



**32CrB4 VE 1006 ÇELİKLERİ İÇİN
KÜRESELLEŞTİRME SONRASI MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Emre NAYİR

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fatih AYDIN**

**32CrB4 VE 1006 ÇELİKLERİ İÇİN KÜRESELLEŞTİRME SONRASI
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Emre NAYİR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Fatih AYDIN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

OCAK 2023

Emre NAYİR tarafından hazırlanan “32CrB4 VE 1006 ÇELİKLERİ İÇİN KÜRESELLEŞTİRME SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Fatih AYDIN

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Engin ÇEVİK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Fatih AYDIN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ (BŞEÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emre NAYİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

32CrB4 VE 1006 ÇELİKLERİ İÇİN KÜRESELLEŞTİRME SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Emre NAYİR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Fatih AYDIN

Ocak 2023, 41 sayfa

Bağlantı elemanları yapımında kullanılan 32CrB4 ve 1006 kalite çeliklere küreselleştirme yapılmadan önceki mikroyapı karakteristikleri ve mekanik özellikleri ile küreselleştirme sonrası mikroyapı karakteristikleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 32CrB4 kalite çelikte görülen mikroyapıda malzemede yer alan %C içeriğiyle uyumlu olarak ferrit-perlit yapısı görüldüğü ve yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. 1006 kalite tavllanmış çelikte görülen mikroyapıda malzemede yer alan %C içeriğiyle paralel olarak ferrit ağırlıklı yapı görüldüğü ve 1006 kalite çelik numunesinde yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda az miktarda da olsa perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. Kimyasal kompozisyonları birbirinden farklı iki kalite için

yapılan küreselleştirme tavlama sonucunda, 32CrB4 ve 1006 kalite çeliğin mukavemet ve sertliğinde dikkate değer düşüş gerçekleştiği görülmektedir.

Anahtar Sözcükler : 32CrB4 çelik, 1006 çelik, küreselleştirme ve mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 91514

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AFTER SPHEROIDIZATION FOR 32CrB4 AND 1006 STEELS

Emre NAYİR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Fatih AYDIN

January 2023, 41 pages

The microstructure characteristics and mechanical properties of 32CrB4 and 1006 quality steels used in the production of fasteners before spheroidization and microstructural characteristics and mechanical properties after spheroidization were investigated. In the microstructure seen in 32CrB4 quality steel, it is seen that the ferrite-pearlite structure is compatible with the %C content in the material and as a result of the spheroidization process, the cementite arms in the pearlite grains are broken and take a spherical form in the microstructures representing the annealed state of the coil. It is seen that in the microstructure of 1006 grade annealed steel, ferrite-weighted structure is observed in parallel with the %C content in the material, and as a result of the spheroidization process performed on the 1006 grade steel sample, in the microstructures representing the annealed state of the coil, although a small amount, the cementite branches in the pearlite grains are broken and take a spherical form. As a result of spheroidization annealing for two grades with different chemical

compositions, it is observed that the strength and hardness of 32CrB4 and 1006 grade steels decreased significantly.

Key Word : 32CrB4 Steel, 1006 Steel, Spheroidizing and Mechanical Properties.

Science Code : 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Fatih AYDIN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KARDEMİR AŞ’de görev yapmakta olup, tüm yardımseverliğiyle çalışmaya katkı sağlayan çalışma arkadaşlarıma yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu sürece son noktayı koyana dek sabırla, inançla, özveriyle çalışmanın çeşitli noktalarında emeği geçen, ismini sayamadığım tüm arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ediyorum.

Dünyaya geldiğim andan itibaren her türlü mutluluğu ve üzüntüyü birlikte yaşadığım, her zaman daha da güzel işler yapabileceğime inandıran anneme, babama ve kardeşime desteklerinin karşılıklarını her zaman verebilmeyi temenni ederim. Var oluşlarından dolayı minnettarlık duyuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KANGAL ÇELİĞİ ÜRETİM SAFHALARI	3
2.1. YÜKSEK FIRIN	3
2.1.1. Yüksek Fırın Prosesi	5
2.2. KÜKÜRT GİDERME	6
2.3. ÇELİK YAPIM SÜRECİ	6
2.3.1. Çelik Yapım Sürecinin Tarihi Gelişimi	6
2.3.2. Oksijen Konverteri Metodu	8
2.3.3. Konverter Prosesi.....	9
2.3.4. İkincil Metalurji	11
2.4. SÜREKLİ DÖKÜM	12
2.5. HADDEHANELER	13
2.6. ÇELİK İÇİN UYGULANAN BAZI ISIL İŞLEMLER	14
2.6.1. Tavlama	14
2.6.2. Normalizasyon Tavı	15
2.6.3. Gerilim Giderme Tavı	16
2.6.4. Küreselleştirme Tavı	16

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	19
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1. KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASI	19
3.2. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	19
3.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	19
3.4. ÇEKME DENEYİ	20
 BÖLÜM 4	 21
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	21
4.1. KİMYASAL KOMPOZİSYON	21
4.2. MİKROYAPI KARAKTERİZASYON ANALİZ SONUÇLARI	22
4.3. DEKARBÜRİZASYON ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI	27
4.4. SERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI	28
4.5. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	30
4.6. KIRIK YÜZEY İNCELEMELERİ	33
 BÖLÜM 5	 35
SONUÇLAR	35
 KAYNAKLAR	 37
 ÖZGEÇMİŞ	 41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yüksek fırın bölgeleri.....	5
Şekil 2.2. Konverter tipik şematik kesiti.	9
Şekil 2.3. Kangal görüntüleri.....	14
Şekil 2.4. Tavlama işleminin şematik gösterimi.	15
Şekil 2.5. Gerilim giderme tavlaması.	16
Şekil 2.6. a) Ferrit matris içerisinde sementit kollarının uzanması ile oluşan perlitik mikroyapı ve b) bu yapının küreselleştirme tavlaması ile ferrit matris içerisinde küresel sementit yapısına dönüşümü.	17
Şekil 2.7. Çan tipi tav fırını.	18
Şekil 4.1. 32CrB4 numunenin tavsız optik mikroskop görüntüsü.	22
Şekil 4.2. 32CrB4 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavlı.....	23
Şekil 4.3. 32CrB4 numunenin SEM görüntüleri a) tavsız, b) tavlı.	23
Şekil 4.4. 32CrB4 numunenin tavlı SEM görüntüsü.	24
Şekil 4.5. 1006 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavsız.	25
Şekil 4.6. 1006 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavlı.	25
Şekil 4.7. 1006 kalite kangalın SEM görüntüleri a) tavsız b) tavlı.	26
Şekil 4.8. Tavllanmış 1006 numunenin SEM görüntüsü.....	26
Şekil 4.9. 32CrB4 numunenin dekarbürizasyon görünteleri a) tavsız b) tavlı.	27
Şekil 4.10. 1006 numunenin dekarbürizasyon görünteleri a) tavsız b) tavlı.....	28
Şekil 4.11. 32CrB4 numunenin sertlik ölçüm değerleri.....	29
Şekil 4.12. 1006 numunenin sertlik ölçüm değerleri.	29
Şekil 4.13. 32CrB4 numunenin akma ve çekme deneyi ölçüm değerleri.	31
Şekil 4.14. 32CrB4 numunenin % uzama ölçüm değerleri.....	31
Şekil 4.15. 1006 numunenin akma ve çekme deneyi ölçüm değerleri.....	32
Şekil 4.16. 1006 numunenin % uzama ölçüm değerleri.	32
Şekil 4.17. Çekme testi sonrası tavsız numunelerin kırık yüzeyleri a) 1006 ve b) 32CrB4 Çekme testi sonrası tavlı numunelerin kırık yüzeyleri c) 1006 ve d) 32CrB4.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. 32CrB4 numunenin kimyasal kompozisyon değerleri.....	21
Çizelge 4.2. 1006 numunenin kimyasal kompozisyon değerleri.	21
Çizelge 4.3 32CrB4 numunenin EDX analizi.	24
Çizelge 4.4. 1006 numunenin EDX analizi.....	26
Çizelge 4.5. 32CrB4 ve 1006 kalite çeliklerin sertlik değerleri.	28
Çizelge 4.6. 32CrB4 numunenin akma ve çekme deney sonuçları.....	30
Çizelge 4.7. 1006 numunenin akma ve çekme deney sonuçları.	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
Si	: Silisyum
Mn	: Manganez
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
P	: Fosfor
B	: Bor
N	: Azot
Fe	: Demir
SiO ₂	: Silika
Fe ₂ O ₃	: Hematit
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit

KISALTMALAR

KARDEMİR	: Karabük Demir Çelik A.Ş
⁰ C	: Santigrat Derece
Atm	: Atmosfer
HBW	: Brinell
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
N	: Newton

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çelikler, demir elementi ile % 0,02 ile %2,1 içeren karbon (C) miktarı bileşiminden oluşan sertleşebilir ve dövülebilir bir alaşımdır. %2,1'den fazla C içeriğine sahip malzemeler dökme demir diye adlandırılır. Çelikler kullanım yerlerine veya özelliklerine; kompozisyona, üretim metoduna, piyasaya sunulduğu kesit şekillerine, kullanım yerlerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kompozisyonuna göre çelik sınıflandırılması çelik alaşımı içeriğindeki C miktarlarına göre yapılmaktadır.

%0,2'ye kadar C içeren çelikler düşük karbonlu çelik olarak adlandırılmaktadır. Genellikle yassı mamuller, temel yapılarda ve inşaat endüstrisinde kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük karbonlu çeliklerdir. % 0,2-0,5 arasında C içeren çeliklere orta karbonlu çelikler denilmektedir. C muhtevasına göre orta seviyede mekanik özelliklere sahiptirler. Orta karbonlu çeliklerin en önemli özellikleri ısıtılma işlemiyle yeterince sertleştirilebilmeleridir. Genellikle makine imalat endüstrisinde tercih edilmektedir. % 0,5'dan daha fazla C içeren çelikler yüksek karbonlu çelikler olarak adlandırılmaktadır. Yüksek dayanıma sahip ve sünekliği az olan çeliklerdir. Isıl işlemler ile sertlik değerleri yükseltilebilir. Yüksek karbonlu çelikler kesici özelliğe sahiptirler. Genellikle takım üretiminde kullanılırlar.

Bu çalışmada bağlantı elemanlarına girdi olarak kullanılan 1006 ve 32CrB4 çelik kalitelerine sahip kangallara küreselleştirme tavlama uygulanmıştır. Söz konusu kangallar soğuk presleme ile cıvata şeklini aldığı için küreselleştirme tavlama ihtiyacı duyulmaktadır.

Tez kapsamında çalışması yapılan 1006 ve 32CrB4 kalite çeliklere küreselleştirme tavlaması uygulanmış ve kangal numunelerinin sertlik ölçümleri, çekme deneyi ve mikroyapıları incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KANGAL ÇELİĞİ ÜRETİM SAFHALARI

Entegre demir çelik tesisinde kangal çeliği üretim safhaları; yüksek fırın, kükürt giderme, konverter, pota fırını, sürekli döküm ve haddehane prosesleri olarak sıralanabilir.

2.1. YÜKSEK FIRIN

Yüksek fırınlar, demir cevherinin geçirdiği prosesler sonucunda sıvı ham demir haline getirildiği tesislerdir. Yüksek fırınlar entegre demir çelik fabrikalarının ana üreticisi durumundadır. Yüksek fırın tesislerinde parça cevher, pelet ve sinter gibi demirli hammaddeler ile, kireçtaşı, dolomit gibi cüruf yapıcı olarak adlandırılan malzemelerin metalurjik kok ile ergitilerek çelik üretim prosesinin ihtiyacı olan sıvı ham demir üretilmektedir [1].

Yüksek fırın ve elektrik ark ocağı olmak üzere çelik üretiminde kullanılan iki farklı metod vardır. Çelik üretiminde kullanılan bu iki yöntemi birbirinden ayıran en büyük özellik kullanılan hammaddelerdir. Yüksek fırınlar prosesinde kok kömürü redükleyici kaynak kullanılarak, sinter, pelet ve parça cevherden çelik üretimi gerçekleştirilir. Elektrik ark ocağı prosesinde elektrik enerjisi ile hurda ergitme işlemi yapılarak çelik üretimi gerçekleştirilir. Günümüzde dünyada üretilen çeliğin yaklaşık olarak %70'i yüksek fırınlar prosesi ile üretilmektedir [2, 3].

Yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demir içinde bulunan kükürt (S), silisyum (Si), manganez (Mn) ve fosfor (P) gibi elementler üretilen çeliğin kalitesine göre belirli bir oran üzerinde istenmezler. Bu elementlerin istenilen orana getirilme işlemi çelikhane tesislerinde gerçekleştirilir. Sıvı ham demir içerisindeki bileşenlerin genel olarak istenilen oran aralıkları:

- %0,3-0,7 Si
- %0,2-0,4 Mn
- %0,06-0,08 veya %0,1-0,013 P şeklindedir [1].

Bu oranların haricinde çelikhanede gerçekleşecek olan işlemlerin kolay olması için sıcaklığın da mümkün olduğunca yüksek olması istenilmektedir.

