerlerde çok ince perlitik yapılar görülmektedir.

750°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu kumda soğutulmuş numunede çok fazla karbür çökeltileri, sürekli ve yer yer de açılı karbür çökeltileri halinde dağılmıştır. Tane boyutları oldukça büyüktür. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu yağda soğutulmuş numunede karbür sayısı artmış ve incelmış bir biçimdedir. Belirgin bir tane yapısı görülmekte ve tane boyutu yaklaşık 100 µ civarındadır. 750°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu suda soğutulmuş numunede suda soğutma ince tane oluşumlarına sebep olmuştur. Karbür dağılımı gayet homojendir ve karbür sayısı yapı içirişinde irili ufaklı dağılmıştır.

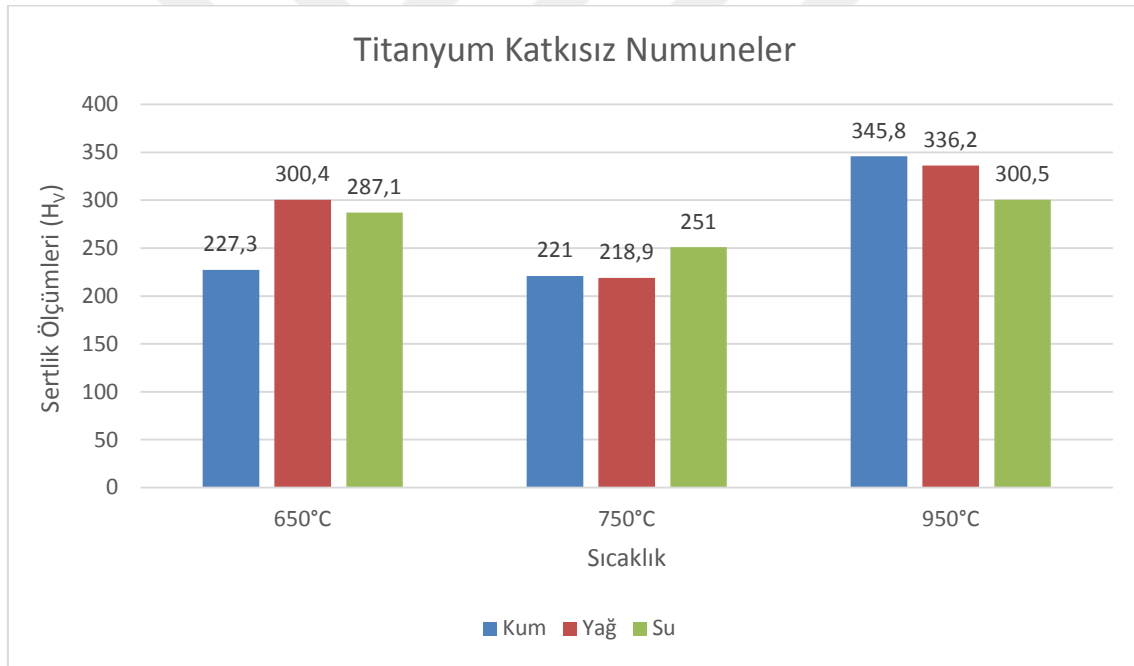
950°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu kumda soğutulmuş numunede çok sayıda karbür oluşumu görülmektedir ve aynı sayıda gri şekilli olarak perlitik yapılar bulunmaktadır. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu yağda soğutulmuş numunede karbür sayısı artış göstermektedir. Karbürlerin yer yer blok halinde bir araya geldiği ve tane sınırını takip ederek yerleştiği görülmektedir. Tane içi morfolojisi aşırı temperlenmiş martenzitik ve beynitik yapıya benzemektedir. 950°C’de ısıtıl işlem görmüş ağ. %0.2 titanyumlu suda soğutulmuş numunede titanyum karbürlerin tane sınırlarında film olarak oluştuğu ve difüzyon söz konusu olmadığı için bu film yapıların hızlı soğumanın etkisi ile çatlamaya yol açtığı ve tane dekohezyonuna (tane sınırı ayrışması) sebep olduğu görülmektedir.

