



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BİYOMÜHENDİSLİK VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŞLEMİNİN Mn VE B ALAŞIMLI  
CIVATA ÇELİKLERİNİN YAPISAL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZİ HAZIRLAYAN**

**Emre ÇAKAR**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK**

**ÇANAKKALE – 2023**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOMÜHENDİSLİK VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŞLEMİNİN Mn VE B ALAŞIMLI CIVATA  
ÇELİKLERİNİN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZİ HAZIRLAYAN

Emre ÇAKAR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK

ÇANAKKALE– 2023



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Emre ÇAKAR tarafından Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK yönetiminde hazırlanan ve **23/08/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Küreselleştirme Isıl İşleminin Mn ve B Alaşımli Cıvata Çeliklerinin Yapısal Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK  
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat YILDIRIM

Dr. Öğr. Üyesi Zafer KAYA

.....

.....

.....

Tez No : .....

Tez Savunma Tarihi : 23/08/2023

.....  
Prof.Dr. Ahmet Evren ERGİNAL  
Enstitü Müdürü

.././20..

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Emre ÇAKAR

23/08/2023

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Volkan EŐKİZEYBEK alıŐma sũresince tũm zorlukları benimle gũęũsleyen İÇDAŞ A.Ő. Őretim ve Sevkiyat Planlama Sorumluları Recep Yılmaz ve Recep Caniaz'a, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teŐekkũrlerimi sunarım.

Emre ÇAKAR

anakkale, Aęustos 2023



## ÖZET

# KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŞLEMİNİN Mn VE B ALAŞIMLI CIVATA ÇELİKLERİNİN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Emre ÇAKAR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK

23/08/2023, 54

Haddehane üretimi esnasında uygulanan yoğun deformasyon nedeniyle çelik çubuklar içerisinde dislokasyon yoğunluğu artar ve dislokasyonlar birbirlerini kilitletler. Dolayısıyla, dislokasyonların hareket etmesi zorlaşmakta ve çelik çubukların süneklilikleri düşmektedir. Bu nedenle, çelik çubuklar yarı mamulden mamule dönüştürülürken uygulanacak şekil verme ve talaşlı imalat proseslerinin kolaylaştırmak ve ürün kalitesini arttırmak için ısıtım işlemi uygulanması gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan 23MnB4 ve 30MnB4 kalite çelik çubuklar için küreselleştirme işlemi yaklaşık 740 °C de 17 saat ısıtım salınımlı olarak 8 saat soğutma ile üretimi yapılmıştır. Küreselleştirme işlemi ile birlikte 23MnB4 kalitesinin sertlik değerinde yaklaşık %12 azalma, 30MnB4 kalitesinin sertlik değerlerinde yaklaşık %15 azalma görülmüştür. Akma ve çekme dayanımı değerlerinde ise 23MnB4 kalite çelik çubuklar da yaklaşık %13 ve yaklaşık %17 azalma gözlemlenirken, 30MnB4 kalite çelik çubuklar da ise yaklaşık %27 ve yaklaşık %24 oranında azalma gözlemlenmiştir. 23MnB4 kalite çelik çubuklar küreselleştirme işlemi sonrasında kopma uzama değerlerinde yaklaşık %30 artış gözlemlenirken, 30MnB4 kalite çelik çubuklar da ise yaklaşık %50 artış gözlemlenmiştir. Mikro yapıya bakıldığında ise; kalın lamelli ve kaba taneli yapıların yerini ince lamelli ve küresel yapıların aldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Küreselleştirme Tavlama, Mikroyapı, Mekaniksel Özellikler, Filmaşın, Çelik

## ABSTRACT

# THE EFFECT OF SPHEROIDIZING HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF Mn AND B ALLOY BOLT STEELS

Emre ÇAKAR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Department of Bioengineering and Materials Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Volkan ESKİZEYBEK

23/08/2023, 54

Due to the intense deformation applied during rolling mill production, the dislocation density within the steel bars increases and the dislocations lock each other. Therefore, the movement of dislocations becomes difficult and the ductility of steel bars decreases. For this reason, heat treatment is required to facilitate the forming and machining processes to be applied when converting steel bars from semi-finished products to finished products and to improve product quality. The spheroidizing process for 23MnB4 and 30MnB4 grade steel bars used in the thesis study was produced by heating at approximately 740 °C for 17 hours and cooling for 8 hours oscillatingly. With the spheroidizing process, approximately 12% decrease in the hardness value of 23MnB4 quality and approximately 15% decrease in the hardness values of 30MnB4 quality was observed. In the yield and tensile strength values, a decrease of approximately 13% and 17% was observed in 23MnB4 grade steel bars, while a decrease of approximately 27% and 24% was observed in 30MnB4 grade steel bars. 23MnB4 grade steel bars showed about 30% increase in elongation at break values after spheroidizing, while 30MnB4 grade steel bars showed about 50% increase. Regarding the microstructure; it was determined that the thick lamellar and coarse grained structures were replaced by thin lamellar and spherical structures.

