



**23MnB4 KALİTE ÇELİKLERDE VAKUM DA GAZ
GİDERME İŞLEMİNİN NİHAİ ÜRÜN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yasin DEVEÇEKER

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

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK**

**23MnB4 KALİTE ÇELİKLERDE VAKUM DA GAZ GİDERME İŞLEMİNİN
NİHAİ ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yasin DEVEÇEKER

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK**

**KARABÜK
Temmuz 2022**

Yasin DEVEÇEKER tarafından hazırlanan “23MnB4 KALİTE ÇELİKLERDE VAKUM DA GAZ GİDERME İŞLEMİNİN NİHAİ ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK

Tez Danışmanı, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği nde Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/07/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr.Muhammet Emre TURAN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet AKKAŞ (KÜ)

Online

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

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.”

Yasin DEVEÇEKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

23MnB4 KALİTE ÇELİKLERDE VAKUM DA GAZ GİDERME İŞLEMİNİN NİHAİ ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yasin DEVEÇEKER

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK

Temmuz 2022, 76 sayfa

Bu çalışmada, bağlantı elemanı olarak kullanılan 23MnB kalite kangallarda vakum da gaz giderme işleminin hidrojen ve azot kaynaklı çatlak ve kırılabilirliğe etkisi araştırılmıştır. Elementel analizle deneysel çalışmada kullanılan kangalların azot-hidrojen değerleri tespit edilmiş ve basma testi yapılarak çatlak olup olmadığı incelenmiştir. Vakumlu ve vakumsuz dökümden üretilen kangallara elementel analiz, mikroyapı incelemeleri, çekme, sertlik ve basma testi uygulanarak kendi aralarında kıyaslama yapılmıştır. Yapılan testler neticesinde vakum altında gaz giderme işlemi yapılmış dökümlerden elde edilen kangal numunelerinde azot ve hidrojen değerinin daha düşük olduğu, mikroyapı incelemelerinde kalıntıların vakumsuz dökümden üretilen kangallara göre daha az sayıda ve daha küçük boyutlu olduğu ve basma testleri neticesinde kılcal çatlak oranının büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kangallar, vakum, hidrojen, azot, cıvata-somun.

Bilim Kodu : 91530

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VACUUM DEGASSING ON THE FINAL PRODUCT PROPERTIES IN 23MnB4 STEEL GRADE STEELS

Yasin DEVEÇEKER

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Asist.Prof.Dr. Engin ÇEVİK

July 2022, 76 pages

In this study, the effect of vacuum degassing on hydrogen and nitrogen-induced cracks and embrittlement was investigated in 23MnB4 steel grade coils used as fasteners element. With the instrumental analysis method, the nitrogen-hydrogen values of the coils used in the experimental study were noted and the compression test was performed to investigate whether there were any cracks in the samples. Vacuum and non-vacuum coils were compared with each other by applying spectrometric analysis, microstructure analysis, tensile test, hardness tests and compression test. As a result of the tests, in the coil samples obtained from the castings that were degassed under vacuum, it was determined that the nitrogen and hydrogen values were lower, in microstructural examinations, it was found that the inclusions are less and smaller than the coils produced from vacuum casting and the capillary crack rate was lower as a result of the compression tests.

Key Word : Coils, vacuum, hydrogen, nitrogen, fasteners.

Science Code : 91530

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının her aşamasında ve de ayrıca lisans dőneminde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi birikimini paylaőan ve çalıőmalarıma ıőık tutan, őęrencilerine karşı her zaman sabırlı ve anlayıőlı olan Sn. Hocam Dr. Őęr. Üyesi Engin ÇEVİK' e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme ve beni sürekli destekleyen ve anlayıőla karőılayan eőime, ayrıca dőnya nimetlerinin en güzeli olan kızıma ve çok değerli olan sevgili aileme her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle sonsuz ve samimi bir şekilde teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
KANGAL ÜRETİM AŞAMALARI.....	2
2.1. YÜKSEK FIRIN PROSESİ	2
2.2. ÇELİKHANE PROSESLERİ.....	3
2.2.1. Konverter	3
2.2.2. Pota Fırını ve Vakum Altında Gaz Giderme	4
2.2.2.1. Yapıdaki Elementlerin Çeliğe Etkisi	5
Karbon (C).....	5
Mangan (Mn).....	6
Silisyum (Si).....	6
Kükürt (S).....	6
Fosfor (P).....	6
Krom (Cr).....	7
Titanyum (Ti)	7
Bor (B).....	7
Nikel (Ni)	11

	<u>Sayfa</u>
Molibden (Mo)	12
Vanadyum (V).....	12
Alüminyum (Al).....	12
Bakır (Cu).....	12
Azot (N).....	12
Hidrojen (H)	13
Oksijen (O).....	13
2.2.3. Sürekli Dökümler.....	13
2.3. HADDELEME PROSESİ	14
BÖLÜM 3	16
ÇELİK ÜRETİMİNDE VAKUM ALTINDA GAZ GİDERME YÖNTEMİ	16
3.1. POTADA VAKUM ALTINDA GAZ GİDERME İŞLEMİ	16
3.2. VAKUM YÖNETİMİYLE AZOTUN UZAKLAŞTIRILMASI.....	18
3.2.1. Azotun Çeliğe Zararlı Etkisi.....	20
3.3. VAKUM YÖNETİMİYLE HİDROJENİN UZAKLAŞTIRILMASI.....	21
3.3.1. Hidrojenin Çeliğe Zararlı Etkisi	22
3.4. VAKUM YÖNETİMİYLE İNKLÜZYONLARIN UZAKLAŞTIRILMASI	24
BÖLÜM 4	26
ÇİVATA SOMUN ÜRETİM AŞAMALARI	26
4.1. TAVLAMA	27
4.1.1 Gerilim Giderme Tavlamaı	27
4.1.2. Küreselleştirme Tavlamaı	28
4.2. YÜZEY TEMİZLEME	29
4.3. SOĞUK ŞEKİLLENDİRME	30
4.4. İKİNCİL İŞLEMLER.....	30
4.5. ISIL İŞLEMLER	30
4.5.1. Su Verme İşlemi	31
4.5.2. Temperleme	32

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	33
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
5.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER.....	33
5.1.1 Optik İncelemeler	33
5.1.2 SEM-EDS İncelemeleri	34
5.2. ELEMENTEL ANALİZ ÖLÇÜMLERİ	35
5.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	35
5.4. ÇEKME TESTLERİ.....	36
5.5. BASMA TESTLERİ	37
BÖLÜM 6	39
DENEYSEL SONUÇLAR	39
6.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER.....	39
6.1.1 Optik İncelemeler	39
6.1.2 SEM-EDS İncelemeleri	42
6.2. ELEMENTEL ANALİZ SONUÇLARI.....	46
6.3. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI.....	47
6.4. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI	47
6.5. BASMA TESTİ SONUÇLARI.....	50
BÖLÜM 7	53
GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Yüksek Fırın Şeması.....	2
Şekil 2. 2. Konverter prosesi.....	4
Şekil 2. 3. Bor ürünlerinin kullanım alanları.....	8
Şekil 2. 4. (devam ediyor).....	9
Şekil 2. 5. Dönüşüm karakterleri üzerine borun etkisi.....	10
Şekil 2. 6. Bor-Karbon İlişkisi.	11
Şekil 2. 7. Sürekli döküm tesisinin şematik gösterimi.	14
Şekil 2. 8. Tavlama işleminin şematik gösterimi.	15
Şekil 3. 1. Örnek bir vakum tesisi.....	17
Şekil 3. 2. a) Elementlerin azot çözünürlüğü üzerindeki etkisi. b) Elementlerin azotun aktivite katsayısına etkisi. İki şekilde de sıcaklık 1600°C ve basınç 1 atm.....	19
Şekil 3. 3. Farklı ilk kükürt içerikleri için vakum işlem süreleri.	20
Şekil 3. 4. Altan gaz karıştırmanın şematik gösterimi.	21
Şekil 3. 5. Potada cüruf ile atmosfer temasını sağlayan dana gözü.	22
Şekil 3. 6. Hidrojen difüzyonu.	23
Şekil 3. 7. Taneler arası çatlama ve taneler arası boşluk görüntüsü.	23
Şekil 3. 8. Bazı inklüzyon tiplerinin görüntüsü.	24
Şekil 4. 1. Bir otomobildeki bağlantı elemanları.	26
Şekil 4. 2. Gerilim Giderme Tavlaması.	27
Şekil 4. 3. Küreselleştirme tavlama yöntemleri.....	28
Şekil 4. 4. Küreselleştirme tavı yapılmış ötektoid üstü çeliğin yapısında bulunan küreselleşmiş sementitler.....	29
Şekil 4. 5. Yüzey işlem havuzları.....	29
Şekil 4. 6. Çeliklerin üst kritik sıcaklık değerleri.....	30
Şekil 4. 7. Su verme + temperleme işlemi	31
Şekil 4. 8. Martenzit fazı görünümü.....	31
Şekil 4. 9. a) Kaplamasız b.) Sarı Çinko Kaplamalı c.) Beyaz Çinko Kaplamalı.....	32
Şekil 4. 10. Çeşitli Somun ve Cıvata Ürünleri	32

Sayfa

Şekil 5. 1. Optik mikroskop cihazı.....	34
Şekil 5. 2. SEM cihazı.....	34
Şekil 5. 3. Elementel analiz cihazı	35
Şekil 5. 4. Sertlik ölçüm cihazı	36
Şekil 5. 5. Çekme test cihazı	37
Şekil 5. 6. Basma test cihazı	38
Şekil 6. 1. Makroyapı fotoğrafları. a) Vakumsuz, b) Vakumlu 1 nolu döküm, c) Vakumsuz, d) Vakumlu 2 nolu döküm, e) Vakumsuz, f) Vakumlu 3 nolu döküm, g) Vakumsuz, h) Vakumlu 4 nolu döküm, ı) Vakumsuz, j) Vakumlu 5 nolu döküm.....	40
Şekil 6. 2. Makroyapı fotoğrafları. a) Vakumsuz, b) Vakumlu 1 nolu döküm, c) Vakumsuz, d) Vakumlu 2 nolu döküm, e) Vakumsuz, f) Vakumlu 3 nolu döküm, g) Vakumsuz, h) Vakumlu 4 nolu döküm, ı) Vakumsuz, j) Vakumlu 5 nolu döküm.....	41
Şekil 6. 3. Numunelere ait SEM mikroyapı görselleri (a) Vakumsuz 1 nolu döküm 500x büyütme (b) Vakumlu 1 nolu döküm 500x büyütme (c) Vakumsuz 1 nolu döküm 1000x büyütme (d) Vakumlu 1 nolu döküm 1000x büyütme.....	42
Şekil 6. 4. Vakumsuz 1 nolu döküm 100x büyütme SEM mikro yapı kalıntı görseli.	43
Şekil 6. 5. Numunelere ait SEM mikroyapı görselleri (a) Vakumsuz 5 nolu döküm 500x büyütme (b) Vakumlu 5 nolu döküm 500x büyütme (c) Vakumsuz 5 nolu döküm 1000x büyütme (d) Vakumlu 5 nolu döküm 1000x büyütme.	44
Şekil 6. 6. Vakumsuz 5 nolu döküme ait 100x büyütme SEM mikro yapı kalıntı görseli	45
Şekil 6. 7. Çekme testi sonuçları. a) Vakumsuz-Vakumlu 1 nolu döküm, b) Vakumsuz- Vakumlu 2 nolu döküm, c) Vakumsuz-Vakumlu 3 nolu döküm, d) Vakumsuz-Vakumlu 4 nolu döküm, e) Vakumsuz-Vakumlu 5 nolu döküm	50
Şekil 6. 8. Basma testi sonucu fotoğrafları. a) Vakumsuz, b) Vakumlu 1 nolu döküm, c) Vakumsuz, d) Vakumlu 2 nolu döküm, e) Vakumsuz, f) Vakumlu 3 nolu döküm, g) Vakumsuz, h) Vakumlu 4 nolu döküm, ı) Vakumsuz, j) Vakumlu 5 nolu döküm.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4:2017 standardında belirtilen kimyasal içeriği.	5
Çizelge 6. 1. 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4:2017 standardında belirtilen kimyasal içeriği.	39
Çizelge 6. 2. Vakumsuz 1 nolu döküme ait EDS analiz sonucu	43
Çizelge 6. 3. Vakumsuz 5 nolu döküme ait EDS analiz sonucu	45
Çizelge 6. 4. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait elementel analiz sonuçları.....	46
Çizelge 6. 5. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait sertlik sonuçları	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ac1	: alt kritik sıcaklık
Al	: alüminyum
B	: bor
C	: karbon
°C	: santigrat
CO	: karbonmonoksit
Cr	: krom
Cu	: bakır
Fe	: demir
H	: hidrojen
kgf/mm ²	: yük gerilme artış hızı
Mn	: manganez
Mo	: molibden
N	: azot
Ni	: nikel
O	: oksijen
P	: fosfor
S	: kükürt
Si	: silisyum
Ti	: titanyum
V	: vanadyum
%	: yüzde

KISALTMALAR

ATM : Atmosfer Basıncı

EDS : Elektron Difraksiyon Taraması

EMS : Electromagnetic Stirrer (Elektromanyetik Karıştırma)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

F-EMS : Final Electromagnetic Stirrer (Final Elektromanyetik Karıştırma)

M-EMS : Mould Electromagnetic Stirrer (Kalıp İçinde Elektromanyetik Karıştırma)

PPM : Parts Per Million (Milyonda Bir)

RH : Ruhrstahl and Heraeus (Vakumda Gaz Giderme Yöntemi)

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

S-EMS : Seconder Electomagnetic Stirrer (İkincil Elektromanyetik Karıştırma)

TS : Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Özellikle son yıllarda ki otomotiv ve uzay sanayindeki gelişmeler, sektördeki özel alaşımli bağlantı elemanlarına olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu ihtiyaç aynı zamanda bağlantı elemanlarının üretildiği yarı mamullerdeki çelik temizliğini de önemli hale getirmiştir. Temiz çelik üretimi için ise çeliğin içerisinde bulunan ve nihai ürün için tehlike arz eden istenmeyen elementlerin çelik içerisinde uzaklaştırılması gerekir.

Çelik içerisinde istenmeyen elementlerden bazıları azot, hidrojen ve oksijen elementleridir. Bu elementlerin çeliğin içerisinde bulunması ile beraber nihai üründe hem mekanik hem fiziksel olarak sorunlara sebep olmaktadır. Bu elementler genel itibariyle gevrekliği ve kırılabilirliğe arttırmakla beraber çelik içerisinde uzaklaştırılmaları da bir hayli zordur. Bu elementlerin atmosfer bileşiminde de olduğu düşünülürse çelik içerisinde giderilseler bile tekrar çeliğe girmeleri mümkündür ve dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır.

Son yıllarda gelişen ve değişen vakum tekniğiyle bahsi geçen elementler çelik içerisinde uzaklaştırılmış ve nihai ürüne de olumlu yönde katkıda bulunulmuştur. Birçok farklı vakum tekniği bulunmakta olup, bu çalışmada sıvı çelik potasının üzeri kapak yardımıyla kapatılmış, alttan inert bir gaz olan argon gazı üflenerek basıncın 1mbar ın altına düşürülmesi suretiyle gaz giderme işlemi yapılmıştır. Bu işlem de gaz giderme işleminin etkinliği, erimiş çelik ile vakum arasındaki azaltılmış basınçtan kaynaklanır. Bu durum istenmeyen gazların sıvı çelik içerisinde daha az çözünür hale gelmesine ve çelikten ayrılmasına neden olur [1]. İstenmeyen gazların çelik muhtevassından uzaklaşmasıyla nihai ürün kontrollerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmayla otomotiv sanayinde kullanılan bağlantı elemanlarının yarı mamulü olan 23MnB4 kalite çeliklerde vakum altında gaz giderme işleminin etkileri araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

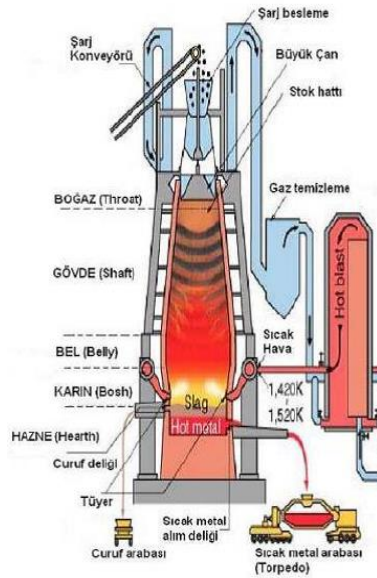
KANGAL ÜRETİM AŞAMALARI

Entegre bir demir-çelik üretim tesisinde kangal üretim aşamaları şu şekildedir:

- Yüksek fırın
- Çelikhane
- Haddehane

2.1. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

Demir elementi doğa da saf halde bulunmadığı için çeşitli reaksiyonlar sonrasında sıvı ham demire dönüşür. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi hazırlanmış olan parça cevher, kireçtaşı, sinter ve peletin, kok ile redüklenmesiyle ham demir elde edilir. Sıvı ham demir üretim sonucunda yan ürün olarak yüksek fırın gazı ve cüruf elde edilir.



Şekil 2. 1. Yüksek Fırın Şeması [2].

Yüksek fırınlar içerisinde boğaz kısmından katmanlar halinde şarj edilen cevher vs gibi demir içerikli malzeme ile birlikte kireçtaşı, dolomit, kuvarsit, manganez, vs metalurjik kok ile birlikte şarj edilir. Fırın içerisindeki metalurjik kok, yüksek fırın sobalarında ısıtılan havanın tüyer adı verilen hava kanallarından içeriye verilmesi ile yakılır. Tepkime sonrası açığa çıkan CO gazı ve enerji ile fırın içindeki hammaddeler tepkimeye girerek sıvı ham demiri ve cürufu oluşturur. Döküm deliğinden dışarıya alınan sıvı ham demir pota veya torpidolara doldurularak kükürt giderme işlemi sonrasında çelikhaneye gönderilirken, yoğunluğu sıvı ham demire göre daha düşük olan cüruf ise ayrı bir kanaldan cüruf havuzlarına alınarak çimento fabrikalarında kullanılmak üzere granüle edilir [2].

2.2. ÇELİKHANE PROSESLERİ

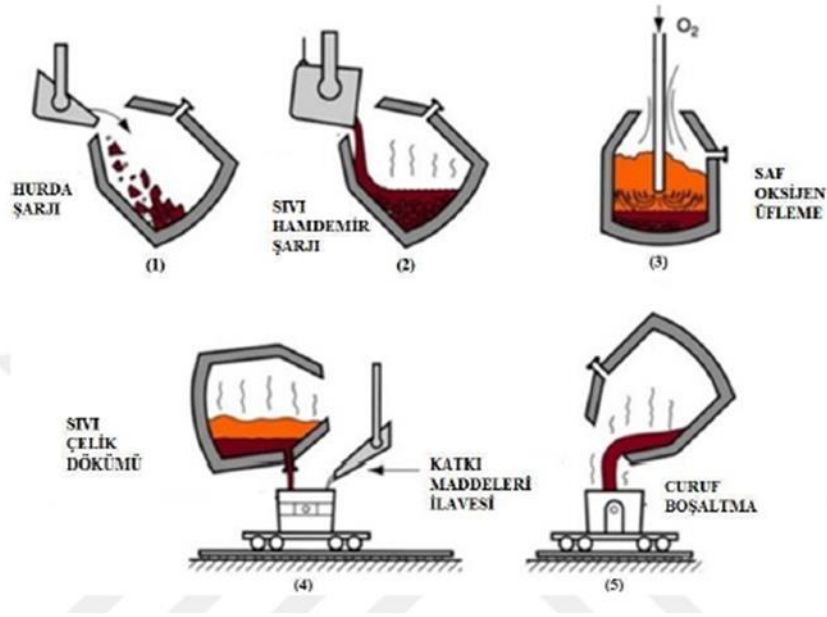
Yüksek Fırınlardan gelen sıvı ham demir, çeşitli işlemlerden ve istasyonlardan geçerek standart ve/veya müşteri şartnamesinde istenilen nihai analize kavuşturulur.

