



**MNB KALİTE ÇELİKLERE UYGULANAN
KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASININ MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Can ÇİĞDEM

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU**

**MNB KALİTE ÇELİKLERE UYGULANAN KÜRESELLEŞTİRME
TAVLAMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Can ÇİĞDEM

Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

EKİM 2022

Can ÇİĞDEM tarafından hazırlanan “MNB KALİTE ÇELİKLERE UYGULANAN KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 27/10/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Yüksel AKINAY (YYU)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yasin AKGÜL (KBU)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU (KBU)

.....

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

Doç. 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.”

Can ÇİĞDEM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MNB KALİTE ÇELİKLERE UYGULANAN KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Can ÇİĞDEM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU

Ekim 2022, 38 sayfa

Bu tez çalışmasında, üç farklı kalite MnB çeliğine (23MnB4, 27MnB4, 30MnB4) uygulanan küreselleştirme tavlama ısı işleminin (700 °C, 10 saat) bu çeliklerin mikyapıları üzerindeki etkileri ve bu mikroyapısal değişikliklere bağlı olarak çeliklerin mekanik özelliklerindeki değişimler karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır. Tavlı ve tavsız çeliklerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta yapılmıştır. Mekanik özelliklerinin kıyaslanabilmesi için ise Brinell sertlik ölçümü, çekme deneyi ve basma deneyi uygulanmıştır. Mikroyapısal inceleme sonuçlarına göre tüm MnB çelik kaliteleri için uygulanan tavlama ısı işlemi ile birlikte mikroyapılarda perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre tüm kalitelerde tavlamaya bağlı olarak mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Karbon oranındaki artışa paralel olarak mukavemet değerlerindeki düşüş azalmaktadır. Ayrıca küreselleştirme tavlama ile birlikte kopma uzaması değerlerinde; 23MnB4 kalite çelikte yaklaşık %50 oranında, 27MnB4 kalite

Çelikte yaklaşık %17 oranında, 30MnB4 kalite çelikte ise yaklaşık %26 oranında artışlar meydana gelmiştir. Tüm kalitelerde tavlama ile birlikte sertlik değerlerinde düşüşler meydana gelmiş olup en fazla düşüş %26 oranı ile 30MnB4'te görülmüştür. Basma testi sonuçları değerlendirildiğinde, tavsız 23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinden basma mukavemeti en yüksek olanın 2905,73 N/mm² ile 23MnB4 kalitesinin olduğu görülmektedir. En düşük basma mukvemetine sahip olan kalite ise 27MnB4'tür. Küreselleştirme tavlamasının ardından 27MnB4 ve 30MnB4 kalite çeliklerin basma mukavemetlerinde belirgin farklılıklar oluşmazken 23MnB4 kalitede basma mukavemetinde yaklaşık %14 oranında bir düşüş görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : ubuk, Kangal, Hadde, Küreselleştirme tavlaması, mikroyapı ve mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 91514

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SPHEROIDIZING ANNEALING ON MECHANICAL PROPERTIES OF MNB QUALITY STEELS

Can ÇİĞDEM

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Alper İNCESU

October 2022, 38 pages

In this thesis, the effects of spheroidization annealing heat treatment (700 °C, 10 hours) applied to three different quality MnB steels (23MnB4, 27MnB4, 30MnB4) on the microstructure of these steels and the changes in the mechanical properties of the steels due to these microstructural changes were investigated comparatively. Microstructural examinations of annealed and unannealed steels were made under an optical microscope. In order to compare the mechanical properties, Brinell hardness measurement, tensile test and compression test were applied. According to the results of the microstructural examination, it was observed that the cementite arms in the perlite grains in the microstructures were broken and took a spherical form with the annealing heat treatment applied for all MnB steel grades. According to the tensile test results, there was a decrease in strength values due to annealing in all grades. In parallel with the increase in carbon ratio, the decrease in strength values decreases. In addition, with spheroidization annealing, in the elongation at break values; There has been an

increase of approximately 50% in 23MnB4 quality steel, approximately 17% in 27MnB4 quality steel, and approximately 26% in 30MnB4 quality steel. Decreases in the values of seertness occurred with annealing in all grades, and the highest decrease was seen in 30MnB4 with a rate of 26%. When the compression test results are evaluated, it is seen that the 23MnB4 quality with 2905.73 N/mm² has the highest compressive strength among the unannealed 23MnB4, 27MnB4 and 30MnB4 grades. The grade with the lowest compression strength is 27MnB4. After spheroidization annealing, while there were no significant differences in the compressive strength of 27MnB4 and 30MnB4 grade steels, a decrease of approximately 14% was observed in the compressive strength of 23MnB4 quality.

Key Word : Rod, Coil, Roll, Spheroidization annealing, Mechanical properties

Science Code : 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasında bana planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıęım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Dr. Őęr. Ŭyesi Alper İNCESU'ya sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

KARDEMİR AŐ'de gűrev yapmakta olup, tűm yardımseverlięiyle çalıőmaya katkı saęlayan çalıőma arkadaőlarıma yardımlarından dolayı teőekkűr ederim.

Bu sűrece son noktayı koyana dek sabırla, inançla, űzveriyle çalıőmanın çeőitli noktalarında emeęi geçen, ismini sayamadıęım tűm arkadaőlarıma ve dostlarıma teőekkűr ediyorum.

Dűnyaya geldięim andan itibaren her tűrlű mutluluęu ve űzűntűyű birlikte yaőadıęım, her zaman daha da gűzel iőler yapabileceęime inandıran anneme, babama, ablama, kardeőlerime, sevgili eőime ve oęullarıma desteklerinin karőılıklarını her zaman verebilmeyi temenni ederim. Var oluőlarından dolayı minnettarlık duyuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAY SAYFASI	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE DEMİR ÇELİK ENTEGRE TESİSİ.....	1
1.2. TÜRKİYE’DE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ	3
1.3. ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSİ	4
1.4. YÜKSEK FIRIN TESİSİ	5
1.5. ÇELİK ÜRETİM SÜRECİ.....	7
1.6. HADDEHANELER	7
BÖLÜM 2	9
ÇUBUK KANGAL ÜRETİMİ	9
2.1. ÇUBUK KANGAL ÜRETİMİ	9
2.2. ÇUBUK KANGALIN KULLANIM ALANLARI	10
2.3. ÇUBUK KANGALLARA UYGULANABİLEN ISIL İŞLEMLER.....	10
BÖLÜM 3	12
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	12
3.1. ÇALIŞILAN MNB ÇELİKLERİ	12
3.2. KİMYASAL ANALİZ	12
3.3. KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASI.....	12
3.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ VE FAZ ANALİZİ	15

	<u>Sayfa</u>
3.5. SERTLIK ÖLÇÜMÜ	16
3.6. ÇEKME DENEYİ	16
3.7. BASMA DENEYİ.....	17
BÖLÜM 4	18
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	18
4.1. KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI	18
4.2. MİKROYAPI İNCELEMESİ VE FAZ ANALİZ SONUÇLARI.....	19
4.3. SERTLIK ÖLÇÜM SONUÇLARI	24
4.4. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI	27
4.5. BASMA TESTİ SONUÇLARI	30
BÖLÜM 5	34
GENEL SONUÇLAR	34
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	38

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Entegre demir çelik tesisinin şematik görünümü.	4
Şekil 1.2.	Yüksek fırın çalışma görseli.....	6
Şekil 2.1.	Kangal Üretim Tesisi-Yarı Mamül Sarım şeklindeki kangalın ilk görüntüsü.....	9
Şekil 2.2.	Çubuk-kangal haddehanesi çubuk üretim tesisi.....	10
Şekil 3.1.	(a) Ferrit matris içerisinde sementit kollarının uzanması ile oluşan perlitik mikroyapı ve (b) bu yapının küreselleştirme tavlama ile ferrit matris içerisinde küresel sementit yapısına dönüşümü.	13
Şekil 3.2.	Farklı ısıl işlem prosesleri için sıcaklık seçimleri.	14
Şekil 3.3.	Yapılan küreselleştirme tavlama için proses haritası.	14
Şekil 3.4.	Çan tipi tav fırını.	15
Şekil 3.5.	Çekme deney numunesi.	16
Şekil 4.1.	23MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavlama mikroyapı görüntüsü.	19
Şekil 4.2.	27MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavlama mikroyapı görüntüsü.	20
Şekil 4.3.	30MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavlama mikroyapı görüntüsü.	20
Şekil 4.4.	Numunelere ait SEM görüntüleri a) 23MnB4 (tavsız), b) 23MnB4 (tavlı).	21
Şekil 4.5.	Numunelere ait SEM görüntüleri a) 27MnB4 (tavsız), b) 27MnB4 (tavlı).	21
Şekil 4.6.	Numunelere ait SEM görüntüleri a) 30MnB4 (tavsız), b) 30MnB4 (tavlı).	22
Şekil 4.7.	23MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.	22
Şekil 4.8.	27MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.	23
Şekil 4.9.	30MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.	23
Şekil 4.10.	23MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi.	25
Şekil 4.11.	27MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi.	25
Şekil 4.12.	30MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi	26
Şekil 4.13.	23MnB4 çekme ve akma değerleri.	28
Şekil 4.14.	23MnB4 % uzama değerleri.	28
Şekil 4.15.	27MnB4 çekme ve akma değerleri.	29
Şekil 4.16.	27MnB4 % uzama değerleri.	29

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.17. 30MnB4 çekme ve akma değerleri.	30
Şekil 4.18. 30MnB4 % uzama değerleri.	30
Şekil 4.19. 23MnB4 kalite kangallarda basma testi numuneleri.....	32
Şekil 4.20. 27MnB4 kalite kangallarda basma testi numuneleri.....	32
Şekil 4.21. 30MnB4 kalite kangallarda basma testi sonrası meydana gelen hasarlar.	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. İlk 10 ülke çelik üretimi.....	2
Çizelge 2.1. Farklı kalite kangal çeliği özellikleri	11
Çizelge 3.1. Kimyasal kompozisyonlara analiz değerleri (%ağ.)	12
Çizelge 4.1. 23MnB4 kimyasal analiz değerleri.	18
Çizelge 4.2. 27MnB4 kimyasal analiz değerleri.	18
Çizelge 4.3. 30MnB4 kimyasal analiz değerler.	19
Çizelge 4.4. Numunelere ait sertlik ölçüm sonuçları.	24
Çizelge 4.5. Numunelere ait çekme testi sonuçları.	27
Çizelge 4.6. 23MnB4 basma testi değerleri.	31
Çizelge 4.7. 27MnB4 basma testi değerleri.	31
Çizelge 4.8. 30MnB4 basma testi değerleri.	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Mn	: mangan
B	: bor
Si	: silisyum
S	: kükürt
P	: fosfor
Cr	: krom
Cu	: bakır
SiO ₂	: silisyum dioksit
Al ₂ O ₃	: aluminyum oksit
α -Fe	: ferrit
Fe ₃ C	: sementit
CaCO ₃	: kireç taşı
CaO	: yanmış kireç

KISALTMALAR

°C	: santigrat derece
atm	: atmosfer
SEM	: Spectron Electron Mikroskop
HBW	: Sertlik Ölçü Birimi
Xrd	: X-ray Powder Diffraction
BOF	: Bazik Oksijen Fırını

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışmada, entegre bir tesisteki demir çelik üretimi yapılan MnB bileşeni içeren kangal nihai ürününün küreselleştirmek tavlama sonucu mekanik özelliklerinde değişimler araştırılmıştır. Entegre bir demir çelik üretimi yapan tesis tanıtılmıştır. Ana üretim prosesleri hakkında detaylı bilgilendirme yapılmış olup demir ve çelik üretim sektöründe faaliyet gösteren ve entegre bir tesis olan Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'nın (KARDEMİR A.Ş.) yüksek fırın, çelikhane ve haddehane prosesleri tanıtılmıştır. Tez kapsamında çalışması yapılan küreselleştirme tavlama ile Mn-B numunelerinin sertlik ölçümleri, çekme deneyi, basma deneyi ve mikroyapıları incelenmiştir. Tez çalışması ile elde edilen veriler sonuçlar kısmında verilmiştir.

1.1. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE DEMİR ÇELİK ENTEGRE TESİSİ

Günümüze kadar demir çelik üretimi amacıyla farklı yöntemler insanlar tarafından denenmiştir. Bilinen ilk yöntemlerden biri, odun kömürünün yakılması sonucunda açığa çıkan redükleyici karbonmonoksit gazının aşağıdaki reaksiyona göre demir cevheri ile tepkimeye girerek, hematit bileşiğinin redüklenmesi (indirgenmesi) yöntemidir. Denklem, $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$ şeklinde ifade edilmektedir.