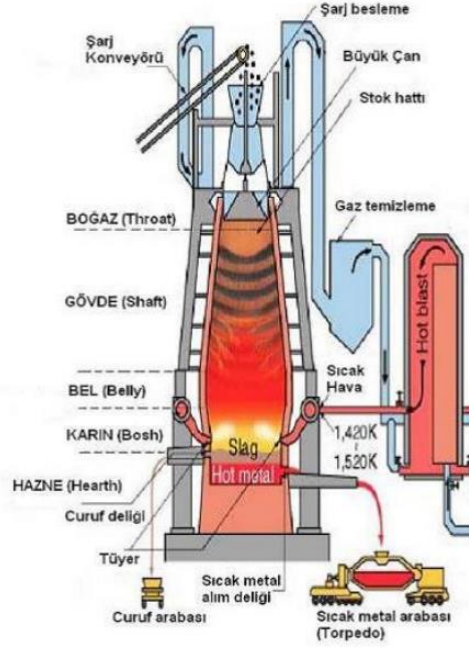
Yüksek fırın prosesinde demirli hammaddeler ve redükleyiciler ile sıvı ham demir oluşumu sağlanır. Cüruf, demir cevherlerinin içeriğindeki istenmeyen minerallerinden ve koktan meydana gelir. Sıvı ham demir ve cüruf birbiriyle karışmaz ve yoğunluk farkı sebebiyle cüruf sıvı ham demirin üstünde kalır [4, 5].

Şekil 2.1’ de görüldüğü üzere yüksek fırınlar konik bir şekle sahip olup, yukarıdan aşağıya olan yapısı aşağıda gösterilmektedir:

- Kok ve cevher katmanları,
- Ergime ve yumuşama bölgeleri,
- Sadece kok, cüruf ve sıvı ham demir bulunduğu aktif olan kok bölgesi,
- Hazne bölgesinde bulunan sabit kok desteği (Ölü adam)

Yüksek fırının kısımları ise şu şekildedir:

- Boğaz (girdi olarak kullanılan hammadde yükünün üst seviyesi),
- Gövde (cevherin ısıtılıp redüksiyonun başlangıç bölgesi),
- Karın (erime ve son cüruf işlemi tamamlandığı bölge),
- Hazne (sıvı ham demirin biriktiği ve döküm alınan bölge)



Şekil 2.1. Yüksek fırın bölgeleri [1].

2.1.1. Yüksek Fırın Prosesi

Sobalarda yaklaşık olarak 1200 °C'ye ısıtılan hava, başta sıcak hava simidine akabinde ise tüyerler vasıtasıyla fırının içerisine üflenir. Fırının hacmine göre yaklaşık olarak 12 veya 42 adet bakır malzemeden oluşan konik yapıda tüyer bulunmaktadır. Fırın içerisine üflenerek sıcak hava, metalurjik kok ve diğer C esaslı malzemeler ile reaksiyona girer. Yüksek bir basınç ve yüksek bir sıcaklıkta fırın içerisine gönderilen hava ile tüyer önünde yanma bölgesi oluşturulur. Şarj tesisi, yüksek fırına şarj edilecek olan demirli malzeme ve metalurjik kokun bulunduğu yerdir. Şarj edilecek malzeme önce elenir ve daha sonra tartım işlemi gerçekleştirilerek yüksek fırınlara gönderilir. Yüksek fırına şarj edilecek malzemeler vagonetler vasıtasıyla fırın tepesine taşınır ve bant vasıtasıyla otomatik olarak metalurjik kok ve demirli malzeme ayrı katman olacak şekilde şarj işlemi yapılır. Yüksek fırında proses sonucu oluşan tepe gazının toplandığı bölüme gaz temizleme adı edilir. Meydana gelen gaz birçok parça içerir ve kirli bir gazdır. Kirli bir gaz olmasından dolayı öncelikle toz toplama işlemi akabin de ise yıkama işlemine tabii tutulur [6, 7]. Sıvı ham demir ve cürufun döküm deliğinden alındığı

kısma ise döküm holü adı verilir [8]. Granüle cüruf, ise döküm sonrası ayrılan cürufun su vasıtasıyla hızlı soğutularak meydana getirildiği kısımdır.

2.2. KÜKÜRT GİDERME

Yüksek fırın prosesinden sonra, sıvı ham demir içerisinde istenmeyen S elementinin uzaklaştırılması gereklidir. S tane sınırlarında birikme eğilimi göstermesi sebebiyle mukavemet düşüklüğüne neden olur. Kaynaklanabilirliği ve sünekliliği azaltır. Mekanik özelliklere olumsuz etkisi vardır. Düşük Mn çeliklerde sıcak yırtılmaya sebep olur. Bu nedenle sürekli döküm tesisine gelmeden önce sıvı ham demir içerisinde S elementinin uzaklaştırılması gereklidir [9]. Kükürt giderme tesisinde torpedo veya potalarda bulunan sıvı ham demir azot gazı ile birlikte mikronize kireç ve granule magnezyum ile kükürt giderme işlemi uygulanır.

Sıvı ham demir içindeki S, kireç ve magnezyum ile reaksiyona girerek cüruf meydana gelir. S içeriğine sahip olan cüruf sıyırma işlemi ile sıvı ham demir içerisinde uzaklaştırılır [10-11]. Sıvı ham demir içeriğinde bulunan S miktarına göre granüle magnezyum oranı değişmektedir. Sıvı ham demirde kükürt giderme işlemi bitirildikten sonra çelik üretim tesislerine gönderilmektedir.

2.3. ÇELİK YAPIM SÜRECİ

Çelik yapım sürecinde, Bessemer tipi fırınlardan günümüze kadar gerçekleşen ilerlemeler ile günümüzde yaygın olarak kullanılan üstten üflemler, su soğutmalı oksijen lans sistemine haiz bazik oksijen fırınlarında çelik üretim süreci kademelerine ilişkin temel bilgiler aşağıda verilmiştir [12].

2.3.1. Çelik Yapım Sürecinin Tarihi Gelişimi

İngiliz Patent Enstitüsü tarafından 1856 yılında Henry Bessemer'in 1292 patent numaralı buluşunun kabulü neticesinde, hava üflemler konverteler vasıtasıyla ton mertebesinde ticari çelik üretim süreci başlamıştır. Bessemer üretim süreci, tüyer vasıtasıyla sıvı ham demir içerisine hava üflenerek gerçekleştirilmekteydi. İlk

süreçte sadece asidik cevherden meydana gelen Fe_2O_3 (hematit) demir kullanımı sağlanmaktaydı [13].

1879 yılında ise Thomas Sydney Gilschrit tarafından bazik cüruf oluşturan katran bağlı bazik dolomit kaplı konverterler ile üretim yapılmaya başlanılmıştır. Konverterlerin bazik cüruf koşullarında çalışabilmesi adına ve geniş P ilgisi nedeniyle yüksek miktarlarda Avrupa cevherinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Sıvı ham demir içeriğinde bulunan P ve S konverter sürecinde cürufa geçmesi sağlanmıştır. 1930 yılında ise Linde–Frankel tarafından ton mertebesinde O_2 kullanımı sağlanmıştır. 1930 yılında Linde-Frankel tarafından oksijenin ticari anlamda kullanılması sağlanmış ancak oksijenin yaygın bir şekilde kullanımı adına ilk öneri Bessemer tarafından sunulmuştur [14].

Sıvı metal ile oksijenin reaksiyonu sonucu oluşan $2500\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkan yüksek sıcaklıklar sebebi ile üfleme sisteminde değişiklik yapılması ihtiyacı hasıl olmuştur. Başta yapılan araştırmalarda oksijen ile zenginleştirilmiş hava ve CO_2 veya su buharı ile O_2 kullanımı ile üfleme ve daldırma pratikleri denemesi gerçekleştirilmiştir. 1968 yılında hidrokarbon korumalı tüyerler bulunarak geniş anlamda işletme ünitelerinde kullanılmaya başlanılmıştır. 1950'li yıllarda “Thomas Metodu” yerini Avusturya’ da “Linz” ve “Donawitz” işletmelerinde kullanılmaya başlayan “LD Oksijen Konverter” ya da “Bazik Oksijen Konverter” metodu almış bulunmaktadır. Bu metodun adı işletmelerin ilk harflerinden esinlenerek L-D metodu olarak adlandırılmıştır. Başta gerçekleştirilen yatırım masrafları, Siemens-Martin metoduna göre daha yüksek olmasına rağmen çelik üretim masrafları daha düşüktür. Bu sebeple, LD metodu günümüzde çelik üretiminde daha fazla tercih edilen ve sürekli gelişen bir metod haline gelmiş olup, günümüzde dünya çelik üretiminde yaklaşık olarak % 70 çelik üretimi payına sahiptir [15, 16].

Çalışma prensipleri aynı olan ancak farklı şekillerde çelik üretim metodları bulunmaktadır. Bu metodların en yaygın olanları;

- Bessemer metodu,
- Thomas metodu,

- S-M metodu,
- Elektrik enerjisi ile çelik üretim metodu,
- LD (oksijen konverteri) çelik üretim metodu [17].

2.3.2. Oksijen Konverteri Metodu

Temiz ve yüksek vasıflı çelik üretimi için en uygun çelik üretim metodlarından biridir. Konverter olarak adlandırılan sistemde sıvı ham demir üzerinde %99,5-%99,8 oranındaki saflığa sahip O₂ üflenmesi ile sıvı ham demir içindeki %4 oranındaki C seviyesi yaklaşık olarak %0,01 seviyesinin de altına kadar düşürülmektedir. Sıvı ham demir içerisinde bulunan C, P, Mn ve Si elementlerinin oksijen ile tepkimeye girmesi ile oksitlenmesi sonucunda çıkan ısı, çeliğin sıcaklığını artırır, bu sebeple oksijen üfleme esnasında yüksek sıcaklığı engellemek için, hurda adı verilen soğutucu olarak kullanılan malzeme ilave edilir.

Hurda ilavesinin yanı sıra demir cevheri, kireçtaşı gibi malzemeler de konvertere şarj yapılmaktadır. Yüksek fırın ile sıvı ham demir üretimi yapılan yerlerde bu metod önemli bir yere sahiptir. Konvertere yaklaşık olarak şarj malzemesinin %30'una kadar hurda şarjı kullanımına imkan vermektedir [18].

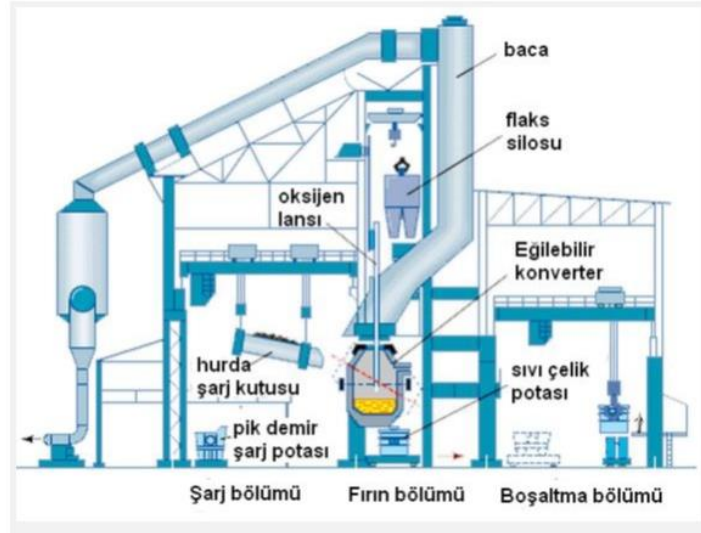
Bu çelik üretim prosesinin dünya genelinde kullanım hızının artmasındaki etkenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Birim zamanda üretilen çelik miktarının diğer proseslerle karşılaştırıldığında daha yüksek olması.
- Yüksek tonajlara sahip tesislerin kurulumu.
- Sarf edilen refrakterin daha az olması.
- Çelik üretim maliyeti olarak diğer üretim metodlarına göre daha az olması.
- Çalışan personel sayısının diğer metodlara göre daha az olması ve bu sebeple kişi başı üretilen miktarın daha yüksek olması.
- Üretilen çelik kalitesinin yüksek olması.
- Dezavantaj olarak adlandırılacak husus ise tesisin yatırım maliyetinin diğer proseslere göre daha fazla olması.

2.3.3. Konverter Prosesi

Konverter için birincil hammadde yüksek fırında üretilen sıvı ham demirdir. Yaklaşık olarak %80 veya daha fazla sıvı ham demir ve yaklaşık olarak % 20'si çelik hurdadır. Bunlar konvertere şarj edilir. O₂, konvertere çok yüksek hızlarda üflenir. O₂ sıvı ham demirde bulunan C ve Si oksitler ve hurdayı eriten büyük miktarlarda ısıyı serbest bırakır. Bu işlemde kullanılan eritken esas olarak kalsine kireçtir (CaO içeriği %92'den fazladır). Bu kireç, düşük SiO₂ içeriğine sahip kireçtaşının kalsine edilmesiyle üretilir. CO konverterden çıkarken yanması sonrası da ısıyı banyoya geri iletir. Konverterin ürünü, yaklaşık 1650 °C sıcaklıkta belirli bir kimyasal analize sahip sıvı çeliktir.