Çelikhane prosesi şu şekilde sıralanabilir:

- Konverter
- Pota Fırını ve vakum altında gaz giderme
- Sürekli dökümler

2.2.1. Konverter

Yüksek fırınlardan gelen sıvı ham demire konverter tesisinde %99,5-%99,8 saflıkta oksijen üflenerek %4 üzerinde olan karbon oranı %0,1 değerinin altına düşürülür. Konverterde meydana gelen tepkimeler sonucunda yükselen ısıyı düşürebilmek için hurda gibi soğutucu özellikli ürünler şarj edilir. Şekil 2.2' de konverterde gerçekleşen reaksiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Konverter prosesi [3].

Konverterde işlem sırası aşağıdaki gibidir:

- Hurda kovaları vasıtasıyla hurda konvertere şarj edilir.
- Kükürdü giderilmiş sıvı ham demir konvertere alınır.
- Konvertere şarj edilen hurda-sıvı ham demir oranı, sıvı ham demir içerisinde bulunan Silisyum(Si) ve sıcaklığa bağlı olarak %15-25 hurda ve %75-85 sıvı ham demir olarak hesaplanır.
- Şarj sonrası konverter 45° lik açıyla ileri-geri yatırılarak karışım sağlanır ve dik konuma getirilerek lans yardımıyla saf oksijen üflenmeye başlanır.
- Üfleme sırasında katkı malzemeleri ilavesi olur ve çelik içerisinde sıcaklık ölçümü yapılır, analiz için numune alınır.
- Sıvı çeliğe dönüşen maden sıvı çelik potalarına alınır ve sıcaklık ve analizin nihai hale gelmesi amacıyla pota fırınlarına gönderilir.
- Konverter içerisinde kalan cüruf alınır ve konverter sonraki döküm şarj işlemleri için hazır hale gelmiş olur. [3,4]

2.2.2. Pota Fırını ve Vakum Altında Gaz Giderme

Pota Fırını sıvı çeliğin istenilen bileşime ulaştığı yerdir. Sıvı çelik üzerinde cüruf tabakası oluşturularak bu tabakanın üzerinden grafit elektrotlar kullanılarak ısıtma

işlemi yapılır. Bunun beraberinde potanın altından inert bir gaz olan argon gazı yardımıyla karıştırma yapılır, böylelikle sıvı çelik içerisinde bulunan inklüzyonların yüzdürülerek cürufa geçmesi ve çeliğin homojen bir analize ulaşması amaçlanır.

Nihai analize ulaşılmasının ardından vakum da gaz giderme işlemi yapılır. Vakum altında gaz giderme işlemi yapılarak düşük basınç altında sıvı çelik içerisinde istenmeyen gazların cürufa geçmesi sağlanır. Mamul ve yarı mamulde oksijen, hidrojen ve azot kaynaklı hataların önüne geçilmeye çalışılır. Vakum işlemi biten sıvı çelik potasının ağzı kapatılır ve atmosfer ile ilişkisi kesilir. Bir süre dinlendirilen pota sonrasında döküm işleminin gerçekleştirilebilmesi için Sürekli Döküm Makineleri' ne gönderilir. Çizelge 2.1'de 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4 standardında belirtilen kimyasal içeriği gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1. 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4:2017 standardında belirtilen kimyasal içeriği [5].

Çelik Kalitesi	Çelik numarası	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%B
23MnB4	1.5507	0.20 to 0.25	≤0.30	0.90 to 1.20	0.025	0.025	≤0.30	0.25	0.0008 to 0.0050

2.2.2.1. Yapıdaki Elementlerin Çeliğe Etkisi

Günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan çelikler temel de değişen karbon miktarı ile demir elementinin bir araya gelmesiyle oluşan bir alaşımdır. Çelikte istenilen özellikleri sağlayabilmek amacıyla farklı miktarlarda farklı alaşım elementleri ilavesi yapılır. Alaşımlama da amaç özetle belirli özellikleri elde etmek/güçlendirmek veya gidermek/zayıflatmak amacıyla yapılmaktadır.

Karbon (C)

Çelikte ki en önemli önemli element olan C çeliğe sertlik verir. Akma-çekme gibi mukavemet değerlerine artı yönde etkisi olur. Darbeye karşı dayanım ile beraber esnekliği de azaltan karbon elementinin aynı zamanda uzama, dövülerek şekillendirilebilme ve kaynak alma kabiliyetine de eksi yönde etkisi olur [6, 7].

Mangan (Mn)

Mn elementi akma-çekme gibi mukavemet değerlerini arttırırken aynı zamanda sertliği ve tokluğu da arttırır. Aynı zamanda kaynak alma özelliğini olumlu yönde etkilerken, dövülme ve su verme derinliğini de artırır. Mn elementinin diğer bir özelliği de korozyona olan direnci yükseltmesidir. Kükürt ile birleşerek MnS yapar ve bu sayede özellikle mamulde sıcak kırılmalık gibi olumsuz bir etkisi olan Fe-S oluşumunu engeller [6, 8].

Silisyum (Si)

Silisyum en güçlü deoksidant elementlerinden biridir. Çelikte akma-çekme mukavemet değerlerini arttırırken aynı zamanda elastikiyetini artırır. Silisyum elementinin çelik içerisinde azalmasıyla beraber tufal yapma oranı artar. Genellikle yay çelikleri gibi yüksek elastikiyet gerektiren çeliklerde kullanılır. Silisyum, ürünün tel haline getirilmesi sırasında teli sertleştirdiği için kopmalara neden olur ve küçük çaplara indirilmesi gereken ürünlerde yüksek silis oranı tercih edilmez. [6].

Kükürt (S)

Fe-S nin oluşmasına neden olur ve tane sınırlarında birikir. Bu fazın ergime sıcaklığı düşüktür ve haddeleme sıcaklığında ergir bu nedenle sıcak kırılmalığa neden olur. Özellikle işlenebilirliği kolay olan kükürtlü otomat çelikleri harici çeliklerde, yapıda kükürt istenmez [6, 9].

Fosfor (P)

Çelik yapıda akma-çekme mukavemetini ve sertliği olumlu yönde etkilerken, eğilme ve yüzde uzama gibi özellikleri olumsuz etkiler. İşlenebilirliği arttırması amacıyla kükürt ile beraber yapıda bulunabilir. Tokluk özelliğini düşürmesinin yanı sıra, darbe dayanımına da olumsuz etkisi bulunmaktadır. İlave olarak soğuk kırılmalığa neden olur ve genel itibariyle yapıda istenmez [6, 7].

Krom (Cr)

Cr elementinin bilinen en önemli özelliği, paslanmaya ve sıcaklığa karşı dayanımı arttırması iken, sertlik özelliğine de olumlu etkisi vardır. Bunun yanı sıra, yapı da kromun artmasıyla beraber kaynak kabiliyeti kromlu paslanmaz çeliklerde azalmaktadır. Ürüne parlak bir görünüm kazandırmak amacıyla yaklaşık olarak %20-25 oranında krom ilave edilir [6, 10].

Titanyum (Ti)

Yapıda tane küçültücü etkisi bulunmaktadır. Bu etkisi vanadyuma göre daha fazladır. Azotu bağlayarak bor ile reaksiyona girmesini engeller. Krom karbürün olumsuz etkisini azaltmak amacıyla paslanmaz çeliklerde karbür yapıcı olarak kullanılır ve çeliğin sertliğini arttırır [6].

Bor (B)

Özellikle düşük-orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini etkin olarak arttıran elementtir. Aynı zamanda bu çeliklerde bor ilavesi ile yüksek çekme dayanımları ve yüksek aşınma dayanımları elde edilmektedir. Azot ve oksijenle tepkimeye girme isteği fazla olan bor elik içinde çözünmüş halde bulunan oksijen ve azot tarafından bağlanır. Borun olumlu etkilerinin azaltan bu durumu önlemek için bora nazaran azot ve oksijene karşı ilgisi daha yüksek olan elementler yapıya ilave edilmelidir. Oksijene ilgisi daha yüksek olan kalsiyum, alüminyum, silisyum elementleri, azota ilgisi daha yüksek olan titanyum veya zirkonyum elementleri kullanılabilir [6, 11]. Bor elementinin uzay sanayisinden, savunma sanayisine, kimya, tıp metalürji gibi birçok sektörde kullanımı mevcuttur.

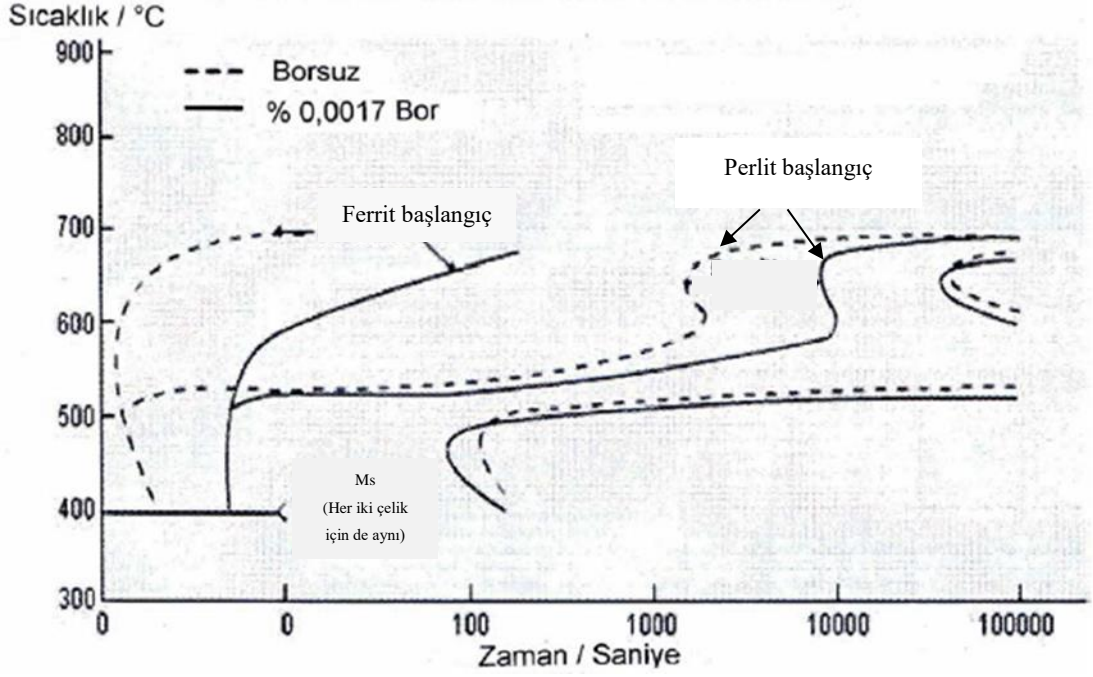
KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Savunma Sanayi	Zırh plakalar, Seramik plakalar, Ateşli silah namluları, Fişek v.b.
Cam Sanayi	Borosilikat, Laboratuvar camları, Uçak camları, Borcam, Pyrex, İzole cam elyafı, Tekstil cam elyafı, Optik lifler, Cam seramikleri, Şişe, Diğer düz camlar, Otomotiv camları v.b.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikrodalga tüpleri, Sensörler, Süper iletkenler, Yarı iletkenler, Magnetler, Elektron emiterleri, Mikro çipler, LCD ekranlar, CD sürücüler, Akım levhaları, Bilgisayar levhaları, Isıya ve aşınmaya dayanıklı fiber optik kablolar, Vakum tüpler, Dielektrik malzemeler, Elektrik kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli sigortalar, Bataryalar, Piller, Lazer printer tonerleri v.b.
Enerji Sektörü	Gaz türbinleri, Yüksek Isı transistörleri, Bor hidrür yakıtları, Isı enerjisi depolayıcılar, Piller, Hidrojen depolayıcılar, Güneş enerjisinin depolanması, Güneş pillerinde koruyucu, Hücre yakıtları v.b.
Görüş Sistemleri	Kamera ve mercek camları, Fotoğraf makinaları, Dürbünler, Banyo ve film imalatları
İlaç Kozmetik Sanayi	Dezenfekte ediciler, Antiseptikler, Diş macunları, Lens solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan v.b.
İletişim Araçları	Cep telefonları, Modemler, Televizyonlar v.b.
İnşaat Sektöründe	Çimentoya mukavemet artırıcı ve izolasyon amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Geri kazanılan kağıtların mürekkeplerinden arındırılması, Yüksek kaliteli kağıtların parlaklaştırılması, Kağıt hamurunu beyazlatılması
Kimya Sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, Elektrolitik işlemler, Flotasyon ilaçları, Banyo çözeltileri, Katalistler, Atık temizleme amaçlı olarak, Petrol boya, Yanmayan ve erimeyen boyalar, Tekstil boya, Yapıştırıcılar, Soğutucu kimyasallar, Korozyon önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve cilalar, kibrit, Kireçlenme önleyicileri, Dezenfektan kimyasallar, Kozmetikler, yumuşatıcılar, Sabun, Toz deterjanlar, Toz beyazlatıcılar, Ağartıcılar, Parlaticılar, Ahşap empenye çözeltileri, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap malzemeler ve ağaçlarda koruyucu olarak, Boya ve vernik kurutucularında, Küf ve mantar önleyiciler, v.b.
Makine Sanayi	Manyetik cihazlar, Zımpara ve aşındırıcılar kompozit malzemeler, Titreşim söndürücü malzemeler, Sert malzemeler, Motorlar, katı yağlayıcılar, Yüksek sıcaklık sızdırmazlık contaları, Yüksek performanslı Motor yağları, v.b.

Şekil 2. 3. Bor ürünlerinin kullanım alanları [12].

Nükleer Sanayi	Nükleer atık depolama (kolemanit cam bloklar), Reaktör aksamları, Nötron emiciler, Reaktör kontrol çubukları, Nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak, Nükleer teknolojiye emniyet malzemeleri
Metalurji	Kaplama elemanları, Yüksek sıcaklık refrakterleri, Kaplama sanayiinde elektrolit olarak, Paslanmaz ve alaşımlı çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya karşı dayanıklı malzemeler, Kaynak elektrotları, Metalurjik flaks, Briket malzemeleri, Lehimleme, Döküm malzemelerinde Katkı maddesi olarak, Kesiciler, Kompozit malzemeler, Zımpara ve aşındırıcılar
Otomobil Sanayi	Titreşim söndürücü malzemeler, Hava yastığı şişirme mekanizmaları, Bor hidrür yakıtları (boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Hidrojen depolayıcılar, Hava yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik aksamda, Yağlarda ve metal aksamalarda, Isı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla, Antifrizler, v.b.
Seramik Sanayi	Emaye, Fayans, Porselen boyaları, sırlar, v.b.
Spor Malzemeleri	Kayak aksamları, Tenis raketleri, Ok-yay, Balık oltaları, Golf sopaları, Darbe söndürücüler, vb.
Tarım Sektörü	Sentetik gübreler, Biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları, Küf ve mantar önleyiciler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani otlar, v.b.
Tekstil Sektörü	Isıya dayanıklı kumaşlar, Yanmayı geciktirici ve önleyici selülozik malzemeler, İzolasyon malzemeleri, Tekstil boyaları deri renklendiricileri, Dericilikte kireç çöktürücü, Suni ipek parlatma malzemeleri, v.b.
Tıp	Yapay organlar, Antibiyotikler, Osteopoz tedavilerinde, Alerjik hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik gelişiminde ve artiritte, Menopoz tedavisinde, BNTC terapi yöntemiyle beyin kanserlerinin tedavisinde tümör öldürücüler, Manyetik rezonans görüntüleme cihazlarında, v.b.
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve ısıya dayanıklı malzemeler, Roket yakıtı, uydular, uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar, Radar dalgası soğurucular, v.b.

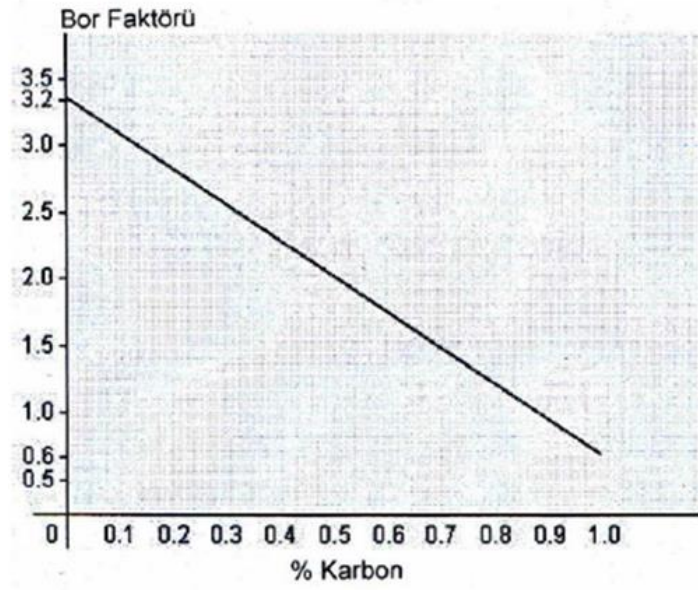
Şekil 2. 4. (devam ediyor).

Alaşımlı çeliklere 10-30 ppm arası bor ilavesi ile sertleşebilirlik açısında ihtiyaç duyulan Cr, Ni, Mo miktarlarına olan ihtiyacı düşürür ve bahsi geçen elementlerden daha ucuzdur.



Şekil 2. 5. Dönüşüm karakterleri üzerine borun etkisi [13].

Çelik içerisinde bor elementi karbür oluşuma sebep olur ve bu sebeple çeliğin sertliğini artırır. Bor, yapı içerisinde martenzit oluşmasına neden olurken aynı zamanda Şekil 5.2' de gösterildiği üzere östenitin ferrit ve perlite dönüşümünü de geciktirir. Ancak karbon içeriğinin yükselmesiyle dönüşümün gecikme etkisi de olumsuz etkilenir ve sertlik alma yetkinliği de düşmüş olur. Bundan dolayı ötektoid altı çelikler için bor elementinin sertliğe etkisi daha fazladır [14]. Bor-karbon ilişkisi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 6. Bor-Karbon İlişkisi [13].

Borun azot ve oksijene ilgisi fazladır. Borun çelik içerisinde etkisini gösterebilmesi için oksijen ve azot ile etkileşimini bertaraf etmek gerekir. Borun oksijenle etkileşimini önlemek için çeliğin, alüminyum, silisyum gibi deoksidant elementlerle deokside edilmesi gerekir. Aynı şekilde azottan korunması için ise azota ilgisi daha yüksek olan Titanyum veya Zirkonyum ilavesi gerekir [15].

Özellikle son yıllarda otomotiv sanayinde, bağlantı elemanları üretiminde ve talaşlı imalatta borlu çeliklerin kullanımı artmıştır. Kolay işlenmesi ve ısıl işlem sonrası iyi mekanik özellik göstermesi, yüksek sertliğe sahip olması, aşınmaya karşı da yüksek dayanım göstermeleri bu çeliklerin tercih sebeplerindedir.

Nikel (Ni)

Nikel elementinin tokluk ve mukavemet özelliklerine olumlu etkisi bulunmaktadır. Tane küçültme etkisine sahiptir. Genel olarak Cr, Mo, Cr-Mo kombinasyonu ile kullanılır. Darbe tokluğunu artırır. Sertliği artırır ama bu özelliği kromdan daha düşüktür. Ancak krom ile kullanılması sonucunda sertliğin üründe daha derinlere iletilmesini sağlar ve östenit bölgesini genişletici etkisi bulunur [6, 7].

Molibden (Mo)

Molibdenin en olumlu etkisi yapı içerisinde nikel-krom ile beraber bulunduğunda ortaya çıkar. Karbür oluşumuna etkisi vardır, takım çeliklerinde aşınma direncini artırmak amacıyla yüksek oranlarda (%5-6) kullanılır [6, 16].

Vanadyum (V)

Tane küçültücü etkisi vardır ve bu sayede akma- çekme mukavemeti değerlerine olumlu etkisi bulunur. Çeliğin sıcaklığa karşı dayanımını artırır. Aynı zamanda sertleşebilme ve menevişleme gibi işlem kabiliyetlerini de artırır. Karbür yapı etkisi de bulunmaktadır. Genellikle titanium ve niobium ile beraber kullanılırlar [6, 10].

Alüminyum (Al)

Etkili bir deoksident element olması nedeniyle sakin çelik üretiminde sıkça kullanılır. Tane inceltici özelliğe de mevcuttur. Akma dayanımı ve darbe tokluğuna olumlu yönde katkısı bulunur [6, 8].