14. Yüzyılın ortalarında pik ve ham demir üretimi yüksek fırının en ilkel üretim metodudur. En büyük ilerleme 19. yy. da olmuştur. Öncelikli olarak 1855 yılında sonra uygulanmaya başlanan Bessemer metodudur. Sonraki yıllarda geçerli metod olarak Siemens-Martin metodu kullanılmıştır. Bu metod sayesinde çelik ve çelik alaşımları üretiminde büyük aşamalar kaydedilmiştir. Demir ve çelik üretim süreçlerinde kısa sürede meydana gelen gelişmelere bağlı olarak sanayii devrimi gerçekleşmiştir. Bu teknolojiler sayesinde hızlı adımlar atılmıştır. Demir ve çelik sanayinin temel girdisi haline gelmiştir [1].

Yüksek Fırında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda demir cevherinin indirgenmesi metoduyla dünyadaki demir üretiminin %95'i gerçekleştirilmektedir. Kok kömürü sarfiyatını enaz seviyede tutmak, günlük üretim miktarını artırmak hedefiyle Yüksek fırınlar sürekli olarak geliştirilmektedir. Artan çelik talebini karşılamak amacıyla yenilenen teknoloji ile birlikte yüksek kapasiteye sahip yüksek fırınlar inşa edilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte kapasite arttırımı yapılan bu fırınlarda 5000 ton/günlük üretime ulaşılmıştır. Fırınlarda hammadde olarak demir cevheri; katkı maddesi olarak ise yakıt ve hava kullanılmaktadır. Demir cevheri; demir oksit ve demir karbonat bileşikleri ile bunların içerdikleri SiO₂, Mn, P, S ve Al₂O₃ gibi katkı maddelerinden oluşmaktadır. En yaygın kullanıma sahip demir cevheri olan Hematit bileşiği (Fe₂O₃) %40-60 Fe tenörlü ve koyu kırmızı renklidir. Çizelge 1.1'de Dünya ham çelik üretimi ülkelere göre verilmiştir. Türkiye 2020 yılında 35,8 milyon metrik ton üretimiyle dünyada 7'inci sırada yer almıştır [2].

Çizelge 1.1. İlk 10 ülke çelik üretimi [2].

		2019 Üretim (Mton)	2020 Üretim (Mt)	Değişim (%)
1.	Çin	1001,3	1052,9	5,2
2.	Hindistan	111,3	99,6	-10,6
3.	Japonya	99,3	83,2	-16,2
4.	Rusya	71,5	73,4	2,5
5.	ABD	87,8	72,7	-17,3
6.	Güney Kore	71,4	67,1	-6,0
7.	Türkiye	33,7	35,8	6,1
8.	Almanya	39,6	35,7	-10
9.	Brezilya	32,6	30,9	-4,9
10.	İran	25,6	29	13,4

1.2. TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ

Türkiye'de demir-çelik sektörü ekonomik olarak en büyük dördüncü sektör olup, sektörün en başta inşaat, dayanıklı tüketim malzemesi, boru – profil, gemi – uçak sanayi, motorlu taşıt ve demiryolu olmak üzere tüm mamul eşya imalinde doğrudan katkısı bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde altyapı sorunları henüz çözülememiştir. Bu ülkelerde demir çelik sektörü ayrı bir öneme sahiptir. Türkiye'de demir çelik sektörü ile ilgili ilk kuruluş çalışmalarına 1925 yılında Kırıkkale'de Askeri Top ve Mühimmat Fabrikaları Müdürlüğü'ne bağlı olarak başlanmıştır. Fabrika 5.000 ton/yıllık üretim kapasitesine sahiptir. Devreye alma sürecinin tamamlanmasının ardından her türlü takım çeliği, makine yapı çeliği ve inşaat çeliği üretimine söz konusu tesiste başlanmıştır. 1939 yılında kurulan Karabük Demir Çelik İşletmeleri 15.000 ton/yıllık üretim kapasitesiyle Türkiye tarihinin ilk entegre tesisi olmuştur [3].

Türkiye'de demir çelik üretimi ve üretilen yarı mamülün işlenmesi için 3 entegre tesis mevcuttur. Entegre demir çelik tesisleri haricinde 29 adet ark ocaklı tesis bulunmaktadır. Entegre tesislerimizde yıllık üretim yaklaşık 12 milyon ton civarındadır [1-5].

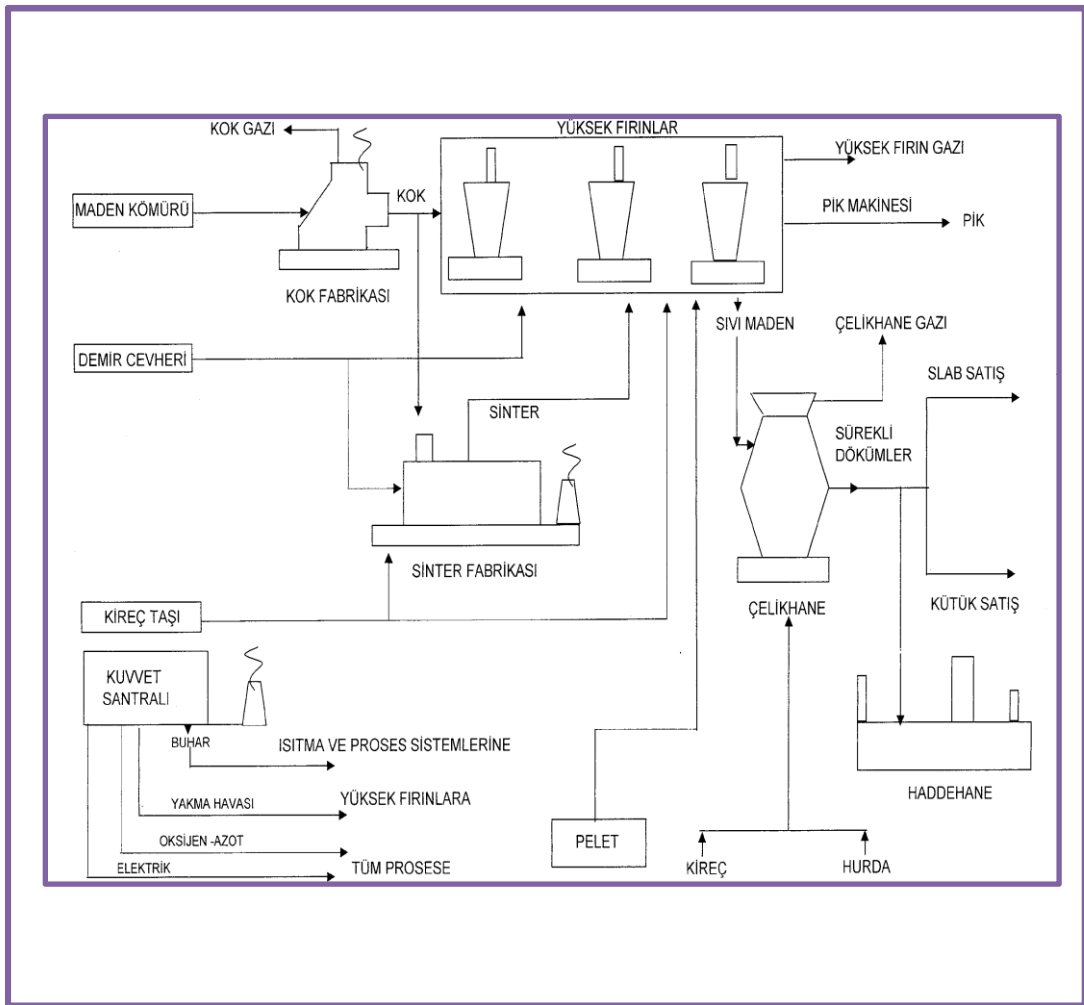
Demir çelik sektörü, oluşturduğu maddi değer ve yarattığı istihdamla ülke ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Genel ihracatımızda da yaklaşık %12'lik paya sahiptir [2-3].

Demir çelik sektöründe üretimi yapılan ürünler aşağıdaki gibi tasniflenmiştir [20].

- Hammadde ve yarı mamul
- Uzun hadde ürünleri
- Yassı hadde ürünleri
- Demir çelikten ürün eşyalar
- İnşaat aksami
- Dövme taslak

1.3. ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSİ

Entegre Demir Çelik tesisi cevherden son mamül oluşumu için ihtiyac olan tüm birimlere sahiptir. Demir cevheri, kok ve kireçtaşı demir çelik üretiminde kullanılan ana hammaddelerdir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, entegre bir demir çelik tesisi, kok fabrikası, sinter fabrikası, yüksek fırınlar, çelikhane ve haddehanelerden oluşur. Enerji ihtiyacını karşılayan kuvvet santrali tesisleri, entegre demir çelik tesisindeki en önemli ünitelerden biridir [3].



Şekil 1.1. Entegre demir çelik tesisinin şematik görünümü.

1.4. YÜKSEK FIRIN TESİSİ

Yüksek fırınlar dizayn olarak günde yaklaşık 1200–3500 ton ham demir üretebilecek şekilde tasarlanmıştır. Yükseklikleri yaklaşık 18,00-23,00 m'dir. Taban haznesi çapı ise 6,00-9,00 m'dir. Çelik saçların kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesiyle yüksek fırınlar kurulur. Fırınlar içeriden de refrakter (yüksek sıcaklığa dayanıklı) tuğlalarla örülmektedir. 1 m kalınlığa getirilerek kuvvetlendirilen fırın yan duvarlarından oluşan gövdenin soğutulması su ile yapılmaktadır. Bu iş için gövde çevresine soğutma plakaları (stevler) yerleştirilmiştir. Taban haznesine de dışarıdan su soğutma uygulanmaktadır. Bütün fırın ayrıca çelik bir konstrüksiyonun içerisinde yer almaktadır. Sıcak havanın fırın içerisine üflenmesi, yüksek fırın gazının toplanması ve şarj malzemelerinin fırına ilavesine ait bütün donanımlar çelik yapı içerisinde yer almaktadır. Borular yardımıyla yüksek fırın gazları buradan dışarı çekilmektedir.

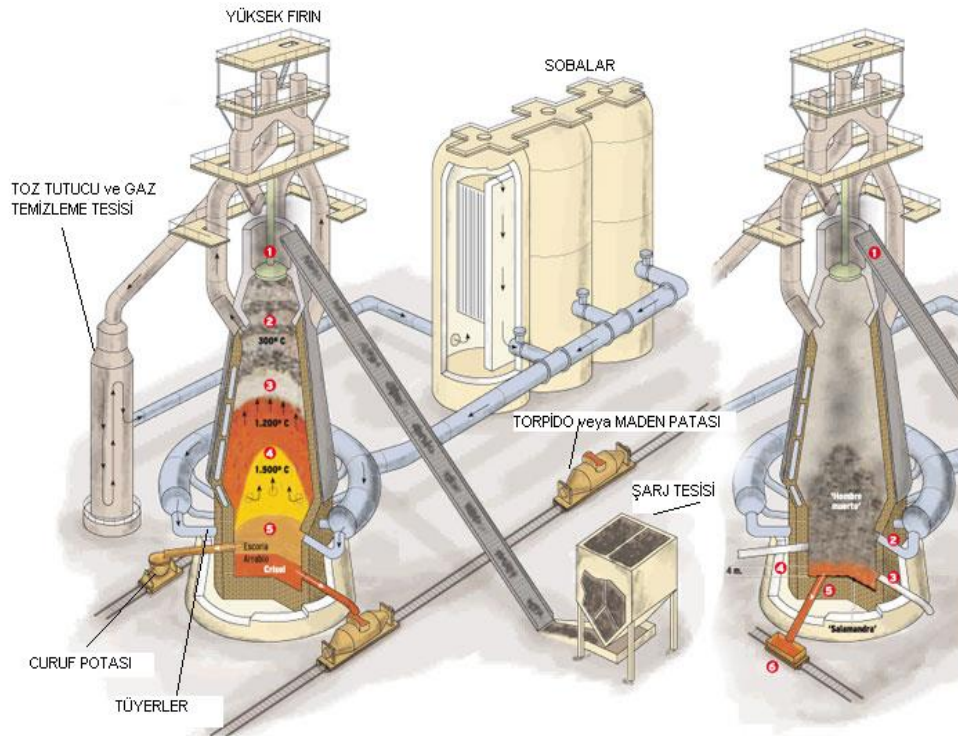
Fırın Gövdesi: Fırının aşağı doğru uzanan ve genişleyen kısmıdır. Fırın içerisine üflenen sıcak hava ile genişleyen kömür-cevher katışığı aşağı doğru iner ve yaklaşık 6 ile 10 saat sonunda fırın içerisinde yayılmaktadır.