**Keywords:** Spheroidization Annealing, Microstructure, Mechanical Properties, Coil, Steel



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1. Cıvata Nedir?.....	1
1.2. Cıvataların Sınıflandırılması.....	2
1.3. Cıvata Üretim Süreci ve Cıvata Çeşitleri .....	3
1.3.1. Soğuk Dövme.....	4
1.3.2. Isıl İşlem.....	4
1.3.3. Boyut ve yüzey .....	4
1.4. Cıvata Üretiminde Meydana Gelen Hatalar .....	5
1.5. Alaşımli Çelik Üretimi .....	7
1.6. Elektrikli Ark Fırınları (EAF) ile Çelik Üretimi.....	7
1.6.1. Elektrikli Ark Ocağına Şarj Alımı .....	8
1.6.2. Ergitme İşlemi.....	9
1.6.3. Rafinasyon. ....	9
1.6.4. Çelikten Cürufun Giderilmesi.....	9
1.6.5. Döküm Alma.....	10
1.6.6. Ocağın Hazırlanması.....	10
1.7. Pota Ocağı.....	10
1.7.1. Kükürt Giderme .....	10

1.7.2. Deoksidasyon.....	11
1.7.3 Sıcaklık ve Kimyasal Analiz Homojenizasyonu.....	11
1.8. Sürekli Döküm Makinesi (SDM) .....	11
1.8.1. Katılma Sonucunda Kütükte Oluşan Katılma Bölgeleri .....	12
1.9. Yarı Mamül (Kütük) Üretiminde Meydana Gelen Hatalar .....	13
1.9.1. Gaz Boşlukları .....	13
1.9.2. Yüzeyde Cüruf.....	13
1.9.3. Enine ve Boyuna Çatlaklar .....	14
1.9.4. Kütük Yüzeyinde Osilasyonlu Bölgeler .....	14
1.9.5. Rombik.....	14
1.9.6. İçbükey.....	14
1.9.7. Şişkinlik ve Yanak Verme .....	14
1.10. Haddehane (Filmaşın Üretimi) .....	15
1.11. Kangal Üretiminde Meydana Gelen Hatalar .....	16
1.11.1. Çatlak .....	16
1.11.2. Katlamalar.....	17
1.11.3. Fital.....	17
1.11.4. Çizikler.....	17
1.11.5. Sıcak Çatlaklar .....	18
1.11.6. Tufal.....	18
1.11.7. Çapak (Kabuk).....	18
1.11.8. Sıcak Yırtılma .....	18
1.11.9. Hammadde Yüzeyinin Dekarbonizasyonu .....	18
1.11.10. Hammaddelerin Kalın Çekme Boşluğu .....	19
1.11.11. Hammaddelerin Safsızlık Kusurları.....	19

## İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

20

2.1. TTT Diyagramları.....	20
2.2. Küreselleştirme Tavlaması .....	21
2.3. Çeliklere Uygulanan Diğer Isıl İşlemler.....	24
2.3.1. Normalizasyon Tavlaması .....	24
2.3.2. Gerilim Giderme .....	26
2.3.3. Temperleme (Menevişleme): .....	26
2.3.4. Yeniden Kristalleşme:.....	27
2.3.5. Östemperleme .....	27

2.3.6. Martemperleme .....	28
2.3.7. Su verme .....	28
2.4. Motivasyon .....	28

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL YÖNTEM

30

3.1. 23MnB4 ve 30MnB4 Kaliteleri Üretiminde Kullanılan Hammaddeler .....	30
3.1.1. DKP.....	30
3.1.2. Pik Demir .....	31
3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar .....	32
3.2.1. Sıcaklık Ölçüm Cihazları .....	32
3.2.2 Sıvı Çelikten Numune Alınması .....	32
3.2.3. X-Ray Spektrometre (XRF).....	33
3.2.4. ARL Spektrometresi .....	34
3.2.5. Çekme Deney Cihazı .....	34
3.2.6. Sertlik Ölçüm Cihazı.....	37
3.2.7. Optik Mikroskop.....	38

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

39

4.1. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Kimyasal Kompozisyonu .....	39
4.1.1. Karbon Eşdeğerliği (Ceq) .....	39
4.2. Küreselleştirme Tavlaması .....	40
4.2.1. Çeliğin İç Yapısında Bulunan Fazlar .....	40
4.3. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi ve Sonrası Sertlik Değerleri .....	41
4.4. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi ve Sonrası Değişen Mekanik Değerler .....	41
4.5. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi Mikroyapısı ..	43
4.6. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Sonrası Mikroyapısı .	45
4.7. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi ve Sonrası Değişen Tane Boyutu .....	47

BEŞİNCİ BÖLÜM  
SONUÇ ve ÖNERİLER

48

KAYNAKÇA .....49  
ÖZGEÇMİŞ.....I



## SİMGELER VE KISALTMALAR

EAF	Elektrikli Ark Fırını
TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
EAO	Elektrikli Ark Ocağı
SDM	Sürekli Döküm Makinesi
Kg	Kilogram
g	Gram
%	Yüzde oranı
XRF	X-Ray Floresans Spektrometresi
C <sub>eq</sub>	Karbon Eşdeğeri
Max	Maksimum
Min	Minimum
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
Al	Alüminyum
S	Kükürt
Sn	Kalay
N	Azot
P	Fosfor
As	Arsenik
O	Oksijen
H	Hidrojen
Mn	Mangan
B	Bor
Fe	Demir
Si	Silisyum
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
DC	Motor Çalışma Prensibi