4.2 Sertlik Deneyleri Çalışmaları

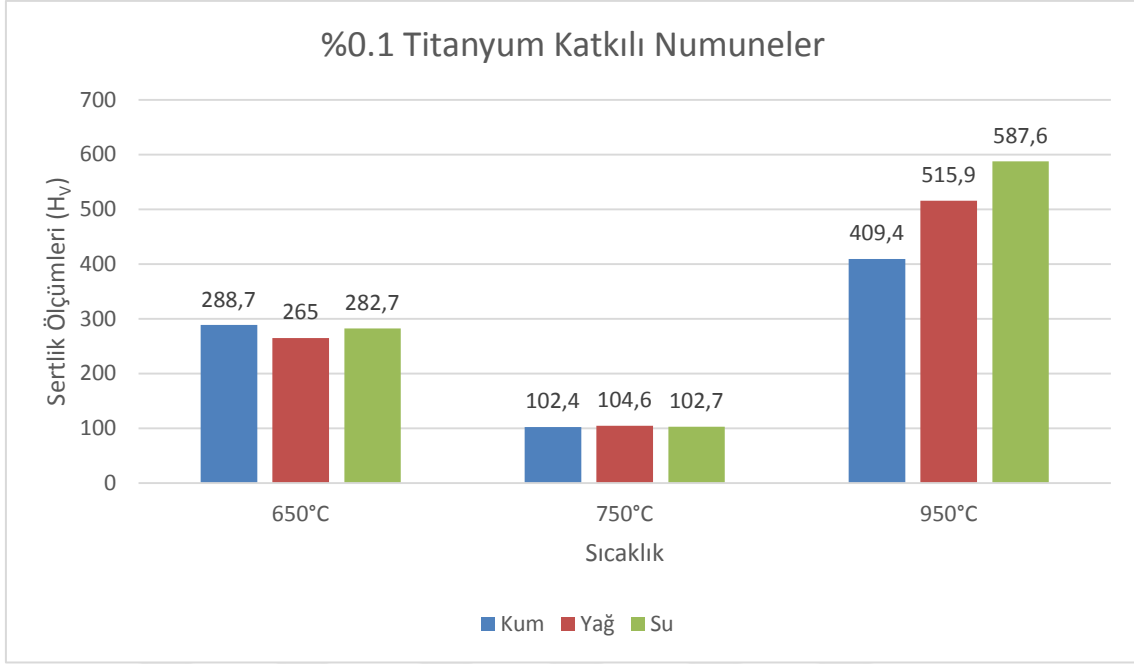
Sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3’de verilmiştir. Ölçüm değerleri Vickers olarak alınmıştır. Çizelge 4.1’de verilen değerler ortalama değerlerdir. Demir-karbon faz diyagramında 900°C üzerinde, ötektik çizgisinin üzerinde yani 723°C üzerinde tek faz bölgesi olması ve matrisin östenit yapıya dönüşüp yüksek miktarda karbon çözmeye müsait olması nedeniyle matris sertliği soğuma sırasında sert fazların oluşumuyla artmaktadır. Soğuma hızına bağlı olarak bu sertlik değeri değişmektedir. Ancak çizelgelerde görüldüğü gibi ağ. %0.1 Ti içeren numunelerin suda soğutulmasında yeni oluşan çekirdeklerin tane boyutunun küçülmesi ile sertlik ciddi oranda artmaktadır. Ancak bu nihai bir sonuç değildir. En önemli etkenin titanyum karbür çökeltilerinin varlıkları veya boyutlarıyla alakalı olabilir. Ancak 650°C ve 750°C değerleri karbon içeriği ağ. %0.28 olan bir çelik için perlit + ferrit ve alfa + gama şeklinde olduğu için hızlı soğumaya dahi sertlik değerlerinin fazla artmaması beklenmektedir. 650°C durumunda zaten var olan perlit ve ferritin şekilsel olarak deforme olması veya ters karbon difüzyonuna maruz kalması beklenmelidir. Bu şekilde perlitin kabalaşması matrisin ise hızlı soğumada dahi fazla bir sertlik değişimine maruz kalmaması beklenmektedir. Buna karşın 750°C ısıtma işleminde başlangıç fazı alfa + gama olacağı için hem tane irileşmesi hem de östenit faz dönüşümü ile beraber kısmi olarak özellikle su soğumada sert faz oluşumu mümkündür. Titanyum karbür çökeltilerinin dağılımı ve boyut değerleri ikinci durumda tanelerin irileşmesini engelleyerek veya sınırlayarak aktif bir rol üstlendiği düşünülmektedir. Titanyum karbür çözülme sıcaklıklarının yüksek olması ısıtma işlem sıcaklıkları olan 650°C, 750°C ve 950°C’lerde titanyum karbürün sıvıdan katılaşma sırasındaki halinden bir farklılık doğurmayacağı ortadadır.

Çizelge 4.1 Belirli sıcaklıklarda ısıtılma işlemi görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen sertlik değerleri.

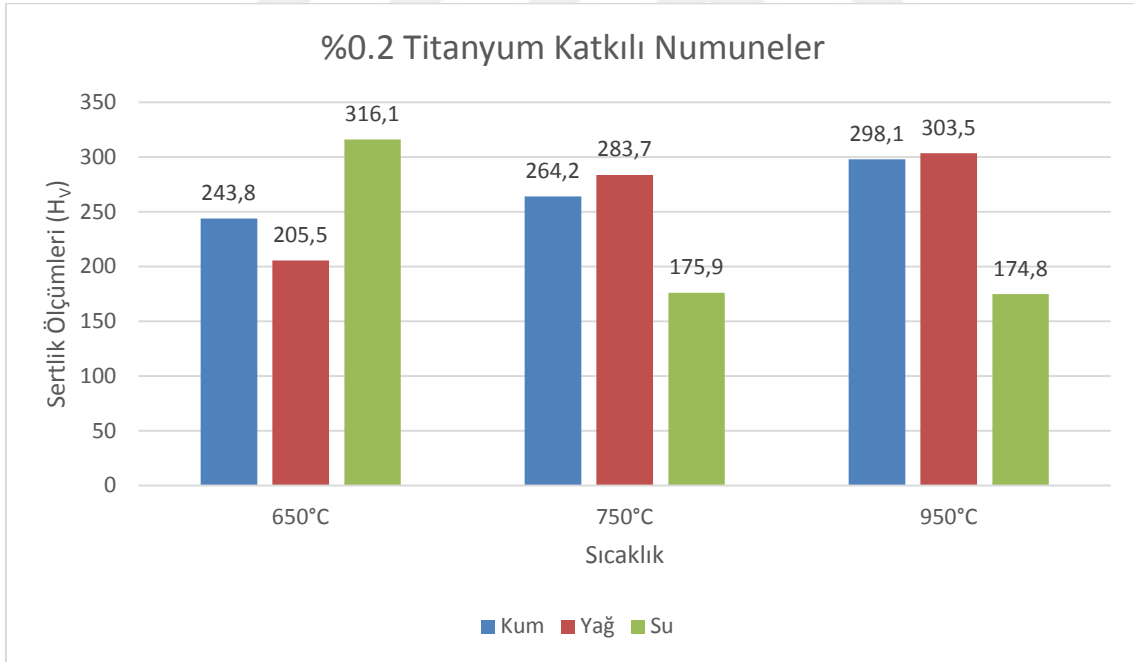
Sıcaklık	% Titanyum	Numune derinliği	Kumda	Yağda	Suda
650°C	0	1 mm	227.3 H _V	300.4 H _V	287.1 H _V
650°C	0.1	1 mm	288.7 H _V	265 H _V	282.7 H _V
650°C	0.2	1 mm	243.8 H _V	205.5 H _V	316.1 H _V
750°C	0	1 mm	221.0 H _V	218.9 H _V	251.0 H _V
750°C	0.1	1 mm	102.4 H _V	104.6 H _V	102.7 H _V
750°C	0.2	1 mm	264.2 H _V	283.7 H _V	175.9 H _V
950°C	0	1 mm	345.8 H _V	336.2 H _V	300.5 H _V
950°C	0.1	1 mm	409.4 H _V	515.9 H _V	587.6 H _V
950°C	0.2	1 mm	298.1 H _V	303.5 H _V	174.8 H _V



Şekil 4.1 Titanyum katkısız numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri.