Fırın şarjı: Cevher, gang ve diğer ilave maddelerin, yapılan hesaplar neticesinde belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan karışıma denir. Düşük ergime noktalı ve bazik karakterli bir cüruf elde etmek amacıyla şarj bileşimi ayarlanır. Elde edilen bu tip cüruf, asit yapıcı kükürdü bağlayarak, kükürt oranı düşük bir ham demir üretimi sağlamaktadır. Bu nedenle cüruf eldesi esnasında ilave madde olarak kireç taşı (CaCO_3) veya yanmış kireç (CaO) kullanılmaktadır.

600 °C – 1000 °C sıcaklığına kadar ısıtılan hava fırına 1- 1,5 atm basınç ile üflenir. Bu hava kompresörler vasıtasıyla üretilmektedir. Sıcak hava, fırının haznesi çevresinde yer alan ana hava simidi aracılığıyla ısıtıcılardan geçtikten sonra üfleme borusundan tüyerlere üflenir. Kullanılacak kok miktarına göre üflenen havanın miktarı ayarlanmaktadır. Bir tonluk kok kömürü için 2000 - 3000 m³ hava kullanılmaktadır.

Bir metreküp hacmindeki tuğla duvarın yüzey alanı yaklaşık olarak 28 m²'dir. Yüksek fırından çıkan gazlarla ilk olarak soba duvarları ısıtılır. Hava ısıtıcı sistemler ilk kez Cowper tarafından 1858 yılında inşa edildiği için, sistemler bu isimle de bilinmektedir. Yüksek fırında yakıt olarak kullanılan kok, yoğun ve basınca dayanıklı olmalıdır.

1000 tonluk ham demir üretiminin sonunda ortalama olarak 800 ton cüruf açığa çıkmaktadır. Düşük tenörlü cevherlerde bu miktar 1000 tona kadar çıkabilmektedir. Oluşan cüruf hacmi, düşük yoğunluğu nedeni ile ham demire kıyasla yaklaşık 3 kat daha fazladır. Proses sonunda oluşan cüruf, cüruf değerlendirme tesislerinde işlenmektedir. İşlenen cüruflar, kireç bakımından zengin yüksek fırın çimentosu veya demir portland çimentosu üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Yüksek fırın çalışma görseli [19].

1.5. ÇELİK ÜRETİM SÜRECİ

Çelik; ham demir içinde bulunan karbon, silis, fosfor ve kükürt gibi elementlerin istenilen seviyede ve oranda giderilmesi için gerekli alaşım maddelerinin ilâve edilmesiyle üretilir. Çelikhanede hurda, sıcak maden ve alaşım maddeleri, çelik üretim sürecinin ilk aşaması olan bazik oksijen fırınlarına (BOF-Konvertör) şarj edilir.

Lanslar yardımıyla saf oksijen konvertör içerisine üflenmektedir. Metal banyosu içerisinde yer alan C, Mn, P, Si gibi elementler üflenmiş oksijenle reaksiyona girer. Meydana gelen yanma reaksiyonu sonucunda sıvı çelik içerisinde istenilen yüzdelere indirgenir. Bu elementlerin oksijenle reaksiyonları ekzotermik reaksiyonlardır ve reaksiyon sonunda açığa çıkan fazla ısı enerjisi, şarj edilen hurdanın ısıtılmasına yardımcı olur [13-19]. Kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan ürünlerden gaz halinde olanlar konvertör baca gazlarını oluşturur ve bacaya gider. Sıvı halde olanlar ise, flakslar (cüruf yapıcılar) ile birleşerek konvertör cürufunu oluşturur. BOF prosesi sonunda döküm işlemi için konvertör döndürülür ve döküm deliğinden sıvı çelik, çelik potasına aktarılmaktadır.

Sıvı çelik potasına aktarılan çelik, metalurjik esneklikler sağlamak ve sürekli döküm makinalarında yüksek ürün kalitesi elde etmek amacıyla ikincil metalurjik işlemlere tabi tutulur. İkincil metalurjik işlemler için Pota Fırınları ve Vakum (sıvı çelikteki Hidrojen gazını giderme) tesisi kullanılmaktadır.

İkincil metalurjik işlemlerin ardından sıvı çelik, yarı mamül elde etmek üzere Sürekli Döküm Makinalarına gönderilmektedir.

1.6. HADDEHANELER

Entegre tesislerin son ünitesi haddehanelerdir. Sürekli döküm tesisinden alınan yarı mamüller kullanım yerlerine uygun şekilde, istenen boyut ve biçimlerde şekillendirilirler. Üretimi yapılacak nihai ürün için son aşama haddehanelerdir.

Kardemir Demir Çelik A.Ş bulunan haddehaneler aşağıdaki sıralamada verilmiştir [18-19].

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

BÖLÜM 2

ÇUBUK KANGAL ÜRETİMİ

2.1. ÇUBUK KANGAL ÜRETİMİ

Yarı mamuller, şarj iticileri yardımıyla tav fırınına alınır. Fırında yarı mamuller yeterli sıcaklığa ulaşıncaya kadar tavllanır. Tavlama sonrası deşarj iticileri yardımıyla üretilen ürünün reçetesine göre hazırlanmış olan hatta gönderilir. Kardemir A.Ş'nin çelik üretecek şekilde ve ağırlıklı olarak imalat ve otomotiv sektörüne hitap edecek şekilde tasarlanmış ve yıllık kapasitesi yaklaşık olarak 700.000 ton/yıl'dır. Çubuk ve Kangal Haddehanesi 700.000 ton/yıl kapasiteli tesiste düşük karbonlu çelikler (LC), yüksek karbonlu çelikler (HC), öngerilmeli beton çelikleri (PC Wire), rulman çelikleri (BRG), otomat çelikleri (FC), yay çelikleri (SPR), otomotiv çelikleri (CH) vb kalitelere ve 5,5-55 mm ebatlarında kangal ile 20-100 mm ebatlarında çubuk ürünler, 8-40 mm ebatlarında nervürlü inşaat çeliği üretilme kabiliyetine sahiptir. Ürünün satışa hazır hale gelmesi için soğutma, kesme ve paketleme işlemlerinin yapılmaktadır. Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde Şekil 2.1'de ve Şekil 2.2'de görüldüğü üretim görselleri verilmiştir. Türkiye'deki 56mm kadar kangal üretimi yapan tek tesis Kardemir'dir [12-13].



Şekil 2.1. Kangal Üretim Tesisi-Yarı Mamül Sarım şeklindeki kangalın ilk görüntüsü.



Şekil 2.2. Çubuk-kangal haddehanesi çubuk üretim tesisi.

2.2. ÇUBUK KANGALIN KULLANIM ALANLARI

Üretimi yapılan kangallar sanayide genel olarak kaynak elektrodu, civata, somun, vida, perçin, gaz altı kaynak teli üretimi ve sanayi yayları üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca hazır demir üretiminde, betonarme ve prefabrik yapılarda, seracılıkta ve diğer endüstriyel alanlarda kullanımı yaygındır.

2.3. ÇUBUK KANGALLARA UYGULANABİLEN ISIL İŞLEMLER

Yeni ürün çalışmaları kapsamında, bağlantı elemanları imalatına hitap eden kangal kaliteleri için deneme üretimleri yapılmakta, belirlenen kalite şartlarını sağlayan ürünler için de seri üretim yapılmaktadır. Söz konusu kangallar soğuk presleme ile civata şeklini aldığı için küreselleştirme tavlamasına ihtiyaç duyulmaktadır. 23MnB4, 27MnB4, 30MnB4 kalite kangallara küreselleştirme tavlaması yapılmasına karar verilmiştir. Seçilen kangallar 50°C/saat hızla 700°C sıcaklığa çıkılmış, 10 saat süreyle ve 1 saat genliğe sahip $\pm 30^\circ\text{C}$ sıcaklık dalgalanması ile tavllanmış ve fırında soğumaya bırakılmıştır ve mikroyapıdaki küreselleşmeler takip edilmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı kalite kangal çeliği özellikleri [19].

Kalite	Çap (mm)	Çekme Mukavemeti (%)	Sertlik (%)
23MnB4	12	16	18
27MnB4	14	15	12
30MnB4	30	14	23

Çizelge 2.1’de kalite değerleri verilen MnB alaşımlı çeliklerin sertlik ve çekme test değerlerindeki, mukavet değerleri yüzde olarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında da yeni ürün çalışmaları kapsamındaki bu alaşımların küreselleştirme tavlama neticesinde mekanik özellikleri araştırılmıştır.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. ÇALIŞILAN MNB ÇELİKLERİ

Bu tez çalışmasında kullanılan farklı kalite kangal numuneleri ayrı ayrı dökümlerden elde edilmiştir. Numune 1 döküm numunesi 23MnB4, numune 2 döküm numunesi 27MnB4 ve numune 3 döküm numunesi ise 30MnB4 kalite kangal çeliklerine aittir. Numune kartlarında belirtilen kimyasal kompozisyonda C, Mn, Si, S, P, Cr ve Cu değer aralıklarına göre numuneler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda deneylerle mekanik özellikler araştırılmış ve bulgular sonuçlar kısmında verilmiştir.

3.2. KİMYASAL ANALİZ

Çizelge 3.1. Kimyasal kompozisyonlara analiz değerleri (%ağ.) [19].

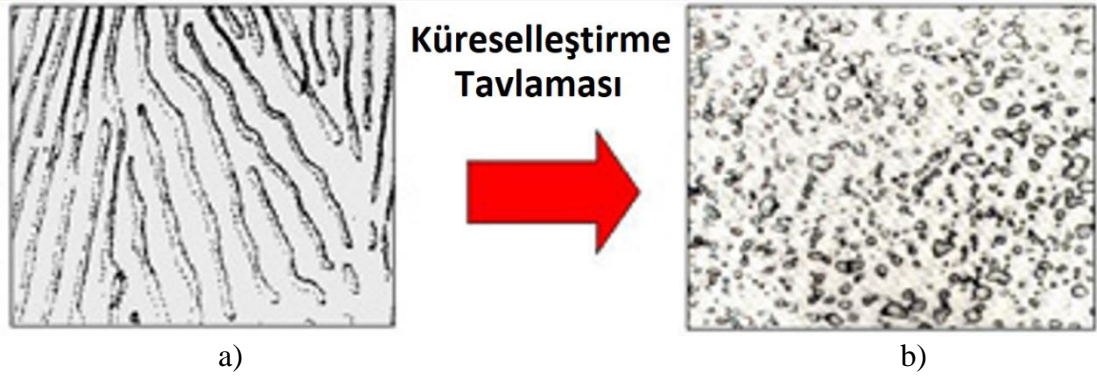
Kompozisyon	C	Mn	Si (maks.)	S (maks.)	P (maks.)	Cr	Cu (maks.)
23MnB4	0,22-0,25	1,00-1,10	0,12	0,15	0,15	0,20-0,30	0,10
27MnB4	0,25-0,30	1,00-1,10	0,12	0,15	0,15	0,20-0,30	0,10
30MnB4	0,28-0,32	0,95-1,05	0,15	0,15	0,15	0,20-0,30	0,10

Çizelge 3.1 'de belirtilen MnB çeliklerine ait C, Mn, Cr değerleriyle birlikte %max. Si, S, P ve Cu oranları verilmiştir. Deneysel çalışmalarda bulunan verilerin kıyası bu tablo referans alınarak yapılmıştır. Optik emisyon spektrometresinde, çalışılan MnB çelikleri bölümünde belirtilen 23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4 alaşımlarına elemental analiz yapılmıştır. Elemental analiz için spektrometre yöntemi kullanılmıştır.

3.3. KÜRESELLEŞTİRME TAVLAMASI

Çelik mikroyapısında yer alan perlitik taneler, ferrit ve sementitin lamelli olarak diziliminden dolayı, malzemede mukavemet artışına büyük katkı sağlamaktadır. Fakat

yüksek mukavemet beraberinde, düşük süneklik, plastik şekillendirmede neticesinde hurdaya ayrılma riski yanısıra yüksek şekillendirme kuvvetleri ve şekillendirme ekipmanlarında oluşacak zararlar gibi handikapları da meydana getirmektedir. Bu sebeple perlitik mikroyapıya haiz malzemelere, plastik şekillendirme operasyonlarını daha az riskle tamamlamaları için küreselleştirme tavlaması uygulanmaktadır. Söz konusu tavlama, Şekil 3.1’de görüleceği gibi, ferrit matris içerisinde uzanan sementit kollarından oluşan perlitik mikroyapıda, sementit kollarını küreselleştirerek mukavemet artıcı özelliklerini geçici olarak yok etmektedir. Bu sayede, lamelli yapısını kaybeden perlit taneleri şekillendirme yükünü ana faz olan ferrite vermekte ve malzeme tamamen ferritik bir çelik gibi davranmaktadır [7-8-9].