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	Cıvataların sınıflandırılması	3
<b>Tablo 2</b>	AISI 1040 kimyasal analizi	24
<b>Tablo 3</b>	TS EN 10263-4 standartlarına uygun 23MnB4 kimyasal analizi	30
<b>Tablo 4</b>	TS EN 10263-4 standartlarına uygun 30MnB4 kimyasal analizi	30
<b>Tablo 5</b>	23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin sıvı çelik analizi	39
<b>Tablo 6</b>	Küreselleştirme ısıl işlemi ısıtma ve soğutma süreleri	40
<b>Tablo 7</b>	Tane boyutu ölçümünde kullanılan ASTM E 112-13 kalibrasyon değerleri	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Cıvata kısımları	1
Şekil 2	Cıvata çeşitleri	3
Şekil 3	Cıvata üretimi esnasında meydana gelen hatalar	6
Şekil 4	Üretim esnasında oluşan gaz boşlukları	6
Şekil 5	Çelik üretim yöntemlerinin gösterimi	7
Şekil 6	Elektrikli ark ocağı genel görünümü	8
Şekil 7	Sürekli döküm makinası	12
Şekil 8	Filmaşın ve çubuk üretim şeması	15
Şekil 9	Filmaşın yüzeyinde uzunlamasına oluşan çatlaklar	16
Şekil 10	Çeliklere uygulanan ısı işlemler	20
Şekil 11	TTT diyagramı	21
Şekil 12	Örnek bir normalizasyon tavlamasında 800 °C’de ölçülen sertlik değeri	25
Şekil 13	Örnek bir normalizasyon tavlamasında 850 °C’de ölçülen sertlik değeri	25
Şekil 14	Örnek bir normalizasyon tavlamasında 900 °C’de ölçülen sertlik değeri	26
Şekil 15	Soğuk deformasyon ve yeniden kristalleşme ile meydana gelen değişiklikler	27
Şekil 16	Preslenmiş DKP hurdası	31
Şekil 17	Yüksek fırın ürünü pik demir	31
Şekil 18	Sıcaklık ölçüm cihazı	32
Şekil 19	Sıvı çelikten numune alma aparatları	33
Şekil 20	Alyaj analizinde kullanılan XRF cihazı	33
Şekil 21	Kimyasal analiz belirlemede kullanılan ARL spektrometresi	34

<b>Şekil 22</b>	Mekanik değerleri belirlemede kullanılan çekme cihazı	35
<b>Şekil 23</b>	Çekme testlerinde deney düzeneği	35
<b>Şekil 24</b>	Çeliklerin gerilim-gerinim eğrisi	36
<b>Şekil 25</b>	Mikroyapı görünümü için kullanılan optik mikroskop	38
<b>Şekil 26</b>	Küreselleştirme tavlaması ile değişen sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi	41
<b>Şekil 27</b>	23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen akma ve çekme dayanımlarının grafiksel gösterimi	42
<b>Şekil 28</b>	23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen %kopma uzama değerlerinin grafiksel gösterimi	42
<b>Şekil 29</b>	23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen %kesit daralması değerlerinin grafiksel gösterimi	43
<b>Şekil 30</b>	Küreselleştirme tavlaması öncesi 23MnB4 100X büyütme	44
<b>Şekil 31</b>	Küreselleştirme tavlaması öncesi 23MnB4 500X büyütme	44
<b>Şekil 32</b>	Küreselleştirme tavlaması öncesi 30MnB4 100X büyütme	45
<b>Şekil 33</b>	Küreselleştirme tavlaması öncesi 30MnB4 500X büyütme	45
<b>Şekil 34</b>	Küreselleştirme tavlaması sonrası 23MnB4 500X büyütme	46
<b>Şekil 35</b>	Küreselleştirme tavlaması sonrası 30MnB4 500X büyütme	46
<b>Şekil 36</b>	23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen ortalama tane boyutu değerlerinin grafiksel gösterimi	47



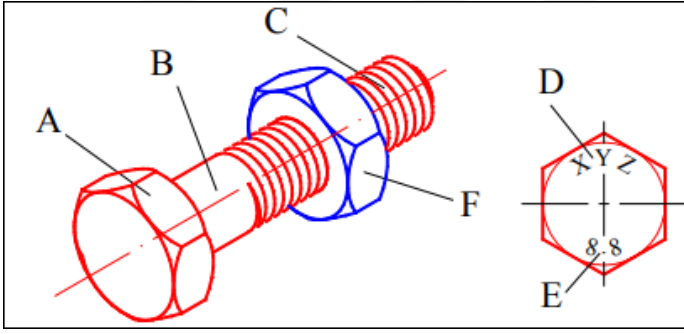
# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1. Cıvata Nedir?

Cıvata ve somunlar endüstriyel sanayide çok yaygın olarak kullanılan çözülebilir bağlantı elemanlarıdır. İnşaat ve makine sanayisinde ise en çok çelik alaşımlı cıvatalar kullanılmaktadır. Bağlantı elemanları farklı yapıları bir arada tutma imkânı veren ve birbirine bağlanmasını sağlayan parçalardır.