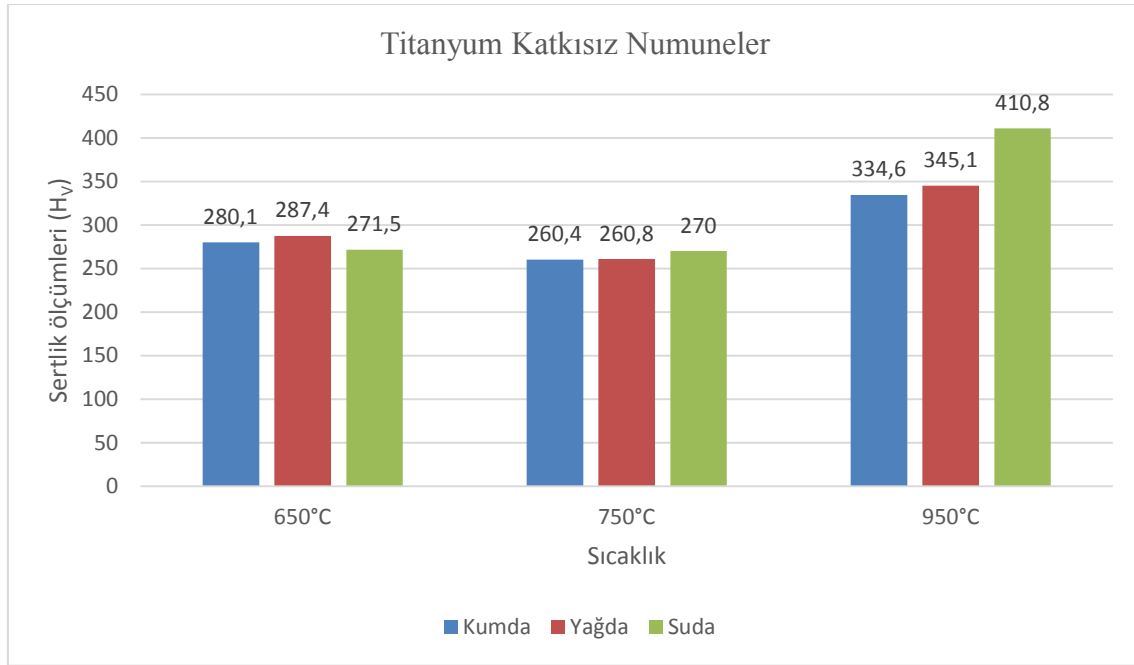
Şekil 4.2 %0.1 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri.



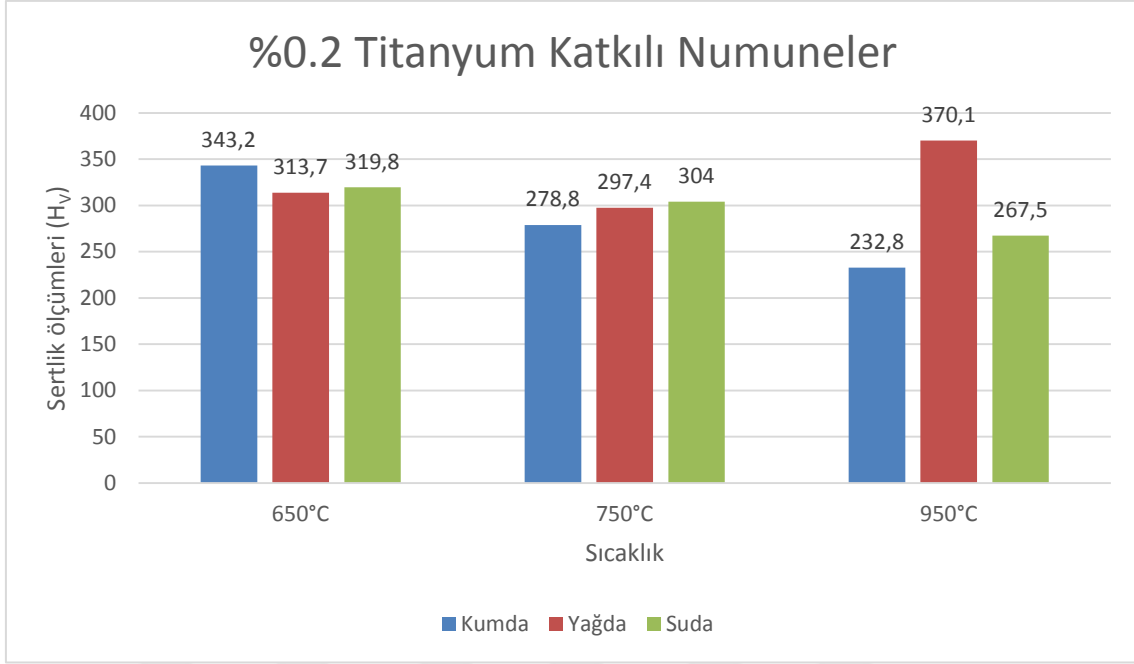
Şekil 4.3 %0.2 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş sertlik değerleri.

Çizelge 4.2 Belirli sıcaklıklarda ısıtılmış ve belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri.

Sıcaklık	% Titanyum	Numune derinliği	Kumda	Yağda	Suda
650°C	0	10 mm	280.1 H _V	287.4 H _V	271.5 H _V
650°C	0.2	10 mm	343.2 H _V	313.7 H _V	319.8 H _V
750°C	0	10 mm	260.4 H _V	260.8 H _V	270.0 H _V
750°C	0.2	10 mm	278.8 H _V	297.4 H _V	304.0 H _V
950°C	0	10 mm	334.6 H _V	345.1 H _V	410.8 H _V
950°C	0.2	10 mm	232.8 H _V	370.1 H _V	267.5 H _V



Şekil 4.4 Titanyum katkısız numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri.