Bir konverter dönüştürücünün kapasitesi (ısı boyutu) 30ton ile 400ton arasında değişir, ancak dönüştürücülerin çoğu 100-250ton aralığındadır. Konverter ısıtması süresi yaklaşık 40-50 dakikadır ve bunun %50'si O₂ üfleme süresidir. Bu durumda ham çelikten sevk edilen ürüne kadar olan verimler, sonraki haddelenmiş çelik kalitesi üzerinde çok büyük faydalı etkiye sahiptir [19]. Şekil 2.2'de konverter tipik şematik kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Konverter tipik şematik kesiti [20].

Konverterde bir ısının başlamasından önce sıvı ham demir tartılır. Kimyasal analiz ve sıcaklık için örneklenir. Bu veriler, kalite spesifikasyonları ile birlikte gerekli

hurda, cüruf yapıcı malzemeler ve O₂ miktarını hesaplamak için kullanılır. Bu miktarlar ayrıca Si, C vb. seviyelerine ve sıvı ham demirin sıcaklığına da bağlıdır. Çünkü safsızlıkların oksidasyonu ile üretilen ısı, hurdayı, sıcak metali gerekli sıcaklığa getirme gereksinimlerini dengelemelidir. Modern çelik eritme konverterlerinde, bir bilgisayar şarj modelleri, sıvı ham demir sıcaklığı ve kimyasal analiz yapıldıktan sonra, hurda ve sıvı ham demirin optimum oranlarını, akı ilavelerini, boru yüksekliğini ve oksijen üfleme süresini belirler.

Konverter yükleme bölmesine doğru yaklaşık 45° eğildiğinde bir ısı başlar ve önceden tartılan hurda yükü, hurda yükleme vinci yardımıyla bir hurda yükleme kutusundan konverterin ağzına doldurulur. Sıvı ham demir, bir yükleme vinci tarafından bir transfer potasından doğrudan hurdanın üzerine doğru dökülür [21]. Şarj işlemi yaklaşık olarak 2-3 dakika sürer. Konverter şarj işleminden sonra, dikey konuma döndürülür, lans konverterin altından yaklaşık 2,5 m ila 3,0 m yukarıya indirilir. Bu lans vasıtasıyla O₂, şarj karışımına üflenir. Lans, şarj karışımına yüksek hızda O₂ üfler ve reaksiyonlar başlar. Reaksiyondan gelen CO yanarak CO₂ dönüştüğünde konverterin ağzında parlak bir alev meydana gelir. Kullanılan O₂ miktarı, üretilen ham çelik ton başına yaklaşık 55-60 m³'tür. Lansın sıvı metal üzerindeki yüksekliği, üfleme özellikleri ve çeliğin analizi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İşlem, konverterdeki metal seviyesinin yaklaşık 3 m üzerinde olan yüksek üfleme konumunda başlar. Birkaç dakika sonra cüruf yapıcılar eklendikten, yeterli cüruf oluşuktan sonra lans düşük üfleme pozisyonuna getirilmektedir. Lansın ergimiş metal üzerindeki yüksekliği, üfleme özellikleri ve çeliğin analizi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İşlem, dönüştürücüdeki metal seviyesinin yaklaşık 3 m üzerinde olan yüksek üfleme konumunda lans ile başlar. Birkaç dakika sonra, cüruf yapıcılar eklenir. Yeterli cüruf oluşuktan sonra lans düşük üfleme pozisyonuna indirilir. Lansın sıvı metal üzerindeki yüksekliği, üfleme özellikleri ve çeliğin analizi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Ateşlemeden sonra tartılan kireç/dolomit akıları konvertere baş üstü bunkerlerden atılır. Bunlar cürufu oluşturan cüruf yapıcıdırlardır. Hızlı cüruf oluşumunu desteklemek için kalsine kireç kullanılır. Ham kireçtaşı kullanılmışsa, kalsinasyonu işlemde ısıyı emecektir. Gereken herhangi bir demir cevheri (sıcaklığı ayarlamak için), üfleme devam ederken akı yükünün geri kalanıyla eklenir.

Sıvı ham demirden gelen Si oksitlenerek SiO_2 oluşturduğundan bu kısa sürede boğulur. Bu işlem de lansı saran gazlı erimiş bir cüruf oluşturmak için bazik akışlarla reaksiyona girer. Gaz öncelikle sıvı ham demirdeki C'dan gelen CO oluşturur. Gaz çıkış hızı, dönüştürücünün hacminin birçok katıdır, özellikle cüruf çok viskoz ise, cürufun konverterin ağzına doğru kayması sık görülen bir durumdur. Üfleme, metalik yük kimyasına ve sıvı çelik spesifikasyonuna bağlı olarak önceden belirlenmiş bir süre boyunca devam eder. Bu tipik olarak 15 ila 20 dakikadır ve lans genellikle üfleme periyodu sırasında farklı yüksekliklere hareket etmek üzere önceden programlanmıştır. Lans daha sonra yükseltilir, böylece konverterden, numune almak ve sıcaklığın alınması için şarj bölmesine doğru döndürülebilir. Pnömatik tüp ile çelik test laboratuvarına bir çelik numunesi gönderilir. Ayrıca tek kullanımlık termo çiftler yardımıyla sıvı çeliğin sıcaklığı ölçülür. Sıcaklık ve analiz temelinde, daha fazla ayarlamamanın gerekli olup olmadığına karar verilir. Sıcaklığı gerekli kılavuz çekme sıcaklığına düşürmek için soğutma sıvısı eklenebilir. Analizi düzeltmek veya sıcaklığı artırmak ya da her ikisini birden yapmak için kısa bir O_2 üflemesi olabilir. Testler ve sıcaklık okumaları uygun olduğunda konverter, kılavuz çekme konumuna eğilir.

Kireçtaşı, hurda, demir cevheri, sinter ve doğrudan indirgenmiş demir, aşırı üflenmiş ve aşırı sıcak bir ısıya eklenebilecek potansiyel soğutuculardır. Ekonomik açıdan, her işletme kendisine ait bir seçimi belirler [22].

2.3.4. İkincil Metalurji

Konverter ya da elektrik ark ocakları gibi bir birincil çelik üretim aşamasından geçtikten sonra, yüksek kalite veya özel uygulamalar için erimiş çelik, ikincil (pota) metalurjisi olarak bilinen bir dizi alternatif işlemde daha fazla rafine edilir. Pota metalurjisine ikincil çelik üretimi adı da verilir. Pota metalurjisinin sıkı kontrolü ile çeliğin kimyasal toleransların ve tutarlılığın dar olduğu yüksek dereceli çeliklerin üretilmesiyle ilişkilidir [23, 24].

Pota metalurjisinin temel amaçları aşağıdaki gibidir:

Homojenizasyon – Potadaki sıvı çeliğin kimyasal bileşiminin ve sıcaklığının homojenleştirilmesi.

Deoksidizasyon– Oksijenin uzaklaştırılması.

Sıcaklık Ayarı - Sıvı çeliğin sürekli döküm için uygun bir sıcaklığa ısıtılması

Ferro alaşımlar ve karbon ilaveleri – Sıvı çeliğin kimyasalında gerekli düzenlemeleri yapmak.

Vakum altında gaz giderme – Hidrojen ve nitrojenin uzaklaştırılması.

Dekarburizasyon – Belirli çelik kalitelerinin gerekliliklerini karşılamak için karbonun uzaklaştırılması.

Kükürt giderme – Kükürt konsantrasyonlarının %0,002'ye kadar düşürülmesi.

Mikro temizlik – İstenmeyen metalik olmayan elementlerin uzaklaştırılması.

Dahil etme morfolojisi – Çeliğin mikro yapısını iyileştirmek için kalan safsızlıkların bileşimini değiştirme.

Mekanik özellikler – Tokluk ve süneklik özelliklerde iyileştirme [23, 25].

2.4. SÜREKLİ DÖKÜM

İngot döküm 1900 yıllarında yüksek maliyetlere sahipti, fakat zamanın şartları ve teknolojisi, daha fazlası için henüz hazır değildi. 1800'lü yılların ortalarında ilk sürekli döküm patenti alınsa da endüstriyel hale gelmesi için hala zamana ihtiyaç duyuyordu. 1933-1937 yıllarında ilk olarak alüminyum ve bakır alaşımlı çeliklerin dökümü yapıldı. 1940-1946 yıllarında ise Almanya ve Amerika'daki gelişmeler sayesinde düşey ile dikey kalıp teknolojilerinde gelişmeler yaşandı. 1954'te ilk dikey slab döküm makinesi döküm işlemine başladı [26].

1963 yılında ise ilk eğimli kalıp kullanılmaya başlandı. 1960'lı yılların sonlarına doğru artık bazik oksijen fırınlarındaki gelişmeler neticesinde sürekli döküm, artık ingot dökümün yerini almaya başlamıştır. Diğer ülkelere göre bu durum Amerika'da, biraz daha gecikmeli gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ülkede mevcut durumda bulunan ingot tesisleri idi. Ancak 1870 yıllarında sürekli dökümün çelik üretimindeki payı yaklaşık olarak %4 iken günümüzde %90 seviyelerindedir [27].

Sürekli döküm, ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın işletme maliyetleri

açısından ingot döküme göre oldukça avantajlıdır. Daha fazla üretim, daha yüksek verim, daha kaliteli üretim diğer avantajlardan bazılarıdır. Zamanla farklı kesitlerde üretimler yapılmış olup, kütük, slab, blum bunlardan en bilinenleridir.

2.5. HADDEHANELER

Son ünite veya nihai ürün belirleme olarak bilinen sistemdir. Haddehanelerde çelik ünitesinden gelen yarı mamuller çok değişik kullanım yerleri için istenen boyut ve biçimlerde şekillendirilirler. Üretimi yapılacak nihai ürün için son aşama haddehanelerdir. Karabük Demir Çelik A.Ş (KARDEMİR) bulunan haddehaneler aşağıdaki sıralamada verilmiştir.

- Çubuk-Kangal Haddehanesi
- Ray-Profil Hadehanesi
- Kontinü Haddehane

2.5.1. Çubuk Kangal Haddehanesi

Çelik üretecek şekilde ve ağırlıklı olarak imalat ve otomotiv sektörüne hitap edecek şekilde tasarlanmış ve yıllık kapasitesi yaklaşık olarak 700.000 ton/yıl'dır. Şekil 2.3'de üretilen kangallar gösterilmiştir. 20-100 mm ebatlarında çubuk ürünler, 8-40 mm ebatlarında nervürlü inşaat çeliği üretilebilme kabiliyetine sahiptir [28].



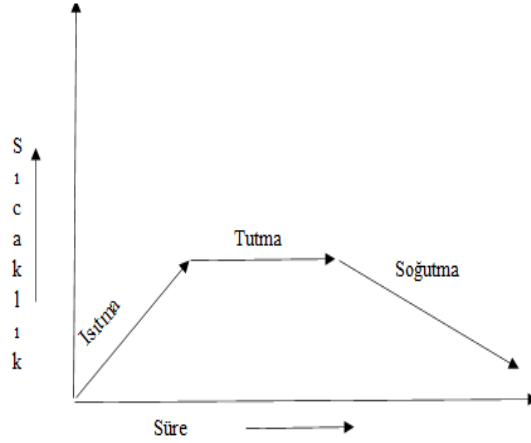
Şekil 2.3. Kangal görüntüleri.

2.6. ÇELİK İÇİN UYGULANAN BAZI ISIL İŞLEMLER

Çeliklerin iç yapısındaki meydana gelen dönüşümler, çeliklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Çeliğe sertleştirme ve tavlama uygulanan ısı işlemleri olmak üzere iki ana gruba ayırabiliriz [29]. Her malzeme için farklı ısı işlem metodları uygulanabilir. Çelik için uygulanan bazı ısı işlemleri metodları açıklanmıştır.

2.6.1. Tavlama

Tavlama, çeliklere uygulanan ısı işlem metodlarından birisidir. Bu ısı işlem metodundaki amaç malzemeyi beklenen yapısal, fiziksel, mekanik özellikleri elde edilmesi, talaş kaldırmayı ve soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmasıdır. Bunlara ilave bu ısı işlem metodu ile sünekliği ve tokluğu arttırmak, artık gerilimlerin giderilmesini sağlamak ve dayanımı düşürme ile özel iç yapıların oluşturulması işlemleri için faydalanılır [30]. Tavlama işleminin şematik hali aşağıda Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Tavlama işleminin şematik gösterimi.

Şekil 2.4’de gösterildiği şekilde tavlama işlemi sırasında çelik uygun sıcaklığa kadar ısıtılır, istenilen değişimler elde edilinceye kadar bu sıcaklıkta bekletilir. Beklemeden sonra yavaş yavaş soğutulur. Çelikler için uygulanan tavlama çeşitleri şöyle sıralanabilir:

- Normalizasyon tavlı
- Gerilim giderme tavlı
- Küreselleştirme tavlı

2.6.2. Normalizasyon Tavlı

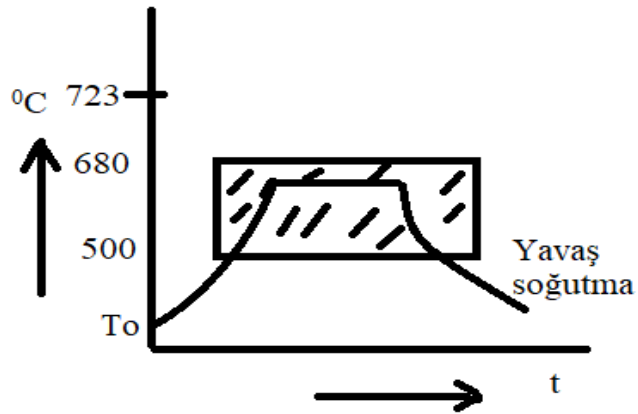
Ekonomik açıdan avantajlı olmasından dolayı normalizasyon tavlı yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulanan birtakım işlemlerin akabinde çeliğin içyapısının yeniden normal içyapı haline gelmesini sağlamak amacıyla normalizasyon tavlı yapılır. Ötektoid altı çelikler için içyapısının ince taneli, homojen dağılımlı ve yuvarlak bir yapı halini alması için yapılır. Ötektoid üstü çeliklerde sertleşme sürecini kısaltılması, kendinden sonraki küreselleştirme işlemini kolaylaştırması için yapılır [31].