Bakır (Cu)

Bakır, sünekliği düşürmekle beraber sertlik ve korozyona karşı dayanımı artırır. Sıcak şekillendirilebilme gereken ürünlerde kırılmalığa olumsuz yönde etkisi olması nedeniyle tercih edilmez ve çelik içerisinde istenmeyen bir elementtir [6, 8].

Azot (N)

Sertliği artırır ve buna da yapı içinde nitrürlü bileşikler oluşturması neden olur. Korozyona dayanımı artırır. Malzemeye gevreklik vererek, kırılmalığı artırır ve eğme mukavemetini düşürür. Bu nedenle çelikte istenmeyen bir elementtir. Atom çapı küçüktür, bu nedenle çelik içerisinde uzaklaştırılması kolay değildir. Yüksek çözünürlüğe kübik yüzey merkezli yapıda ulaşır,östenit sahasını genişletir [6, 17, 18].

Hidrojen (H)

Yapıdaki olumsuz etkilerinden dolayı en zararlı elementlerdendir. Gevrekliğe neden olur. Hammaddenin nemli olması, alaşım ilavelerinin içeriğinde bulunması veya atmosfere maruziyet nedenleriyle yapıya girer. Oda sıcaklığı koşulları altında çelik içerisinde çözünme kabiliyeti yoktur. Katı yapıda oluşan hidrojen çatlak oluşumuna neden olur ve bu nedenle çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler [6, 17, 19].

Oksijen (O)

Serbest oksijen halinden ziyade diğer elementlerle oluşturduğu oksit bileşik ve kalıntıları ile tehlike arz eder. Oluşturduğu kalıntılar nedeniyle nihai üründe mekanik değerler, tokluk, yüzey kalitesi gibi özellikleri olumsuz etkiler [6, 20].

2.2.3. Sürekli Dökümler

Sürekli döküm, sıvı çeliğin kütük, blum, bema blank, slab vs gibi istenilen yarı mamül şeklinde üretildiği bir prosestir. Pota içerisinde bulunan sıvı çelik turret sisteminin üzerine oturtulur ve ardından potadan tandişe sıvı çelik akışı başlar. Katılaşma kalıp içinde başlamakta ve primer-sekonder soğutma bölgelerinde ve destek rölelerinde devam etmektedir. Çekme-doğrultma rölelerinden geçen yarı mamul torç yardımıyla istenilen boya kesilmektedir.

Uzun yıllar boyunca potadan tandişe sıvı çelik akışı esnasında ortamdaki oksijenin çelik ile irtibatı önemsenmemiştir. Ancak savunma sanayi, uzay sanayi, otomotiv sanayi gibi temiz çelik gerektiren uygulamalara talebin artmasıyla birlikte sıvı çelik akışının atmosfer ile irtibatının kesilmesi gündeme gelmiştir. Potadan tandişe akışın kapalı ara tüple sağlanması, tandiş-kalıp arası akışta yolların atmosferle irtibatının kesilmesi, tandiş örtü tozu kullanımı gibi önlemler alınmıştır. Sürekli döküm esnasında atmosfer ile çeliğin irtibatının kesilmediği durumlarda, vakum altında giderilen gazlar tekrar çelik bünyesine girecektir [21].

İlave olarak; temiz çelik üretiminde Elektro Manyetik Karıştırma (EMS) kullanılmaktadır. Çalışma prensibi, hareketli elektromanyetik alandan faydalanılarak, katılaşma cephesinin önünde ve sıvı çeliğin içinde bir akım oluşturmaya dayanmaktadır [21]. Kalıp içerisinde ki hareketlilik sayesinde inklüzyonlar kalıp duvarından uzaklaşarak yüzer ve içyapı temizliği sağlanır. 3 farklı EMS sistemi bulunmakta olup bunlar;

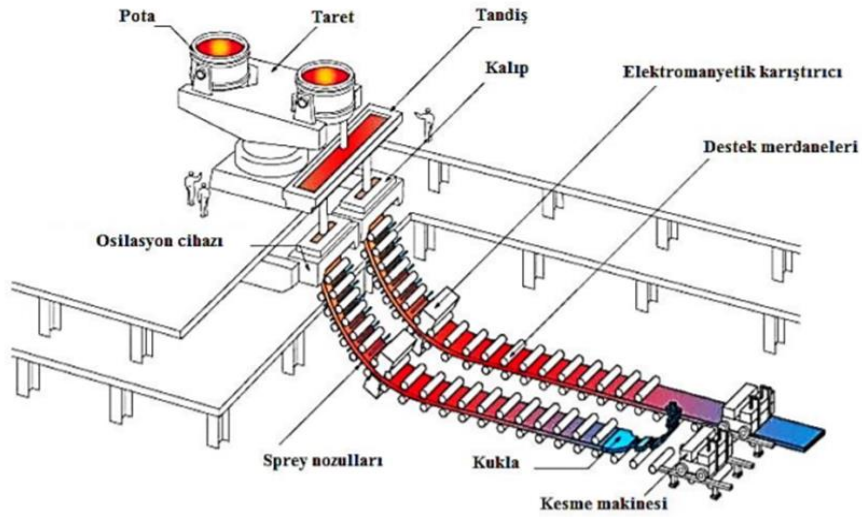
M-EMS: Kalıp içerisinde elektromanyetik karıştırma

S-EMS: Sekonder soğutma bölgesi içinde karıştırma

F-EMS: Son katılaşma bölgesi içinde karıştırma

Şeklindedir. En çok yaygın kullanılan ise M-EMS sistemidir [21].

Şekil 3.3 de bir sürekli döküm makinesinin şeması gösterilmiştir.



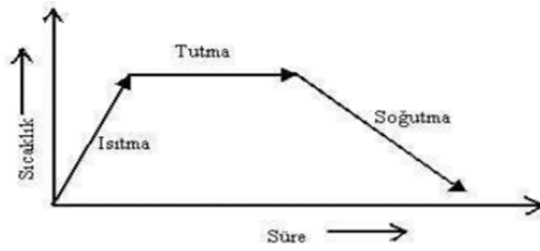
Şekil 2. 7. Sürekli döküm tesisinin şematik gösterimi [22].

2.3. HADDELEME PROSESİ

Özel alaşımlı çubuk, tel ve kangal üretimi, hurdadan çalışan ark tesislerinde veya cevherden çalışan entegre tesislerde üretilen yarı mamullerden yapılır. Bu yarı mamullerdeki çeliğin temizliği çok önemlidir. Yarı mamullerde bulunan hatalar haddeleme sırası veya sonrasında ciddi hatalara sebebiyet verebilmektedir. Örneğin Alümina inklüzyonu haddeleme sırasında kopmalara neden olurken FeS ise sıcak yırtılmaya neden olarak nihai ürüne negatif yönde etki etmiş olurlar.

Haddeleme öncesinde ilk aşama olarak yarı mamullerin tavlama işlemi gerçekleştirilir. Yarı mamullerin kimyasal bileşimine göre tavlama süresi ve sıcaklığı da değişiklik gösterebilir.

Tavlama, içyapıyı düzenleyerek homojen hale getirmek, tane inceltmek ya da kabalaştırmak, iç gerilmeleri yok etmek gibi çeliğe istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla yapılan ısıtma işlemlerinin genel ismidir [23]. Tavlama işleminin şematik gösterimi Şekil 2.8’ de verilmiştir.



Şekil 2. 8. Tavlama işleminin şematik gösterimi [23].

Tavlama işleminin ardından, tav fırınından çıkan kütük descaler olarak tabir edilen basınçlı su tezgahından geçerek üzerindeki tufalleri alınır. Ardından 3 adet yatay 3 adet dikey olmak üzere 6 adet tezgâhın bulunduğu hazırlama hadde grubundan geçer. Hazırlama hadde grubu çıkışında uç baş kesimi yapılır. Burada çapaklı bölgenin kesilmesi önem arz etmektedir. Haddelenmeye başlayan kütük hazırlama hadde grubunun ardından sırasıyla orta hadde grubundan (3 yatay-3 dikey tezgah) geçerek kafa kısmından kesim yapılır ve finiş hadde grubuna (3 yatay-3 dikey tezgah) ulaşır. Finiş grubunda son tezgâh dikey tezgâhtır. Haddeleme aşamasında yatay tezgâhlar oval, dikey tezgâhlar yuvarlak şekil verir. Kaba hadde grubundan çıkan malzeme Waterbox dan geçerek son şeklini almak üzere ebadına göre PSM (4 adet tezgâh) veya meer drive (10 adet tezgâh) hatlarından geçer. Ürün, monoblok hadde grubunun ardından tekrar waterboxlardan geçerek serme kafa bölgesinde tam kangal şeklini alır ve serme kafadan çıkan kangallar role yoluna düşer. Kangallar burada fanlar vasıtasıyla kontrollü ve homojen olarak soğutulur. Role yolundan geçen ürünler pit bölgesine gelir, buradan da füze adı verilen bölgeye düşer. Üretimi yapılan ürünler satışa hazır hale getirilir.

BÖLÜM 3

ÇELİK ÜRETİMİNDE VAKUM ALTINDA GAZ GİDERME YÖNTEMİ

Vakum işlemleri birkaç amaç için kullanılır. Bu amaçlar içinde, azot, oksijen, hidrojen gibi istenmeyen gazların yapıdan uzaklaştırılması ve inklüzyon miktarlarının minimize edilmesi ile temiz çelik üretimi, dar analiz aralıklarında bulunan kaliteler ile yüksek derecede şekillendirilebilirliğin istendiği çelik kalitelerinin üretimleri yapılması gibi nedenler sayılabilir.

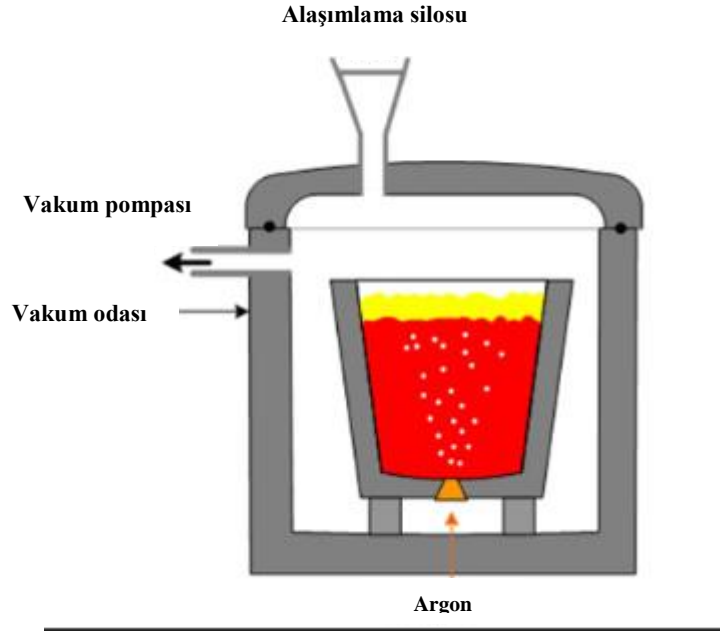
3.1. POTADA VAKUM ALTINDA GAZ GİDERME İŞLEMİ

Vakum işleminde, vakumlu bir bölgeye yerleştirilen veya vakum kapağıyla kapatılmış bir potada, inert bir gaz olan argon gazı ile alttan karıştırma yardımıyla gaz giderme işlemi yapılır. Bu işlem ile H ve N miktarları da azalmaktadır. Vakumla gaz gidermenin çelikten hidrojen ve azotu uzaklaştırmadaki etkinliği, erimiş çelik ile vakum arasındaki azaltılmış basınçtan kaynaklanır, bu da gazların sıvı çelik içerisinde daha az çözünür hale gelmesine ve çelikten ayrılmasına neden olur [1]. SSAB Oxelösund'da 2 mbar'ın hemen altında bir vakum basıncı genellikle yeterli kabul edilir. Ancak, mümkün olduğunca düşük basınç istenmelidir. Örneğin, Wu ve arkadaşları tarafından incelenen çelik kaliteleri için başlangıç nitrojen içeriği 18 ppm olan 10 ppm'lik bir nitrojen içeriğine ulaşmak için 1600 °C'de 50 dakika boyunca 0,3 mbar kadar düşük basınçlara ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir [24]. Azot gideriminin kontrol adımlarından biri, çelik ile ve gaz fazı arasındaki ara yüzeydeki kimyasal reaksiyondur. Daha büyük bir ara yüzeyi azot giderimini daha da hızlandırır. Bu ara yüz alanının boyutunu etkileyecek birkaç faktör mevcuttur. Örneğin, çelik içerisine verilen gazın akışı bu faktörlerden biridir. Yüksek akış hızı çelik içerisinde daha çok kabarcık oluşmasına neden olur ve azot bu kabarcıklar tarafından absorbe edilir. Bununla birlikte yeterince yüksek bir akış hızı, cüruf tabakasını bozarak çeliğin atmosfere maruz kalmasına yol açar. Bu durum azot gideriminin mümkün olduğu büyük bir ara yüz alanı oluşumu ile sonuçlanacaktır. Aynı

zamanda basıncın ara yüz alanı üzerinde ciddi bir etkisi vardır. Çelik içerisindeki kabarcıklar yukarı doğru hareket ettikçe, ferrostatik basıncın etkisiyle boyut olarak da artacaktır. Düşük vakum basıncı ile birlikte kabarcıklar kopacak ve böylece ara yüz alanı büyük ölçüde artacaktır [25].

Zamanda aynı şekilde azot giderimi için önemli bir faktördür. Diğer faktörlerin aksine anlık gerçekleşen bir proses değildir. Ancak üretilen çeliğin gereksinimlerine bağlı olarak süre çok değişkenlik gösterebilir. Örneğin, Steneholm ve arkadaşlarının çalışmaları özel çelik kaliteleri için 10 dakikalık bir vakum işlemi süresinin yeterli olduğunu gösterdi [26]. Bunun tersine, ultra düşük azot içeriği için ise 50 dakikaya kadar işlem süreleri gerekebilir [24].

Kullanabilecek birkaç farklı vakum uygulaması olsa da temel olarak aynı teori üzerinde yani basıncı azaltma ve inert bir gaz ile karıştırma ilkesi ve yönetimi yönünde geliştirmeler yapılmaktadır. Tank içerisinde gaz giderme, RH gaz giderme ve vakum kapağı ile donatılmış pota fırınları ve akış yöntemiyle gaz giderme bu yöntemlerden bazılarıdır. Farklı vakum teknikleri Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Örnek bir vakum tesisi [27].

Vakum uygulamalarında sızdırmamazlık çok önemlidir. Atmosferin argon gazı borusuna veya vakum odasına sızması kaçınılması gereken en önemli sorunlardandır. Eğer argon gazı borusunda bir kaçak varsa, çözülmüş azotun absorbe edilmesi için mevcut alanlar zaten doldurulmuş demektir ki bu durumda azotun absorbe edilebilmesi için yeterli alan kalmamış olacaktır. Vakum odası içerisinde kaçak olması durumunda ise, yeterli düşük basıncı yakalamak imkânsız olacaktır. Bu nedenlerle, vakum tesislerinde sürekli bakım ve kaçak taramaları yapılması gerekmektedir.

3.2. VAKUM YÖNETİMİYLE AZOTUN UZAKLAŞTIRILMASI

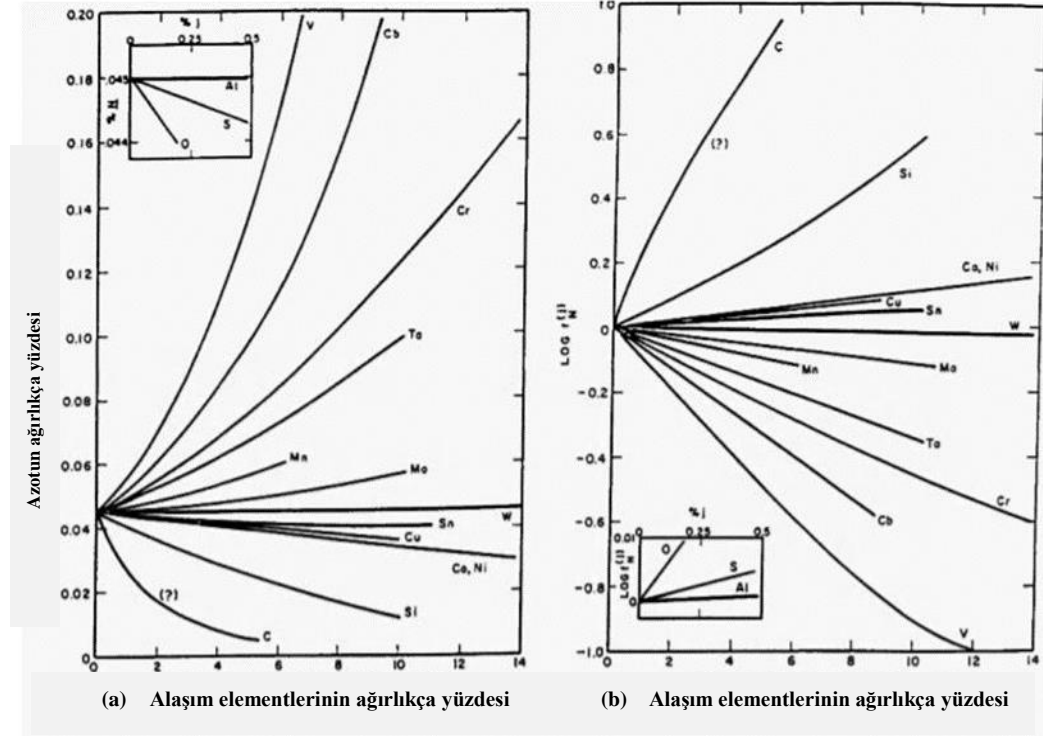
Çelikteki azot, hem malzeme özelliklerini bozan istenmeyen bir element hem de bir alaşım elementi olarak kabul edilebilir.

Azot, iki atomlu moleküler yapıya sahip gaz halinde bir elementtir. Ayrıca, hidrojen ve kükürt gibi azotun da erimiş çelikteki çözünürlüğünün Sievert yasasına uyduğu kanıtlanmış bir gerçektir. Azotun uzaklaştırılması, çelikte çözülmüş azotun gaz olarak çökmesini gerektirir. Bu durum basınca oldukça bağımlı bir reaksiyondur. İlgili reaksiyon denklem 1'de gösterilmiştir.

$$N_{Fe} = 1/2 / N_2(g) \quad (3.1)$$

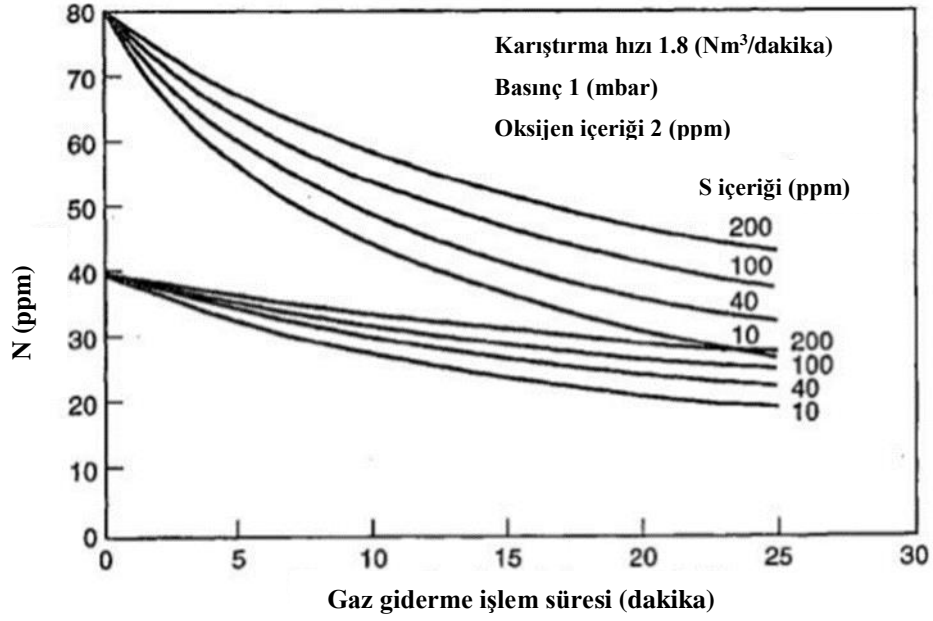
Çöken gaz, karbon monoksit ve argon gibi diğer gaz halindeki elementler tarafından emilir, karıştırma ve yüzdürmenin etkisiyle metal-cüruf yüzeyine aktarılır ve ardından çelikten uzaklaştırılır. Daha önce vakum ile çelik arasında basıncın azaltılması ile istenmeyen elementlerin çözünürlüğünün düşürülmesiyle çelikten uzaklaştırılmasından bahsedilmişti. Ancak basıncı düşürmek azotun giderilmesi için yeterli değildir. Bu nedenle inert olan argon gazı karıştırması uygulanır. Gaz kabarcıkları ile karşılaşan çelik içerisinde çözülmüş azot, kabarcıklar tarafından emilir ve sonrasında ergiyik banyosu dışına atılır. Hidrojenin uzaklaştırılması da aynı şekilde gerçekleştirilir. Ayrıca kükürt giderme de bu süreçle bağlantılıdır. Ancak kükürdün giderilebilmesi için, kükürt toplama özelliğine sahip bir cüruf olması gerekmektedir.