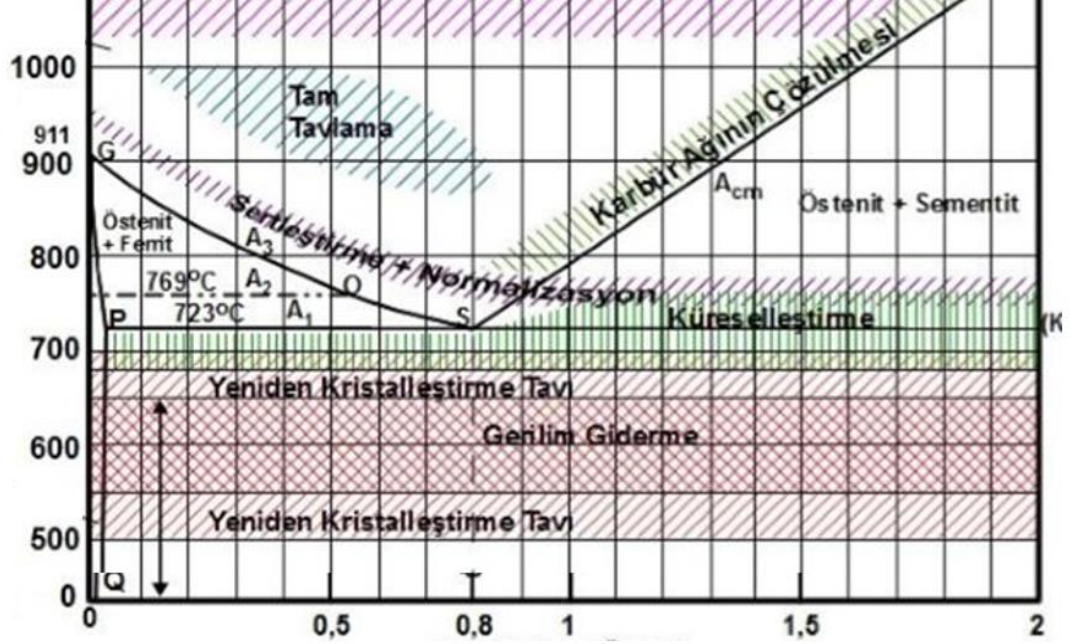


Şekil 3.1. (a) Ferrit matris içerisinde sementit kollarının uzanması ile oluşan perlitik mikroyapı ve (b) bu yapının küreselleştirme tavlaması ile ferrit matris içerisinde küresel sementit yapısına dönüşümü.

Küreselleştirme tavlaması için seçilecek tav sıcaklığı malzemenin karbon oranına göre belirlenmektedir. Şekil 3.2’de görüleceği üzere ötektoit altı (max. 0,8 %C içerikli) çeliklerde, ötektoit reaksiyon sıcaklığının hemen altında, 700 °C’de ve tav süresi boyunca homojen olarak sıcaklık dalgalanması yapılarak sementitlerin daha küçük ve nizami küreler oluşturması sağlanmaktadır. Ötektoit üstü çeliklerde de proses aynı reçete ile devam etmektedir [7-8].

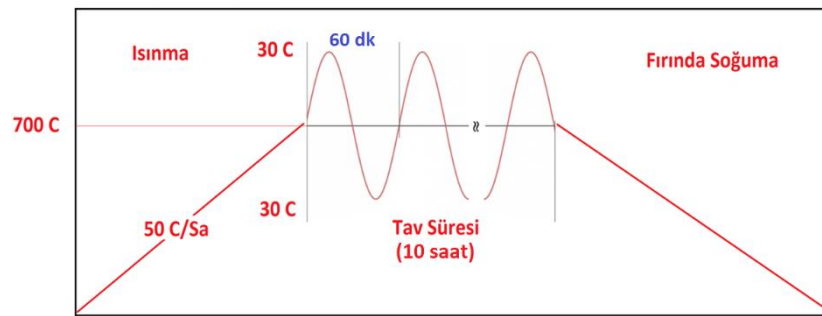
Fakat bu bölgedeki tav sıcaklığı, ötektoit reaksiyon sıcaklığı olan 723 °C baz alınır ve bu değer etrafında sıcaklık dalgalanması uygulanır. Tav süresince yapılacak olan sıcaklık dalgalanması 30-50°C aralığında seçilebilir. Tav süresi 12 saate kadar olan

operasyonlarda alt limite, uzun süreli operasyonlarda ise üst limite yakın çalışılması daha verimli sonuçlar alındığı literatür ve pratik uygulamalarda görülmüştür.



Şekil 3.2. Farklı ısıl işlem prosesleri için sıcaklık seçimleri.

Yapılan küreselleştirme tavlaması denemesi çerçevesinde, Şekil 3.3’de görüleceği gibi, 50 °C/saat hızla 700 °C sıcaklığa çıkılmış, 10 saat süreyle ve 1 saat genliğe sahip $\pm 30^\circ\text{C}$ sıcaklık dalgalanması ile tavllanmış ve fırında bulunduğu şartlarda soğumaya bırakılmıştır [6-7-8].



Şekil 3.3. Yapılan küreselleştirme tavlaması için proses haritası.

Ticari olarak kangallara küreselleştirme tavlaması yapılan işletmelerde operasyonlar, Şekil 3.4’de gösterilen “çan tipi” fırınlarda uygulanarak, homojen bir sıcaklık dağılımı

ile, kangalların tamamında homojen mikroyapı ve mukavemet değerlerine ulaşılması sağlanır.



Şekil 3.4. Çan tipi tav fırını.

3.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ VE FAZ ANALİZİ

Tez içeriğinde oluşturulan MnB alaşımlarının farklı içerikleriyle %23, %27, %30, oranındaki bileşimlerine ait numuneler, Kardemir A.Ş. ürün skalasında yer alan Ø12, Ø14, Ø30 mm çapta ve 10 mm uzunluğunda olacak şekilde testereler yardımıyla kesilerek, metalografi işlemi kolaylığı durumu da dikkate alınarak reçine bakalit kalıplarına alınmış ve hazırlanmıştır. Daha sonrasında 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh aralığında zımparalanmıştır. Alümina ile parlatma işlemi yapıldıktan sonra dağlama tamamlanmıştır. Dağlamada %3 nital çözeltisi kullanılmıştır. Sonrasında ise optik mikroskop yardımı ile mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Ayrıca daha yüksek büyütmelerde inceleme yapabilmek için SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi de gerçekleştirilmiştir.

Tavlama işlemi ve sonrası çeliklerin içeriğindeki fazların tanımlanması ve faz yoğunluklarının farklılıklarının değerlendirilebilmesi için XRD (X-Işını Kırınım yöntemi) ile faz analizleri gerçekleştirilmiştir. Faz analizi veya X-ışını kırınım

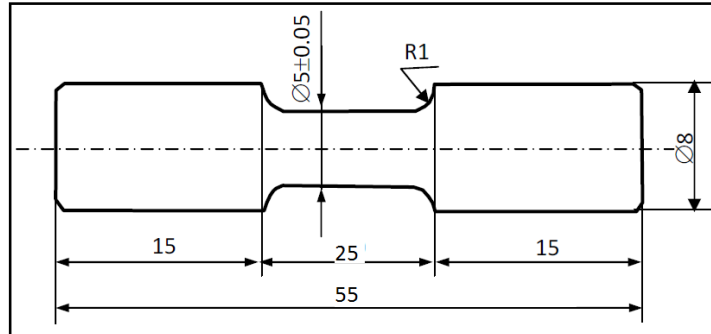
(XRD) analizi, 40 kV hızlanma voltajı ve 20 mA akım ile üretilen Cu-K α X-ışını radyasyonu ile Rigaku Ultima IV difraktometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin tarama aralığı 10° ile 90° ve tarama hızı 3 derece/dk.'dır. ICDD veri tabanı, alaşımların X-ışını kırınım modelinde fazları tanımlamak için kullanılmıştır.

3.5. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Sertlik deneyi numuneleri 23MnB4, 27MnB4, 30MnB4 kalite kangal numunelerinden çıkartılmıştır. Numunelerin yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Sertlik testleri için ise numuneler, Kardemir A.Ş. ürün skalasında yer alan boyutlara uygun şekilde Ø12, Ø14, Ø30 mm çap ve 15 mm yükseklik ölçülerinde ayarlanmıştır. QNESS marka dijital Brinell sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçüm sonuçları 2.5 mm çaplı bilya ve 187,5 kg yük uygulanmasına bağlı olarak 2,5HBW187,5 skalasına göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. 4-7 farklı noktalardan sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu değerlerin ortalamaları sertlik ölçüm sonucu olarak beyan edilmiştir.

3.6. ÇEKME DENEYİ

Çekme numuneleri 23MnB4, 27MnB4, 30MnB4 kalite kangallardan oluşturulmuştur. Test için numuneler 55 mm uzunlukta kesilmiştir ve her bir kalite kangaldan 4'er adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri ZWICK 600 kN çekme testi cihazında ve 0,5 mm/dk çekme hızında yapılmıştır.



Şekil 3.5. Çekme deney numunesi.

3.7. BASMA DENEYİ

Basma testinde kullanılan numuneler, $h = 1,5d$ eşitliğine uygun şekilde hazırlanmış olup, Ø12, Ø14, Ø30 mm çap değerleri için yükseklik değerleri sırasıyla 18, 21 ve 45 mm olarak hesaplanmıştır. Basma deneyleri 600 tonluk JEOTEST marka cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

23MnB4 e ait kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki çizelge 4.1’de verilmiştir. Döküm numuneleri kalite kartına göre uygun olup istenilen değer aralıkları sınırda olmasına rağmen uygun olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. 23MnB4 kimyasal analiz değerleri.

Numune No	Kompozisyon	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu
Numune 1	Kalite Kartı	0,22-0,25	1,00-1,10	0,12 maks.	0,15 maks.	0,15 maks.	0,20-0,30	0,10 maks.
	Numune	0.240	1,098	0.110	0.005	0.015	0.243	0.060

27MnB4 e ait kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Döküm numuneleri kalite kartına göre uygun olup istenilen değer aralıkları sınırda olmasına rağmen uygun olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2. 27MnB4 kimyasal analiz değerleri.

Numune No	Kompozisyon	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu
Numune 2	Kalite Kartı	0,25-0,30	1,00-1,10	0,12 maks.	0,15 maks.	0,15 maks.	0,20-0,30	0,10 maks.
	Numune	0.258	1,053	0.102	0.005	0.011	0.230	0.044

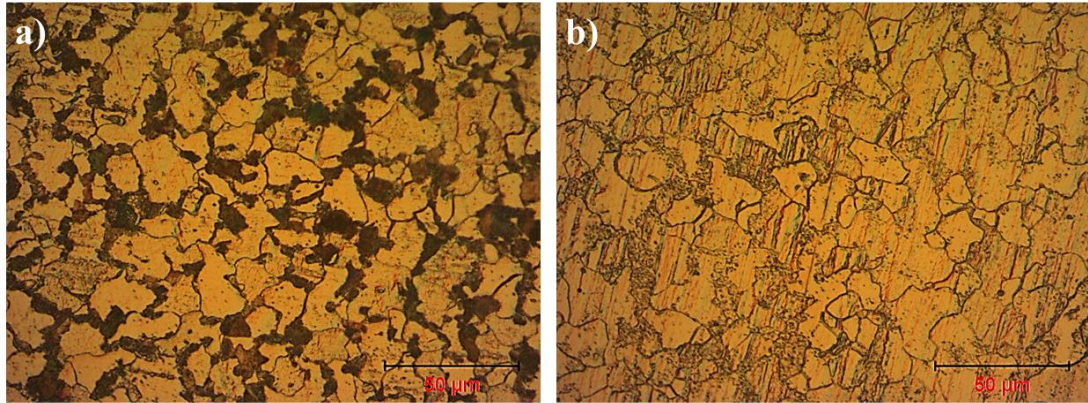
30MnB4 e ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Döküm numuneleri kalite kartına göre uygun olup istenilen değer aralıkları sınırdadır ama sıkıntı yoktur.

Çizelge 4.3. 30MnB4 kimyasal analiz değerler.