Cıvata ise Şekil 1.'de gösterildiği gibi cıvata kafası, cıvata şaftı, vidalı şaft kısmı, firma işareti, kalite sembolü ve somundan oluşur.



Şekil 1. Cıvata kısımları (A) Cıvata kafası B) Cıvata şaftı C) Vidalı şaft kısmı D) Firma işareti E) Kalite sembolü F) Somun (Kutay, 2009)

Cıvatalar genellikle somun ile kullanılırlar. Cıvata kullanımının en büyük avantajları arasında tekrar tekrar sökülüp takılabilmesi ve kullanılabilmesi gösterilmektedir. Dezavantajı olarak ise; kendi kendine çözülebilmesi, esneme payının düşük olması söylenebilir (Çoban ve Ünlü, 2015).

Cıvata üretiminde çeşitli çelik türleri kullanılır. Tercih edilen çelik türleri, dayanıklılık, mukavemet, korozyon direnci ve diğer özellikler açısından farklı gereksinimlere sahip olabilir. Düşük veya orta karbon içeren çelikler, cıvata üretiminde yaygın olarak kullanılır. Örneğin, genel amaçlı cıvatalar için SAE 1008 veya SAE 1018 gibi çelikler tercih edilebilir. Cıvataların daha yüksek mukavemet veya sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda, alaşım çelikleri kullanılır. Örneğin, cıvata üretiminde 4140, 4340 veya 8740 gibi alaşım çelikleri tercih edilebilir (Babalık ve Çavdar, 2012).

Korozyona dirençli özellikleri nedeniyle paslanmaz çelikler, özellikle açık hava veya nemli ortamlarda kullanılan cıvatalarda tercih edilir. Paslanmaz çelik türleri arasında 304, 316 ve 410 gibi sık kullanılanlar bulunur. Özel uygulamalar veya ağır yükler altında çalışan cıvatalar için yüksek mukavemetli çelikler tercih edilebilir. Örneğin, çekme dayanımı ve tokluk açısından yüksek olan çelikler, ağır iş makinelerinde veya otomotiv endüstrisinde kullanılabilir (Kınıt ve Bozca, 2014).

23MnB4 ve 30MnB4 çelikleri, cıvata üretiminde kullanılan bir çelik türüdür. 23MnB4 ve 30MnB4 çelikleri, alaşımlı çelik olarak sınıflandırılır ve özellikle yüksek mukavemetli cıvata uygulamaları için tercih edilir. Bu çelik türleri, yüksek çekme dayanımı, tokluk ve sertlik gibi özelliklere sahiptir. Buna ek olarak, sertleştirilebilir ve dayanıklı bir yüzey tabakası oluşturmak için ısı işlemlere tabi tutulabilir. Bu özellikler, cıvataların yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılmasını sağlar. 23MnB4 ve 30MnB4 çelikleri, otomotiv endüstrisinde, inşaat sektöründe, ağır makinelerde ve diğer birçok uygulamada cıvata üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kınıt ve Bozca, 2014).

Mangan, çelikte mukavemeti artırmaya yardımcı olan bir alaşım elementidir. Manganın çelik içinde katılması, kristal yapıyı stabilize eder ve mekanik özellikleri iyileştirir. Bu şekilde, 23MnB4 ve 30MnB4 çelikler daha yüksek çekme dayanımı ve tokluk elde eder. Mangan ayrıca çelikte sertleşebilirlik özelliğini artıran bir etkiye sahiptir. Isıl işlemlerle (örneğin, su veya yağ banyosunda soğutma) çelik sertleştirildiğinde, mangan bu sertleşmeyi destekler ve çelikte yüzey sertliğini artırır (Babalık ve Çavdar, 2012).

Bor elementi ise, çeliğin sertleşebilirliğini artırmaya yardımcı olan bir alaşım elementidir. Bor, çelik içinde çözünerek özgül bir mikro yapı oluşumunu tetikler. Bu mikro yapı, çeliğin sertleşebilirliğini ve yüzey sertliğini artırır. Dolayısıyla, 23MnB4 ve 30MnB4 çeliklerine bor katılarak, daha yüksek mukavemet ve sertlik elde edilir. Bor, çelikteki kristal yapıyı özel bir şekilde etkiler ve süneklik/tokluk özelliklerini iyileştirir. Bu, 23MnB4 çeliğinin darbe dayanımını artırır ve çatlamaya karşı daha dirençli hale getirir. Bor ayrıca çelikteki yüksek sıcaklık dayanımını artırmaya yardımcı olur. Bu özellik, 23MnB4 ve 30MnB4 çeliklerinin yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilmesini sağlar (Kınıt ve Bozca, 2014).

## **1.2. Cıvataların Sınıflandırılması**

Kullanım alanına göre cıvatalar Tablo 1’de açıklanmış olup, Şekil 2’de gösterilmiştir.