Daha önceden de bahsedildiği gibi azotun sıvı çelikten giderilmesi basınçtan etkilenir. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi elementlerin azot çözünürlüğü üzerinde büyük etkisi vardır, bu nedenle farklı çelik kaliteleri farklı azot çözünürlüklerine sahiptir [28].



Şekil 3. 2. a) Elementlerin azot çözünürlüğü üzerindeki etkisi. b) Elementlerin azotun aktivite katsayısına etkisi. İki şekilde de sıcaklık 1600°C ve basınç 1 atm [28].

Azotun çözünürlüğünü etkileyen etmenlerden birisi de yüzey aktif elementleridir. Çelikte çözünen oksijen ve kükürt gibi elementlere yüzey aktif elementler denir. Adından da anlaşılacağı gibi, çeliğin yüzeyi ile etkileşime girerler. Azotun çelik içerisinden giderilmesi azotun gaz kabarcıkları tarafından emilimine bağlı olduğundan, yüzey aktif elementlerin varlığı azotun reaksiyon alanına ulaşmasını engeller. Böylece azotun çelik içerisinden giderilmesi sınırlandırılır. Türkdöğün tarafından yapılan bir araştırmada, Şekil 3.2' de görülebileceği gibi, farklı kükürt içeriğinin azot giderilmesinde geciktirici etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 3. Farklı ilk kükürt içerikleri için vakum işlem süreleri [29].

Yu ve arkadaşlarına [30] göre, vakum işlemi sırasında yüzey aktif elementlerin nasıl davrandığı üzerinde sıcaklığın büyük etkisi vardır. Daha yüksek sıcaklıklarda, gaz/metal ara yüzünde bulunan mevcut yüzey aktif elementlerin oranı azalır. Böylece azot gideriminin gerçekleşeceği düşünülen etkin reaksiyon alanı artmış olur. Bununla birlikte, bu yüzey aktif elementlerin içeriği doğru zamanda yüksekse, çelik üretimi için faydalı olabilir. Örneğin, konverterden potaya döküm alınması sırasında bu elementlerin yüksek konsantrasyonları, atmosferden azot alımını azaltır.

3.2.1. Azotun Çeliğe Zararlı Etkisi

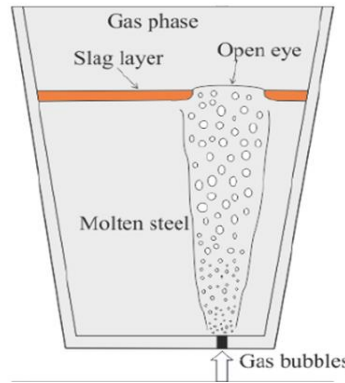
Azot normalde çeliklerde gevrekleşmeye neden olan istenmeyen safsızlık olarak kabul edilir. Sıvı çelikte azot çözelti halinde bulunur. Çelik sıvı haldeyken, azot maksimum çözünürlükte çeliğin içinde çözünmeye başlar. Katılaşma esnasında azot, genel olarak, üç farklı şekilde davranır:

- Hava kabarcığı olarak yapıda kalması (bu durum genel olarak 450 ppm den daha fazla azot muhteviyatı olan çeliklerde görülür)
- Nitrit veya karbo nitrit bileşiklerini oluşturarak yapıda çökelti oluşturması.
- Atom bazında kafes yapısının içerisinde yer alması.

Azot ayrıca sıvı çelikte titanyum ve alüminyum ile reaksiyona girebilir ve çeliğin yüzeyine zarar verebilecek ve nihai ürünün kalitesini düşürebilecek nitrür inklüzyonları oluşturabilir [31]. Malzemede nitrür oluşumu, içerdeki, serbest azot oranını kritik seviyelere getirirse bu durumda iri taneli bir yapı oluşur. (oluşma mekanizması yukarıda anlatılmıştır). Ayrıca bu nitrür ve karbo nitrürler tane yapılarına çökerek malzemede sertleşmeye neden olurlar. Bu sertleşme malzemede azot miktarı arttıkça artar ve bir süre sonra kırılğan bir yapı elde edilir. Bunun sebebi taneler arasına çöken asimetrik nitrür ve karbo nitrürlerdir. Tane sınırlarında ki bu yapılar, tanelerin hareketini zorlaştırarak malzemeye sertlik kazandırmaktadır [31]. Atom bazında yer alan azot elementi gerinim yaşlanması (strain hardening) açısında olumsuz etkilere sahiptir. Çelik gerinim etkileri altındayken elementel azot yapı içinde ki dislokasyonlara doğru ilerler. Bu ilerleme esnasında kafes yapısına ve dislokasyonların yoğun olduğu yerlerde basınç düzlemleri oluşturarak, dislokasyonların daha hızlı ilerlemesine neden olur. Yoğunlaşan dislokasyonlar zorlamaya maruz kaldığında, çok çabuk kırılmasına neden olabilir. Bu durum gerinim altında bulunan malzemede beklenen daha çabuk kırılmaya neden olabilir [31].

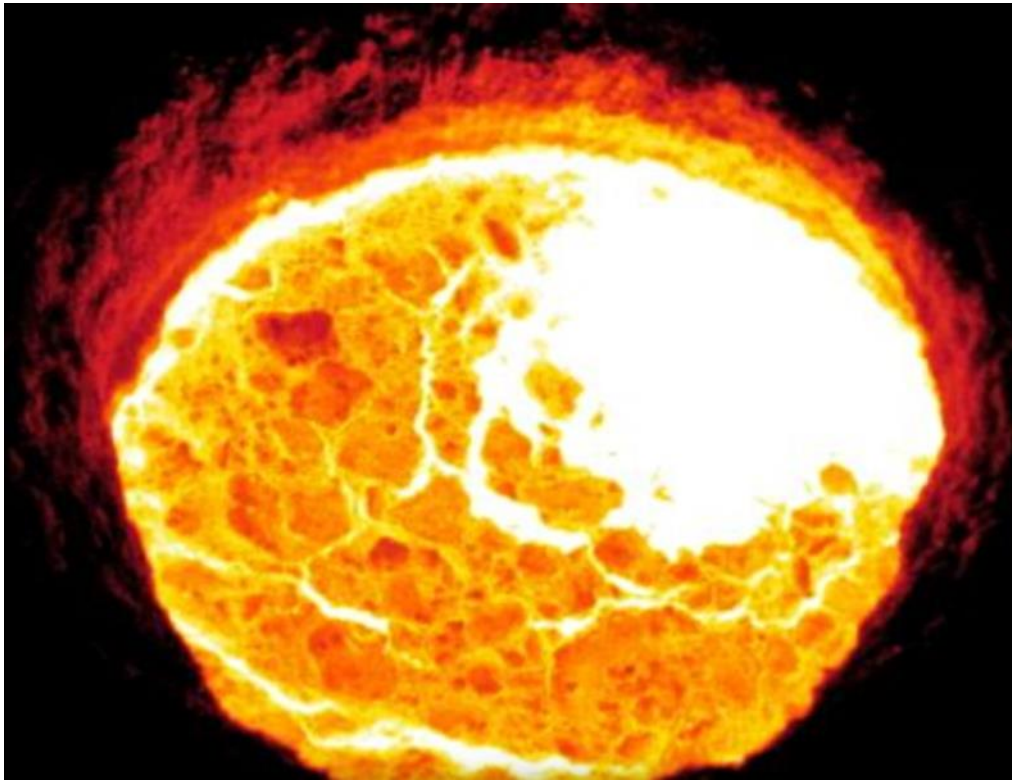
3.3. VAKUM YÖNETİMİYLE HİDROJENİN UZAKLAŞTIRILMASI

Hidrojenin çelikten giderilmesi, hidrojenin çelik içerisinde ppm düzeyinde dahi olsa varlığı bir takım hatalara yol açabilmesi nedeniyle, ikincil çelik üretiminin kritik bir parçasıdır. Bu hataların ortadan kaldırılabilmesi için vakumda gaz giderme tekniği geliştirilmiştir. Şekil 3.4' de alttan gaz karıştırma şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Alttan gaz karıştırmanın şematik gösterimi [32].

Bu işlem, çelik eriyiği düşük basınç ve argon temizleme kombinasyonuna tabi tutar. Hidrojenin çelikteki çözünürlüğü vakum altında önemli ölçüde azalır. Gaz kabarcıklar tarafından kütle transferi için sağlanan geniş ara yüzey alanı, eriyikten hidrojenin çıkarılmasını kolaylaştırır [32]. Pota rafinasyonu sırasında, kükürt giderme, inklüzyon kontrolü ve ısı yalıtımı amacıyla eriyiğin üstünde bir cüruf tabakası oluşur. Yükselen kabarcıklar, cüruf tabakası içinde eriyiğin atmosfere maruz kaldığı bir göz (dana gözü) oluşturur ve kabarcıklar yüzeye ulaşır. Yüzeye ulaşan bu kabarcıklar cürufa geçerek çeliğin dışına atılır.

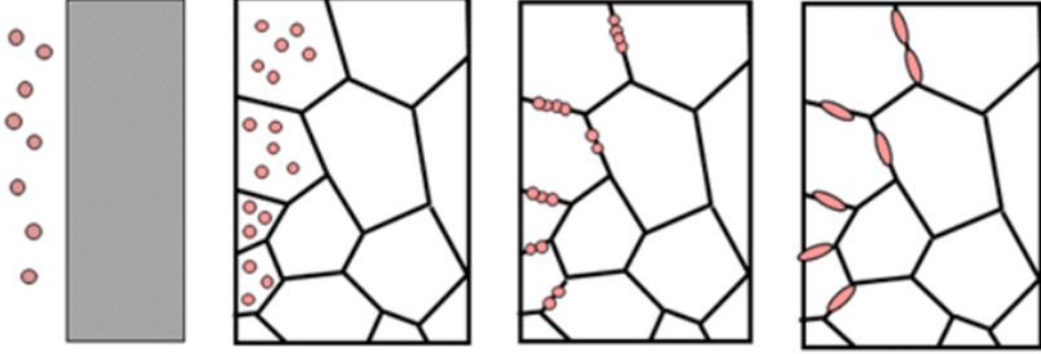


Şekil 3. 5. Potada cüruf ile atmosfer temasını sağlayan dana gözü [33].

3.3.1. Hidrojenin Çeliğe Zararlı Etkisi

Hidrojen çelik içerisinde bulunan en zararlı elementtir. Atom çapı küçük olması nedeniyle ara yer elementi olarak yapıya girer. Şekil 3.6 da gösterildiği gibi, hidrojenin yapı içerisine difuze olmasıyla, hidrojen metal tane sınırlarına yayılır ve metal tane sınırlarında diğer hidrojen atomlarıyla birleşerek kabarcıklar oluşturur. Bu sayede metalin süneklik kaybı ve yük taşıma kapasitesini azaltır ve yapıda gevrekliğe ve

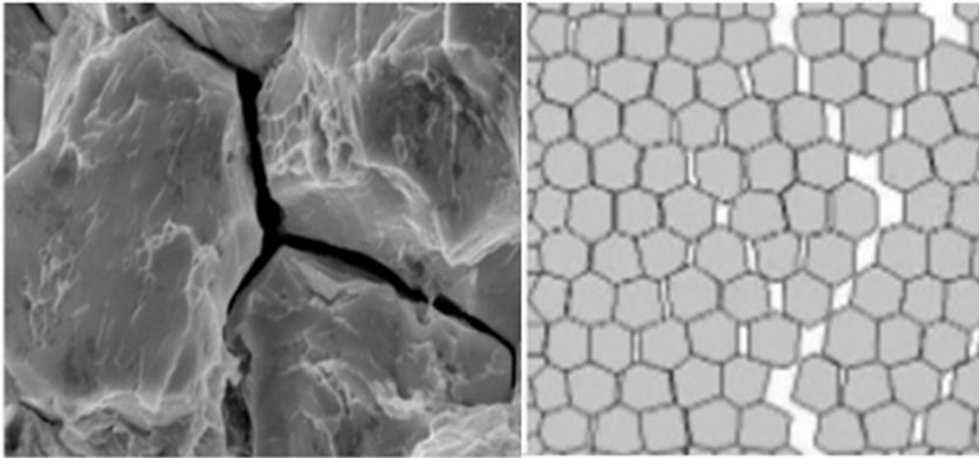
çentik etkisine yol açar. Hidrojen gevrekleşmesinin sonucu, metalin akma dayanımından daha düşük gerilmelerde çatlama ve kırılma yaşanır.



Şekil 3. 6. Hidrojen difüzyonu [34].

Hidrojenin yapı içerisine absorpsiyonu ile metalin serbest yüzey enerjisi azalır [34]. Tane sınırlarında oluşan kabarcıklar yüzey enerjisinin de azalmasıyla beraber malzemede süreksizliğe yol açar ve yapıyı zayıflatır. Şekil 3.7' de görüleceği üzere yapıda oluşan boşluklar nedeniyle birim alana düşen yük artar ve çatlamlar meydana gelir.

Taneler arası çatlama, bir metalde çatlaklar oluştuğunda ve zayıflamış tane sınırları boyunca büyüdüğünde meydana gelir [35].

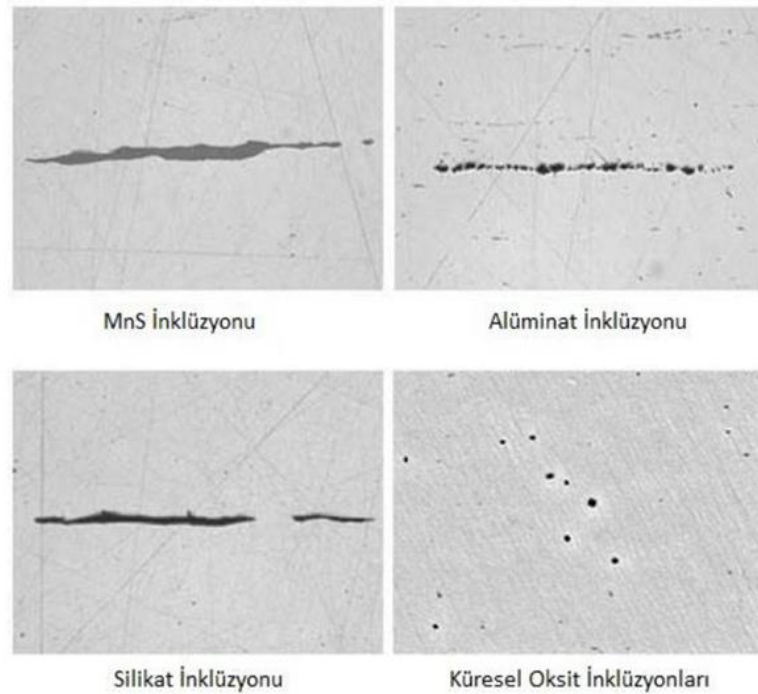


Şekil 3. 7. Taneler arası çatlama ve taneler arası boşluk görüntüsü [35,36].

3.4. VAKUM YÖNETİMİYLE İNKLÜZYONLARIN UZAKLAŞTIRILMASI

Temiz çelik üretimine olan ihtiyacın artmasıyla beraber yapı içerisinde bulunan kalıntıların mümkün olduğunca çelik içerisinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Çelik üretiminde oluşan ve metalik olmayan kalıntı bileşiklerine inklüzyon denir. Inklüzyon tipleri genellikle oksitler, sülfidler, nitrürler ve karbürlerden oluşmaktadır [37]. Yapı içerisinde bulunan inklüzyon tiplerinden bazılarının görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.

Bu kalıntılar yoğunluk, tür ve boyutlarına göre döküm esnasında ve nihai ürün üretimi sırasında olumsuz etki gösterebilirler [38]. Bu olumsuz etkilere bakıldığında çelikhane de dökümün erken kesilmesine, nihai üründe ise mekanik özellik ve yüzey temizliği (çatlak, kopma vb) sıralanabilir. İlave olarak, kalıntılar çatlak başlangıcına neden olur bu da haddeleme esnasında kalıntıların haddeleme kuvvetine dayanamamasından kaynaklanır. Bu çatlak, mukavemeti azaltır ve aynı zamanda haddeleme de çekmenin de etkisiyle büyür ve kopma sorununa yol açar [39].



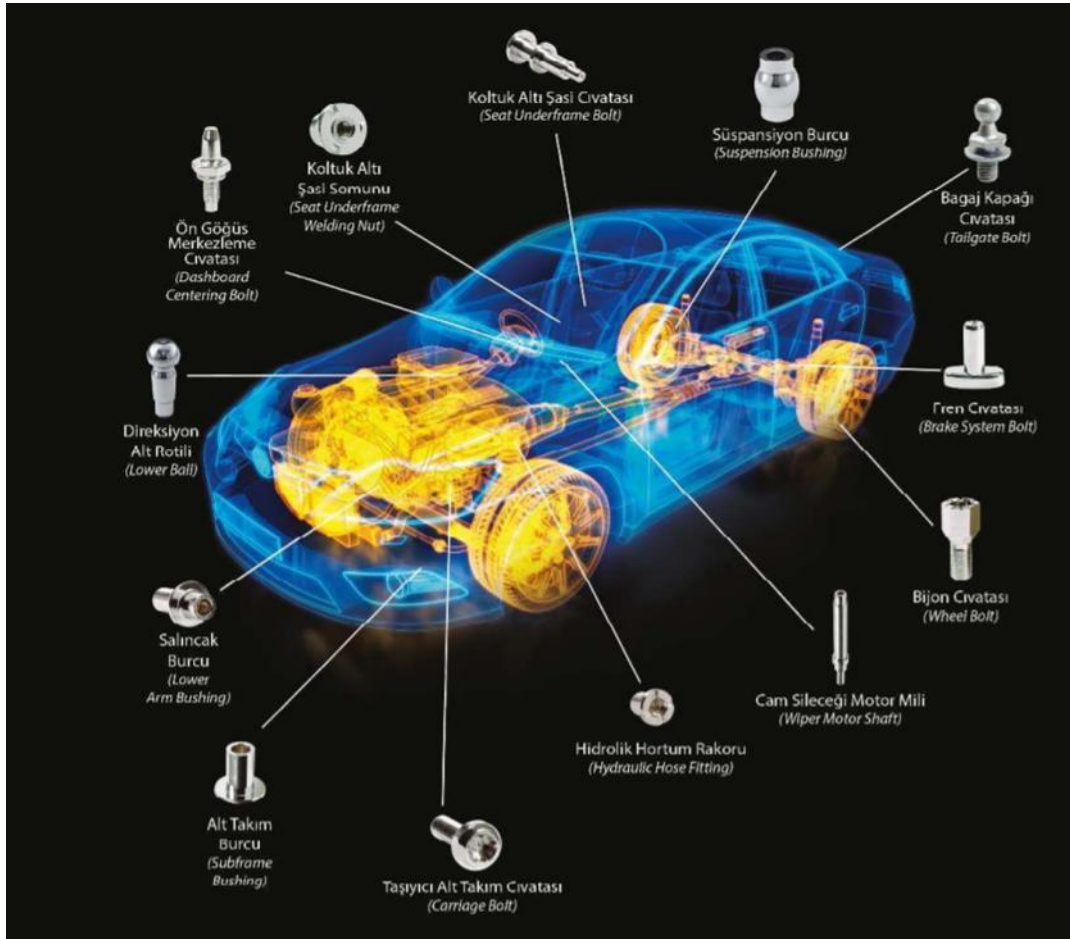
Şekil 3. 8. Bazı inklüzyon tiplerinin görüntüsü [40].