Ac_3 dönüşüm sıcaklığına kadar ötektoid altı çelikler ısıtılır. Ötektoid üstü çelikleri ise A_{cm} dönüşüm sıcaklığının yaklaşık olarak 40-50 °C üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtılır. Ve bu sıcaklık değerlerinde çeliklerin östenit dönüşümü tamamlanıncaya kadar fırın içerisinde bekletilir. Dönüşüm tamamlandığında fırının

dışında havada soğutma işlemine tabi tutulur. Normalizasyon ile lamelli perlit, sementit ve ferritin dönüşümü gerçekleşir. Bu sayede normalleştirme tavı esnasında östenitin dönüşümü hızlı bir şekilde düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Dönüşen perlit ise ince yapıdadır [32].

2.6.3. Gerilim Giderme Tavı

Çelik parçalarının döküm, şekil verme ve kaynak işlemlerinde maruz kalınan gerilmeleri azaltmak amacıyla 530-630 °C aralığında bir sıcaklıkla ısıtıp daha sonra yavaş bir şekilde soğumaya bırakılması işlemine gerilim giderme tavı adı verilmektedir. Gerilim giderme işleminde esas amaç parçadaki artık iç gerilmelerin giderilmesidir [33]. Gerilim gidermeye ilişkin şematik gösterimi Şekil 2.5’de verilmiştir.

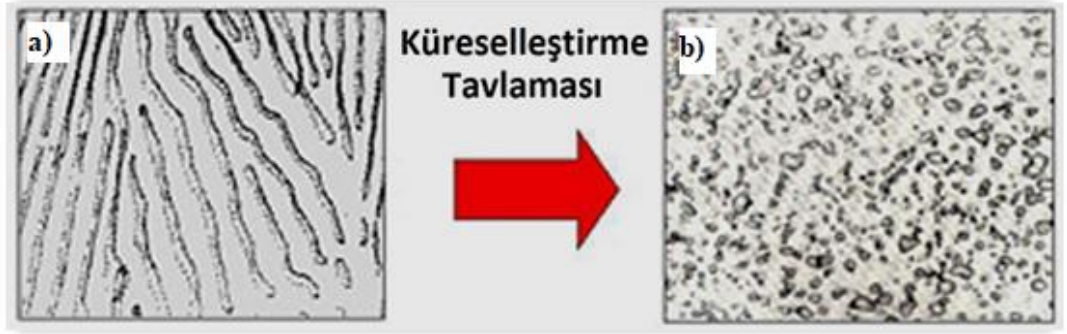


Şekil 2.5. Gerilim giderme tavlama süreci.

2.6.4. Küreselleştirme Tavı

Çeliğin mikroyapısında bulunan perlitik taneler, ferrit ve sementitin lamelli olarak diziliminden dolayı, malzemede mukavemet artışına fayda sağlamaktadır. Ancak mukavemetin yüksek olması sünekliğin düşüklüğüne, plastik şekillendirme işleminde hurda malzeme olma riskini taşımaktadır. Yüksek şekillendirme kuvvetleri ve şekillendirme ekipmanlarında meydana gelecek zararlar gibi dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu sebeple perlitik mikroyapıya sahip malzemelere, plastik şekillendirme işlemlerini düşük riskle yerine getirmeleri için küreselleştirme tavlaması yapılmaktadır. Küreselleştirme tavlaması Şekil 2.6'da gösterildiği üzere ferrit matrisi içinde uzanan sementit kollarından oluşan perlitik mikroyapıda, sementit kollarını küreselleştirerek mukavemet artıcı özelliklerini geçici olarak yok etmektedir. Böylece, lamelli yapısını kaybeden perlit taneleri şekillendirme yükünü ana faz olan ferrite vermektedir. Malzeme tamamen ferritik bir çelik gibi davranmaktadır [34-35].



Şekil 2.6. a) Ferrit matris içerisinde sementit kollarının uzanması ile oluşan perlitik mikroyapı ve b) bu yapının küreselleştirme tavlaması ile ferrit matris içerisinde küresel sementit yapısına dönüşümü.

Küreselleştirme tavlamasının etkinliği, formun karbon difüzyonu yoluyla küresel bir forma dönüşme kabiliyetine bağlıdır. Artan küreselleşme durumu, malzemenin şekillendirilebilirliğinin artmasına, sertlik ve mukavemetinin azalmasına neden olur. Şu anda, yeterli bir tavlama süresi için kriter, eksenel oranı 1:3'ten az olan küresel sementit parçacıklarına sahip bir mikro yapıdır [36,37]. Bu ısı işlem genellikle basit bir yaklaşım olarak kabul edilir; ancak bazen teknik gerçeklikle uyumsuzluk gözlemlenir. İtalya, Fransa, Almanya'dan 14 Avrupa tel işleme şirketini içeren araştırmaya göre, kusurlu ürünlerin yaklaşık %14,7'si yanlış tasarlanmış bir tavlama işlemiyle üretiliyor. Şu anda, son yıllardaki teknolojik gelişmeler nedeniyle, malzeme arıza oranları azalmıştır. Bununla birlikte, küreselleştirme tavlama işleminin ana dezavantajı, yüksek maliyetidir. Genel olarak işlem 12 saatten uzun sürebilir. Bu dezavantajlara ek olarak, kaba karbür partikülleri ile bir mikro yapı oluşumu meydana gelebilir [36,38].

Malzemenin karbon oranına göre küreselleştirme tavlama için seçilecek tav sıcaklığı belirlenmektedir. Literatürde ötektoid altı (max. 0,8 %C içerikli) çeliklerde, ötektoid reaksiyon sıcaklığının hemen altında, 700 °C’de ve tav süresi boyunca homojen olarak sıcaklık dalgalanması yapılarak sementitlerin daha küçük ve nizami küreler oluşturması sağlanmaktadır. Ticari olarak kangallara uygulanan küreselleştirme operasyonları için uygulanan çan tipi fırınlar Şekil 2.7’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Çan tipi tav fırını.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASI

Perlitik mikroyapıya sahip malzemelerde, plastik şekillendirme süreçlerindeki riski minimize etmek için küreselleştirme tavlama işlemi uygulanmaktadır. Çubuk-Kangal Haddehanesi'nde üretilen 32CrB4 ve 1006 kalite kangallara küreselleştirme tavlama işlemi uygulanmıştır. Kangallar 50 °C/saat hızla 700 °C sıcaklığa çıkarılmış, 10 saat süreyle tavlanoarak, fırında soğumaya bırakılmıştır. Mikroyapıdaki küreselleşmeler takip edilmiştir.

3.2. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

Tez içeriğinde oluşturulan 32CrB4-1006 kalite kangal çeliklerin farklı oranlarındaki malzemelerin çap 30 ve çap 42 mm, boyuda 10 mm olacak şekilde her iki numune için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Kesimler diskatom yardımıyla yapılmıştır. Metalografi kolaylığı açısından hazırlanan malzemeler reçine bakalit kalıplarına alınmıştır. Daha sonrasında 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımparalarında malzemeler zımparalanmıştır. Parlatma işlemi için parlatma keçesi cihaza yerleştirilerek yapılmıştır. Parlatmada 5µm ve 1µm' lik alümina süspansiyon kullanılmıştır. Parlatma işleminden sonra %2 nital ile dağlama işlemine geçilmiştir. Mikroyapı görüntüleme işlemlerinde optik mikroskop (Nikon) ve SEM (Carl Zeiss Ultra Plus) cihazı kullanılmıştır.

3.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Sertlik testi için numuneleri 32CrB4 ve 1006 kalite kangal numunelerinden çıkartılmış ve yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Sertlik testleri için ise

numuneler Ø30x10, Ø42x10 olarak ayarlanmıştır. QNESS marka dijital (Ø10A+) Brinell sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. 2.5 mm çaplı bilya uçlu ve 187,5 kg yük uygulanmış ve (2,5mm/187,5 kg HBW) metodu ile elde edilmiştir. Numunelere sertlik deneyi uygulanırken numunenin ölçüm yapılabilecek 4-7 farklı nokta belirlenmiş ve belirlenen bu noktalardan sertlik ölçümü yapıp bu değerlerin ortalamaları alınmıştır.

3.4. ÇEKME DENEYİ

Çekme numuneleri 32CrB4 ve 1006 kalite kangallardan elde edilmiştir. Çekme testleri için numuneler 55 mm uzunlukta kesilmiştir. Her alaşım için 3 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri ZWICK 600 kN çekme testi cihazında ve 0,5 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Çekme deneyi sonucunda SEM cihazı ile kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. KİMYASAL KOMPOZİSYON

32CrB4 Kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere kalite kartındaki değerlere uygun olarak istenilen kimyasal değer aralıklarına da uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. 32CrB4 numunenin kimyasal kompozisyon değerleri.

Döküm	Komp.	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	B
Num. 1	Kalite Kartı (Güncel)	0,30- 0,33	0,75- 0,85	0,10- 0,22	0,15 max	0,15 max	1,05- 1,15	0,1 0 ma x	0.00 08 - 0.00 5
	Numune	0,322	0,782	0,219	0,004	0,01 56	1,11 1	0,0 64	0,00 7

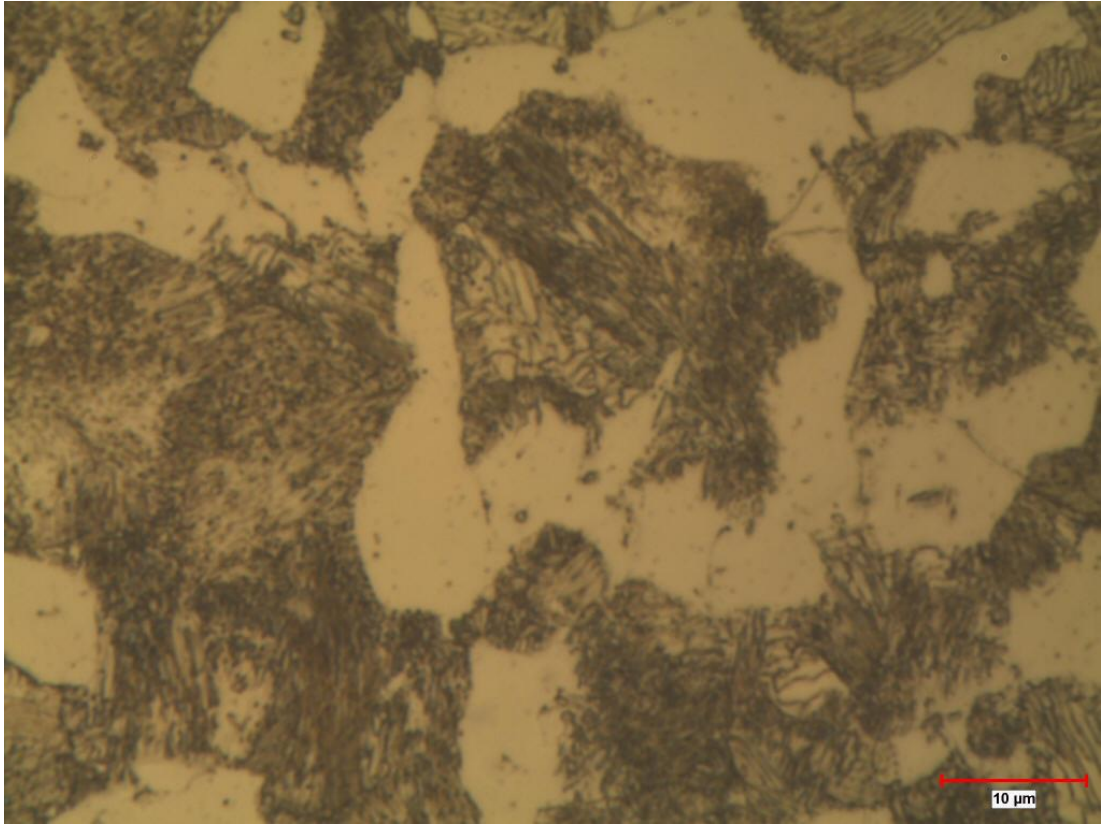
1006 kimyasal kompozisyonu aşağıdaki Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere 1006 kalite malzeme kalite kartı değerlerine uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. 1006 numunenin kimyasal kompozisyon değerleri.