Şekil 4.5 %0.2 Titanyum katkılı numunelerin belirli sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda soğutulmuş yüzeyden 10 mm derinlikte ölçülen sertlik değerleri.

4.3 Aşınma Deneyleri Çalışmaları

Aşınma hızı değerleri ve sürtünme katsayıları sonuçları aşağıda Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 650°C’de ısıtılmış işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

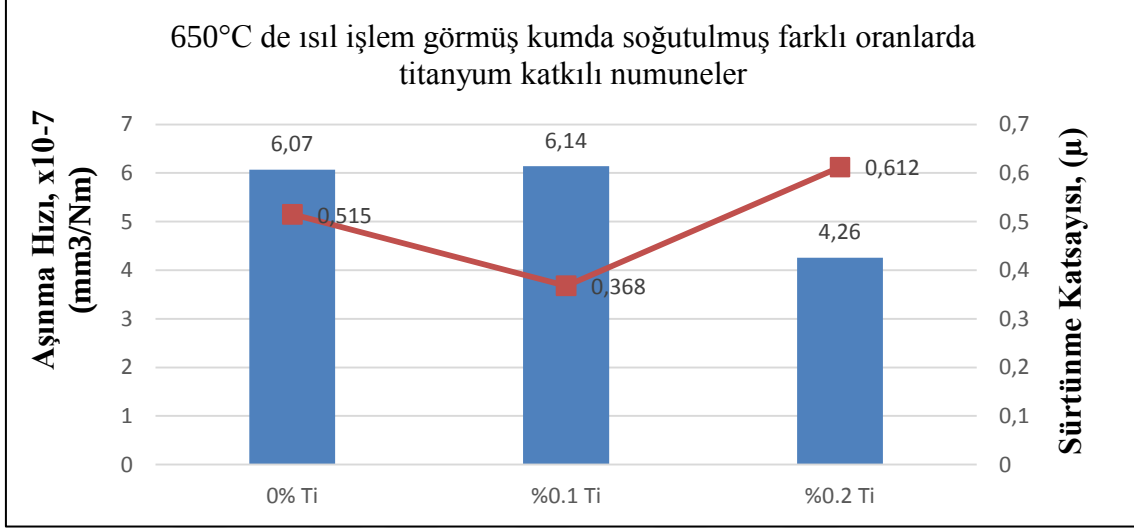
Numune özelliği	Aşınma hızı	Sürtünme Katsayısı
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş kumda soğutulmuş titanyum katkısız	6.07×10^{-7}	0.515
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş yağda soğutulmuş titanyum katkısız	20.86×10^{-7}	0.803
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş suda soğutulmuş titanyum katkısız	3.54×10^{-7}	0.791
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	6.14×10^{-7}	0.368
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	19.79×10^{-7}	0.679
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş suda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	8.58×10^{-7}	0.833
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	4.26×10^{-7}	0.612
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	3.24×10^{-7}	0.517
650°C’de ısıtılmış işlem görmüş suda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	6.10×10^{-7}	0.458

Çizelge 4.4 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

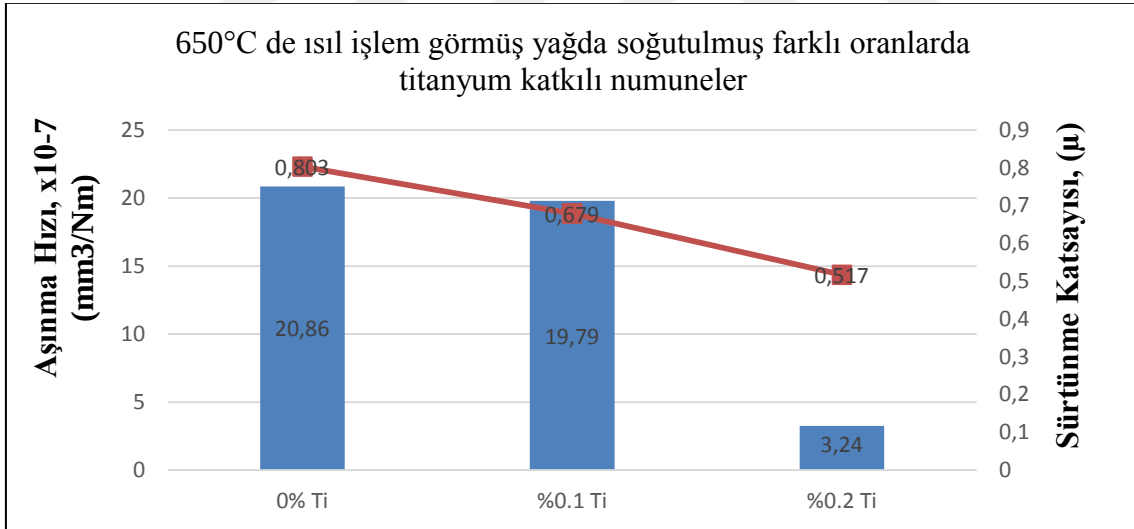
Numune özelliği	Aşınma hızı	Sürtünme Katsayısı
750°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş titanyum katkısız	63.31×10^{-7}	0,769
750°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş titanyum katkısız	12.52×10^{-7}	0,559
750°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş titanyum katkısız	13.15×10^{-7}	0.659
750°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	26.32×10^{-7}	0.836
750°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	54.43×10^{-7}	0.915
750°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	32.03×10^{-7}	0.868
750°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	17.61×10^{-7}	0.799
750°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	21.97×10^{-7}	0.726
750°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	20.23×10^{-7}	0.738

Çizelge 4.5 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin değişik ortamlarda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