Kalıntıların neden olduğu olumsuz etkileri giderebilmek adına temiz bir pota metalürjisi işlemi gerekmektedir. Bu nedenle de vakum altında gaz giderme işleminin kullanılması ile istenmeyen gazları yapıdan ayırmak ve argon gazı ile vakum altında verimli bir karıştırma ile sıvı çelik cüruf arasında etkileşim sağlanarak yapıdan kalıntıların uzaklaştırılması sağlanabilmektedir [41].

BÖLÜM 4

CİVATA SOMUN ÜRETİM AŞAMALARI

Günlük hayatta kullanılan birçok ürün ve sektörde bağlantı elemanları kullanılır. Bağlantı elemanları 2' ye ayrılır. Sökülebilen (civata, perçin, vb) ve sökilemeyen (kaynak, lehim, vb.) olarak ayırım yapılır. Gündelik hayatta en çok kullanılan sökilebilen bağlantı elemanları ise civata ve somundur [42]. Otomotiv, sanayi ve uzay sanayii gibi gelişen sektörlerde bağlantı elemanlarının önemi daha çok artmıştır.



Şekil 4. 1. Bir otomobildeki bağlantı elemanları [42].

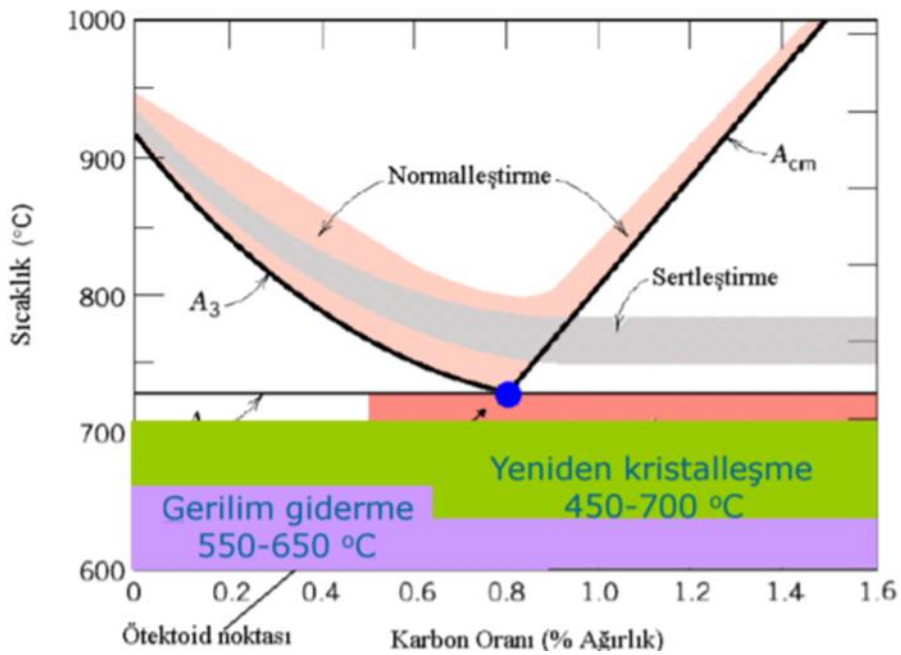
Bu ürünlerin üretimlerinde ilk olarak kangal halindeki hammaddelerin tavlama işlemleri yapılır. Tavlama işleminin türünü, nihai ürünün soğuk şekillendirme derecesi belirler. Bu dereceye göre gerilim giderme veya küreselleştirme tavlamaları yapılır.

4.1. TAVLAMA

İçyapıyı düzenleyerek homojen hale getirmek, tane inceltmek ya da kabalaştırmak, iç gerilmeleri yok etmek gibi çeliğe istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla yapılan ısıl işlemler tavlama olarak tanımlanır.

4.1.1 Gerilim Giderme Tavlaması

Malzeme içerisindeki iç gerilmelerin giderilmesi amacıyla yapılır ve plastik şekil değişimi kaynaklı olan iç gerilmelerin 550-650°C arasına yavaş şekilde ısıtılıp bir süre tutularak yavaş bir şekilde soğutulması şeklinde yapılır. Soğuma işleminin yavaş yapılması, soğuma farkı nedeni tekrar iç gerilmelerin oluşmasının önüne geçer. İç gerilmelerin giderilememesi üretim performansını üründe meydana gelebilecek deformasyon ve çarpılmalar nedeniyle olumsuz yönde etkileyebilir [43].



Şekil 4. 2. Gerilim Giderme Tavlaması [43].

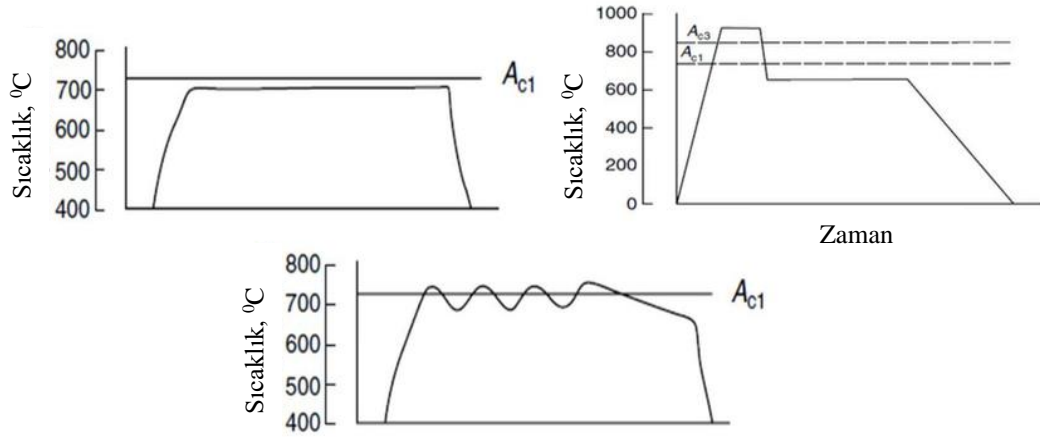
4.1.2. Küreselleştirme Tavlaması

Küreselleştirme tavlaması sonucunda yumuşaklık, şekil değişimi ve işlenebilirlik konusunda yüksek süneklik değerine sahip bir içyapı elde edilir. Küreselleştirme tavlaması Şekil 4.3' de gösterilen yöntemlerden biri ile gerçekleştirilebilir:

A_{c1} çizgisinin altında çok yakın bir sıcaklıkta uzun süre tavlama (15-25 saat).

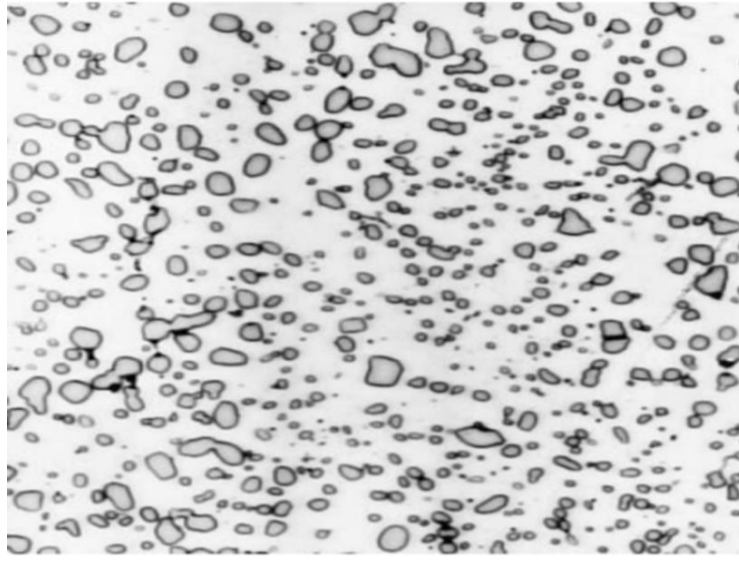
A_{c1} çizgisinin hemen altı ve hemen üstünde olacak şekilde tavllanır.

A_{c1} sıcaklık değerinin üzerinde bulunan bir sıcaklıkta tavlamanın ardından fırında çok yavaş şekilde soğutulur veya A_{c1} çizgisinin hemen altında uzunca bir süre tutulur.



Şekil 4. 3. Küreselleştirme tavlaması yöntemleri [43].

Tavlama işleminin yüksek sıcaklıkta yapılmasıyla sementit ağı ve perlitik yapı parçalanır. Böylece ferritik bir matris ile içerisinde dağılmış durumda bulunan küre şeklindeki karbürlerden oluşan içyapı elde edilir. Tavlama işlemi sonrasında çeliğin sertliği azalırken sünekliği artar [43].



Şekil 4. 4. Küreselleştirme tavı yapılmış ötektoid üstü çeliğin yapısında bulunan küreselleşmiş sementitler [43].

4.2. YÜZEY TEMİZLEME

Tavlamanın ardından ürünü soğuk şekillendirme işlemine hazırlamak amacıyla yüzey işlem havuzlarında yüzey temizleme işlemleri yapılır. Bu işlemler ile korozyon önlenmeye çalışılır [42]. Örnek bir yüzey işlem havuzu Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. Yüzey işlem havuzları [42].

4.3. SOĞUK ŞEKİLLENDİRME

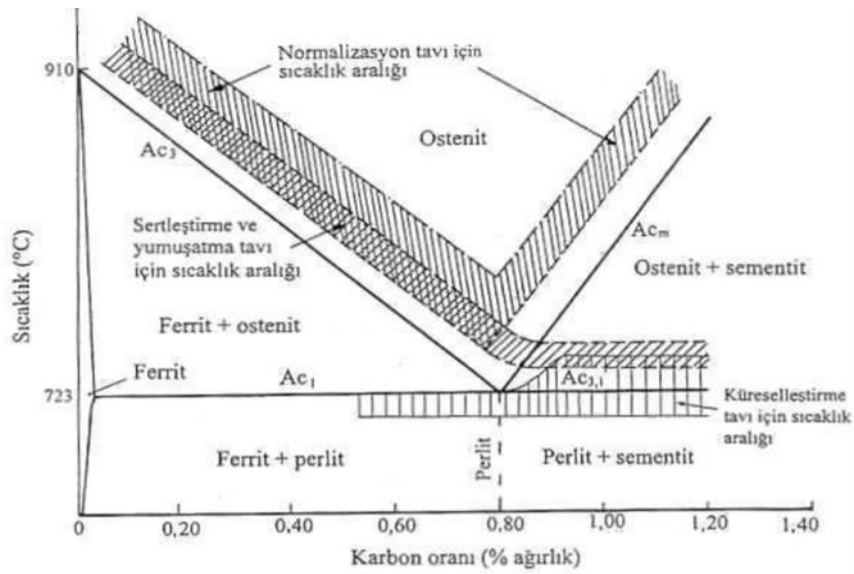
Yüzey temizleme işleminin ardından soğuk şekillendirme olarak da adlandırılan tel çekme ve soğuk dövme işlemleri yapılır. Soğuk dövme işlemi, ortam sıcaklığında ürünün kalıplar içinde kuvvetin etkisiyle şekillendirilmesidir [42].

4.4. İKİNCİL İŞLEMLER

Soğuk şekillendirme sonrası daha hassas ölçü ve toleranslar gerektiren diş açma, delik delme gibi ikincil işlemler uygulanır. Bu işlemlerin ardından ürünlerin nihai özelliklerine kavuşması amacıyla ısı işlem uygulaması yapılır.

4.5. ISIL İŞLEMLER

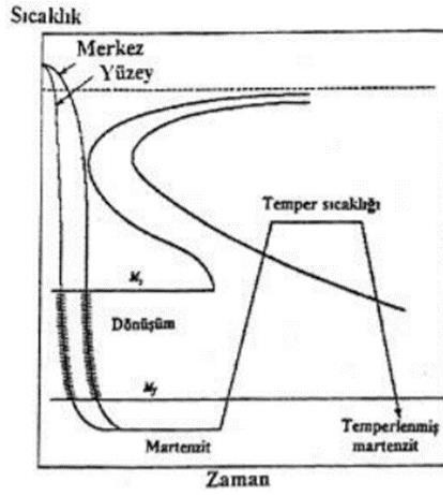
Ürünün özelliklerini ve içyapısını değiştirmek/iyileştirmek için ardışık olarak ve zamana ve sıcaklığa bağlı şekilde yapılan ısıtma ve soğutma işlemlerine ısı işlem denir. Isıl işlemin başlıca amaçları ise, ürünün talaşlı işlenebilme kabiliyetini artırılması, ürün dayanımının artırılıp-azaltılması, iç gerilmelerin azaltılması, soğuk şekil vermenin etkisinin ortadan kaldırılması, tane büyüklüğü değişimi ve belirli bir içyapı elde edilmesi sayılabilir [43].



Şekil 4. 6. Çeliklerin üst kritik sıcaklık değerleri [43].

4.5.1. Su Verme İşlemi

Ürüne sertlik kazandırmak amacıyla su verme işlemi yapılır. Östenit fazına kadar ısıtılan çelik su, yağ, tuz banyosu veya havada ani olarak soğutulur, bu sayede karbon atomları yapıyı terk edemez ve hapsolür. Şekil 4.7’de su verme+temperleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4. 7. Su verme + temperleme işlemi [43].

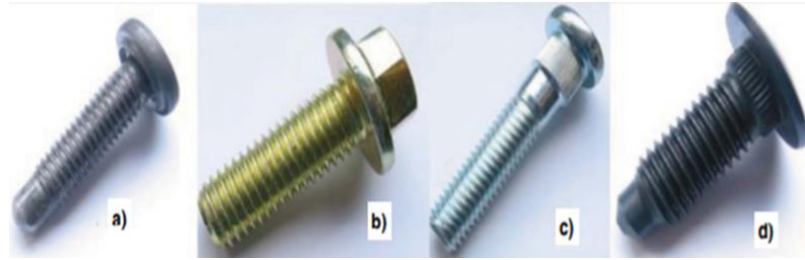
Bu sayede martenzit adı verilen çok sert bir yapı oluşur. Yapının bu kadar sert ve mukavim olması ise, ani soğutma kaynaklı kafes yapısındaki çarpılmalar ve bu çarpılmalar kaynaklı dislokasyon hareketlerinin zorlaşması ve/veya engellenmesi nedenlidir [43]. Şekil 4.8 de siyah iğne şeklindeki yapı martenzite ait olup, beyaz bölgeler ise kalıntı östenit yapısını göstermektedir.



Şekil 4. 8. Martenzit fazı görünümü [43].

4.5.2. Temperleme

Temperleme işlemi genellikle A_{c1} sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa ($150^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$) kadar ısıtılıp belirli bir süre tutulduktan sonra yavaşça soğutulması ilkesine dayanmaktadır. Bu sayede martenzit yapı ferrit fazı içerisinde demir karbür parçacıklardan oluşan bir yapıya dönüşerek yumuşar [43]. Su verme işlemi sonrasında malzeme azami sertliğe sahip olup, yapı içerisinde yüksek miktarda iç gerilmeler mevcuttur. İlave olarak malzemenin tokluğu da düşmüş olur. Malzemeye iç gerilmelerin giderilmesi, sertliğin azaltılarak tokluğun artırılması gibi özellikleri geri kazandırması ile beraber işlenebilirliğini de arttırmış olur. Isıl işlemin ardından üretilen cıvata-somunların ömürlerini uzatmak ve atmosfere karşı dayanımını arttırmak amacıyla nihai ürünün talebine göre kaplama işlemi yapılır ve gerekli kontroller sonucunda satışa hazır hale getirilir. Kaplama işlemi genellikle çinko kaplama şeklinde yapılır. Şekil 4.9' da çinko kaplamalı ve kaplamasız ürünler, Şekil 4.10' da ise çeşitli somun-cıvata ürünleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 9. a) Kaplamasız b.) Sarı Çinko Kaplamalı c.) Beyaz Çinko Kaplamalı d.) Siyah Çinko Kaplamalı [42].



Şekil 4. 10. Çeşitli Somun ve Cıvata Ürünleri.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar için vakum işlemine tabi tutulmuş ve vakum işlemine tabi tutulmamış numuneler kullanılmıştır. Böylelikle vakum işleminin nihai üründe ki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle üretilmiş olan farklı kangallardan numuneler alınmış, elementel analiz, sertlik testi, çekme testi, basma testi ve mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda numuneler arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

5.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER

23MnB4 kangal numunelerinin inceleme aşamalarında, ilk etapta numunelerin hadde boyu yönünde numune hazırlama işlemleri tamamlanmıştır. Bu işlemlerde, hassas bir şekilde kesilen numuneler sıcak bakalitleme ile kalıplanmış ve otomatik parlatma cihazlarında kademeli olarak aşındırma\parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Standart metalografik prosedür uygulanarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmiş sonrasında parlatma aşaması, 9µ keçe özelliğinde Allegran plakası, 3µ keçe plaka ve 1µ keçe plakalar kullanılarak tamamlanmıştır. Hazırlanan numuneler optic ve SEM\EDS analizine tabi tutulmuştur.

5.1.1 Optik İncelemeler

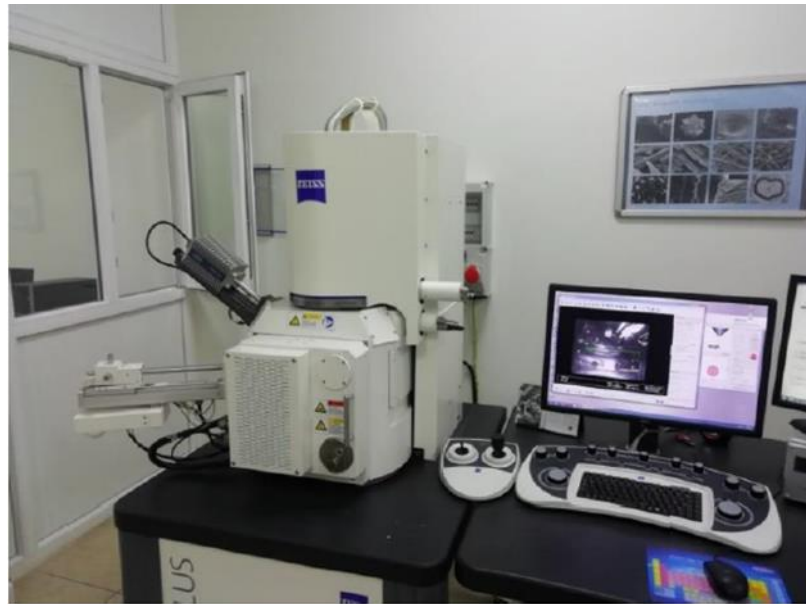
Optik incelemeler Şekil 5.1 de görseli bulunan Nikon MA200 adlı cihazda yapılmıştır. Hazırlanan vakumlu-vakumsuz numuneler dağlanmamış ve %2 nital ile dağlanmış halde kendi aralarında kıyaslanmıştır. Bu analizde inklüzyon tipi ve numunedeki faz yapısı kontrol edilmiştir.



Şekil 5. 1. Optik mikroskop cihazı.

5.1.2 SEM-EDS İncelemeleri

Şekil 5.2 de SEM-EDS analiz için kullanılan Carl Zeiss Ulrta Plus SEM cihazının görseli verilmiştir. Cihazın analiz kısmına uygun şekilde yerleştirilen numunelere incelemeler yapılmıştır. Bu analizde numuneler vakumlu-vakumsuz numuneler olmak üzere kendi aralarında kıyaslanmıştır.



Şekil 5. 2. SEM cihazı.

5.2. ELEMENTEL ANALİZ ÖLÇÜMLERİ

O/N/H analiz cihazında analitik metot olarak inert gaz füzyon tekniği kullanılmaktadır. Numuneye 6000 watt güç uygulanır ve fırın ısısı anlık olarak 2000-2500°C dereceye çıkarılır. Bu güç karşısında numune parçalanır ve oksijen, hidrojen ve azot elementleri gaz fazına geçer. Bu gazlar, helyum gazı ile sürüklenerek gerekli kimyasal filtrelerden geçirildikten sonra oksijen ve hidrojen infrared detektör ile azot için termal iletkenlik detektörü ile ölçüm yapılır.

Şekil 5.3'te deneysel çalışmalarda kullanılan LECO ONH 836 marka elementel analiz cihazı verilmiştir. Bu cihaz ile farklı üretim vakumlu-vakumsuz olarak üretilen kangalların azot, hidrojen ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5. 3. Elementel analiz cihazı.