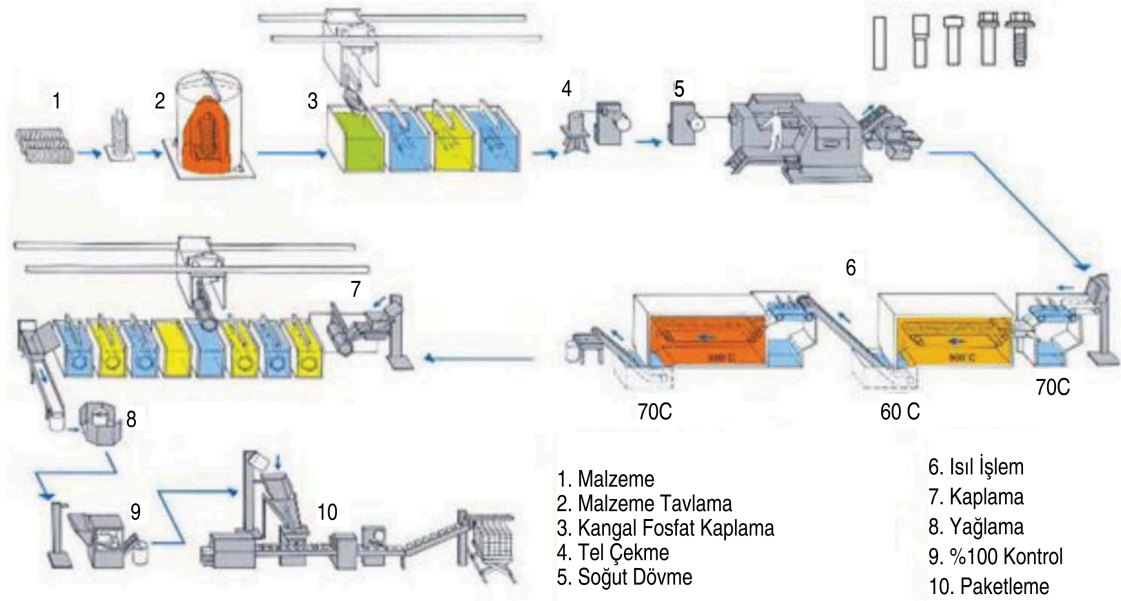
Tablo 1

Cıvataların sınıflandırılması (Babalık ve Çavdar, 2012)

Cıvata Türü	Görevi
Bağlama Cıvatası	Makine parçalarının çözülebilir şekilde bağlanması
Hareket Cıvatası	Dönme hareketini ötelemeye çevirme
Ayar Cıvatası	Mesafelerin, boşlukların ayarlanıp tespit edilmesi
Kapama Cıvatası	Deliklerin kapatılması, sızdırmazlık sağlanması, tapa görevi
Ölçü Cıvatası	Dönme hareketinin yüksek hassasiyetle ötelemeye çevrilmesi
Gergi Cıvatası	Eksen yönüyle gergi kuvveti oluşturma

### 1.3. Cıvata Üretim Süreci ve Cıvata Çeşitleri

Cıvatalar çok çeşitli boyut ve şekillerde olabilir, ancak temel üretim süreci genellikle aynı kalır. Soğuk dövme çelik telin doğru şekle getirilmesiyle başlar, ardından mukavemeti artırmak için ısıl işlem ve dayanıklılığı artırmak için yüzey işlemi uygulanır ve sevkiyat için paketlenir. Bununla birlikte, daha gelişmiş cıvata tasarımları için üretim süreci bir dizi ek adımla genişletilebilir (Kutay, 2009).



Şekil 2. Cıvata üretim aşamaları (Özkan ve Ünlü, 2016)

### **1.3.1. Soğuk Dövme**

Soğuk dövme, sarılmamış ve boyuna kesilmiş büyük çelik tel çubuklarla başlar. Çelik kalitesi, ISO 898-1 gerekliliklerine göre sektör genelinde standartlaştırılmıştır. Daha sonra özel takımlar kullanılarak tel soğuk dövme yöntemiyle doğru şekle getirilir. Bu, temel olarak çeliğin oda sıcaklığındayken yüksek basınçta bir dizi kalıptan geçirilerek kalıplandığı yerdir. Kalıpların kendisi oldukça karmaşık olabilir ve milimetrenin yüzde biri toleranslara sahip 200'e kadar farklı parça içerebilir. Soğuk dövme, mükemmelleştirildikten sonra cıvataların hızlı bir şekilde, büyük hacimlerde ve yüksek homojenlikte üretilmesini sağlar.

Yalnızca soğuk dövme yoluyla şekillendirilemeyen daha karmaşık cıvata tasarımları için, bazı ek tornalama veya delme işlemleri gerekebilir. Tornalama, cıvatanın yüksek hızda döndürülmesini içerirken, istenen şekli ve tasarımı elde etmek için çelik kesilir. Delme, cıvata boyunca delikler açmak için kullanılabilir. Gerekirse, sürecin bu aşamasında bazı cıvatalara pullar da takılabilir (Bloniarz vd., 2018)

### **1.3.2. Isıl İşlem**

Isıl işlem tüm cıvatalar için standart bir işlemdir ve çeliğin mikro yapısını ve mekanik özelliklerini değiştirmek için cıvatanın ısıtmalara ve soğutmalara maruz bırakılmasını içerir. Diş açma işlemi genellikle ısıl işlemden önce, haddeleme veya kesme yoluyla uygulanır. Haddeleme soğuk dövme gibi çalışır ve çeliği şekillendirmek ve dişlere kalıplamak için cıvatanın bir kalıptan geçirilmesini içerir.