Numune özelliği	Aşınma hızı	Sürtünme Katsayısı
950°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş titanyum katkısız	5.71×10^{-7}	0.528
950°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş titanyum katkısız	11.39×10^{-7}	0.516
950°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş titanyum katkısız	12.52×10^{-7}	0.953
950°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	22.44×10^{-7}	0.716
950°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	61.66×10^{-7}	0.902
950°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş %0.1 titanyum katkılı	18.51×10^{-7}	0.796
950°C’de ısıt işlem görmüş kumda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	16.83×10^{-7}	0.784
950°C’de ısıt işlem görmüş yağda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	7.99×10^{-7}	0.751
950°C’de ısıt işlem görmüş suda soğutulmuş %0.2 titanyum katkılı	4.07×10^{-7}	0.596



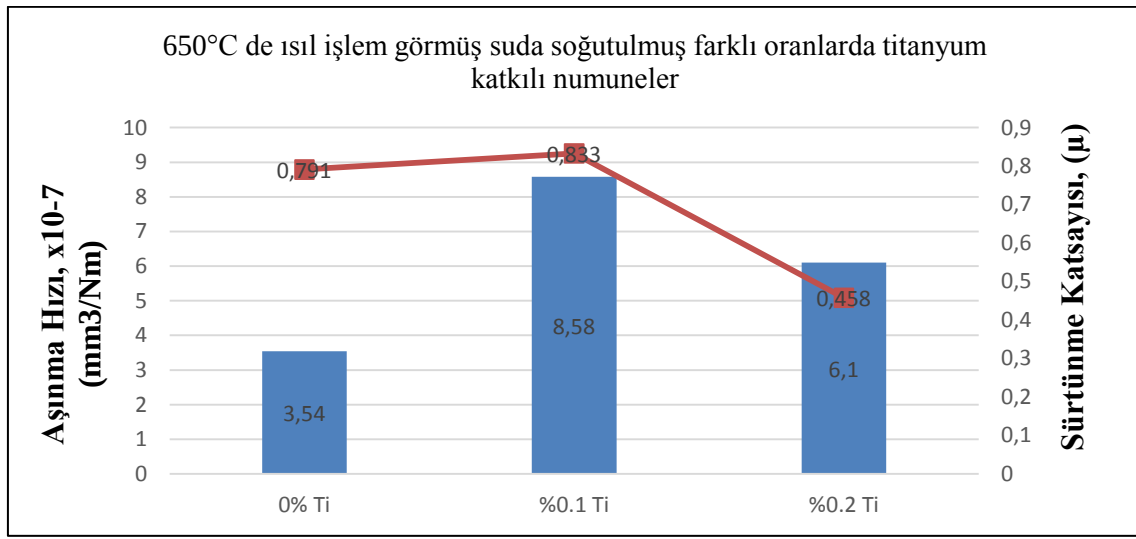
Şekil 4.6 650°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



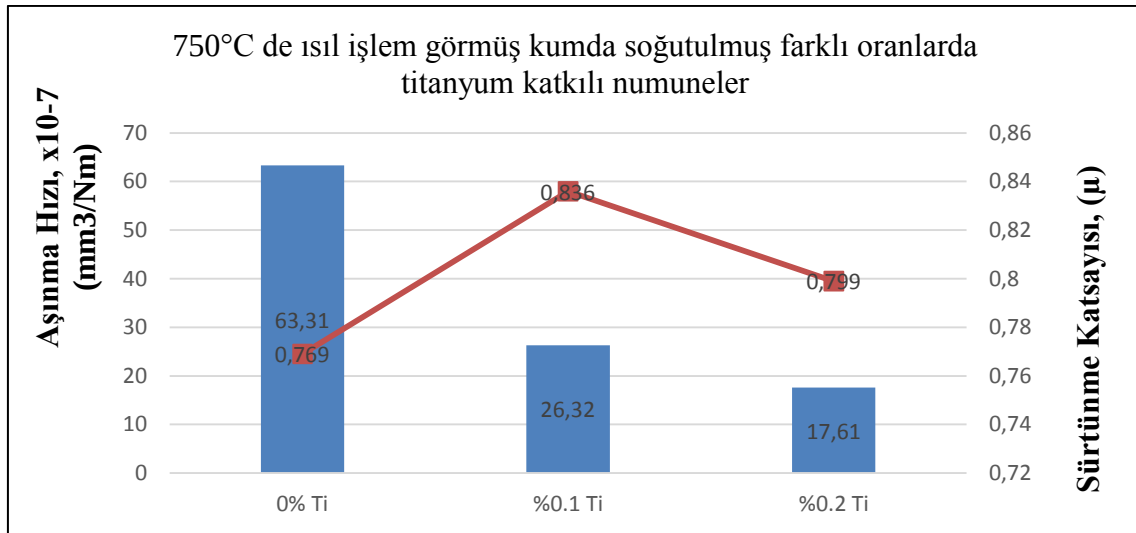
Şekil 4.7 650°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

650°C’de ısıt işlem gören numunelerin farklı soğutma ortamlarındaki su verme işlemi ardından yapılan aşınma deneyleri sonucunda en iyi değerlerin yağda soğutma ile elde edildiği ve en iyi performansın ağ. %0.2 Ti ile sağlandığı görülmüştür. Sadece titanyum karbür oranına bağlı olmayıp soğutma ortamına da pozitif olarak cevap veren bu çeliğin