Numune No	Kompozisyon	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu
Numune 3	Kalite Kartı	0,28-0,32	0,95-1,05	0,15 maks.	0,15 maks.	0,15 maks.	0,20-0,30	0,10 maks.
	Numune	0.309	0,97	0.12	0.007	0.015	0.255	0.062

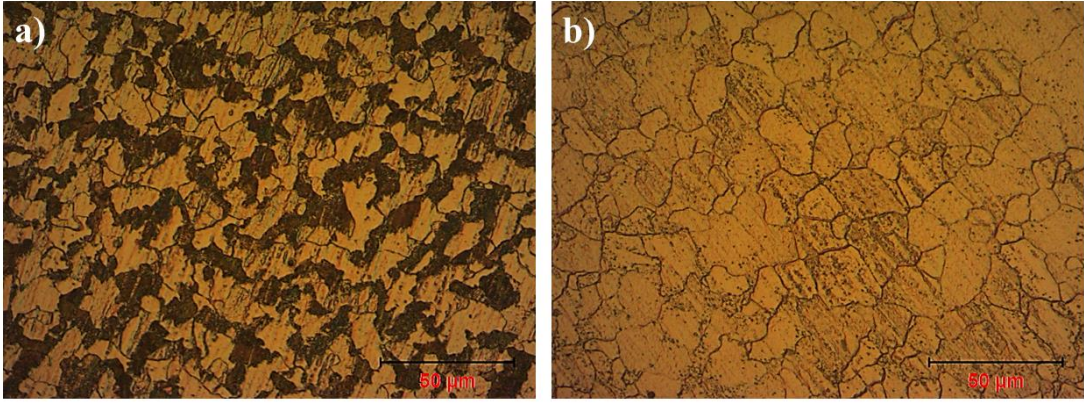
4.2. MIKROYAPI İNCELEMESİ VE FAZ ANALİZ SONUÇLARI

Optik mikroskop çalışması neticesinde elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekillerde “a)” ile belirtilen görüntüler tavsız mikroyapı görüntüsünü “b)” ile belirtilen görüntüler tavllanmış mikroyapı görüntülerini içermektedir. Mikroyapı görüntülerinde koyu renk olarak gözlemlenen bölgeler perlit (ferrit+sementit), açık renk olarak gözlemlenen bölgeler ise ferrit fazlarını göstermektedir. Çelik kalitelerinde 23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4 doğru gittikçe artan C (karbon) oranına bağlı olarak perlitik bölgelerin yoğunluğunun da arttığı optik mikroskop görüntülerinden anlaşılabilir.



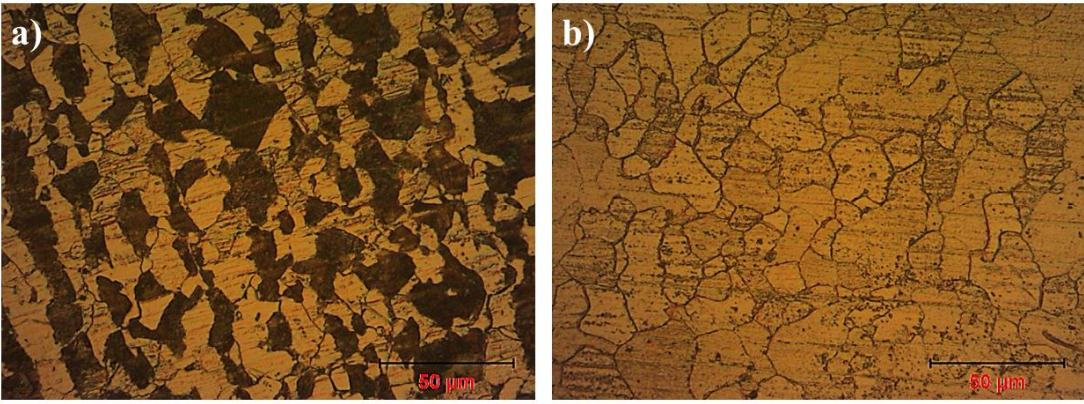
Şekil 4.1. 23MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavllanmış mikroyapı görüntüsü.

Şekil 4.1a’da görülen 23MnB4 kalite kangalın tavsız mikroyapıda malzemede yer alan 0,240 %C içeriğiyle paralel olarak ferrit-perlit yapısı görülmektedir. Şekil 4.1b’de ise, yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavllanmış mikroyapısında ise perlit taneleri içinde yer alan seimentit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir.



Şekil 4.2. 27MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavlanmış mikroyapı görüntüsü.

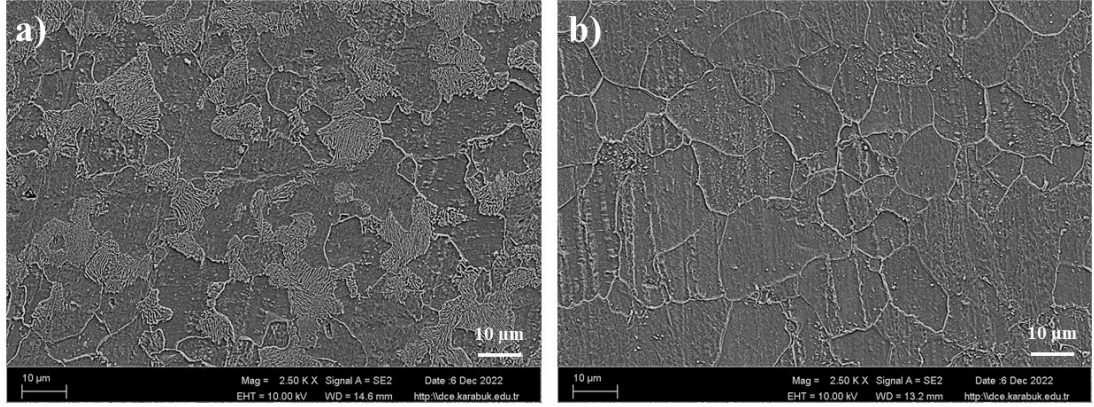
Şekil 4.2a’da görülen 27MnB4 kalite kangalın tavsız mikroyapısında malzemede yer alan 0,258 %C içeriğiyle paralel olarak ferrit-perlit yapısı görülmektedir. Şekil 4.2b’de ise, yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlanmış mikroyapısında perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir.



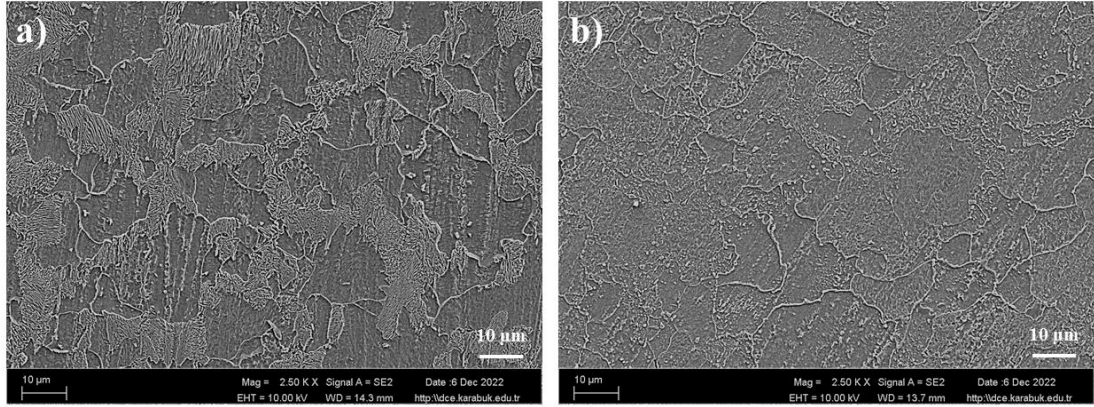
Şekil 4.3. 30MnB4 kalite kangalın a) Tavsız, b) Tavlanmış mikroyapı görüntüsü.

Şekil 4.3a’da görülen 30MnB4 kalite kangalın tavsız mikroyapıda malzemede yer alan 0,309 %C içeriğiyle paralel olarak ferrit-perlit yapısı görülmektedir. Şekil 4.3b’de ise, yapılan küreselleştirme işlemi sonucunda kangalın tavlanmış mikroyapısında perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmektedir.

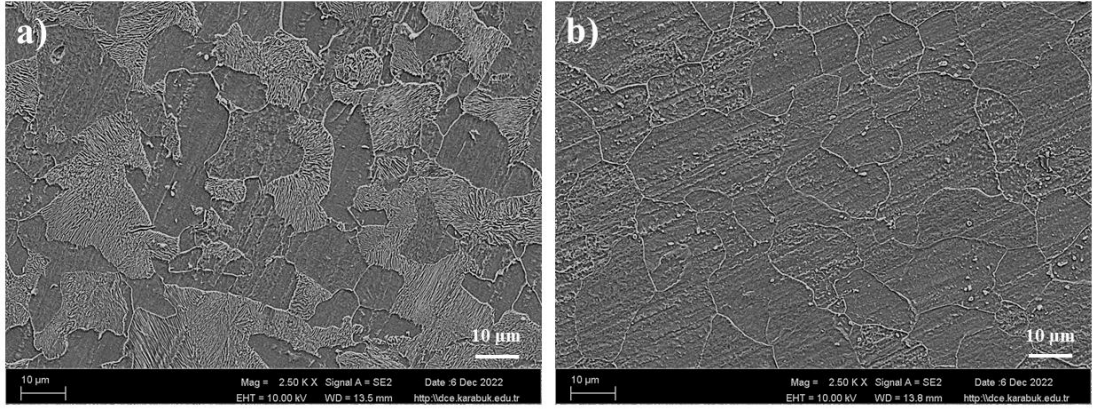
Şekil 4.4'te 23MnB4 kalite çeliğe ait SEM görüntüsü, Şekil 4.5'te 27MnB4 kalite çeliğe ait SEM görüntüsü ve Şekil 4.6'da da 30MnB4 kalite çeliğe ait SEM görüntüsü verilmiştir. Tüm görüntüler hem tavlınmamış (a) hem de tavlınmış (b) numunelerden alınmıştır. SEM ile yapılan analizlerde çok daha fazla büyütmeyle çıkılarak görüntüler alınabildiği için tavlınmamış numunelerdeki (Şekil 4.4a, Şekil 4.5a ve Şekil 4.6a) perlitik bölgeler çok daha belirgin olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Numunelere ait SEM görüntüleri a) 23MnB4 (tavsız), b) 23MnB4 (tavlı).

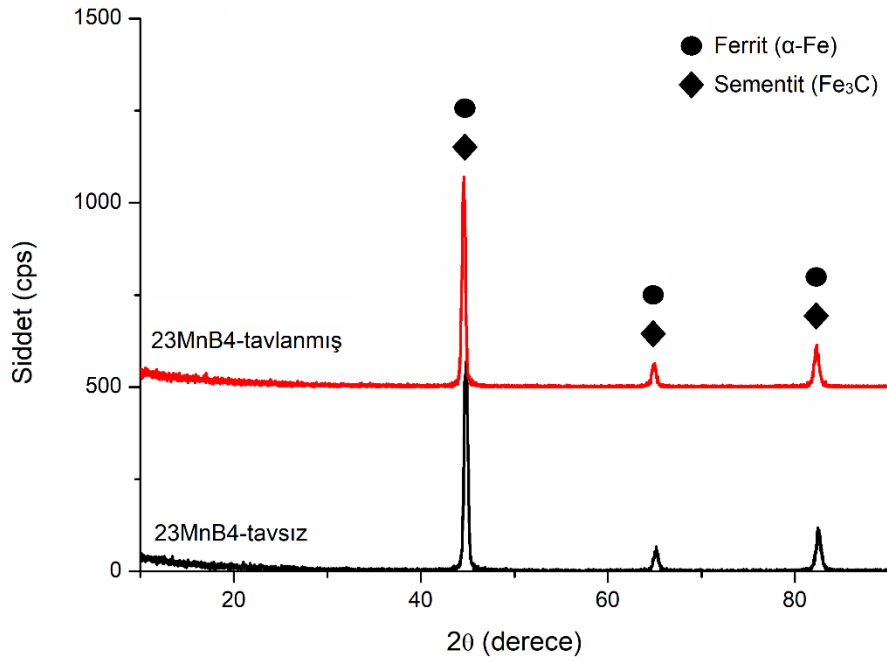


Şekil 4.5. Numunelere ait SEM görüntüleri a) 27MnB4 (tavsız), b) 27MnB4 (tavlı).