Kullanılan ısıl işlem yöntemi ile çeliğin mekanik özelliklerini değiştirerek daha sert veya daha yumuşak hale getirir. Diş açma işlemini önceden uygulamak daha kolay ve daha uygun maliyetlidir. Ancak, ısıl işlemden sonra diş açmak daha iyi yorulma performansı sağlar (Bloniarz vd., 2018).

### **1.3.3. Boyut ve Yüzey**

Uzunluğu cıvata çapının on katından fazla olan uzun cıvatalarda, ısıl işlem çeliğin orijinal çelik telin yuvarlak şekline geri dönmesine neden olabilir. Bu nedenle, genellikle bir düzleştirme işleminin uygulanması gerekir. Yüzey işleminin seçimi, cıvatanın uygulamasına ve müşterinin gereksinimlerine göre belirlenir. Genellikle, bağlantı elemanları için ana

endişe korozyon direncidir ve bu nedenle elektrolitik işlem yoluyla uygulanan çinko kaplama yaygın bir çözümdür. Bu, cıvatanın çinko içeren bir sıvıya daldırıldığı ve çinkonun cıvata üzerinde bir kaplama oluşturması için bir elektrik akımının uygulandığı bir işlemdir. Ancak elektrolitik işlem hidrojen kırılabilirliği riskini de beraberinde getirir. Diğer bir seçenek de daha yüksek bir fiyatla da olsa daha da yüksek korozyon direnci sunan çinko pullarıdır. Korozyon direnci bir sorun olmadığında- örneğin bir motorun içinde veya düzenli olarak yağa maruz kalan bir uygulamada- fosfat kullanmak daha uygun maliyetli bir seçenektir. Yüzey işlemi uygulandıktan sonra standart cıvatalar genellikle paketlenmeye hazırdır. Ancak, braket gibi daha gelişmiş tasarımlar ek montaj gerektirebilir.

Cıvatalar kilitleme yaması veya sıvı yama gibi bir çeşit yama gerektirecektir. Kilitleme yaması, dişlerin üzerinde kalın bir naylon tabakadan oluşur ve tutuşu iyileştirmeye yardımcı olur. Sıvı yama ise diş oluşturma torkunu artırmaya yardımcı olur. Bu adımlar tamamlandığında cıvata tamamlanmış olur. Cıvatalar paketlenip gönderilmeden önce tekdüzelik ve tutarlılığı sağlamak için bir çeşit kalite kontrolüdür (Bloniarz vd., 2018).

#### 1.4. Cıvata Üretiminde Meydana Gelen Hatalar

Haddehane üretimi esnasında uygulanan yoğun deformasyon nedeniyle filmaşın içerisinde dislokasyon yoğunluğu artar ve dislokasyonlar birbirlerini kilitletler. Dolayısıyla dislokasyonların hareket etmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, filmaşınların yarı mamülden mamüle dönüştürülürken uygulanacak şekil verme ve talaşlı imalat proseslerinin kolaylaştırmak ve ürün kalitesini arttırmak için filmaşınlar ısıtılmalı tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde Şekil 3' te gösterildiği gibi cıvata üretimi sonrası mamullerde istenmeyen ayrılmalar, çatlaklar meydana gelebilmektedir (Çakmak ve Adaçağlar, 2021).



Şekil 3. Cıvata üretimi esnasında meydana gelen hatalar

Sürekli döküm makinesinde üretilen kütükler haddehane fırınına sevk edilir. Fırında tekrar ısıtılan kütüklerin fırın çıkış sıcaklığı yaklaşık 1050-1100 °C'dir. Her filmaşinin paketleme bölümüne dökülme sıcaklığı bulunmaktadır. Bu dökülme sıcaklığı kimyasal kompozisyona göre değişmektedir. Haddehanelerde soğutma işlemi su ile yapılmaktadır. Filmaşin üretimi esnasında malzemeye soğuma amacıyla verilen su ikincil fazlarda çökeltme oluşturarak sertlik değerini arttırmaktadır. Bu yüzden ısıtma işlemi ihtiyacı duyulmaktadır.