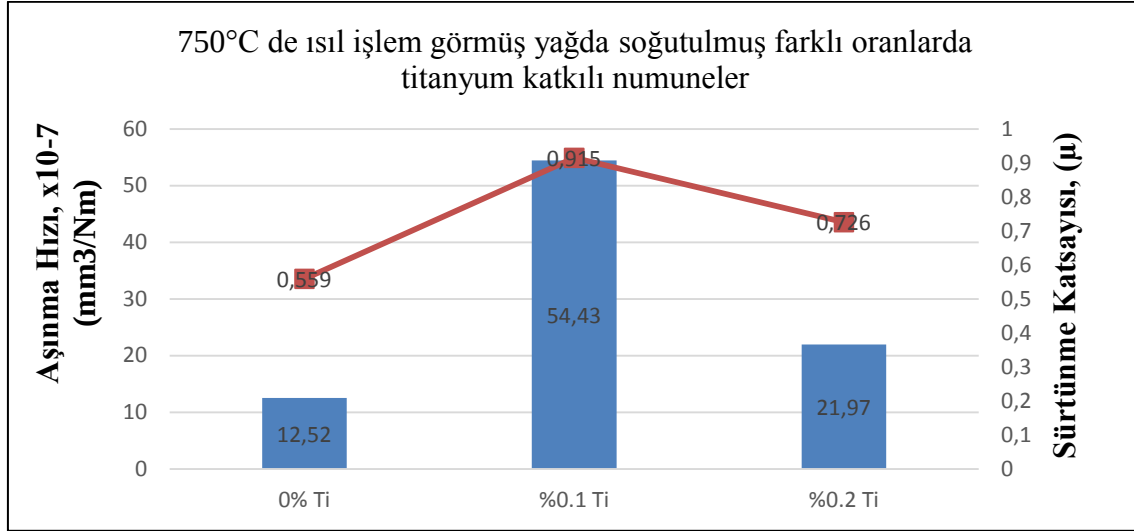
matris sertliğinin de önemli bir etken olduğu düşünülmektedir. Kumda soğutmanın yüksek aşınma hızına sebep olması titanyum katkısız ve ağı. %0.1 titanyum katkılı numunede daha önceki mikroyapı resimlerinden de görüldüğü gibi artan alfa fazı hacim oranı ile ilişkilidir. Suda soğutma da ise titanyum katkısız numunelerin iyi aşınma değeri vermesi şaşırtıcı bir şekilde matris sertliğinin karbon sayesinde vermiş olduğu aşınma direncine indirgenebilir. Titanyumun olmaması matristeki karbonu veya 650°C’lik ısıtma işlem sırasında kısmen serbest kalan karbonun bağlanmamasına ve matriste kalarak aşınma hızının düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.



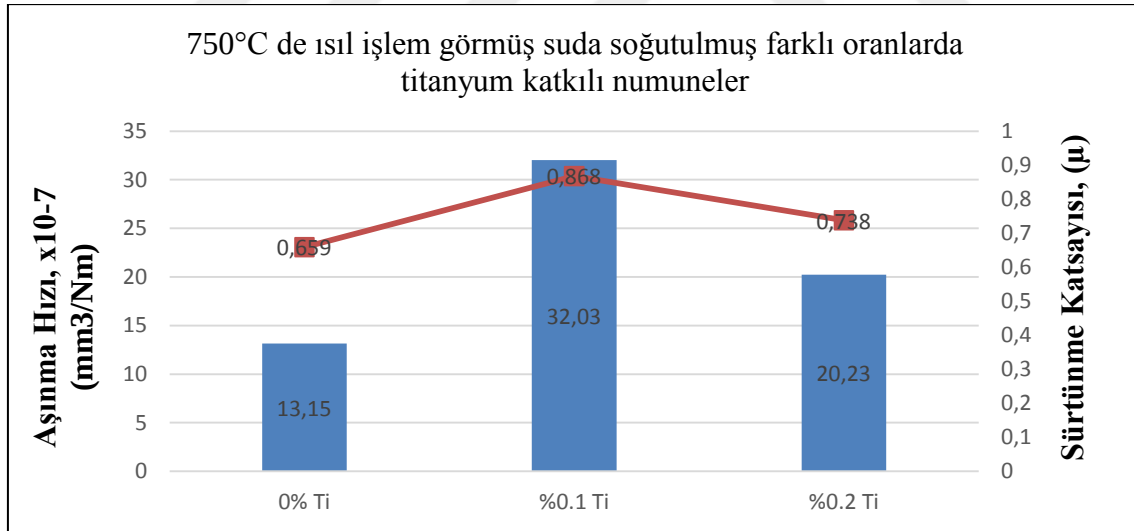
Şekil 4.8 650°C’de ısıtma işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



Şekil 4.9 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



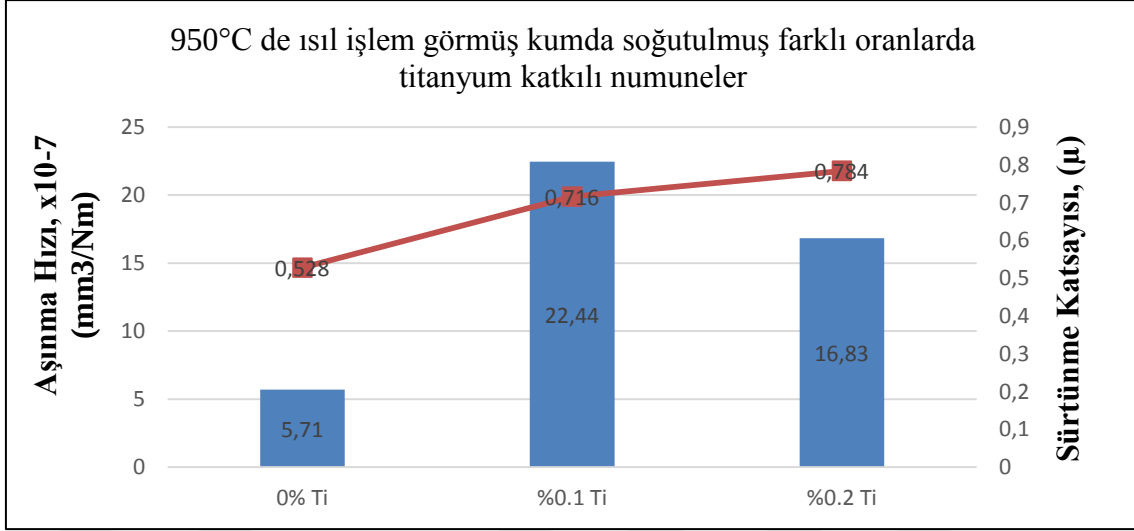
Şekil 4.10 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