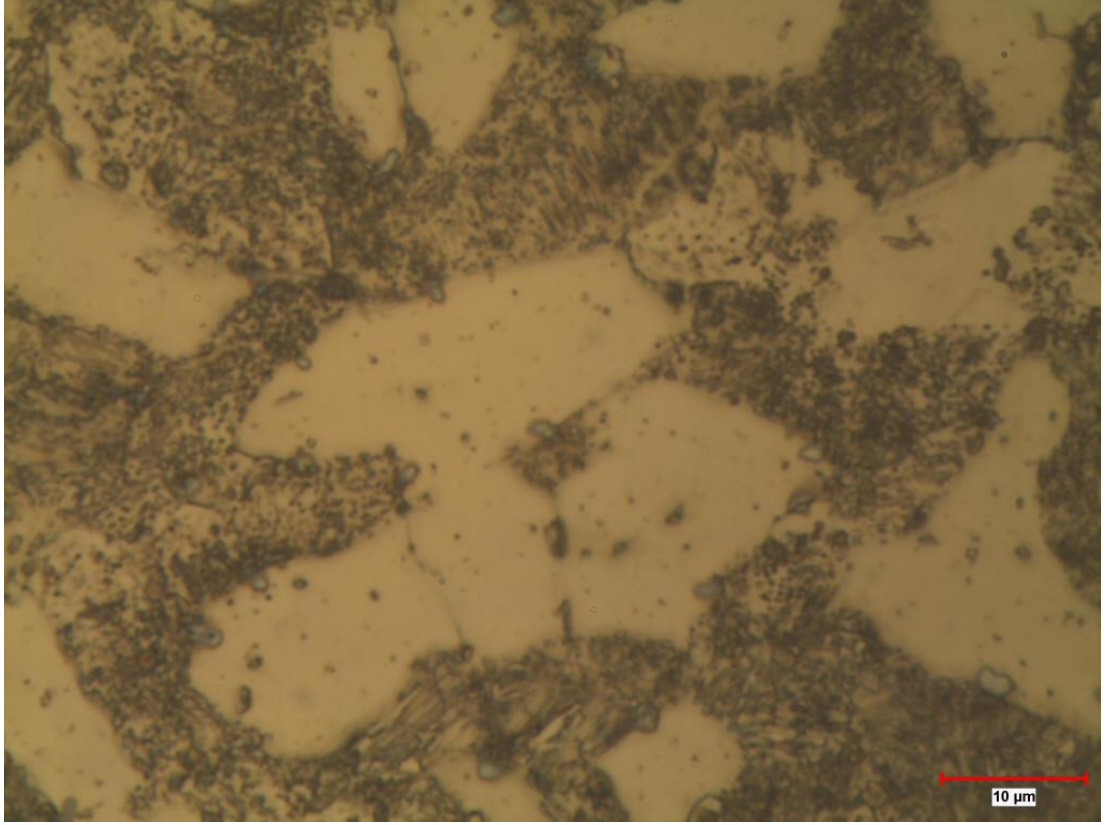
Döküm	Komp.	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu
Num. 2	Kalite Kartı (Güncel)	0,08 max	0,32- 0,40	0,10 max	0,25 max	0,25 max	-	-
	Numune	0,070	0,373	0,9	0,007	0,0182	0,029	0,063

4.2. MIKROYAPI KARAKTERİZASYON ANALİZ SONUÇLARI

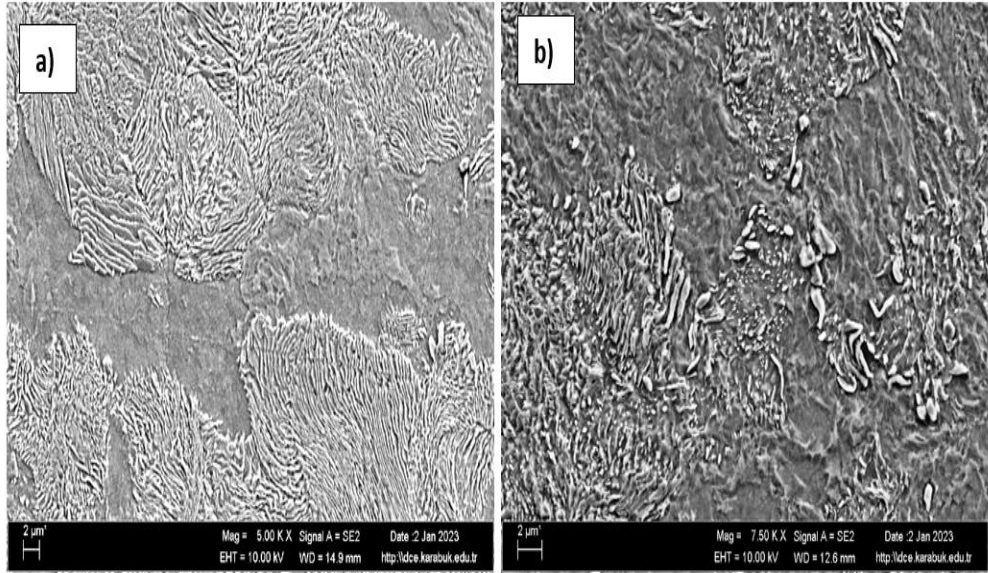
32CrB4 Kalite kangala ait Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de görülen mikroyapıda malzemede yer alan 0,322 %C içeriğiyle uyumlu olarak ferrit-perlit yapısı görülmektedir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 (b)’de yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. Yine Şekil 4.4 ve Çizelge 4.3’de tavlı numunenin (1) ve (2) noktasına göre (3) ve (4)’de karbon oranının arttığı ve bu noktalarda demir karbür oluşumu görülmektedir. Yine literatür çalışmalarında da küreselleştirme tavlama yaygın olarak ferrit ve küresel sementit elde etmek için genelde orta karbonlu çeliklere uygulanan bir ısıtım işlemi olduğu ve tavlama işleminden sonra küresel sementit elde edildiği sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir [39]. 32CrB4 malzemesinin içeriğinde yaklaşık olarak %39 perlit bulunduğu hesaplanmıştır.



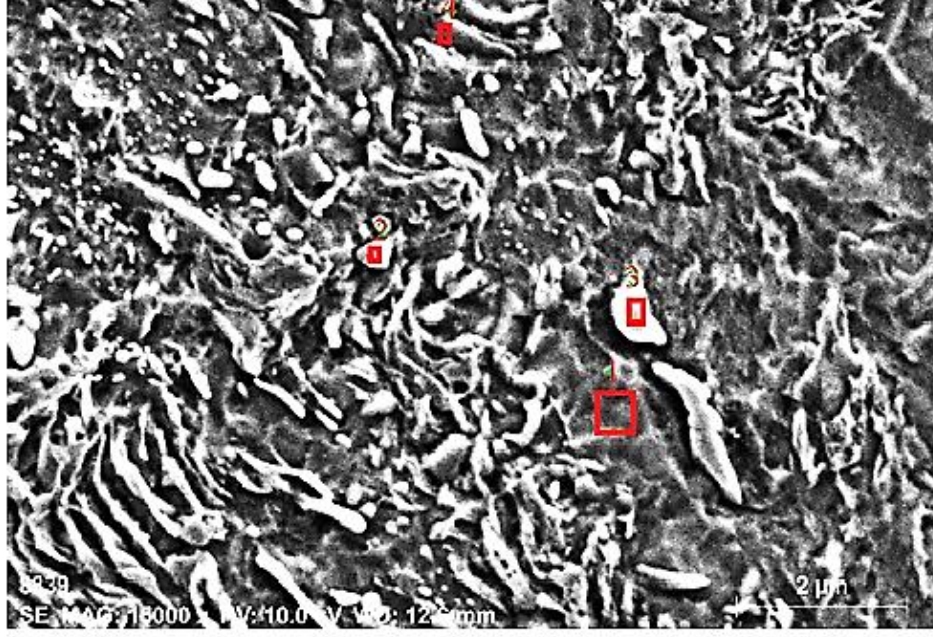
Şekil 4.1. 32CrB4 numunenin tavsız optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 4.2. 32CrB4 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavlı.



Şekil 4.3. 32CrB4 numunenin SEM görüntüleri a) tavsız, b) tavlı.

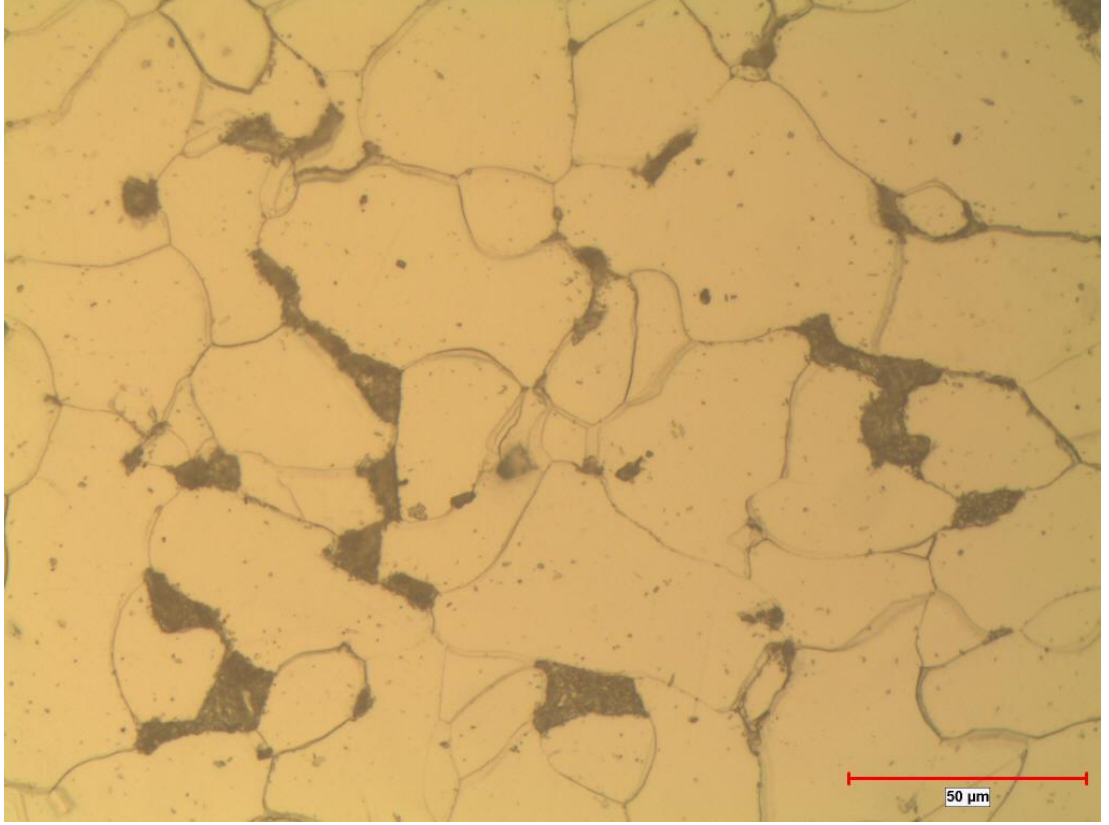


Şekil 4.4. 32CrB4 numunenin tavlı SEM görüntüsü.

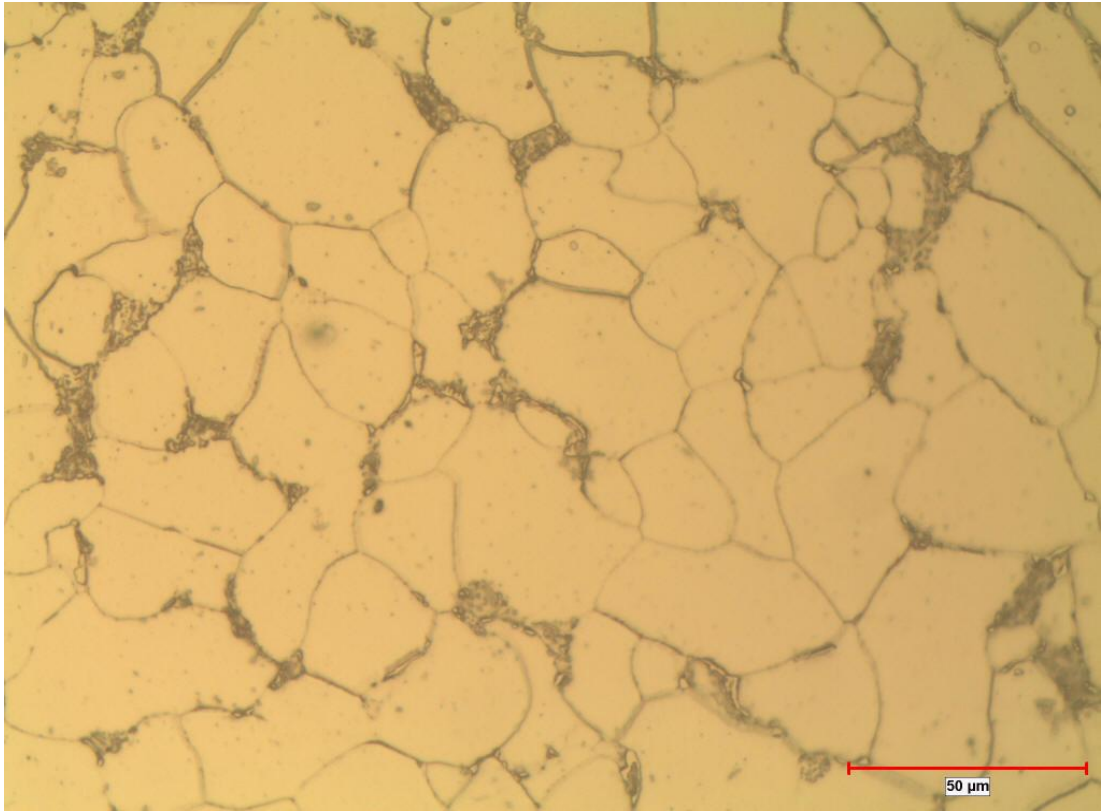
Çizelge 4.3 32CrB4 numunenin EDX analizi.