Üretilen kangal numunelerinden yaklaşık 1'er gram olacak şekilde pim numuneleri hazırlanarak grafit kroze içerisine yerleştirilmiş ve analizleri ASTM E 1019 standardı gereğince yapılmıştır [44].

5.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Sertlik ölçümleri Şekil 5.4'de gösterilen EmcoTest Duravision 250kgf marka cihazda ve TS EN ISO 6508-1 standardına göre yapılmıştır [45]. Sertlik ölçümleri laboratuvara

gelen kangal numunelerinden test için gerekli olan boya testere ile kesilmek suretiyle hazırlanmıştır.

Sertlik testleri, 120° tepe açılı Rockwell elmas konik uç kullanılarak $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılır. Ölçümler kangal parçasının enine kesitinden alınan numune üzerinden merkez noktadan ölçülmektedir.



Şekil 5. 4. Sertlik ölçüm cihazı.

5.4. ÇEKME TESTLERİ

Çekme testleri Şekil 5.5.'de gösterilen Zwick Roell Z600- 60 ton kapasiteli cihazda, $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$ derecede, TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılmıştır [46]. Çekme testi, bir malzemenin dayanımı ve mekanik davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan ve numune kopana dek çekme kuvvetlerine maruz bırakılan testtir [47]. Test, laboratuvara gelen, 1 sarım kangal numunesinin 4 e bölünmesi suretiyle her bölgesinden olmak üzere yapılır ve mekanik dalgalanma kontrol edilir. Testi yapılacak numunenin istenilen boya kesimi sonrası, doğrultma cihazında doğrultulup teste hazır hale getirilir. Numune alt ve üstten çenelere tutturulmak suretiyle cihazın çenelerine bağlanır. Bu deney esnasında numunenin bağlı olduğu çenelerden biri sabit hareket ettirilerek değişen miktarda çekme kuvveti uygulanır ve numune kopana kadar devam

eder. Test sonrası akma, çekme mukavemetleri, % uzama ve kesit daralması sonuçları not edilir.



Şekil 5. 5. Çekme test cihazı.

5.5. BASMA TESTLERİ

Numune, 2 basma kafası arasına yerleştirilerek sabit hızla artan bir kuvvet uygulanır. Kangal parçasından alınan enine kesit numunesi nominal çapın 1,5 katı uzunluğunda kesilerek doğrultulmuş ve TS EN 206 standardına göre testler yapılmıştır [48]. Cihazın yük gerilme artış hızı 2 kgf/mm^2 olarak başlar, cihaza tanımlanan numune ile ilgili parametreler doğrultusunda cihaz tarafından otomatik olarak belirlenerek devam eder. Numune boyu toplam boyun $1/3$ üne kadar indirilir. Test sonrası numune görsel olarak incelenir. Şekil 5.6'da basma testlerinin yapıldığı basma test cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 5. 6. Basma test cihazı.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında “Deneysel Çalışmalar” bölümünde belirtilen analizler için kullanılan numunelere ait kimyasal kompozisyonlar Çizelge 6.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 6. 1. 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4:2017 standardında belirtilen kimyasal içeriği [5].

Çelik kalitesi	Çelik numarası	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%B
23MnB4	1.5507	0.20 to 0.25	≤0.30	0.90 to 1.20	0.025	0.025	≤0.30	0.25	0.0008 to 0.0050

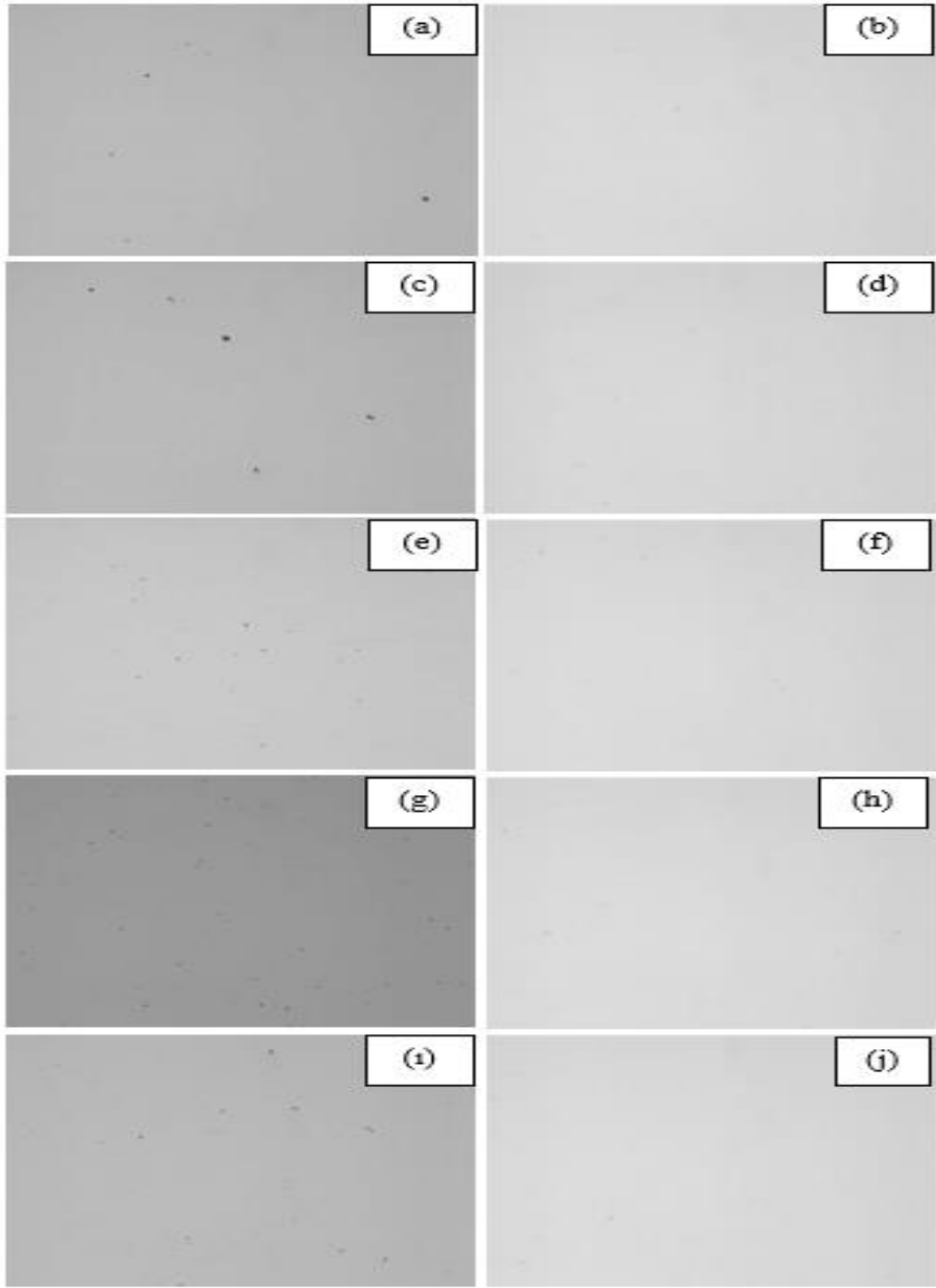
Hazırlanan kargal numuneleri öncelikle metalografik olarak incelendikten sonra Bölüm 5’ de belirtilen standartlar çerçevesinde elemental analiz (azot, hidrojen element tayini), basma testi, çekme ve sertlik testlerine tabi tutulmuştur.

6.1. METALOGRAFİK İNCELEMELER

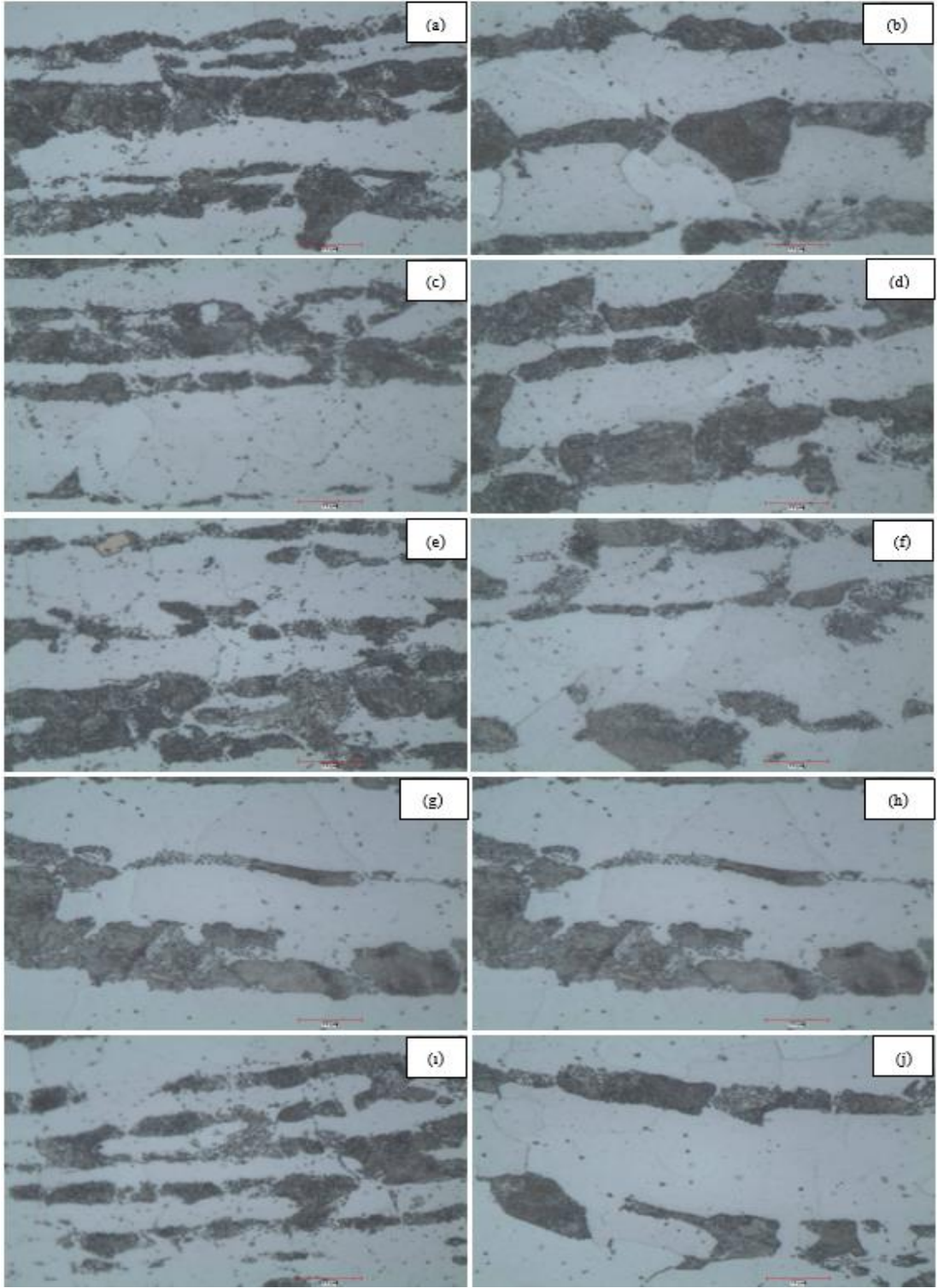
Metalografik incelemeler kapsamında optic ve SEM-EDS analizleri yapılmıştır.

6.1.1 Optik İncelemeler

Optik incelemeler için hazırlanan numuneler dağlanmadan 100x büyütmede incelenmiş ve Şekil 6.1’ de gösterilmiş, dağlanmış numunelere ait 1500x büyütmedeki resimler ise Şekil 6.2. de gösterilmiştir.



Şekil 6. 7. Makroyapı fotoğrafları. a)Vakumsuz, b)Vakumlu 1 nolu döküm, c)Vakumsuz, d)Vakumlu 2 nolu döküm, e)Vakumsuz, f)Vakumlu 3 nolu döküm, g)Vakumsuz, h)Vakumlu 4 nolu döküm, ı)Vakumsuz, j)Vakumlu 5 nolu döküm.

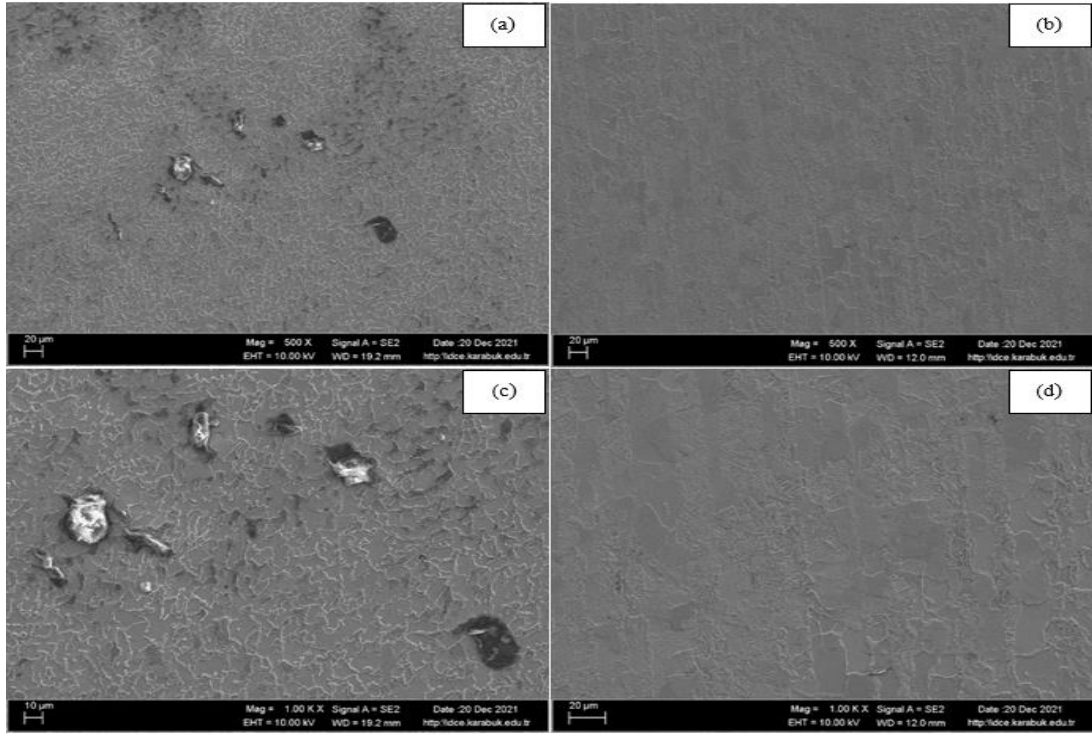


Şekil 6. 8. Makroyapı fotoğrafları. a)Vakumsuz, b)Vakumlu 1 nolu döküm, c)Vakumsuz, d)Vakumlu 2 nolu döküm, e)Vakumsuz, f)Vakumlu 3 nolu döküm, g)Vakumsuz, h)Vakumlu 4 nolu döküm, ı)Vakumsuz, j)Vakumlu 5 nolu döküm.

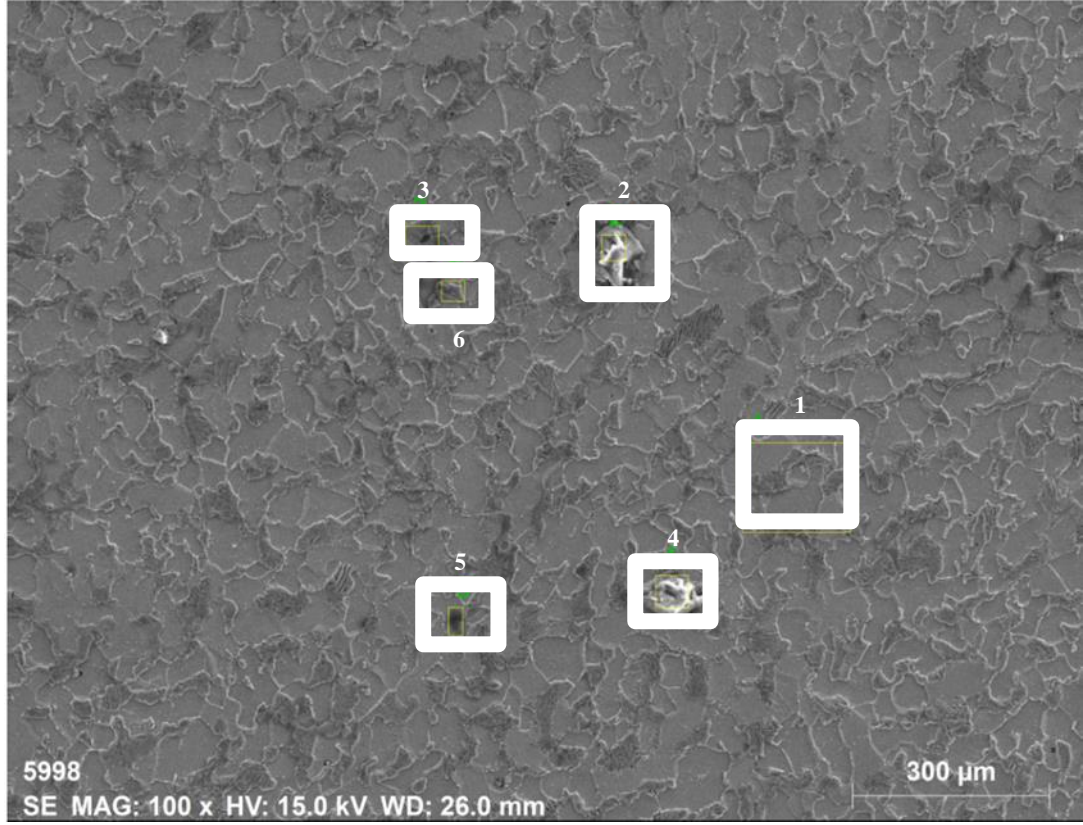
Vakum prosesi ile çelik içerisinde istenmeyen gazların istenilen seviyelere indirilebilmesi ve metal olmayan inklüzyonların sıvı çelik içerisinden uzaklaştırılması ile beraber daha temiz çelik üretimi yapılabilmektedir [49]. Bu bağlamda, dağlanmadan 100x büyütmede incelenen numunelere yapılan kalıntı analizinde vakumsuz numunelerde vakumlu numuneye kıyasla daha fazla ve büyük oranda globuler tür inklüzyonların mevcudiyeti gözlenmiştir. Dağlama işlemine tabi tutulmuş ve 1500x büyütmede incelenen numunelerde ise vakumda gaz giderme işlemi sonrası mikroyapıda olumsuz sayılabilecek bir işleme sebep olmadığı belirlenmiştir.

6.1.2 SEM-EDS İncelemeleri

Metalografik işlemlerden geçirilen vakumlu ve vakumsuz dökümlere ait numunelerin SEM incelemesi yapılmış olup, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6'da sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. 9. Numunelere ait SEM mikroyapı görselleri (a) Vakumsuz 1 nolu döküm 500x büyütme (b) Vakumlu 1 nolu döküm 500x büyütme (c) Vakumsuz 1 nolu döküm 1000x büyütme (d) Vakumlu 1 nolu döküm 1000x büyütme.