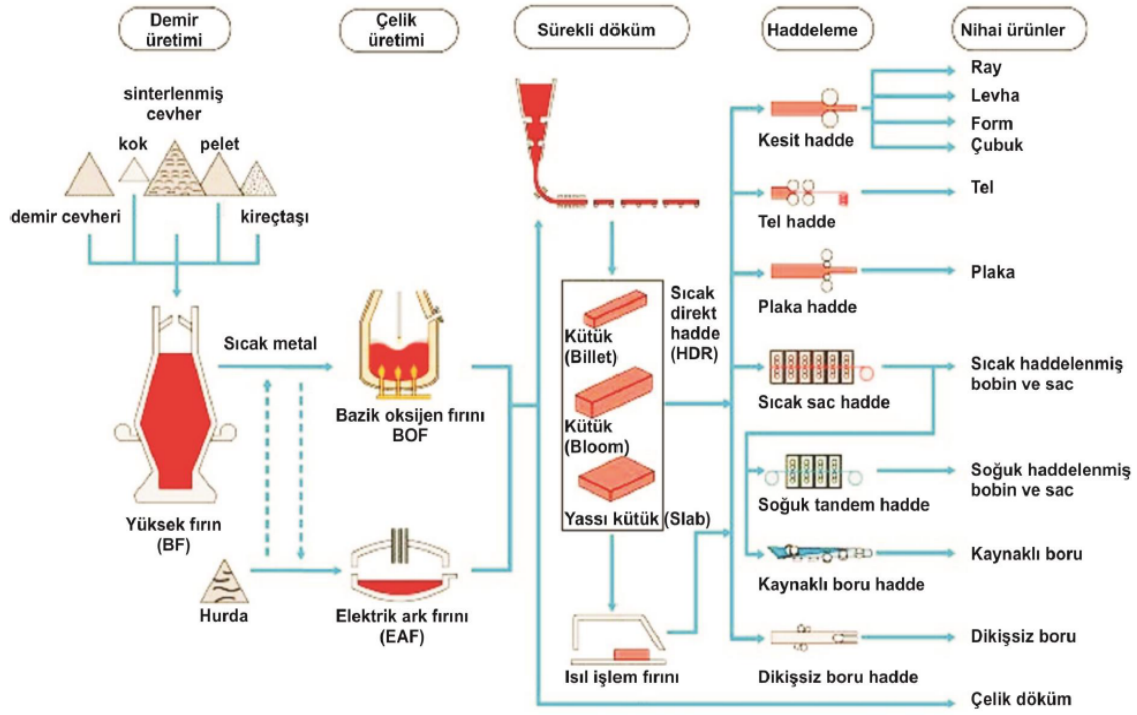
Ayrıca filmaşin üretimi ve cıvata üretiminde gaz boşlukları (blowhole ve pinhole) meydana gelmemesi için dökümlerin kimyasal kompozisyonlarının uygun olması gerekmektedir (Şekil 4). Sıvı çelik hazırlama esnasında deoksidasyon, dekükürdizasyon ve defosforizasyon tepkimelerinin uygun olarak yapılması gerekmektedir. Sıvı çeliğin hava ile teması minimum seviyede tutulmalıdır.



Şekil 4. Üretim esnasında oluşan gaz boşlukları

### 1.5. Alaşımli Çelik Üretimi

Alaşımli çelik üretimi, demir cevherinin yüksek fırınlarda eritilmesiyle başlayan bir süreçtir (Şekil 5). Erimiş demir bazik oksijen fırınlarında veya elektrik ark fırınlarında hurdalar ile beslenerek çelik ergiyi haline getirildikten sonra sürekli döküm ve haddeleme prosesleri sonrasında cıvata üretiminde kullanılan çelik çubuklar (filmaşin) elde edilir.

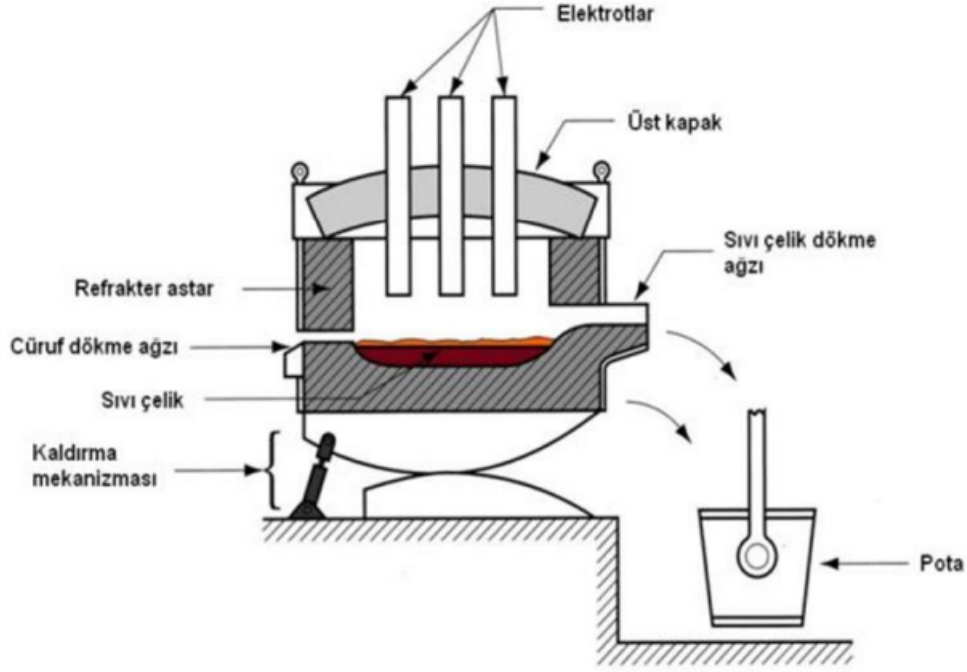


Şekil 5. Çelik üretim yöntemlerinin gösterimi (“Çelik Tipleri ve İmalat Yöntemleri”, 2019)