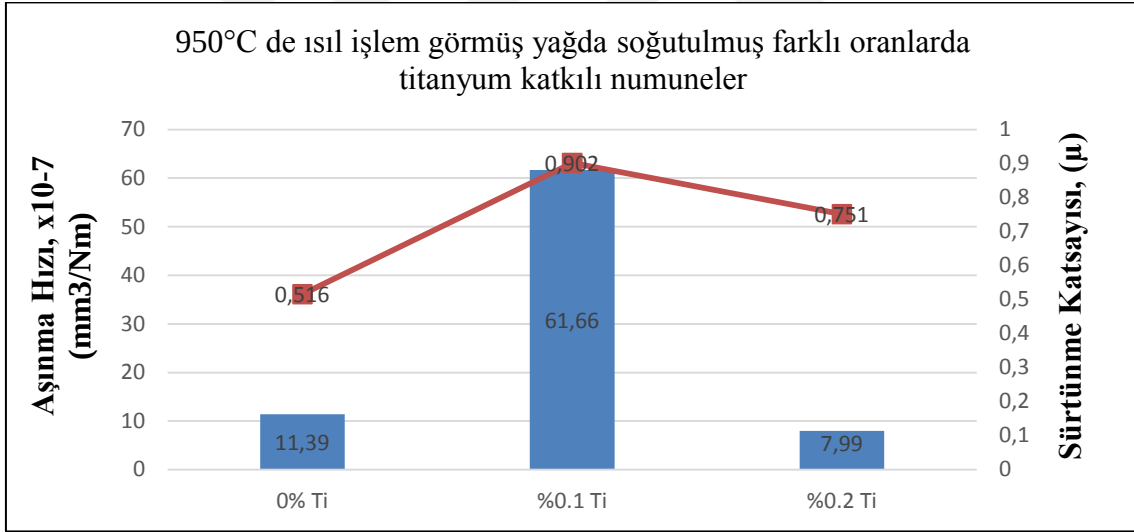
Şekil 4.11 750°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

750 derecede yapılan su verme işleminde titanyum içermeyen numunelerin aşınma hızının düştüğü ve artan titanyum oranına bağlı olarak aşınma hızlarının arttığı görülmektedir. Titanyum katkısız numunelerin bu şekilde bir davranış göstermesi alfa gama dönüşümü sırasında titanyumlu numunelerde matris sertliğinin düştüğünü ve

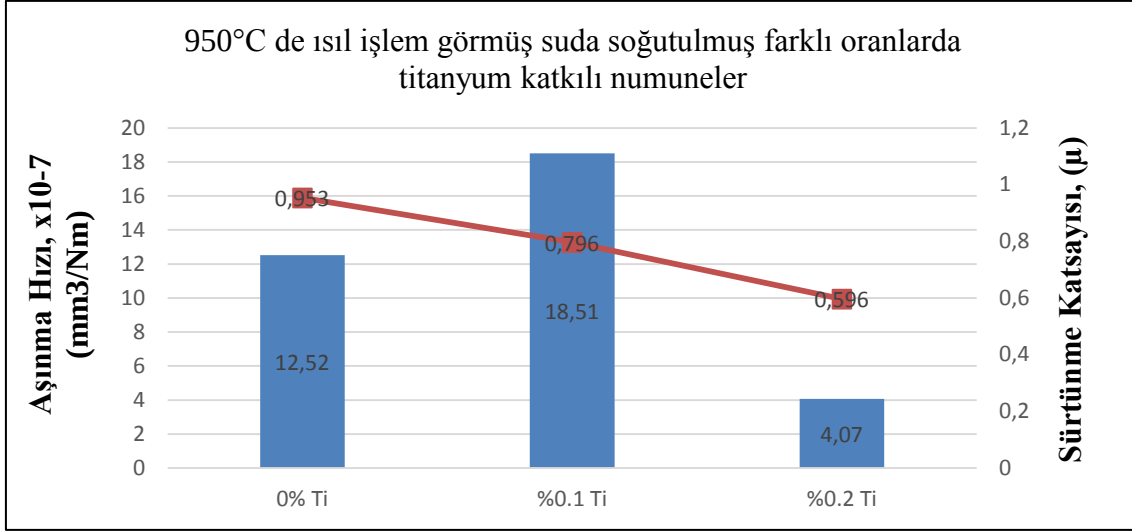
perlitin kabalaştığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.12 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin kumda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



Şekil 4.13 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin yağda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.



Şekil 4.14 950°C’de ısıt işlem görmüş belirli titanyum oranlarına sahip numunelerin suda soğutulması sonucu ölçülen aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerleri.

950°C’de ısıt işlem görmüş numunelerin aşınma hızı ve su verme ortamına göre değişimleri incelendiğinde en iyi performansların titanyum katkısız numunenin ve ağ. %0.2 titanyumlu numunelerde olduğu görülmektedir. Soğutma ortamının değişmesi ile beraber titanyum katkısız numunelerde herhangi bir değişim görülmemektedir. 650°C ve 750°C’de olduğu gibi ağ. %0.1’lik titanyum içeren numunelerdeki titanyum karbür çökeltilerinin yeterince büyük olmadığı veya boyut olarak, döküm sırasında da kaynaklanabilecek bazı sebeplerden dolayı kritik büyüklüğe ulaşamadığı düşünülmektedir. Çökeltilerin homojen olmayan dağılımı da bu tür bir etki ile sonuçlanabilir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada 650°C, 750°C ve 950°C’lerde, titanyum katkısız, ağ. %0.1 ve ağ. %0.2 titanyum içeren numunelerin anılan sıcaklıklardaki ısıtıl işleminden sonra suda yağda ve kumda su verilmeleri sonucu mikroyapılarında, sertliklerinde ve aşınma değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Aşağıdaki genel sonuçlar bu çalışmayı özetlemektedir.