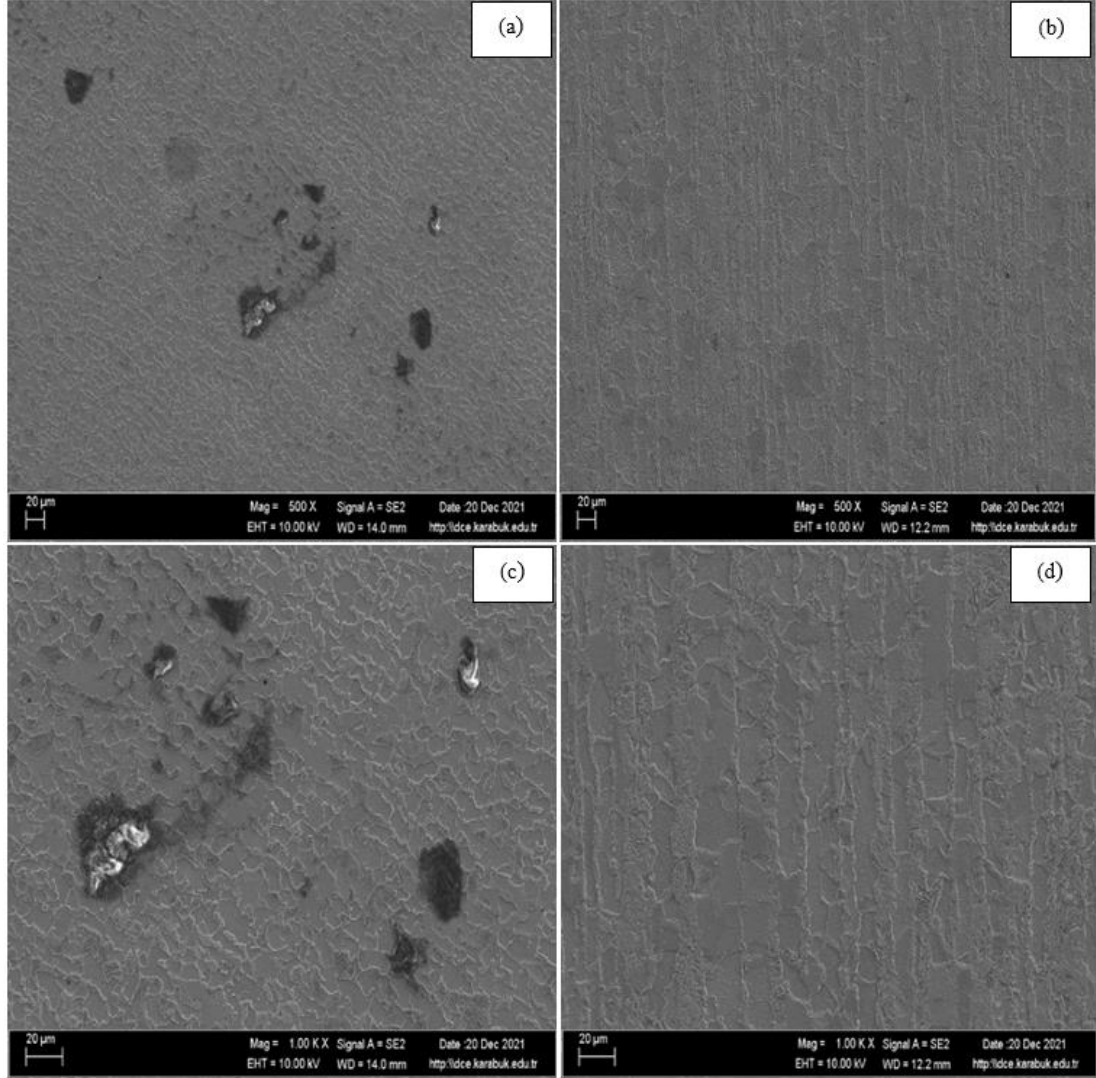
Şekil 6. 10. Vakumsuz 1 nolu döküm 100x büyütme SEM mikro yapı kalıntı görseli.

Çizelge 6. 2. Vakumsuz 1 nolu döküme ait EDS analiz sonucu.

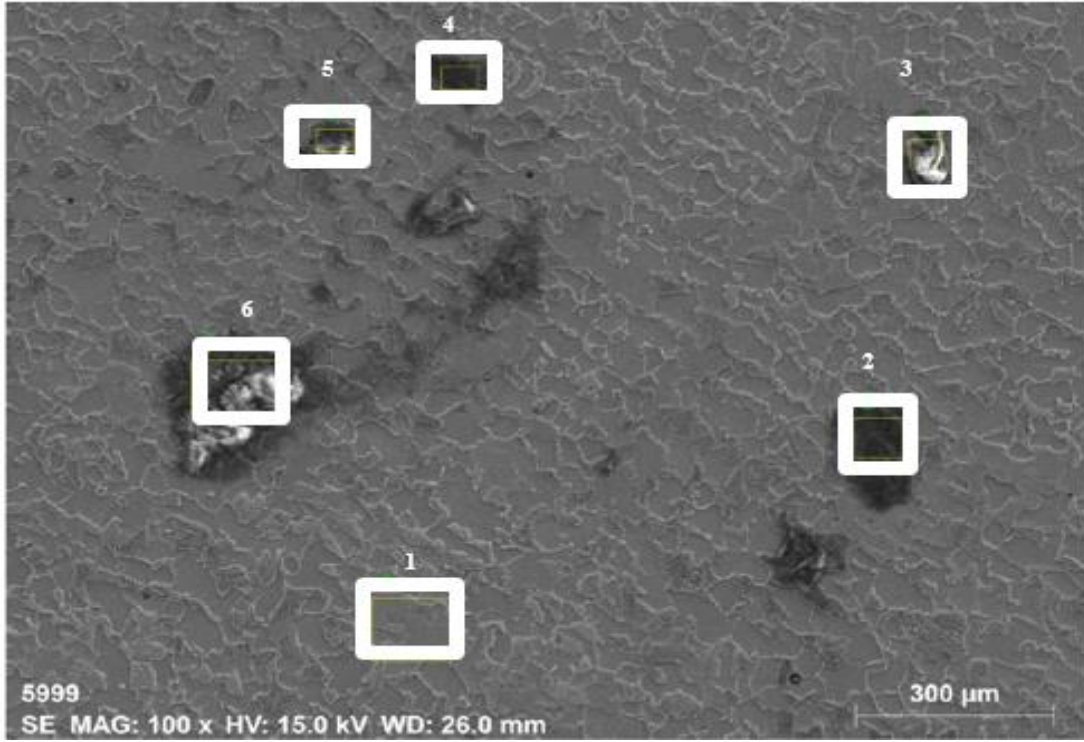
	C (%)	N (%)	O (%)	Al (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)
1.Spektrum	29,57	16,06	22,25	0,78	0,58	0,41	30,36
2.Spektrum	52,67	18,16	28,70	0,16	0,26	0,06	0,00
3.Spektrum	47,57	11,22	24,20	0,53	0,32	0,80	15,34
4.Spektrum	51,31	15,39	32,65	0,14	0,22	0,15	0,16
5.Spektrum	52,85	13,43	22,14	0,45	0,31	0,30	10,52
6.Spektrum	41,96	12,58	27,71	0,38	0,46	0,21	16,68

Çizelge 6.2’de belirtildiği üzere vakumsuz döküme ait numunelerde azot ve oksijen oranının fazla olduğu tespit edilmiştir. Oksit inklüzyonları genellikle küresel formda olup, sert ve deforme olmayan inklüzyonlardır. Bu tür inklüzyonlar aynı zamanda haddeleme sırasında haddeleme yönünde uzama göstermezler ve kırıklar şeklinde

yapıda dađılarak hadde sonrasında yzeyde kusurlara sebebiyet verirler ve mukavemetin dűşmesine neden olurlar.



Şekil 6. 11. Numunelere ait SEM mikroyapı görselleri (a) Vakumsuz 5 nolu döküm 500x büyütme (b) Vakumlu 5 nolu döküm 500x büyütme (c) Vakumsuz 5 nolu döküm 1000x büyütme (d) Vakumlu 5 nolu döküm 1000x büyütme.



Şekil 6. 12. Vakumsuz 5 nolu döküme ait 100x büyütme SEM mikro yapı kalıntı görseli.

Çizelge 6. 3. Vakumsuz 5 nolu döküme ait EDS analiz sonucu.

	C (%)	N (%)	O (%)	Al (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)
1.Spektrum	20,01	13,87	15,41	0,84	0,12	0,66	49,09
2.Spektrum	47,76	20,19	29,05	0,30	0,33	0,02	2,34
3.Spektrum	45,35	19,95	33,76	0,22	0,43	0,15	0,15
4.Spektrum	50,69	19,30	27,99	0,16	0,27	0,01	1,58
5.Spektrum	49,63	17,46	31,48	0,22	0,42	0,12	0,67
6.Spektrum	37,59	13,84	47,26	0,41	0,52	0,00	0,39

Çizelge 6.3’de belirtildiği üzere vakumsuz döküme ait numunelerde azot ve oksijen oranının fazla olduğu tespit edilmiştir. Oksit inklüzyonları genellikle küresel formda olup, sert ve deforme olmayan inklüzyonlardır. Bu tür inklüzyonlar aynı zamanda haddeleme sırasında haddeleme yönünde uzama göstermezler ve kırıklar şeklinde

yapıda dağılarak hadde sonrasında yüzeyde kusurlara sebebiyet verirler ve mukavemetin düşmesine neden olurlar.

İncelemeler sonucunda vakum uygulanan dökümlerde yapının vakumsuz dökümlere göre inklüzyon sayı ve büyüklüğü bakımından daha temiz olduğu görülmüştür. Bu durum; vakum prosesinde potanın altından argon gazı üflenerek alttan karıştırma yapılması sayesinde istenmeyen gazların ve inklüzyonların yüzdürülerek çelik yapıdan uzaklaştırılması şeklinde açıklanabilir.

6.2. ELEMENTEL ANALİZ SONUÇLARI

Elementel analiz yöntemiyle azot ve hidrojen tayini yapılmıştır. Numuneler 1' er gramlık pim şeklinde hazırlanmış olup grafit kroze içerisine yerleştirilmiş ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Vakum yöntemi uygulanmamış ve vakum yönteminin uygulandığı 5 er adet döküme ait sonuçlar incelenmiştir.

Vakumsuz ve vakumlu 5' er döküme ait sonuçlar Çizelge 6.4' de verilmiştir.

Çizelge 6. 4. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait elementel analiz sonuçları.

Vakumsuz dökümler Döküm no	Hidrojen (ppm)	Azot (ppm)	Vakumlu dökümler Döküm no	Hidrojen (ppm)	Azot (ppm)
1	2,15	90	1	0,32	59
2	1,55	84	2	0,54	71
3	1,73	84	3	0,88	68
4	2,54	91	4	0,63	76
5	1,48	93	5	0,90	62

2021 yılında 23MnB4 kaliteye vakum altında gaz giderme işleminin yapılmasıyla azot ve hidrojenin düşürüldüğü görülmüştür.

Bu durum aşağıdaki gibi sırayla açıklanabilir:

- Vakum altında basınç düşürülerek azot ve hidrojen gibi gazların çözünürlüğü azalır ve gaz halinde çöker,

- Çöken gaz karbon monoksit ve argon gibi diğer gazlar tarafından emilerek kabarcık haline gelir ve karıştırma ve yüzdürmenin etkisiyle yükselerek cüruf tabakasına ulaşır.
- Cürufa ulaşan bu kabarcıklar çelik içerisinde uzaklaştırılmış olur ve böylelikle çelik içerisinde çözülmüş olan azot ve hidrojen azaltılmış olur [1].

6.3. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI

Numuneler istenilen boya testere yardımıyla kesilir. Sertlik testi bu işlem sonrası yapılır. Sertlik testleri, 120° tepe açılı Rockwell elmas konik uç kullanılarak 23°C ± 5°C sıcaklıkta yapılır. Ölçümler kangal parçasının enine kesitinden alınan numune üzerinden merkez noktadan ölçülmektedir.

Vakumsuz ve vakumlu 5' er döküme ait sonuçlar Çizelge 6.5' de verilmiştir.

Çizelge 6. 5. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait sertlik sonuçları

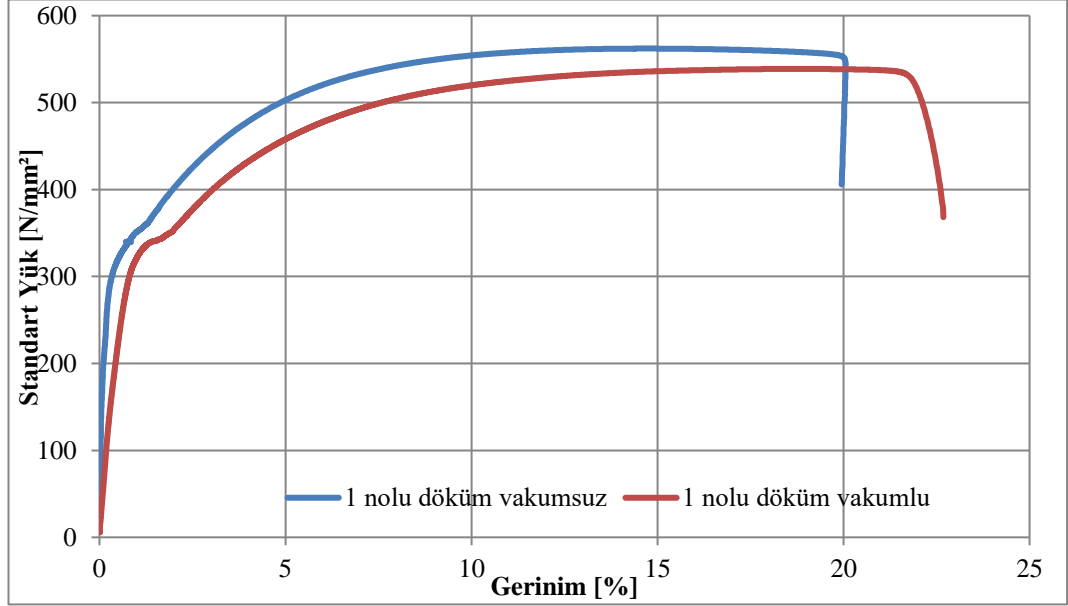
Vakumsuz dökümler Döküm no	Sertlik (HRC) Merkez-Kenar	Vakumlu dökümler Döküm no	Sertlik (HRC) Merkez-Kenar
1	41 - 43	1	43 - 43
2	42 - 42	2	41 - 42
3	42 - 43	3	42 - 43
4	41 - 42	4	42 - 42
5	42 - 42	5	43 - 44

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında fark görülmemiştir.

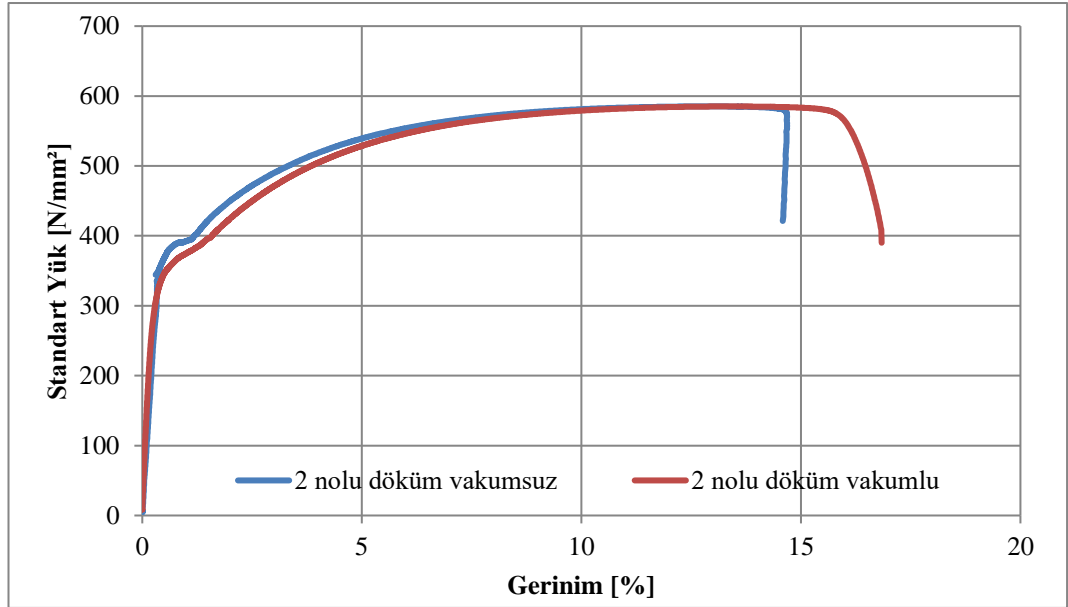
6.4. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Test, laboratuvara gelen, 1 sarım kangal numunesinin 4 e bölünmesi suretiyle her bölgesinden olmak üzere yapılır ve mekanik dalgalanma kontrol edilir. Testi yapılacak numunenin istenilen boya kesimi sonrası, doğrultma cihazında doğrultulup teste hazır hale getirilir. Numune alt ve üstten çenelere tutturulmak suretiyle cihazın çenelerine bağlanır. Bu deney esnasında numunenin bağlı olduğu çenelerden biri sabit hareket

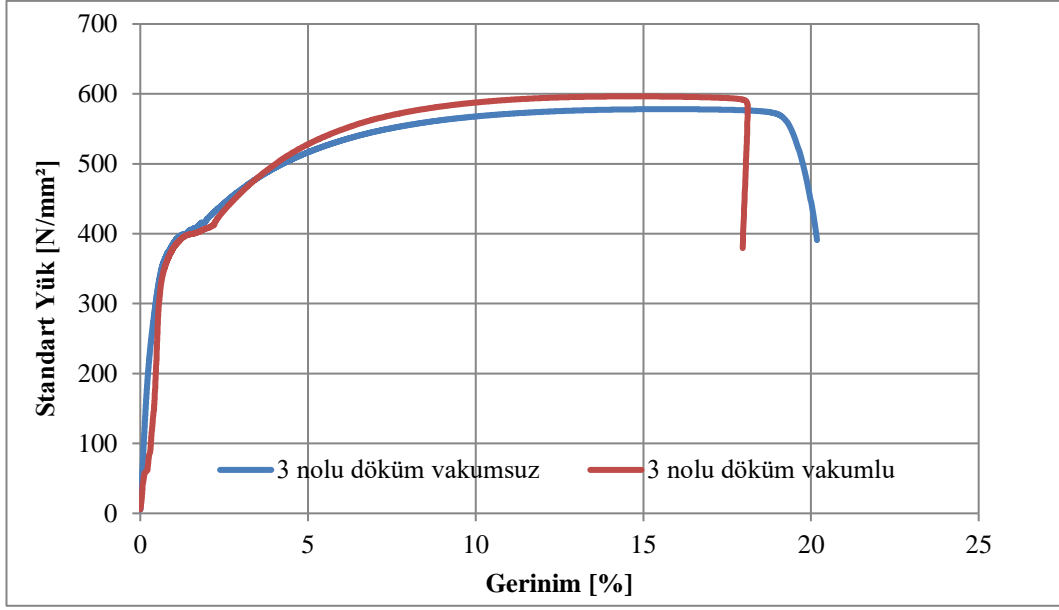
ettirilerek değişen miktarda çekme kuvveti uygulanır ve numune kopana kadar devam eder. Vakumsuz ve vakumlu 5' er döküme ait sonuçlar Şekil 6.7' de verilmiştir.