Ölçüm %	C	Si	Cr	Mn	Fe
1	3,55	0,69	0,24	1,0	94,52
2	3,26	0,24	1,3	2,08	93,08
3	9,36	0,2	0,5	0,9	89,04
4	7,78	0,31	2	1,97	87,94

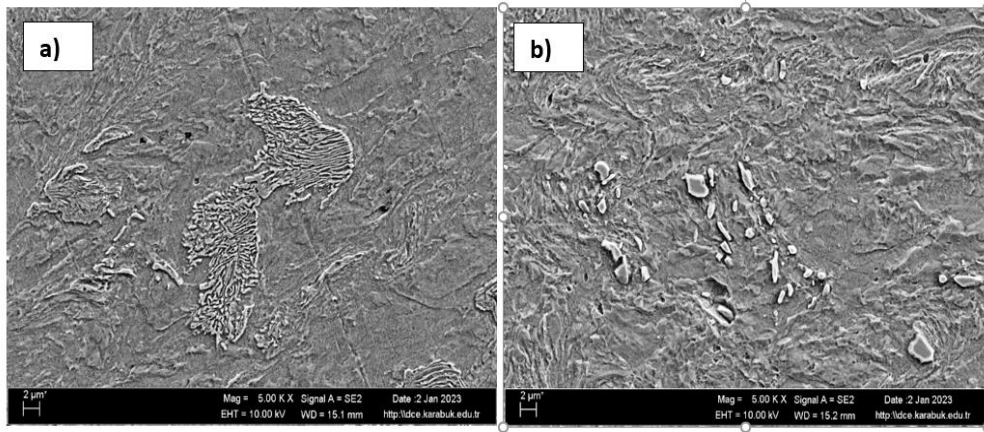
1006 Kalite tavllanmış kangala ait Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7’de görülen mikroyapıda malzemede yer alan 0,07 %C içeriğiyle paralel olarak ferrit ağırlıklı yapı görülmektedir. Küreselleştirme sonrası Şekil 4.8 ve Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere 2 ve 3 noktalarında karbon oranı arttığı görülmektedir. Bu bölgelerde Fe_3C oluşumunun gözlemlendiği söylenilebilir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 (b)’de 1006 kalite kangal numunesinde yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda az miktarda da olsa perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. Düşük karbon oranı sebebiyle, bünyesindeki perlit oranının az olduğu diğer kaliteye göre net bir şekilde mikro yapılardan görülmektedir. Perlit oranı %8 olarak hesaplanmıştır.



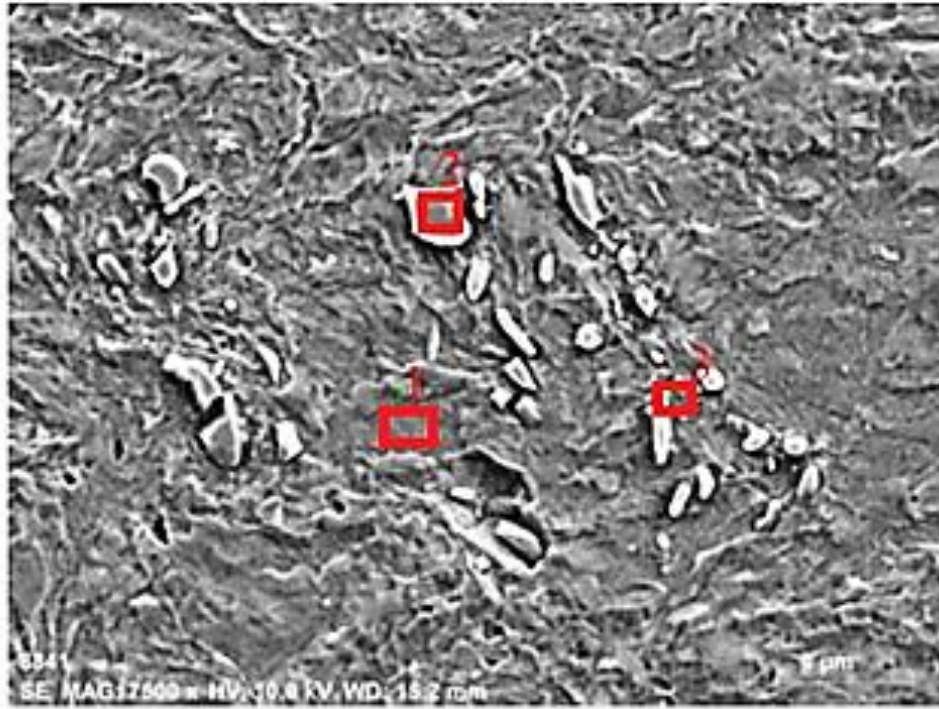
Şekil 4.5. 1006 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavsız.



Şekil 4.6. 1006 numunenin optik mikroskop görüntüsü tavlı.



Şekil 4.7. 1006 kalite kangalın SEM görüntüleri a) tavsız b) tavlı.



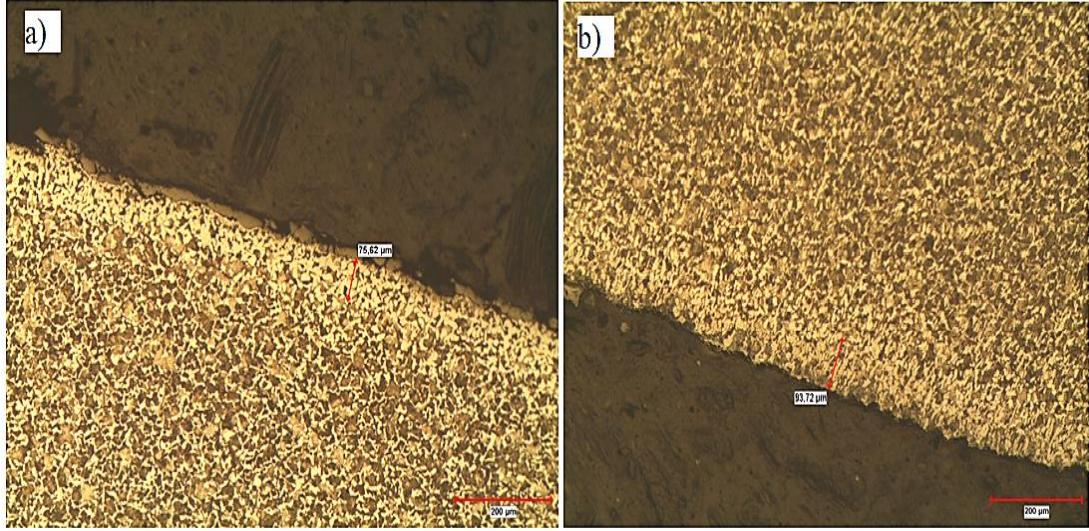
Şekil 4.8. Tavlanmış 1006 numunenin SEM görüntüsü

Çizelge 4.4. 1006 numunenin EDX analizi.

Ölçüm %	C	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
1	3,73	0,24	1,57	0,62	87,31	1,05
2	7,48	0,31	1,37	1,14	81,91	1,6
3	5,69	0,43	1,8	0,83	83,83	1,4

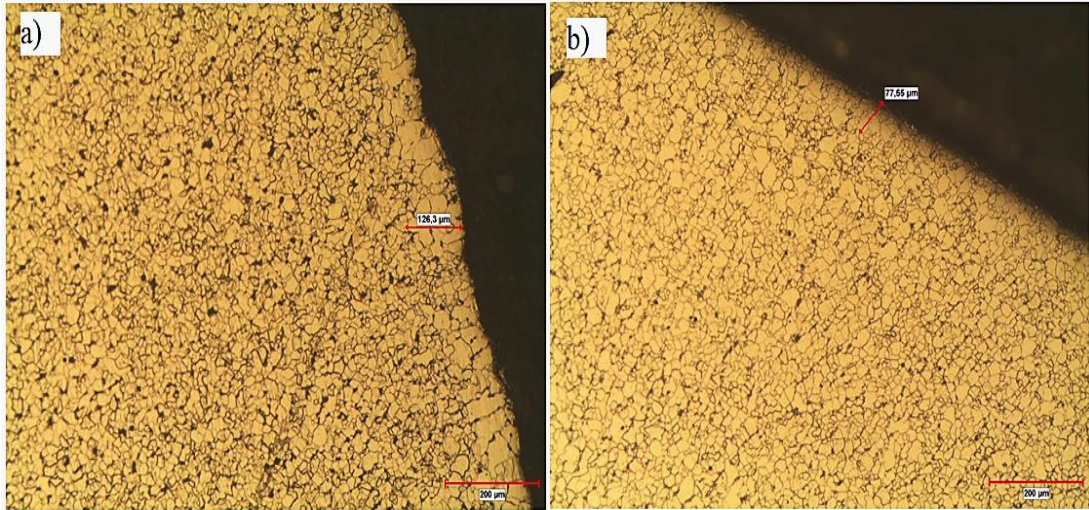
4.3. DEKARBÜRİZASYON ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

32CrB4 kalite kangala ait ısıtıl işlem yapılmamış 30 mm çapındaki numunede haddeleme sonrası dekarbürizasyon derinliği, Şekil 4.9 (a)'da görüleceği gibi 75,62 μm 'dir. Yapılan küreselleştirme tavlaması sonucunda Şekil 4.9 (b)' de bu değer kangalın dış çap bölgesinden alınan numunede 93,72 μm olarak belirlenmiştir. 32CrB4 kalite çelikte nispeten kısmi dekarbürizasyon kısımları içerdiği ve literatürden faydalanılarak kısmi dekarbürizasyonun nedeninin yüksek olasılıkla küreselleştirme süresi nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir [38].



Şekil 4.9. 32CrB4 numunenin dekarbürizasyon görüntüleri a) tavsız b) tavlı.

Isıl işlem yapılmamış 42 mm çapındaki 1006 kalite numunede haddeleme sonrası dekarbürizasyon derinliği, Şekil 4.10 (a)'da görüleceği gibi 126,3 μm 'dir. Yapılan küreselleştirme tavlaması sonucunda Şekil 4.10 (b)' de bu değer kangalın dış çap bölgesinden alınan numunede 77,55 μm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10. 1006 numunenin dekarbürizasyon görünteleri a) tavsız, b) tavlı.

4.4. SERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

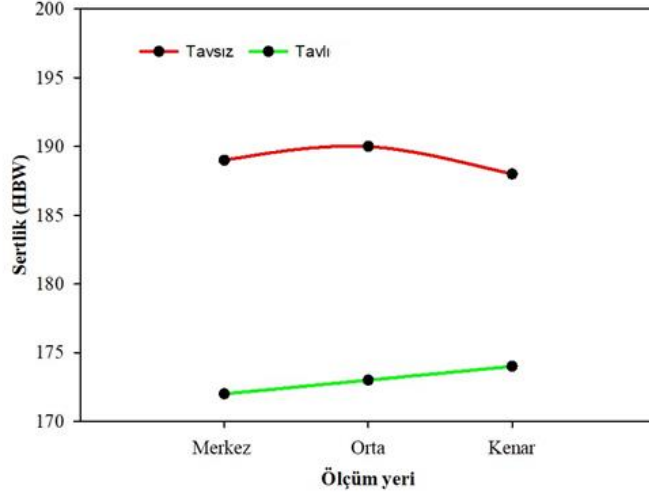
32CrB4 ve 1006 kalite çeliğe ait sertlik numuneleri alınmış ve sertlik değerleri çizelge ve şekillerde grafik olarak verilmiştir. 32CrB4 ve 1006 kalite kangala ait küreselleştirme tavlaması ile birlikte oluşan sertlik değerleri ve tavsız numuneye göre meydana gelen azalma Çizelge 4.5’ de yer almaktadır.

Çizelge 4.5. 32CrB4 ve 1006 kalite çeliklerin sertlik değerleri.

Çelik Kalitesi	Ölçüm Alınan Bölge	Sertlik Değerleri (HBW)
32CrB4	Numune-1 Tavsız	189,6±0,82
	Numune-2 Tavlı	174±3,3
	Numune-3 Tavlı	166,3±2,95
	Numune-4 Tavlı	174,3±2,16
1006	Numune-1 Tavsız	132,6±3,68
	Numune-2 Tavlı	111,6±5,80
	Numune-3 Tavlı	109,6±0,94
	Numune-4 Tavlı	109,3±2,36

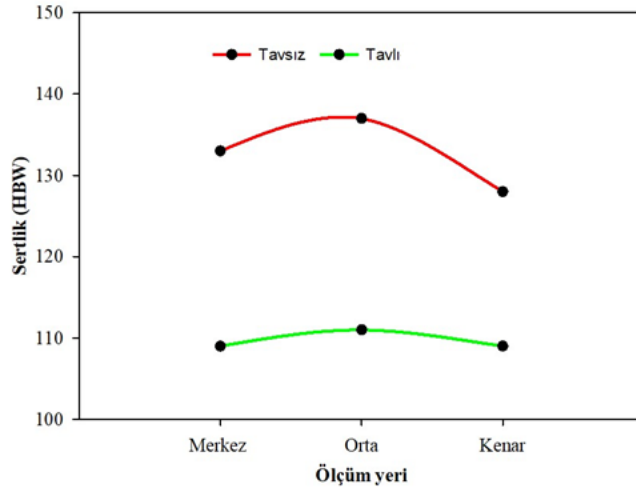
Dört farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmış ve genel olarak homojen bir sertlik dağılımı ile yaklaşık %9 düşüş gerçekleştiği hesaplanmıştır. Şekil 4.11’de ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri verilmiştir. 32CrB4 çeliği sertlik değeri karbonun hızlı difüzyonuna bağlı olarak sertlik değeri düşüş meydana geldiği söylenebilir ve

literatürde de benzer çalışmalar da küreselleştirme tavlamasından sonra orta karbonlu çeliklerin sertlik değerlerinde düşüş görülmektedir [39,40].