1. Hemen hemen bütün sıcaklıklarda ağ. %0.1 titanyum katkılı numunelerde gerek sertlik değerleri gerekse aşınma değerleri açısından diğerlerinde göre daha az umut verici bir sonuç elde edilmiştir. Bu nedenle ısıtıl işlem rejiminden bağımsız olması titanyum karbür çökeltilerinin kritik boyutun altında olduğuna inandırmaktadır.
2. Aşınma ve sertlik değerleri titanyum içermeyen numunelerin genel olarak daha iyi sonuç verdiğini ancak kum gibi yavaş soğumayı destekleyen bir ısıtıl işlem rejiminde bazen aşınma hızının yükselebileceğini gösterebilmektedir.
3. Mikroyapı incelemeleri genellikle 950°C’de yapılan ısıtıl işlem sonuçlarının daha sert morfoloji ile sonuçlandığını ancak 650°C’lik ısıtıl işlem rejiminde su vermede dahi bu sert morfolojilerin ciddi oranda artmadığı görülmektedir.
4. Sonuç olarak artan titanyum oranı ile beraber olarak bu çeliklerin daha iyi aşınma direncine sahip olduğu suda su verme yerine yağda su vermenin uygun olduğuna ve ısıtıl işlem sıcaklığının 950°C olarak uygulanmasının iyi sonuç vereceğine kanaat getirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- American Society for Metals Handbook (1993). Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys.
- American Society for Metals International (1993). Chapter 15 Steels: Processing, Structure, and Performance, High-Carbon Steels: Fully Pearlitic Microstructures and Applications.
- American Society for Metals Handbook (1993). 8. Edition, Volume 7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloy, Microstructure of Titanium and Titanium Alloys, 321.
- American Society for Metals Handbook (1993). Heat Treatments of Steels, 10th edition.
- American Society for Metals International (2006). Practical Heat Treating: Second Edition.
- Bhushan, B. (2000). Modern Tribology Handbook, CRC Yayınevi.
- Bhushan, B. (2002). Introduction to Tribology. *Wear*, **12**: 332-333.
- Çavuşoğlu, E.N. (1992). Döküm Teknolojisi 1. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Ofset Atölyesi.
- Demirkaya, E. (2017). Düşük Karbonlu Çelikten Üretilmiş Büyük Hacimli Bir İş Makinesi Parçasının Simülasyon Tekniği İle Tasarımı ve Üretiminin Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Ersümer, A., Uzunova, T. (1967). Demir Dökümü. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Erbayık, M. (2012). Çelik Dökümlerin Tamir Bakım Kaynakları Ve Ultrasonik Muayenesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.
- Hannane, N. (1989). Einflub der Prozeßparameter bei der Thermomechanischen Behanadlungsmikroligierter Stähle für Flachprodukte, Dissertation, RWTH Aachen.

- Harman, F. (2003), Çeliğin Isıl İşleminin Teorik ve Pratik Esasları. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Maalekian, M. (2007). The effects of alloying elements on steels (I), Christian Doppler Laboratory for Early Stages of Precipitation, Oct.
- Kuzkaya M. S. (2013). Yüksek Karbonlu Bir Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine İzotermal Tavlamanın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- MEB (2011). Metalurji Teknolojisi Dökme Çelik, Ankara.
- Meydan, O. (2017). 20MnB₄ Özel Alaşımlı Çelik Tel Çubuklarının Haddelenmesi Esnasındaki Soğuma Hızının ve Serme Kafa Sıcaklığının Tufal Yapısına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Muscat, D. (1993). Titanium Carbide/Aluminum Composites by Melt Infiltration, PhD Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Onaran K., (2009), Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, 11.Baskı, Eskişehir.
- Fila P., Martinek L., Balcar M., Bazan J., Adolf Z. (2004). Evaluation of Super Clean Steels According to Chemical Composition, ISSN 0543-5846.
- Radovic N., Koprivica A., Glisic D., Fadel A., Drobnjak D. (2010). Influence of Cr, Mn and Mo on Structure and properties of V Microalloyed Medium Carbon Forging Steels, Association of Metallurgical Engineers of Serbia, Scientific Paper, UDC: 669.15'26'74'28-194.
- Rudyuk S. I., Feldman E. I., Chernov E. I. and Korobeinik. (1974). Effect of Sulfur and Phosphorus on the Properties of Steel 18B, UDC 669.14:669-122.4, Ukrainian Scientific-Research Institute of Metals. *Metallovedenie Termieheskaya Obrabotka Metallov*, **12**: 50-52.
- Savaşkan T. (2009). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Schwartz, M.M. (1984). Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, Newyork.
- Schwartz, M.M. (1997). Composite Materials, Processing, Fabrication and Appplication, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Song, G. M., Zhou, Y. and Wang, Y. J. (2003). Effect of carbide articles on the ablation

properties of tungsten composites, *Materials Characterization*, **50**: 293–303.

Topbaş, A. M. (1998). Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Ekim Ofset Yayınları, 553, İstanbul.

Turgut O. K. (2013). Ç1040 Çeliklerinde Isıl İşlem ve Kaynağın Mekanik Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Uluç C. (2006). Dolu Kalıba Döküm Teknolojisi Ve Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uzkut, M., Özdemir, İ., (2001). Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **3**: 65-73.

Üçkardeşler A. (2013). Çelik Dökümlerde Borlama Isıl İşleminin Abrasif Aşınma Direnci Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yang C., Glodowski J.R. (2012). Research, Production and application of V-N microalloyed high strength reinforcing bar for building in China, Central Iron & Steel Research Institute No.76, XueYuanNanLu Beijing 10081, P. R. China, Technical Services Stratcor Inc. 4955 Steubenville Pike Pittsburg, PA 15205 USA.

Yıldızlı, K., Odabaş, D. ve Nair, F. (2003). Borlanmış AISI 1020 çeliğinin eroziv aşınma davranışlarının incelenmesi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **6**: 131-139.

William D.C. and David G.R. (2013), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayıncılık, Ankara.

İnternet Kaynakları

1) <http://www.haddemetal.com>, 17.01.2019



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Anıl KAMBAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 07.12.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 5078890835 / anilkambak@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara İncirli Lisesi, (2005-2007)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, (2008-2012)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, (2014-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : SİGMA YDA MAKİMSAN BURKAY İş Ortaklığı, (2013- Devam ediyor)