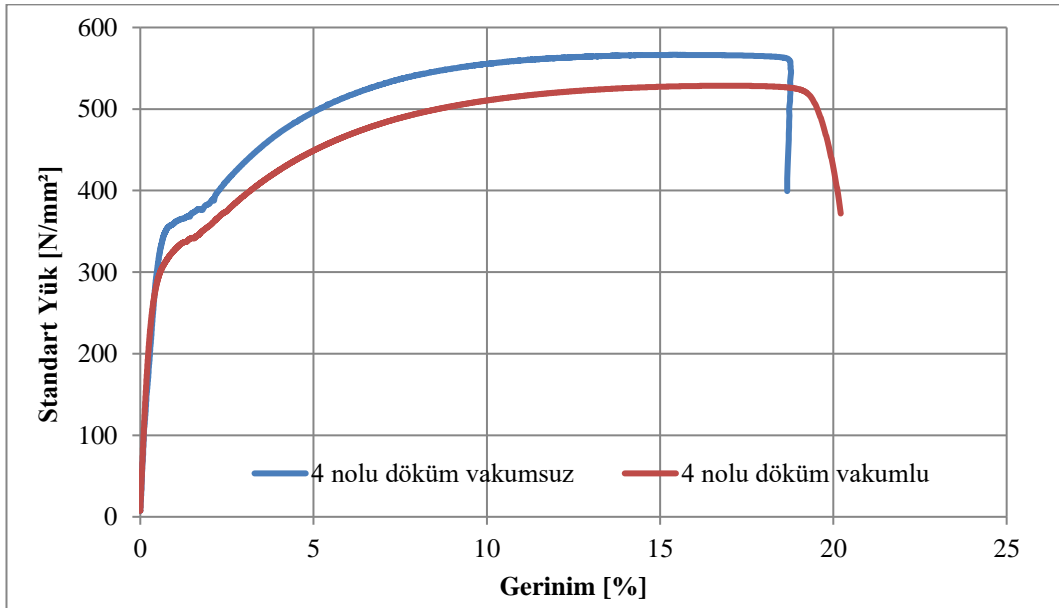
(a)



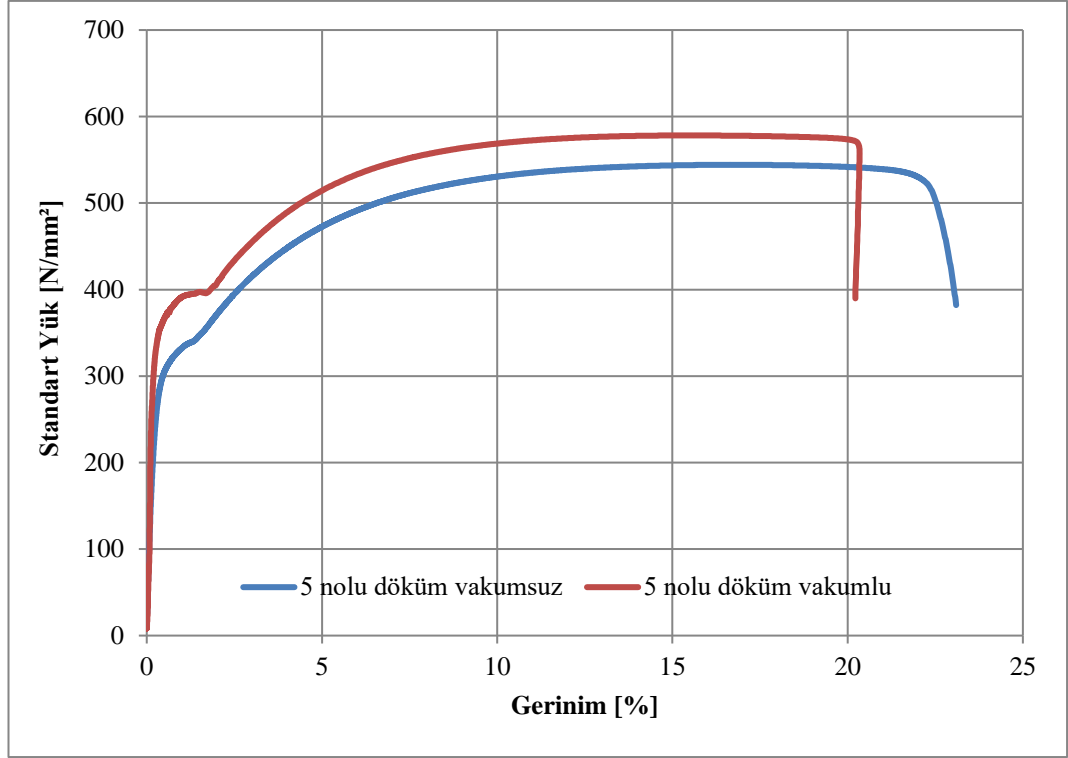
(b)



(c)



(d)



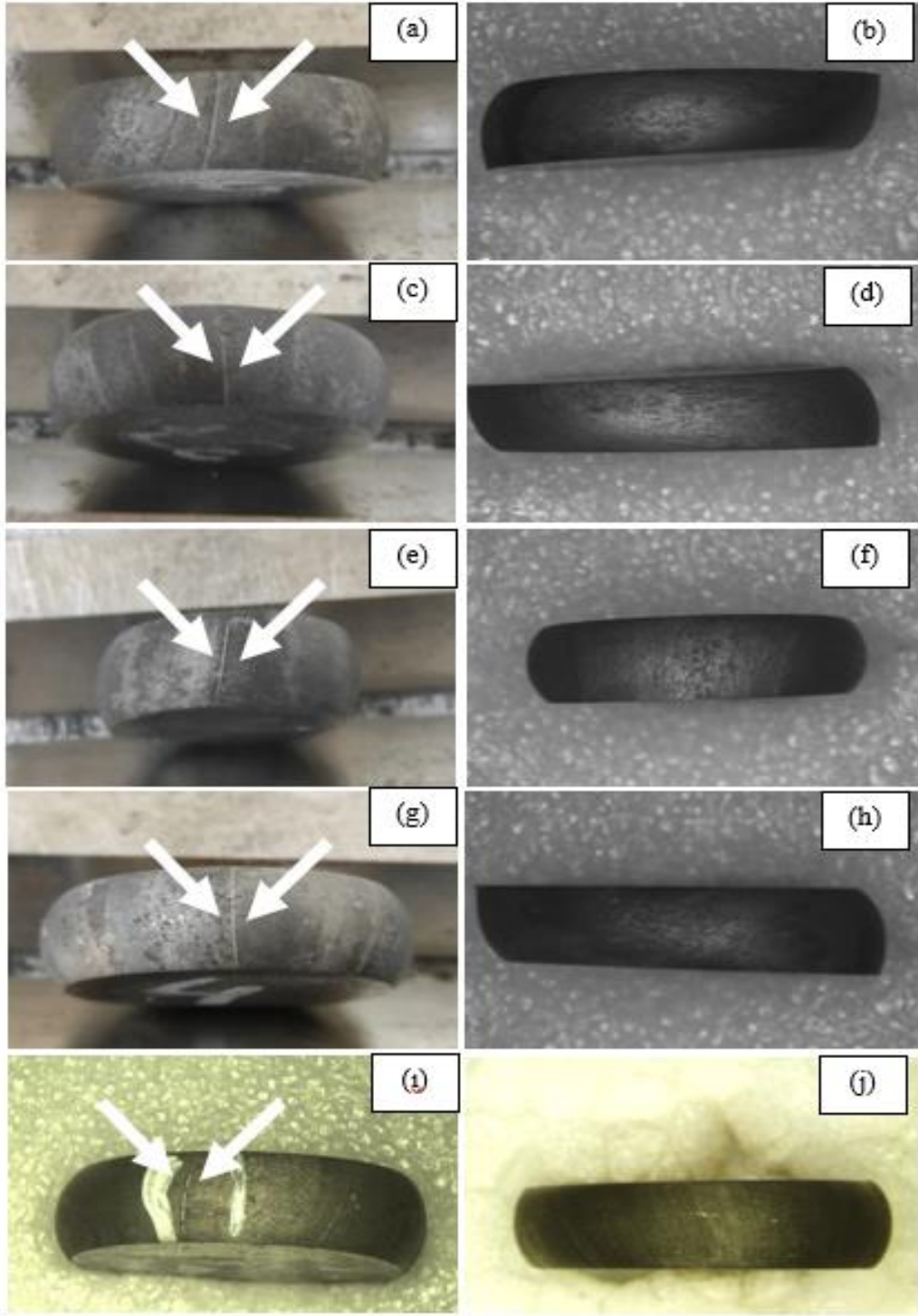
(e)

Şekil 6.13. Çekme testi sonuçları. a)Vakumsuz-Vakumlu 1 nolu döküm, b)Vakumsuz-Vakumlu 2 nolu döküm, c)Vakumsuz-Vakumlu 3 nolu döküm, d)Vakumsuz-Vakumlu 4 nolu döküm, e)Vakumsuz-Vakumlu 5 nolu döküm.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında akma-çekme mukavemetlerinde belirgin bir fark görülmemekle birlikte % uzama değerlerinde iyileşmeler kaydedilmiştir.

6.5. BASMA TESTİ SONUÇLARI

Vakumsuz ve vakumlu numunelere ait basma test sonucu görselleri Şekil 6.8'de verilmiştir:



Şekil 6. 14. Basma testi sonucu fotoğrafları. a)Vakumsuz, b)Vakumlu 1 nolu döküm, c)Vakumsuz, d)Vakumlu 2 nolu döküm, e)Vakumsuz, f)Vakumlu 3 nolu döküm, g)Vakumsuz, h)Vakumlu 4 nolu döküm, ı)Vakumsuz, j)Vakumlu 5 nolu döküm.

Vakumsuz üretilen kangallara yapılan basma test sonuçlarında, kılcal çatlaklar belirgin şekilde gözükmemektedir. Bu numunelerde, Bölüm 6.2 elementel analiz de ki sonuçlar göz önüne alındığında azot ve hidrojen oranının vakumlu dökümlere nazaran daha yüksek olduğu ve bu istenmeyen gazların yüksek olmasıyla beraber yapı içerisinde kırılma eğilimine yol açtığı ve nihai ürünü olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Bölüm 3.3.1 de belirtildiği üzere hidrojen, atom çapı küçük olması nedeniyle ara yer elementi olarak yapıya girmekte olup, tane sınırlarına yayılır ve metal tane sınırlarında diğer hidrojen atomlarıyla birleşerek kabarcıklar oluşturur. Bu nedenle metalin serbest yüzey enerjisi azalır [34]. Tane sınırlarında oluşan kabarcıklar yüzey enerjisinin de azalmasıyla beraber malzemede süreksizliğe yol açar ve yapıyı zayıflatır. Taneler arası çatlama, bir metalde çatlaklar oluştuğunda ve zayıflamış tane sınırları boyunca büyüdüğünde meydana gelir. Yapıda oluşan boşluklar nedeniyle birim alana düşen yük artar ve çatlamlar meydana gelir [35].

Azot için ise, Bölüm 3.2.1 de belirtildiği üzere nitrür ve karbo nitrürler tane yapılarına çökerek malzemede sertleşmeye neden olur ve bu sertleşme malzemede azot miktarı arttıkça artar ve bir süre sonra kırılma eğilimine sahip bir yapı elde edilir. Bunun sebebi taneler arasına çöken asimetrik nitrür ve karbo nitrürlerdir [35].

Atom bazında yer alan azot elementi gerinim yaşlanması (strain hardening) açısından olumsuz etkileri sahiptir. Çelik gerinim etkileri altındayken elementel azot yapı içinde ki dislokasyonlara doğru ilerler. Bu ilerleme esnasında kafes yapısına ve dislokasyonların yoğun olduğu yerlerde basınç düzlemleri oluşturarak, dislokasyonların daha hızlı ilerlemesine neden olur. Yoğunlaşan dislokasyonlar zorlamaya maruz kaldığında, çok çabuk kırılmasına neden olabilir. Bu durum gerinim altında bulunan malzemede beklenen daha çabuk kırılmaya neden olabilir [35].

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasının amacı, 23MnB4 kaliteye ait vakum işlemi uygulanmış ve vakum işlemi uygulanmamış numunelerde sertlik, çekme, mikroyapı, elementel analiz, basma testi sonuçlarının karşılaştırılmasıdır.

- Numunelere yapılan SEM-EDS ve optik incelemeler neticesinde, vakum uygulanan numunelerde inklüzyonların vakumsuz numunelere göre daha az sayıda ve daha küçük boyutta olduğu tespit edilmiştir. Bu durum; pota fırınları ve vakum prosesinde potanın altından argon gazı üflenerek alttan karıştırma yapılması ve sayesinde istenmeyen gazların ve inklüzyonların yüzdürülerek çelik yapıdan uzaklaştırılması şeklinde açıklanabilir.
- Elementel analiz ölçümlerinde, vakum uygulanan numunelerde gaz giderme işleminin etkisiyle hidrojen ve azot gibi istenmeyen gazların vakumsuz numunelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, vakum altında basıncın düşürülerek azot ve hidrojen gibi gazların çözünürlüğü azaltılması ve gaz halinde çökmesi, çöken gazın karbon monoksit ve argon gibi diğer gazlar tarafından emilerek kabarcık haline gelmek suretiyle, karıştırma ve yüzdürmenin etkisiyle yüzeye ulaşarak çelik dışarısına atılması şeklinde açıklanabilir [1].
- Sertlik testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında belirgin bir fark görülmemiştir.
- Çekme testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında akma-çekme mukavemetlerinde belirgin bir fark görülmemekle birlikte % uzama değerlerinde iyileşmeler kaydedilmiştir.

- Basma test sonuçları incelendiğinde, vakumsuz üretilen kangallara yapılan basma test sonuçlarında, kılcal çatlaklar belirgin şekilde gözükmemektedir. Bu numunelerde, Bölüm 6.2 elementel analizde ki sonuçlar göz önüne alındığında azot ve hidrojen oranının vakumlu dökümlere nazaran daha yüksek olduğu ve bu istenmeyen gazların yüksek olmasıyla beraber yapı içerisinde kırılma hızına yol açtığı ve nihai ürünü olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Yukarıda çelik içerisinde zararlı etkilerinden bahsedilen azot ve hidrojen için 2021 yılı itibariyle vakum işlemine tabi tutulması nedeniyle azot ve hidrojen düşürülmüş ve nihai üründe iyileşme sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Ahlin, B., “Nitrogen Removal in a Vacuum Tank Degasser: An Investigation on the Nitrogen Removal Performance”, *Stockholm-Sweden*, 6-9, (2019)
2. Ertan, S., “Farklı kalitedeki rayların mikroyapı, kalıntı gerilme kırılma tokluğu özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5, (2021).
3. Emiroğlu, H. İ., “Bazık oksijen fırını (BOF) ile çelik üretim prosesinde kullanılan endüstriyel fondaki aşınmaların iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 6, (2019).
4. Conejo, A, N., Lara, F, R., Hernandez, M, M., “Steel Research International”, *Wiley-Blackwell.*, US, 141-150 (2007).
5. TS EN 10263-4: Soğuk şişirme ve soğuk ekstrüzyon için çelik çubuk, filmaşın ve tel-Bölüm-4: İslah çeliklerinin teknik teslim şartları, 2017. [Online].
6. İnternet: Malzeme Bilimi ve Mühendislik Sitesi, Teknik Kütüphane, “Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi”, <https://malzemebilimi.net/alasim-elementlerinin-celige-etkisi> (2017)
7. Brook, C.R., “Metallography and Microstructures”, *ASM Handbook*, 88: 30-39 (1998).
8. Koymatçık, H., “R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 20-22 (2012).
9. United States Patent, “Cycling Heat Treatment For Cooling Grain Size Of Superalloy Castings”, Patent No: 5302217, Patent Tarihi: 12 Nisan 1994.
10. Boyer, H.E., “Casting and Properties Of Steels”, *Metals Handbook*, 120: 25-38 (2000).
11. Aydın, A., “Isıl İşlem Parametrelerinin Bor Katkılı Östenitik Çelik Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, 19-20 (2011)
12. Pazarlıoğlu, S., “Çeliklerin Niobiyum Borür Kaplanması ve Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 19-21 (2006).

13. Çarboğa, C., “Düşük Karbonlu Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 75,107-108 (2010)
14. Şen, Ş., “Termokimyasal borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performanslarının geliştirilmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 20-35 (1998).
15. Matuschka, A.G.V., “Boronozing”, **Wien:Hanser**, 100-105 (1980).
16. Brooks, C.R., “Heat Treatment Of Steels”, **ASM Handbook**, 140: 3-19 (1991).
17. Özçelik, S., “Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışı İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 13 (2013). 17 olacak
18. Kalaycıoğlu, O., “Kardemir’de Ray Üretiminde İyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 149 (2006).
19. Kamlesh, K.J., ve Murthy, R., “Improvements In Rail Steel Metallurgy For 32.5T Axle Load”, **N.E. Railway Southern Railway Publish**, Proje Rapor No: 712: 1-27 (2002).
20. Onat, Ö., “Mantarı Sertleştirilmiş R260 Kalite Rayların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 18 (2012).
21. Özaksoy, M. G., “İkincil Çelik Üretiminde Kükürt Giderme ve Çelik Kalitesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, 45-46 (2004)
22. Çetin, Z., “Sürekli Döküm Prosesinde Pota Nozulu Tıkanma Probleminin Analizi Ve Azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, 17 (2016)
23. Öztürk, S., “Faz Diyagramları Ders Notları”, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü**, Trabzon
24. Wu, J., Li, Q., Wang, Z., and F. Jiang, “Vacuum denitrification and nitrogen absorption of molten steel under ultra-low nitrogen conditions,” **Material Science and Technology**, vol. 35, no. 2, pp. 240-246 (2019)
25. Inomoto, T.S, Kitamura, Y. and Yano, M., “Kinetic Study of the Nitrogen Removal Rate from Molten Steel (Normal Steel and 17 mass%Cr Steel) under CO Boil or Argon Gas Injection,” **ISIJ International**, vol. 55, no. 9, pp. 1822-1827 (2015).
26. Steneholm, K., Anderson, M., Tilliander, A. and Jönsson, P. G., “Removal of hydrogen, nitrogen and sulphur from tool steel during vacuum degassing,” **Ironmaking & Steelmaking**, vol. 40, no. 3, pp. 199-205 (2013)
27. İnternet: Vac Aero, “Vacuum Degassing of Steel”,

<https://vacaero.com/information-resources/vac-aero-training/101401-vacuum-degassing-steel.html> . (2017)

28. H. A. Satir and K. H. Feichtinger, “On the solubility of Nitrogen in liquid iron and steel alloys using elevated pressure”, *Zeitschrift fuer Metallkunde*, vol. 82, no. 9 (1991).
29. N. Bannenberg, B. Bergmann, H. Wagner and H. Gaye, *Proceeding of 6th International Iron and Steel Congress Nagoya*, ISIJ, 3, 603 (1990).
30. Yu, S., Miettinen, J. And Louhenkilpi, S., “Modeling Study of Nitrogen Removal from the Vacuum Tank Degasser,” *Steel Research International*, vol. 85, no. 9, pp. 1393-1402 (2014)
31. İnternet: IspatGuru, “Nitrogen in Steels”
<https://www.ispatguru.com/nitrogen-in-steels/>
32. Karouni, F., Wynne, B.P., Talemantes-Silva, J., Phillips, S., “ “Hydrogen Degassing in a Vacuum Arc Degasser Using a Three-Phase Eulerian Method and Discrete Population Balance Model”, *Steel Research International*, 1 (2018)
33. Ramasetti, E. K, Visuri, V-V., Sulasalmi, P., Fabritius, T., “A CFD and experimental investigation of slag eye in gas stirred ladle.”, *University of Oulu*, 78 (2018)
34. İnternet: Industrial Metallurgists, LLC, “Hydrogen Embrittlement of Steel”
<https://www.imetllc.com/hydrogen-embrittlement-steel/>
35. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi, “Metallerde Gevrekleşmeler”
<https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD/Metallerde%20Gevreklesmeler.pdf>
36. İnternet: Industrial Metallurgists, LLC, “Hydrogen Embrittlement”,
<https://masaka.luxiarweddingphoto.com/hydrogen-embrittlement/>
37. Kaçar, Y., “Kalsiyum İşlemi İdeal İnküzyon Modifikasyonu Koşullarının Belirlenmesi ve Proses Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1 (2011)
38. Norasethaspon, S. ve Yoshida, K., “Influences of Inclusion Shape and size in drawing of copper shaped wire”, *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 400-406 (2006).
39. Altun, K., “Soğuk Çekme Metoduyla Üretilen Kaynak Tellerinde Görülen Hataların Belirlenmesi ve Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 67-68 (2015)
40. İnternet: Total Materia, “Clean Steel: Part Two”,

<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=198> (2022)

41. Terzioğlu, M., “Vakum Metalürjisi Yöntemi İle Çelik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6 (2001)
42. İnternet: Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş. , “Nasıl Üretiyoruz”, <http://www.normcivata.com.tr>
43. Akdoğan Eker, A. , “Isıl İşlemler Ders Notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2018)
44. ASTM E1019-18: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Inert Gas Fusion Techniques, 2018.
45. TS EN ISO 6508-1: Metalik malzemeler- Rockwell sertlik deneyi- Bölüm 1: Deney metodu, 2016.
46. TS EN ISO 6892-1: Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, 2020.
47. Aran, A., “Malzeme Bilgisi Ders Notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul
48. TS EN 206: Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, 2014.
49. Arnold, H., Vollmers, A., Schrade, C., Huellen, M., Talhoff, D., Zulhan, Z., “Secondary Metallurgy for BOF Steelmaking”, *Secondary Steelmaking Session*, Austria, 9 (2006)

ÖZGEÇMİŞ

Yasin DEVEÇEKER; ilk ve orta öğrenimini Karabük' te tamamladı. Karabük Mustafa Yazıcı Lisesi' nden mezun oldu. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' nde öğrenime başlayıp 2013 yılında mezen oldu. 2015 yılında KARDEMİR A.Ş. Kalite Güvence Metalurji ve Laboratuvarlar Müdürlüğü' nde Çelik Üretim ve Sürekli Dökümler Kalite Kontrol Mühendisi olarak işe başladı ve halen aynı fabrikada çalışmaya devam etmektedir. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.