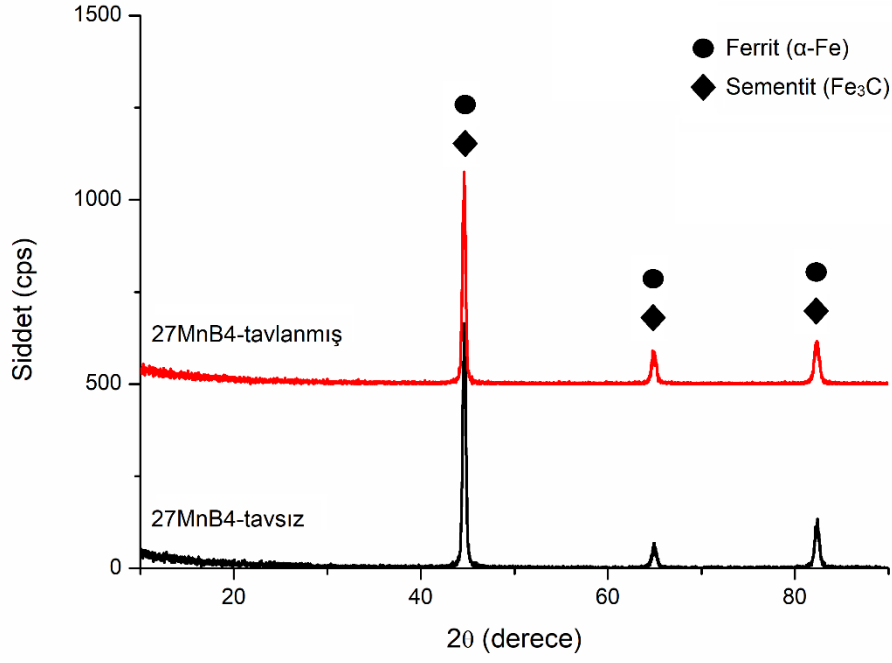


Şekil 4.6. Numunelere ait SEM görüntüleri a) 30MnB4 (tavsız), b) 30MnB4 (tavlı).

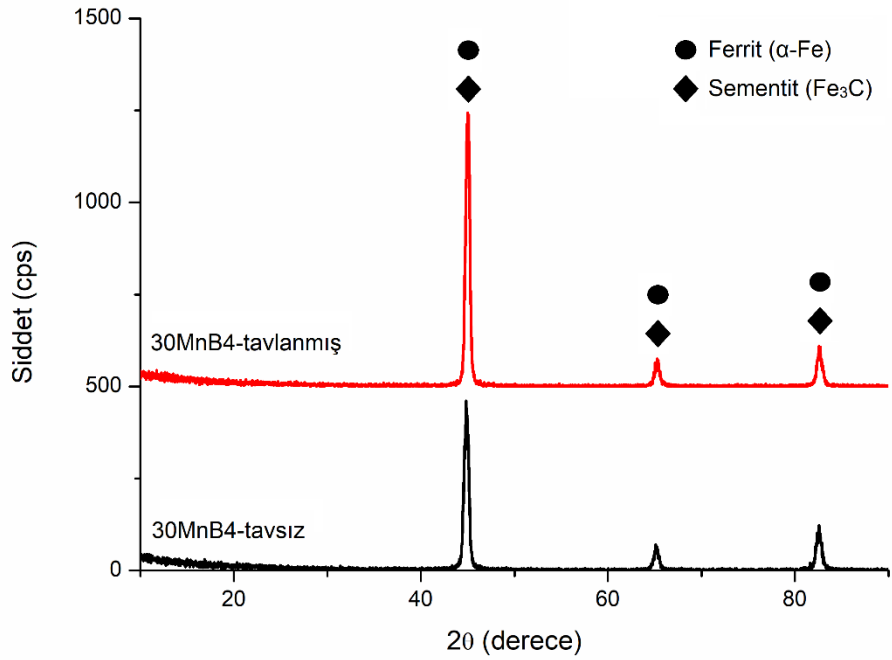
Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da çeliklerin tavsız ve tavlı durumlarındaki faz durumlarının tespiti için gerçekleştirilen XRD analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda tüm çeliklerdeki faz içeriğinin Ferrit (α -Fe) ve sementitten (Fe_3C) oluştuğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.7. 23MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.



Şekil 4.8. 27MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.



Şekil 4.9. 30MnB4 çeliğe ait tavlı ve tavsız numunelerin XRD grafikleri.

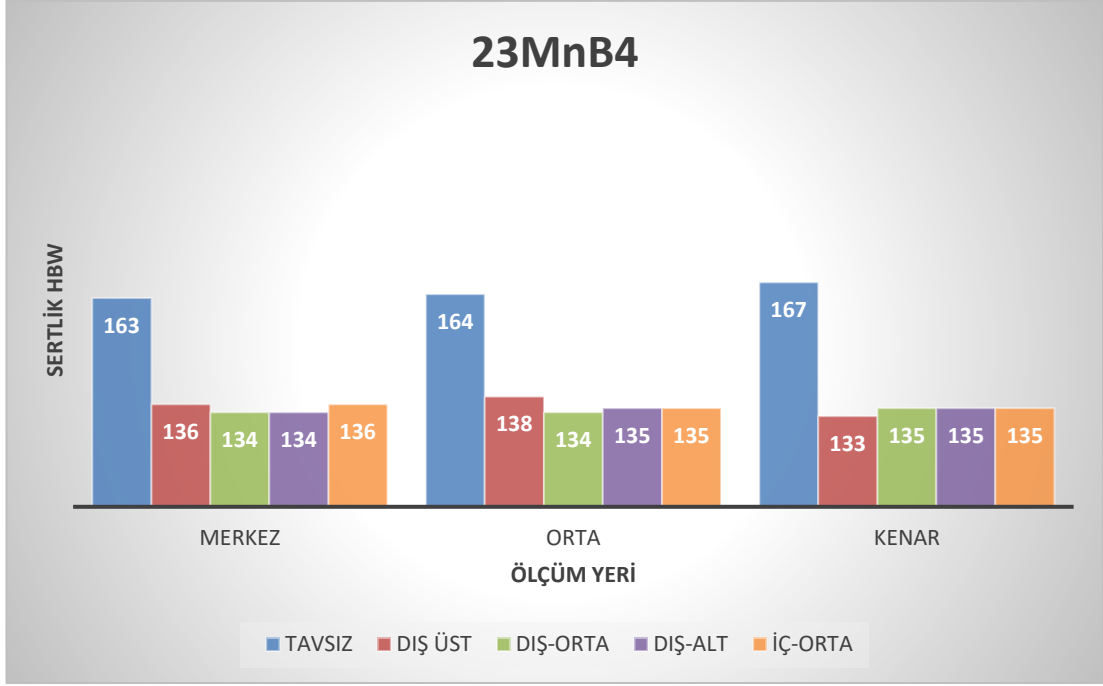
4.3. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Sertlik numuneleri 4 farklı bölgeden tüm numunelerin sertlik değerleri alınmış, çizelge ve şekillerde grafik olarak verilmiştir. Şekilde deney numunesinde sertlik alınan bölgeler verilmiştir.

Çizelge 4.4. Numunelere ait sertlik ölçüm sonuçları.

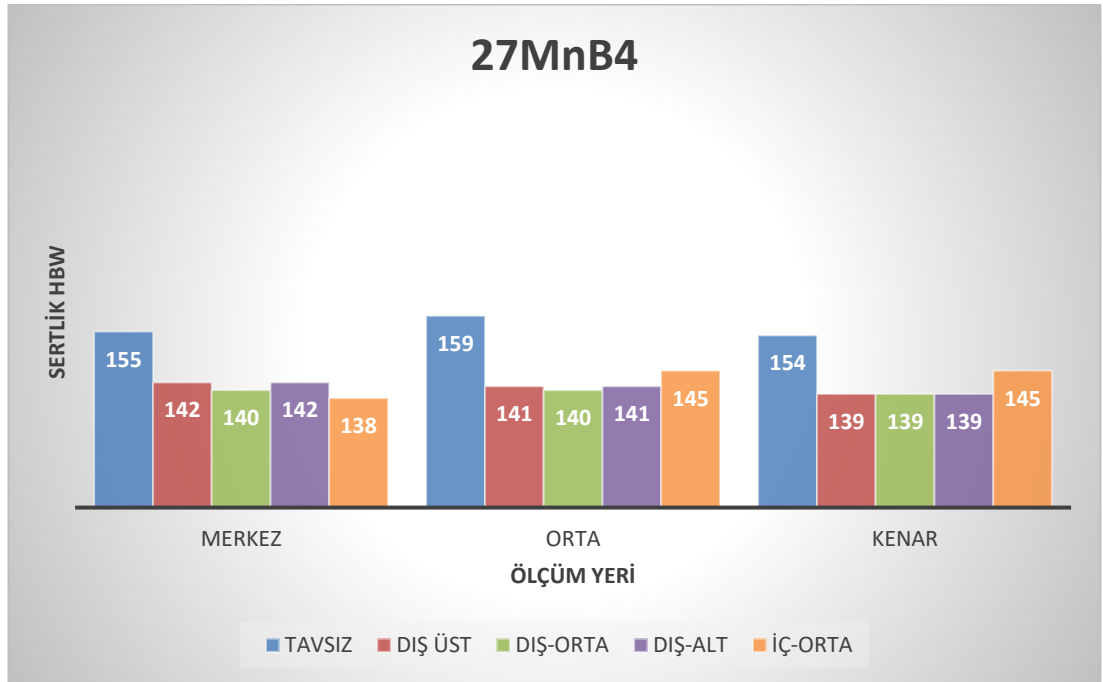
Çelik Kalitesi	Ölçüm Alınan Bölge	Sertlik Değerleri (HBW)
23MnB4	Tavsız	164,7±1,7
	Tavlı (Dış Üst)	135,6±2,5
	Tavlı (Dış Orta)	134,3±0,5
	Tavlı (Dış Alt)	134,3±0,5
	Tavlı (İç Orta)	135,3±0,5
27MnB4	Tavsız	156,0±2,2
	Tavlı (Dış Üst)	144,6±2,0
	Tavlı (Dış Orta)	139,6±0,5
	Tavlı (Dış Alt)	140,6±1,2
	Tavlı (İç Orta)	142,6±3,3
30MnB4	Tavsız	166,3±0,5
	Tavlı (Dış Üst)	146,3±3,3
	Tavlı (Dış Orta)	142,6±1,9
	Tavlı (Dış Alt)	147,6±0,9
	Tavlı (İç Orta)	146,0±0,8

Küreselleştirme tavlama ile birlikte oluşan sertlik değerleri ve orijinal numuneye göre meydana gelen azalma Çizelge 4.4 yer almaktadır. Genel olarak homojen bir sertlik dağılımı ve yaklaşık %18 düşüş mevcuttur.



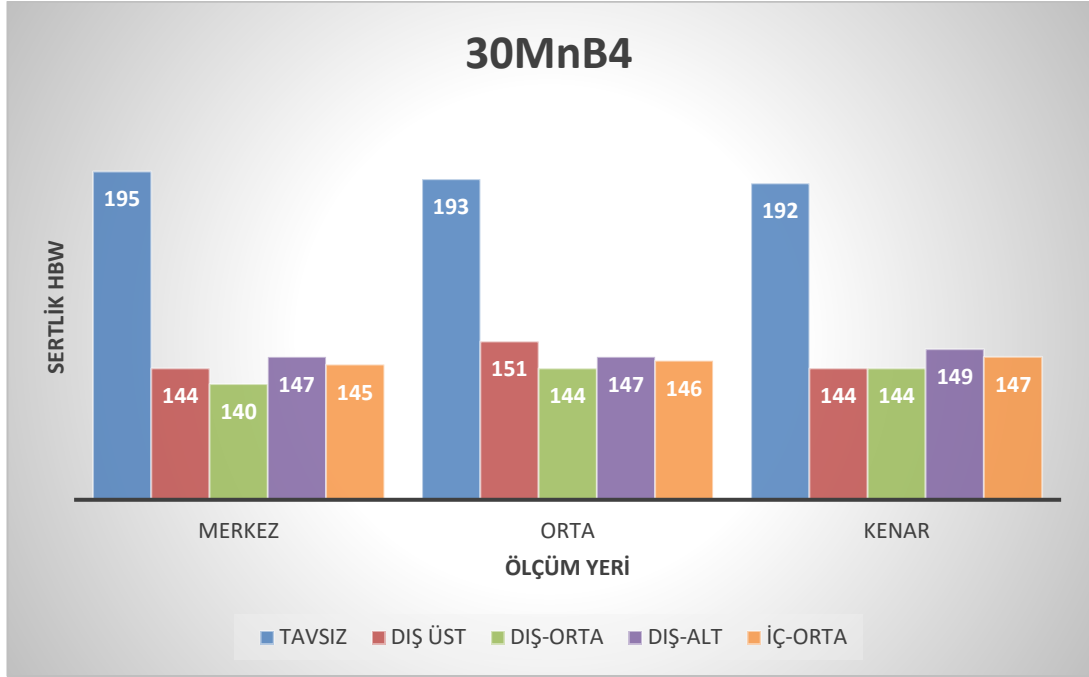
Şekil 4.10. 23MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi.