Şekil 4.11. 32CrB4 numunenin sertlik ölçüm değerleri.

1006 kalite kangala ait küreselleştirme tavlaması ile birlikte oluşan sertlik değerleri ve tavsız numuneye göre meydana gelen azalma Çizelge 4.5’de yer almaktadır. Şekil 4.12’de gösterildiği üzere genel olarak homojen bir sertlik dağılımı ve küreselleştirme sonrası yaklaşık %15 düşüş mevcuttur.



Şekil 4.12. 1006 numunenin sertlik ölçüm değerleri.

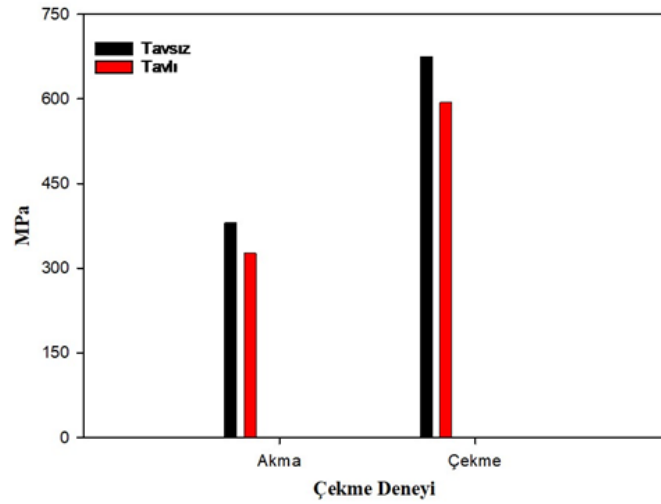
4.5. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Küreselleştirme tavlama sonucu çekme testi değerleri ve tavsız numuneye göre mukavemette meydana gelen azalma Çizelge 4.6' da yer almaktadır. Her iki numunede de genel olarak homojen bir dağılım ve çekme mukavemetinde ortalama %12 azalma mevcuttur. 32CrB4 numunesinde akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de verilmiştir.

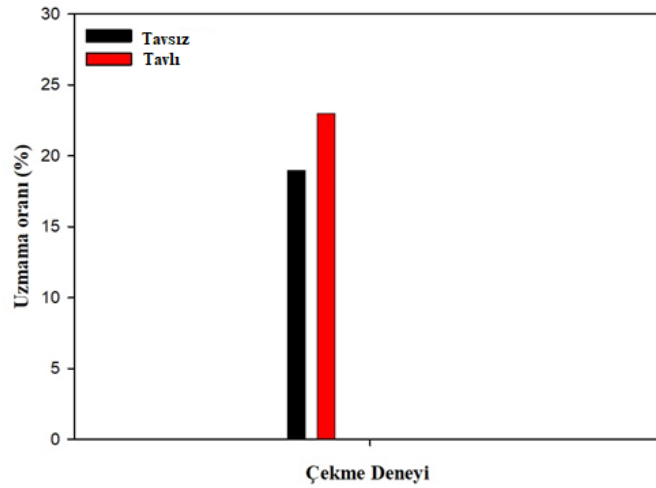
Çeliğin daha yüksek mukavemeti (akma mukavemeti ve nihai çekme mukavemeti dahil), kırılmaya kadar daha düşük uzama yüzdesi ve daha yüksek sertliği, esas olarak daha ince ferrit ve perlit mikro bileşenlerinin varlığından ve iş sertleştirme etkisinden kaynaklanmaktadır [41]. Literatürde yapılan çalışmalardan da faydalanılarak 32CrB4 numunesinin küreselleştirme sonrası mukavemetindeki düşüş, küreselleştirme tavlama sonrasında mukavemetteki dikkate değer düşüş ve süneklik artışı, iç gerilimin serbest bırakılmasına, deforme olmuş ferrit matrisinin yeniden kristalleşmesine ve katmanlı perlitin ortadan kaldırılmasına ve küreselleşmiş sementitinin oluşumundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [42,43]. Küreselleştirme işlemi sonucunda DIN EN 10263-4 standardına göre çekme mukavemeti maksimum 670 N/mm^2 olarak verilmiş olup, 32CrB4 küreselleştirme işlemi sonrası çekme mukavemetinin ortalaması yaklaşık olarak 597 N/mm^2 sonucunun da standarda uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. 32CrB4 numunenin akma ve çekme deney sonuçları.

Numune	Akma M. (MPa)	Çekme M. (MPa)	% Uzama
TAVSIZ	381±26.2	675±32.3	19
TAVLI-1	337±27	588±33.5	25
TAVLI-2	304±26.1	597±34	23
TAVLI-3	334±25.2	603±32.1	21



Şekil 4.13. 32CrB4 numunenin akma ve çekme deneyi ölçüm değerleri.

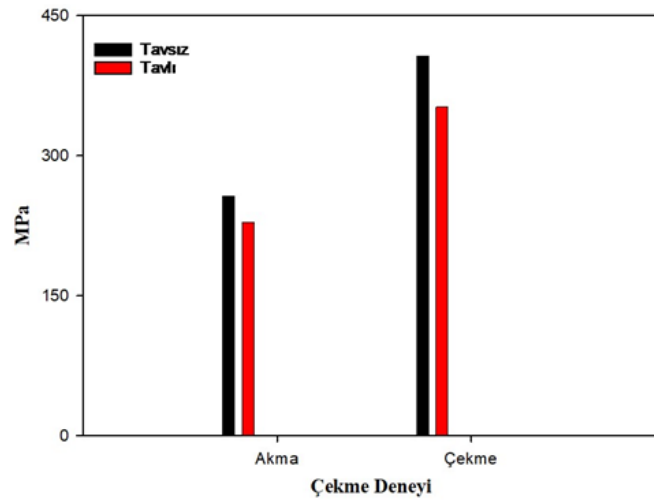


Şekil 4.14. 32CrB4 numunenin % uzama ölçüm değerleri.

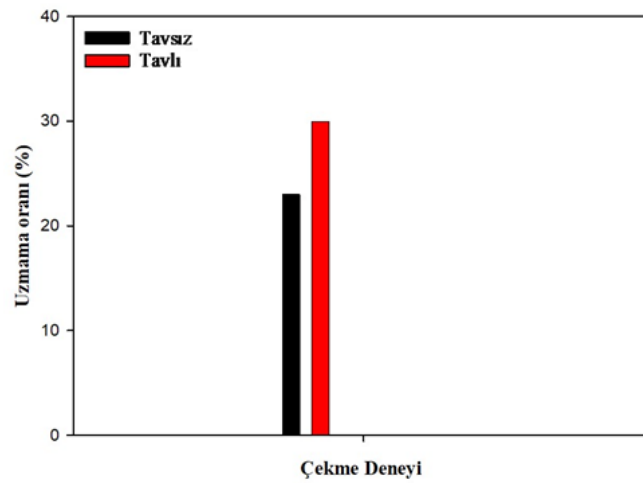
1006 kalite kangala ait küreselleştirme tavlaması sonucu çekme testi değerleri ve tavsız numuneye göre mukavemette meydana gelen azalma Çizelge 4.7’de yer almaktadır. 1006 numunesinde akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’ da verilmiştir. Genel olarak homojen bir dağılım mevcuttur ve ortalama %12 mukavemet azalması olmuştur. 1006 kalite için düşük karbon oranı sebebiyle, bünyesindeki perlit oranının az olduğu diğer kaliteye göre net bir şekilde mikro yapılardan görülmektedir. Bu duruma bağlı olarak, küreselleşen perlit miktarının az olmasından ötürü, ısıtıl işlem sonrası çekme mukavemetinde azalma görülmüştür.

Çizelge 4.7. 1006 numunenin akma ve çekme deney sonuçları.

Numune	Akma M. (MPa)	Çekme M. (MPa)	% Uzama
TAVSIZ	257±11.2	407±22.3	23
TAVLI-1	231±11.7	350±22.7	31
TAVLI-2	221±12.6	354±23.4	30
TAVLI-3	234±13	351±24.6	29



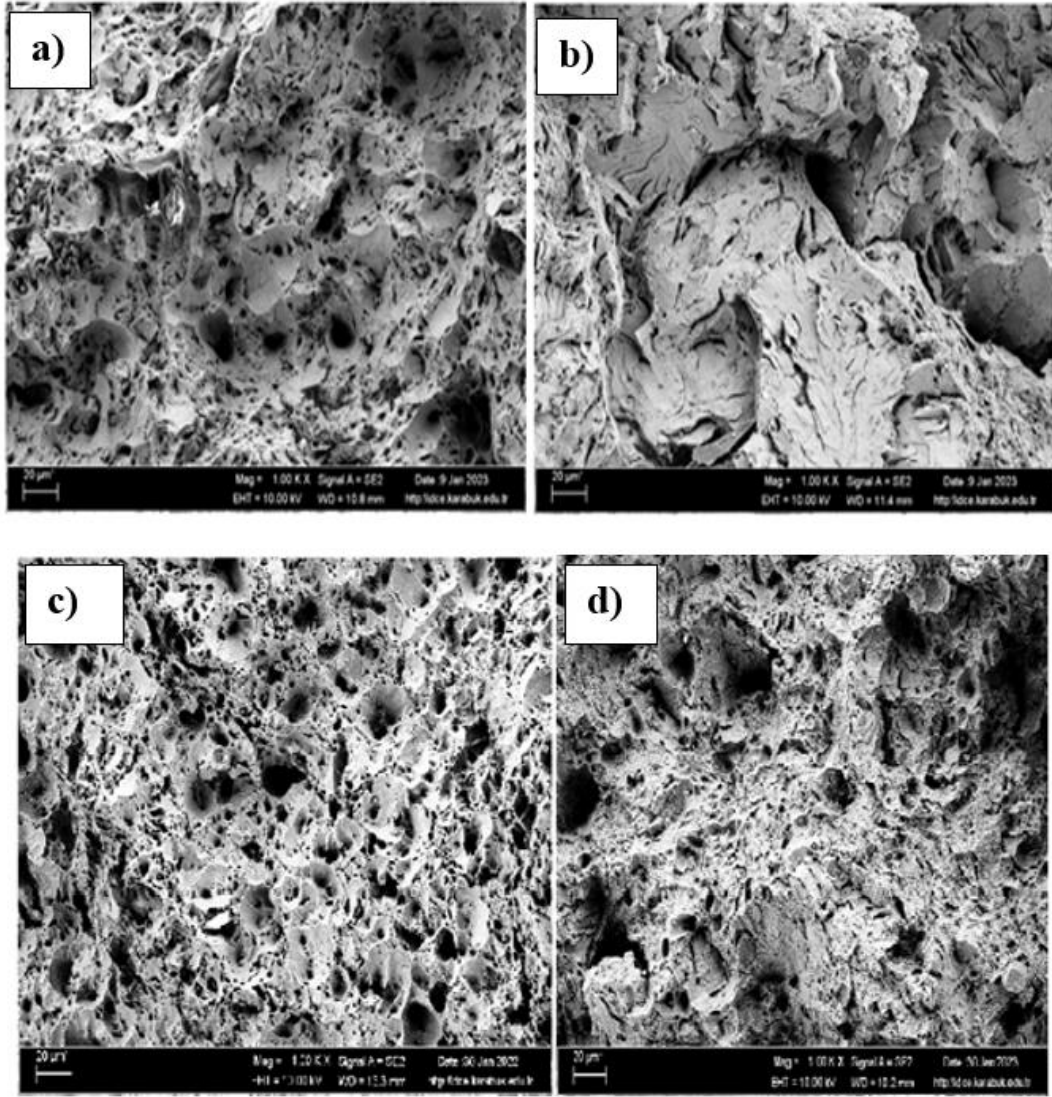
Şekil 4.15. 1006 numunenin akma ve çekme deneyi ölçüm değerleri.



Şekil 4.16. 1006 numunenin % uzama ölçüm değerleri.