Küreselleştirme tavlaması ile birlikte oluşan sertlik değerleri ve orijinal numuneye göre meydana gelen azalma tabloda yer almaktadır. Genel olarak homojen bir sertlik dağılımı ve yaklaşık %10 düşüş mevcuttur.



Şekil 4.11. 27MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi.

Küreselleştirme tavlaması ile birlikte oluşan sertlik değerleri ve orijinal numuneye göre meydana gelen azalma grafikte yer almaktadır. Genel olarak homojen bir sertlik dağılımı ve yaklaşık %26 düşüş mevcuttur.



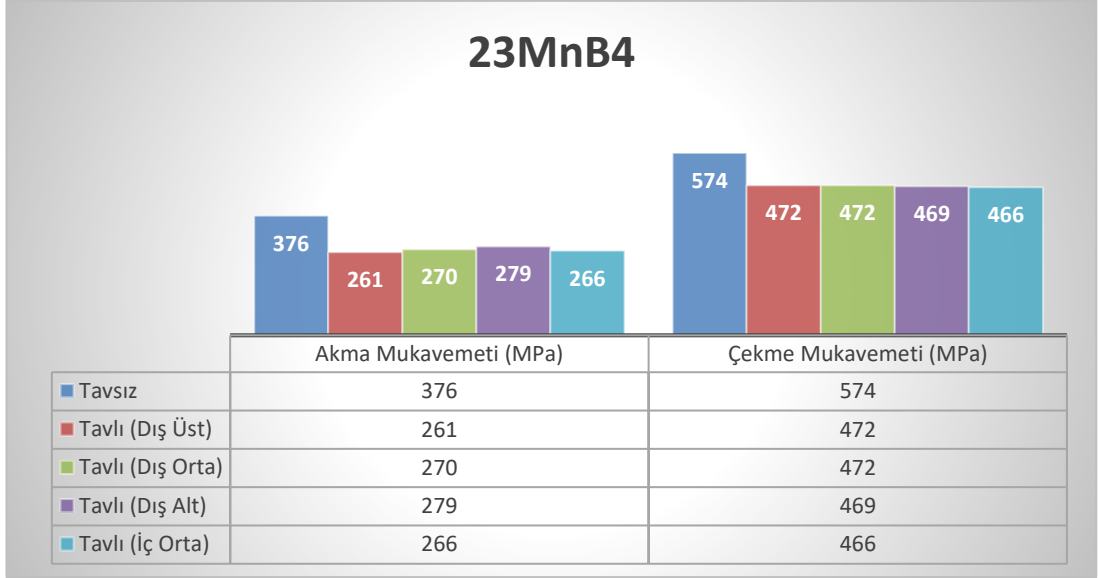
Şekil 4.12. 30MnB4 Sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi

4.4. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

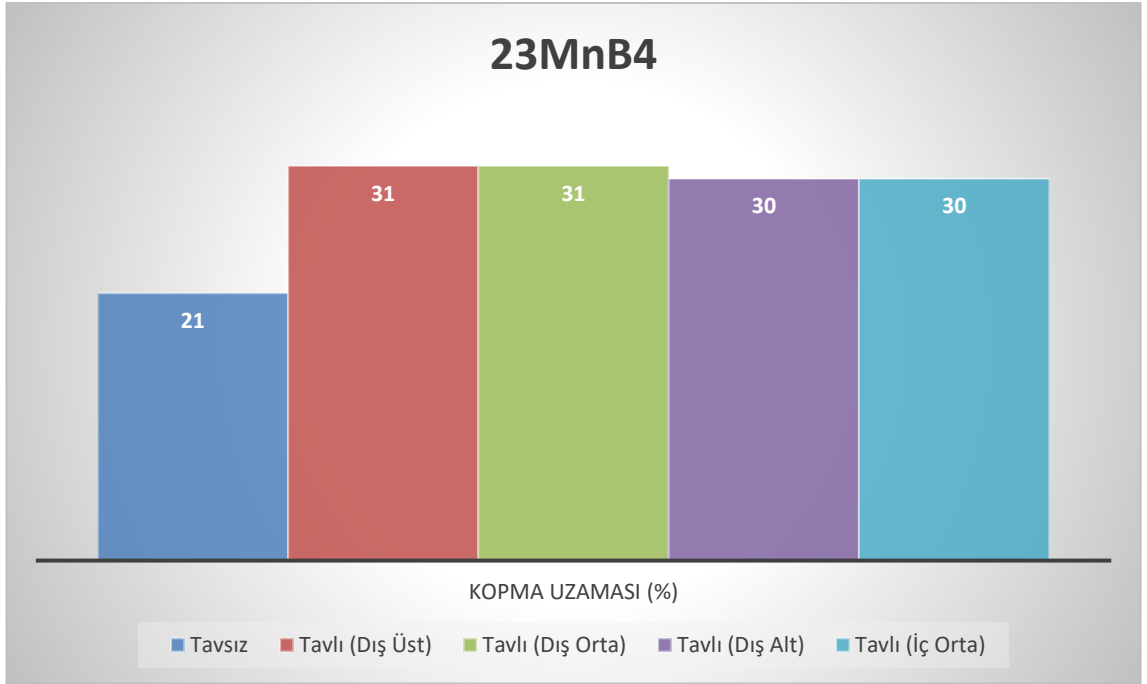
Çizelge 4.5. Numunelere ait çekme testi sonuçları.

Çelik Kalitesi	Ölçüm Alınan Bölge	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
23MnB4	Tavsız	376	574	21
	Tavlı (Dış Üst)	261	472	31
	Tavlı (Dış Orta)	270	472	31
	Tavlı (Dış Alt)	279	469	30
	Tavlı (İç Orta)	266	466	30
27MnB4	Tavsız	351	575	24
	Tavlı (Dış Üst)	260	480	27
	Tavlı (Dış Orta)	270	486	27
	Tavlı (Dış Alt)	264	486	27
	Tavlı (İç Orta)	271	491	29
30MnB4	Tavsız	324	608	19
	Tavlı (Dış Üst)	268	519	24
	Tavlı (Dış Orta)	287	515	24
	Tavlı (Dış Alt)	273	513	25
	Tavlı (İç Orta)	286	524	24

23MnB4 Küreselleştirme tavlama sonucu çekme testi değerleri ve orijinal numuneye göre mukavemette meydana gelen azalma çizelge 4.5’de yer almaktadır. Genel olarak homojen bir dağılım ve mukavemette ortalama %16 azalma mevcuttur.

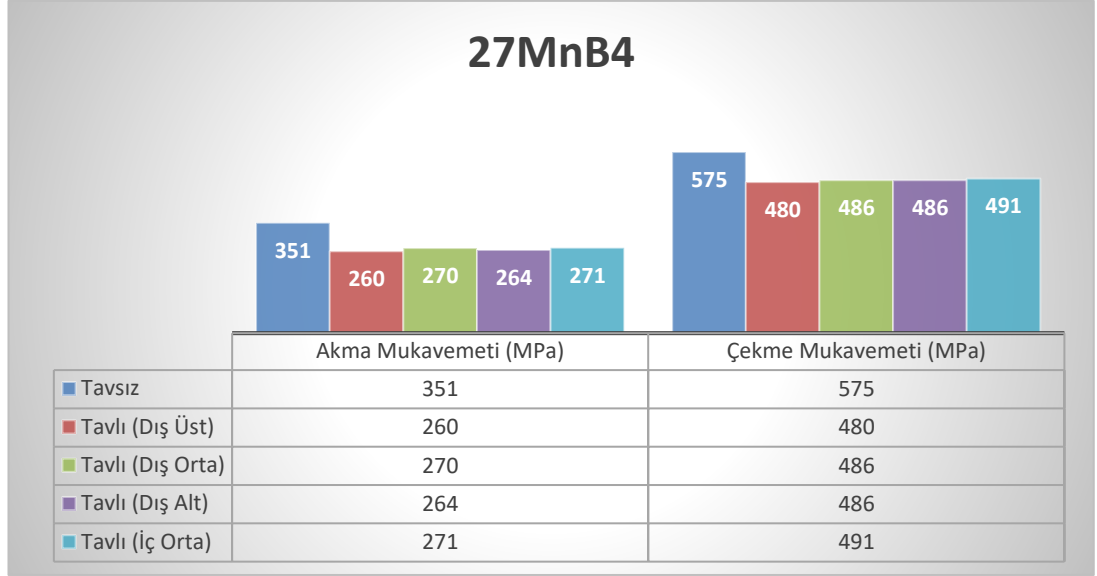


Şekil 4.13. 23MnB4 çekme ve akma değerleri.

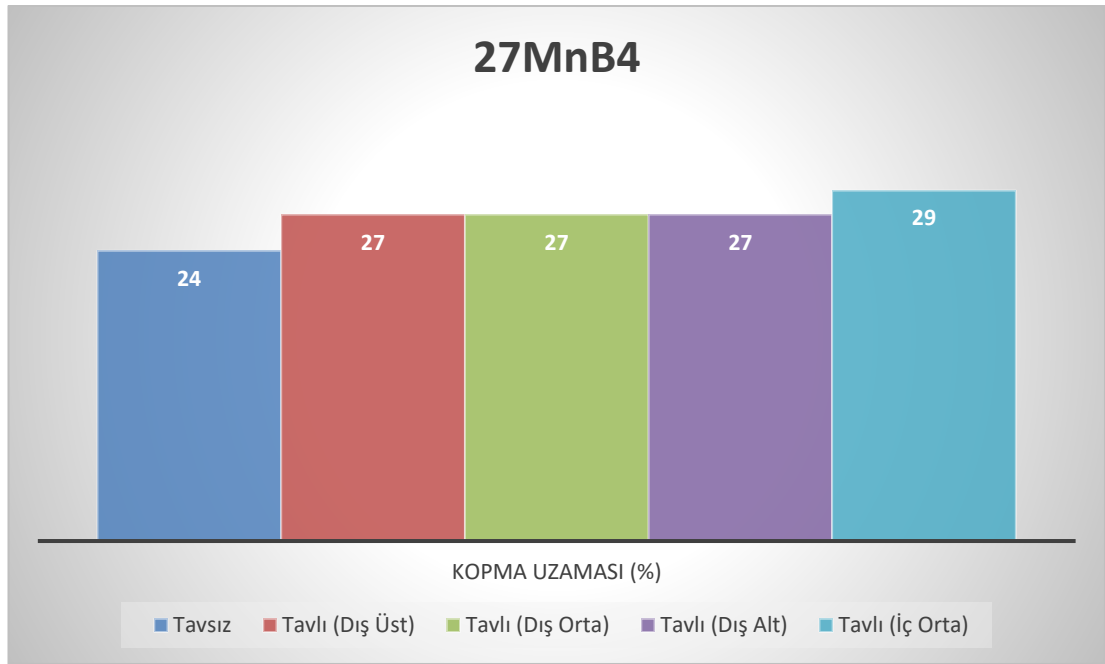


Şekil 4.14. 23MnB4 % uzama değerleri.

Küreselleştirme tavlama sonucu çekme testi değerleri ve orijinal numuneye göre mukavemette meydana gelen azalma tabloda yer almaktadır. Genel olarak homojen bir dağılım ve mukavemette ortalama %15 azalma mevcuttur.

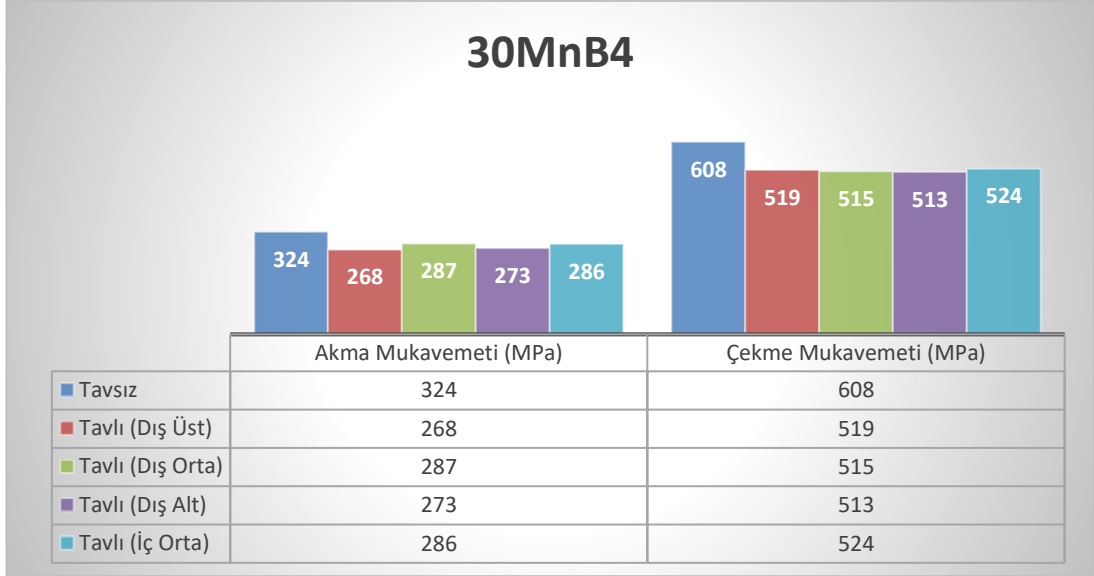


Şekil 4.15. 27MnB4 çekme ve akma değerleri.

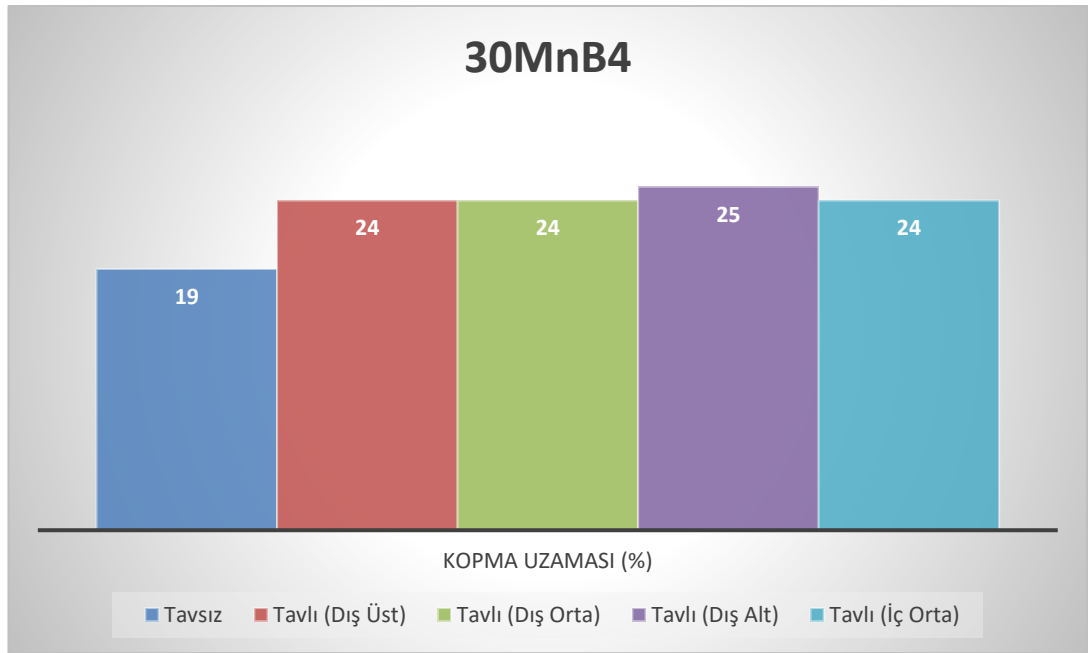


Şekil 4.16. 27MnB4 % uzama değerleri.

Küreselleştirme tavlama sonucu çekme testi değerleri ve orijinal numuneye göre mukavemette meydana gelen azalma tabloda yer almaktadır. Genel olarak homojen bir dağılım ve mukavemette ortalama %14 azalma mevcuttur.



Şekil 4.17. 30MnB4 çekme ve akma değerleri.



Şekil 4.18. 30MnB4 % uzama değerleri.

4.5. BASMA TESTİ SONUÇLARI

23MnB4 Küreselleştirme tavlama sonucu basma testi değerleri ve orijinal numuneye göre basma test sonuçları çizelge 4.6'de yer almaktadır.

Çizelge 4.6. 23MnB4 basma testi değerleri.

Kangal Numunesi	Deformasyon (%)	Çap Büyümesi (%)	Maksimum Dayanım (N/mm ²)	Maksimum Kuvvet (kN)
Tavsız	65,7	198,3	2905,7	334,1
Dış alt	63,5	187,0	2495,3	286,9
İç orta	64,3	185,1	2527,5	295,5

27MnB4 Küreselleştirme tavlama sonucu basma testi değerleri ve orijinal numuneye göre basma test sonuçları çizelge 4.7’de yer almaktadır.

Çizelge 4.7. 27MnB4 basma testi değerleri.

Kangal Numunesi	Deformasyon (%)	Çap Büyümesi (%)	Maksimum Dayanım (N/mm ²)	Maksimum Kuvvet (kN)
Tavsız	61,6	182,5	2523,7	394,1
Dış alt	63,7	189,7	2557,3	399,3
İç orta	63,5	197,0	2682,8	418,9

30MnB4 Küreselleştirme tavlama sonucu basma testi değerleri ve orijinal numuneye göre basma test sonuçları çizelge 4.8’de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. 30MnB4 basma testi değerleri.

Kangal Numunesi	Deformaasyon (%)	Çap Büyümesi (%)	Maksimum Dayanım (N/mm ²)	Maksimum Kuvvet (kN)
Tavsız	62,4	192,7	2650,0	1885,5
Dış alt	63,8	188,5	2632,3	1885,5
İç orta	63,6	199,3	2629,4	1858,6

Basma testi sonuçları değerlendirildiğinde, tavsız 23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinden basma mukavemeti en yüksek olanın 2905,73 N/mm² ile 23MnB4 kalitesinin olduğu görülmektedir. En düşük basma mukavemetine sahip olan kalite ise 27MnB4’tür. Küreselleştirme tavlama sonucunda 27MnB4 ve 30MnB4 kalite

çeliklerin basma mukavemetlerinde belirgin farklılıklar oluşmazken 23MnB4 kalitede basma mukavemetinde yaklaşık %14 oranında bir düşüş görülmüştür.



Şekil 4.19. 23MnB4 kalite kangallarda basma testi numuneleri.

Şelik 4.19’da 23MnB4 kalite kangallarda basma testi sonrası numune fotoğrafları görülmektedir. Isıl işlem sonrası malzemelere yapılan basma testleri sonucunda herhangi bir çatlama görülmemiştir.



Şekil 4. 20. 27MnB4 kalite kangallarda basma testi numuneleri.

Şelik 4.20’da 27MnB4 kalite kangallarda basma testi sonrası numune fotoğrafları görülmektedir. Isıl işlem sonrası malzemelere yapılan basma testleri sonucunda herhangi bir çatlama görülmemiştir.



Şekil 4.21. 30MnB4 kalite kangallarda basma testi sonrası meydana gelen hasarlar.

Şekil 4.21’de 30MnB4 kalite kangallarda basma testi sonrası meydana gelen hasarlar gösterilmiştir. 30MnB4 kalite numunelerde ise basma testi sonrasında yırtılma şeklinde hasar meydana gelmektedir. Bu kalitelerde görülen yüksek silisyum oranının, söz konusu hasarlara sebep olduğu kanısına varılmıştır. Silisyum ilavesinin fazla olduğu çeliklerde, ferrit güçlenmesi gerçekleşmektedir. Bu mekanizma ise; malzemenin sünekliğin azalmasına ve soğuk deformasyonda çatlamalara neden olmaktadır.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

- Bu tez çalışmasında 3 farklı kalite MnB çeliklere (23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4) uygulanan küreselleştirme tavlama sürecinin (700 °C sıcaklık, 10 saat süre) çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.
- Uygulanan küreselleştirme tavlama süreci için tüm çelik kalitelerinin içeriğinde bulunan perlit banyalarının ferrit matris içerisinde çözündüğü ve küresel bir hal aldığı optik mikroskop ve SEM analizleri ile anlaşılmıştır. Ayrıca XRD analizi ile de çeliklerin hem tavsız hallerinin hem de tavlama süreci hallerinin faz içeriklerinin sadece α -Fe (ferrit) ve sementit (Fe_3C) oluştuğu tespit edilmiştir.
- Kimyasal kompozisyonları (Karbon, Bor element miktarları) birbirinden farklı üç kalite için yapılan küreselleştirme tavlama süreci sonucunda, tüm kalitelerde mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Karbon oranındaki artışa paralel olarak mukavemet değerlerindeki düşüş azalmaktadır. Ayrıca küreselleştirme tavlama süreci ile birlikte kopma uzaması değerlerinde; 23MnB4 kalite çelikte yaklaşık %50 oranında, 27MnB4 kalite çelikte yaklaşık %17 oranında, 30MnB4 kalite çelikte ise yaklaşık %26 oranında artışlar meydana gelmiştir. Bu farklılıkların oluşmasında karbon ve bor elementi içeriklerinden meydana gelen farklılıkların olduğu öngörülmektedir.
- Küreselleştirme tavlama süreci yapılan numunelere basma deneyleri yapılmıştır. 23MnB4, 27MnB4 kalitelerde bazı numunelerde çatlama olmuştur. Bunların basma testinden önce var olan kusurlardan kaynaklandığı, basma dayanımı ile ilişkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca 30MnB4 kalite numunelerde ise basma testi sonrasında yırtılma şeklinde hasar meydana gelmiştir. Bu kalitelerde

görülen yüksek silisyum oranının, söz konusu hasarlara sebep olduğu kanısına varılmıştır.

- Küreselleştirme tavlama yapılan numunelere sertlik değerlerine bakılmıştır. 23MnB4 kalite için yaklaşık olarak %18, 27MnB4 kalite için yaklaşık olarak %10, 30MnB4 kalite için yaklaşık olarak %26'ya varan sertlik değerlerinde düşüşler görülmüştür.
- Tüm MnB kalite (23MnB4, 27MnB4 ve 30MnB4) çelikler için perlit taneleri içinde yer alan sementit kollarının kırıldığı ve küresel form aldığı görülmüştür. Bundan dolayı küreselleştirme tavlama için çalışılan sıcaklık ve süre (700 °C, 10 saat) tüm çelik kaliteleri için yeterli olarak değerlendirilmiştir.

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. 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).
4. Aydın, Ö., “Yüksek fırın işletmeciliğinde optimizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-5 (2005).
5. Huang, H., Chai, T., Luo, X., Zheng, B., and Wang. H., “Two stage method and applicaion for molten iron-making plants and steel making plants”, *Proceedings of the 18th World Congress*, Milano, 9476-9481 (2011).
6. Shigemori, H., “Desulphuriation control system through locally weighted regression model”, *Proceedings IFAC Workshop on Automation in the Mining, Mineral and Metal Industries*, Gifu, 234-239 (2012).
7. 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).
8. Emiroğlu, H. İ., “Bazik oksijen fırını (bof) ile çelik üretim prosesinde kullanılan endüstriyel fandanın iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 6 (2019).
9. 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).
10. Kayrak, A., “Bazik oksijen fırını için külçe alüminyum besleme sistemi tasarımı ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 27-29 (2016).
11. Conejo, A, N., Lara, F, R., Hernandez, M, M., “Steel Research International”, *Wiley-Blackwell.*, US, 141-150 (2007).

12. 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).
13. 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).
14. Mishra, S. K., and Jha, P. K., “Inclusion removal study in multistrand tundish with turbostopper”, *Ind. Advances in Science and Engineering Technology International Conferences*, Abu Dhabi, 1-4 (2018).
15. Zu, L., Meng, H., and Xie, Z., “Coupled numerical simulation of fluid field and temperature field in five-strand tundish of continuous casting”, *2011 International Conference on Electric Information and Control*, Wuhan, 251-255 (2011).
16. Cockerell, R. A., Grabe, S. F., Elsey, G., Crisafulli, S. And Goodwin, G. C., “Design study for continuous caster tundish weight control and ladle steel flow estimate”, *2011 IFAC Automation in Steel*, Korea, 235-240 (1997).
17. Xudong, W., Zhaofeng, W., Man, Y., “Particle Swarm Optimization for Estimation on Mould Oscillation for Continuous Casting Process”, *2011 Seventh International Conference on Natural*, Shangai, 2226-2229 (2011).
18. Haddehaneler Müdürlüğü, “Hizmetiçi Eğitim Notları”, Kardemir A.Ş., Yayın No:33 Karabük (2020).
19. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Demir Çelik Sektör Raporu, 2021
20. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Demir Çelik Sektör Raporu, Haziran, 2008

ÖZGEÇMİŞ

Can ÇİĞDEM, ilk ve orta öğrenimini Mersin’de tamamladı. 2000 yılında Mersin Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü’nden mezun oldu. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi, Döküm Öğretmenliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2006 yılında mezun oldu. 2015 yılında Mühendislik Tamamlama Programı kapsamında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği 2016 yılında tamamladı. 2010 yılında Kardemir A.Ş. çalışmaya başladı. Halen İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğünde çalışmaya devam etmektedir. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.