4.6. KIRIK YÜZEY İNCELEMELERİ

Çekme testi sonrası metalik numunelerin kırık yüzeyleri araştırmacılar tarafından yaygın olarak incelenmektedir. Kırık yüzey incelemeleri sonrasında malzemenin sünek ve gevrek kırılma gibi hasar mekanizmaları ortaya çıkmaktadır [44,45,46]. Bu çalışmada 1006 ve 32CrB4 çelikleri için ısıtılıp işlemsiz ve işlenmiş numunelere ait kırık yüzey incelemeleri gerçekleştirilmiştir ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Şekil 4.17 (a) ve (c)’de 1006 çeliğinin kırık yüzeyinde çok sayıda çukurun (dimple) varlığı görülmektedir. Çukurların varlığı sünek kırılma modunu göstermektedir. Sünek kırılmada yüksek oranda plastik deformasyon gerçekleştiği bilinmektedir [47]. Literatürde sünek kırılmada mikro boşlukların birleşmesinin büyük boyutlu çukurlara dönüştüğü rapor edilmiştir [48]. Şekil 4.17 (b)’de 32CrB4 çeliğinin kırık yüzeyinde bulunan klivaj düzlemlerinin baskın mekanizmanın gevrek kırılma olduğunu göstermektedir [49,50]. Şekil 17 (d)’de küreselleştirme sonrası daha sünek kırılma olduğu görülmektedir. 32CrB4 çeliği için C oranının artması, mekanik özellikleri arttırmış fakat süneklik değerlerinde azalmaya sebep olduğu için kırılma modu gevrek kırılmaya dönmüştür.



Şekil 4.17. Çekme testi sonrası tavnırsız numunelerin kırık yüzeyleri a) 1006 ve b) 32CrB4 Çekme testi sonrası tavlı numunelerin kırık yüzeyleri c) 1006 ve d) 32CrB4.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 2 farklı kalite çeliklere (1006 ve 32CrB4) uygulanan küreselleştirme tavlaması sonucunda çeliklerin mikroyapı, kırık yüzey ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

- 32CrB4 kalite kangalda görülen mikroyapıda malzemede yer alan 0,322 %C içeriğiyle uyumlu olarak ferrit-perlit yapısı görüldüğü ve yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. 1006 kalite tavllanmış kangal görülen mikroyapıda malzemede yer alan 0,07 %C içeriğiyle paralel olarak ferrit ağırlıklı yapı görüldüğü ve 1006 kalite kangal numunesinde yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlı halini temsil eden mikroyapılarda az miktarda da olsa perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir. Küreselleştirme tavlaması yaygın olarak ferrit ve küresel sementit elde etmek için genelde orta karbonlu çeliklere uygulanan bir ısıtma işlem yöntemi olduğu ve 32CrB4 kalite kangal için istenilen benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.
- Kimyasal kompozisyonları birbirinden farklı iki kalite için yapılan küreselleştirme tavlaması sonucunda, 32CrB4 kalite çeliğin mukavemetindeki %12 düşüş, iç gerilimin serbest bırakılmasına, deforme olmuş ferrit matrisinin yeniden kristalleşmesine ve katmanlı perlitin ortadan kaldırılmasına ve küreselleşmiş sementitin oluşumuna kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.
- Numunelerin dekarbürizasyon değerlerine genel olarak bakıldığında, ısıtma işlem sonrasında 32CrB4 kalite çelikte daha yüksek olduğu, ısıtma işlem sonrasında 1006 kalite çelikte daha düşük dekarbürizasyon derinliği meydana geldiği görülmektedir. Deneme yapılan fırının izolasyonu ve numunelerin kangalın farklı bölgelerinden alındığı dikkate alınarak bakıldığında, yapılan ısıtma işlemle

birlikte marjinal bir dekarbürizasyon olmadığı ifade edilebilir. 32CrB4 kalite çelikte nispeten kısmi dekarbürizasyon kısımları içerdiği ve kısmi dekarbürizasyonun nedeninin yüksek olasılıkla küreselleştirme süresinden meydana geldiği öngörülmektedir.

- Ayrıca küreselleştirme tavlama ile birlikte 1006 kalite için düşük karbon oranı sebebiyle, bünyesindeki perlit oranının az olduğu diğer kalitelere göre net bir şekilde mikro yapılardan görülmektedir. 32CrB4 kalite numuneler göz önüne alındığında, çekme mukavemetinde %12 civarında azalma görülürken sertlik değerlerinde %9 azalma görülmektedir. 32CrB4 kalite çelikte küreselleştirme tavlamasından sonra mukavemetteki dikkate değer düşüş ve süneklik artışı, iç gerilimin serbest bırakılmasına, deforme olmuş ferrit matrisinin yeniden kristalleşmesine ve katmanlı perlitin ortadan kaldırılmasına ve küreselleşmiş sementitinin oluşumuna kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Ergin, H., “Bazik oksijen fırınının yapay agrega olarak esnek üst yapılarda alt temel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16 (2017).
2. Geerdes, M., Toxopeus, H., “Modern Blast Furnace Ironmaking.”, *IOS Press*, Amsterdam, 9- 10 (2009).
3. Ariyama, T., “Evolution of blast furnace process toward reductand flexibility and carbon dioxide mitigation in steel works”, *ISIJ International.*, 14 (2): 16811696 (2016).
4. Turkdogan, E. T., Fruehan, R. J., “Fundamentals of Iron and Steelmaking”, Pyrometallurgy & Thermochemistry, *The AISE Steel Graw Hill*, Pittsburgh, 1-145 (1998).
5. Gözdamla, E., “The investigation of the reyclability of the iron minerals in the blast furnace flue dusts”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 3-5 (2020).
6. Yıldırım, M., “Yüksek fırında scaffold (skaffold) önleme metotlarının analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5-13 (2012).
7. Bozkurt, E., “Yüksek fırın analizi ve yapay sinir ağı ile modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 9-14 (2007).
8. Aydın, Ö., “Yüksek fırın işletmeciliğinde optimizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-5 (2005).
9. Keskinç, E., “Examination of the desulfurization behaviour of ladle furnace slags of a low sulfur steel”, Doktora Tezi, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, Ankara, 4-5 (2007).
10. Nita, P. S., “Evaluation of some self-sustained capillary effects taking place in slag at the interface during desulphurization process”, *Material Science and Engineering A*, 495: 320-325 (2007).
11. Shigemori, H., “Desulphurization control system through locally weighted regression model”, *Proceedings IFAC Workshop on Automation in the Mining, Mineral and Metal Industries*, Gifu, 234-239 (2012).

12. Ergin, H., “Bazik oksijen fırınının yapay agrega olarak esnek üst yapılarda alt temel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 16 (2017).
13. Gözdamla, E., “The investigation of the reyclability of the iron minerals in the blast furnace flue dusts”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 3-5 (2020).
14. İnternet: www.steeltimes.com
15. Fruehan, R. J., “Overwiev of Steelmaking Process and Theşr Development”, Pyrometallurgy & Thermochemistry, **The AISE Steel Graw Hill**, Pittsburgh, 112 (1998).
16. Terpak, J., Lacial, M., Kacur, J., “Endpoint Prediction of Basic Oxygen Furnace Steelmaking Based on Gradient on Relative Decarburization Rate”, **II. 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)**, Slovakia, 1-4 (2020).
17. İnternet: Makine İmalat Yöntemleri <https://www.makinaegitimi.com/celik-uretim-yontemleri/manual.pdf> (2013)
18. Bilgiç, Ç. D., “Effect of the bottom stirring on basic oxygen steelmaking”, Yüksek Lisans Tezi, **The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 24-30 (2016).
19. İnternet: İspatguru Article <https://www.ispatguru.com/oxygen-blowing-lance-and-its-role-in-basic-oxygen-furnace/manual.pdf> (2018)
20. İnternet: İspatguru Article <https://www.ispatguru.com/understanding-steel-making-operations-in-basic-oxygen-furnace/manual.pdf> (2016)
21. Carlson, N. R., “Model fort he basic oxygen process in steel refining”, **IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics.**, 2 (1): 41-44 (1966).
22. İnternet: İspatguru Article <https://www.ispatguru.com/understanding-steel-making-operations-in-basic-oxygen-furnace/manual.pdf> (2014)
23. Özdemir, M. M., “Sürekli döküm yöntemi ile çelik üretimine ait proses optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, 10-14 (2007).
24. Conejo, A, N., Lara, F, R., Hernandez, M, M., “Steel Research International”, **Wiley-Blackwell.**, US, 141-150 (2007).
25. Haddehaneler Müdürlüğü, “Hizmetiçi Eğitim Notları”, Kardemir A.Ş., Yayın No:33 Karabük (2020).
26. Adalı, Y., Kurnaz, C., 5140 Çeliginin küreselleştirme ısııl işlemi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 7, 251-258 (2003).

27. Aydemir, O., “Use of aluminium dross for slag treatment in secondary steelmaking to decrease amount of reducible oxides in ladle furnace”, Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-28 (2007).
28. Emiroğlu, H. İ., “Bazik oksijen fırını (bof) ile çelik üretim prosesinde kullanılan endüstriyel fandaaki aşınmaların iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 6 (2019).
29. Keski, E., Ç-4140 Çeliğinin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya, (2009).
30. Savaşkan T., “Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi”, *Papatya Bilim Yayıncılık*, (2019)
31. Yüksekaya, U., “Çeliklerin Kaynağında Kaynak Kabiliyeti – Isıl İşlem İlişkisinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1996).
32. İnternet: Bartın Üniversitesi, “Isıl İşlemler Ders Notları” <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/isilislem123.-hafta.pdf>
33. Agrawal, B.K., “Introduction to Engineering Materials”, Tata McGraw-Hill, *Yeni Delhi*, 353 p. (2008).
34. Bilgiç, Ç. D., “Effect of the bottom stirring on basic oxygen steelmaking”, Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-30 (2016).
35. Okur, S., “Çelikhane (bof) tesisinde yapar sinir ağı (ann) uygulamaları ile karbon (c) ve fosfor (p) tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 3-5 (2019).
36. Sergey Guk, Rudolf Kawalla, and Ulrich Prah “Mathematical Description of the Microstructural Modifications and Changes in the Mechanical Properties during Spheroidization of Medium Carbon Steel” *Steel Research International* (2018)
37. T.Das, J.Y. Li, M. Painter, E. Summerville, J. Mater. “Model Describing Material-Dependent Deformation Behavior in High-Velocity Metal Forming Processes” *Journal of Engineering Mechanics*. 11-86. (2002)
38. C. Mapelli, R. Venturini, M. Boniardi, Scand. “Simulation And Optimisation Of An Industrial Process Of Sub-Critical Spheroidization Annealing Of A 100Cr6 Steel” *Journal of Engineering Mechanics*. 34-192 (2005)
39. Harisha S.R. Sathyashankara Sharma, U. Achutha Kini, Gowri Shankar M.C. “Study on Spheroidization and Related Heat Treatment of Medium Carbon Alloy

Steels” *MATEC Web of Conferencess* **144**, (2018).

40. Hoseiny H., Klement U., Sotkovszki P., Andersson J.,. “Comparison of the microstructures in continuous-cooled and quench-tempered pre-hardened mould steels”, *Materials and Design*, 32: 21-28. (2011)
41. Tao Jia, Meiying Li, Xinhua Pei, and Zhaodong Wang “On the Spheroidizing Annealing Behavior in Cr/Nb Microalloyed Medium Carbon Steels” *Advanced Science News* 1-4 (2019).
42. B. Rivolta, R. Gerosa, D. Panzeri, L. Piazza, L. Angelini, M. Alphonso, N. Bolognani, A. Panzeri, A. Parimbelli, C. Sala “Sphereodizing annealing of thermomechanically hot rolled steel rods: influence of prior microsturcture on the mechanical characteristic and phase transformations” *Instute of Materials, Minerals & Mining* 1-5 (2022)
43. W.Y Guo, J. Li, and X.F. Jiang. “Subcritical Spheroidization of Medium-Carbon 50CrV4 Steel” *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1003-1007 (2011)
44. Hayat, F., Demir, B., & Acarer, M. (2007). Tensile shear stress and microstructure of low-carbon dual-phase Mn-Ni steels after spot resistance welding. *Metal Science and Heat Treatment*, 49(9), 484-489.
45. Aydin, F. (2022). Effect of solid waste materials on properties of Magnesium matrix composites-A systematic review. *Journal of Magnesium and Alloys*. 10 (10), 2673-2698.
46. Mustu, M., Demir, B., & Aydin, F. (2022). An Investigation of Mechanical and Wear Performance of TiB₂/GNPs-Reinforced ZK60 Mg Matrix Composites Fabricated Via Powder Metallurgy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-15.
47. Turan, M. E., & Aydin, F. (2020). Improved elevated temperature mechanical properties of graphene-reinforced pure aluminium matrix composites. *Materials Science and Technology*, 36(10), 1092-1103.
48. Mukhopadhyay, C. K., Rajkumar, K. V., Jayakumar, T., & Raj, B. (2010). Study of tensile deformation behaviour of M250 grade maraging steel using acoustic emission. *Journal of materials science*, 45(5), 1371-1384.
49. Erden, M. A., & Aydin, F. (2021). Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(3), 430-439.
50. Pandey, C., Saini, N., Mahapatra, M. M., & Kumar, P. (2017). Study of the fracture surface morphology of impact and tensile tested cast and forged (C&F) Grade 91 steel at room temperature for different heat treatment regimes. *Engineering Failure Analysis*, 71, 131-147.

ÖZGEÇMİŞ

Emre NAYİR, ilk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. Liseyi Elazığ Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği 2016 yılında tamamladı. 2017 yılında Kardemir A.Ş. çalışmaya başladı. Halen İç Denetim ve Risk Yönetim Başkanlığı'nda çalışmaya devam etmektedir. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.