## 1.6. Elektrikli Ark Fırınları (EAF) ile Çelik Üretimi

Elektrikli ark fırınları kapak gövde ve çanak olmak üzere üç bölümden oluşur. Kapak kısmında Elektrotların fırın içerisine girdiği ring ve duman emme sistemi bulunmaktadır. Gövdede cüruf kapağı ve oksijen, doğalgaz üflenen brolürler bulunmaktadır. Çanakta ise dökümü devirebilmek için EBT deliği ve çeliğin tabana yapışmasını engellemek için gaz üfleme delikleri bulunmaktadır. Elektrik ark ocaklarında asidik veya bazik olmak üzere iki tip üretim yöntemi söz konusudur.

Filmaşın üretiminin gerçekleştirildiği İÇDAŞ A.Ş. bünyesindeki bazik karaktere sahip fırınlar bulunmaktadır. Bazik ocaklarda ise oksitleyici ve redükleyici çift cüruf uygulaması kolaylıkla yapılabilir. Sistemden fosfor ve kükürt rahatça cürufa çekilebilmektedir. EAF AC (alternatif akım) ya da DC (doğrusal akım) akım prensibine göre çalışmaktadır. AC prensibinde 3 elektrod kullanılır ve hurdanın ergitilmesi sağlanır. DC prensibinden iste tek elektrod kullanılır (Şekil 6).



Şekil 6. Elektrikli ark ocağı genel görünümü (Akın, 2021)

EAO'lerde gerçekleşen işlemler aşağıdaki gibi sıralanır;

- Elektrikli Ark Ocağına Şarj Alımı
- Ergitme İşlemi
- Rafinasyon
- Çelikten Cürufun Giderilmesi
- Döküm alma
- Ocağın hazırlanması (Ünal ve Tunç, 2012).

### 1.6.1. Elektrikli Ark Ocağına Şarj Alımı

EAO'ya şarj alma işlemine, şarjın hazırlanması ile başlanılmaktadır. Bu işlem üretilen çeliğin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Amaç istenilen kompozisyona uygun sıvı çelik üretmektir. Şarjda geri dönüşüm malzemesi olan demir hurdalar ve yüksek fırın üretimi olan pik ve hms gibi malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca birinci ve ikinci şarjda ocağın içerisine rafinasyon ve karbonu arttırmak için kireç ve antrasit kömür ilave edilir. Şarj sıcak veya soğuk yapılabilir. Sıcak yapılacaksa baca gazı tarafından bir ön ısıtmaya tabii tutulur. Şarj verilme esnasında hurda kompozisyonu göz önünde



bulundurulmalıdır. Geniş hurda kompozisyonuna olanak sağlayan EAO prosesinde, nihai ürüne göre şarj karbon ve bakır değerleri göz önüne alınarak yapılmaktadır.

### **1.6.2. Ergitme İşlemi**

Elektrik ark ocaklarında sıvı çelik eritme işlemi elektrotlar ile hurda arasında ark oluşturularak gerçekleştirilir. İlk aşamada refraktere ve fırına zarar gelmemesi için düşük gerilim ile çalışılır. Oluşturulan bu düşük gerilimli ark ile, elektrot hurda içerisinde belirli bir boşluğu eritmiş olacak ve yüksek elektrik gerilimi ile birlikte gerekli derinlik meydana gelecektir. Yeterli derinliğe inen elektrot eritme işlemi tamamlayacaktır.

### **1.6.3. Rafinasyon**

Brülörlerden verilen oksijen ile safsızlıkların giderilmesi sağlanır. Fırında yakıcı olarak ise doğalgaz kullanılır. Üretkenlik ve enerji verimi bakımından da EAO ile çelik üretiminde oksijen kullanımı önemli bir yer teşkil etmektedir. Fosfor ve kükürt gibi istenmeyen elementlerin dökümden alınması için fırın içerisine oksijen enjekte edilir. Sıvı çeliğin homojen karıştırılması ve homojen bir ısı dağılımı oluşturmak amacıyla fırına argon veya diğer soy gazlar erimiş metal içerisine enjekte edilir. Bununla birlikte çelik daha fazla saflaştırılmış ve iyi bir homojenlik oluşturulmuş olacaktır.

### **1.6.4. Çelikten Cürufun Giderilmesi**

Sıvı çelikte asidik ve bazik olmak üzere iki farklı karakterde cüruf meydana gelir. Cüruf karakteri  $\text{CaO}$  ve  $\text{SiO}_2$  oranlarına göre belirlenmektedir.

$\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 < 2$  ise, cüruf asidik özellik gösterir.

$\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 > 2$  ise, cüruf bazik özellik gösterir (Larrea, 1992). (1.1)

### **1.6.5. Döküm Alma**

Ergitme, rafinasyon ve cüruf giderme işlemlerinin ardından ocakta bulunan çeliğin, hidrolik pistonlar yardımıyla ocağın tabanında bulunan EBT deliğinden boş potaya alınması

işlemine döküm alma denir. Hava ile temas minimum seviyede tutularak, azot seviyesinin yükselmemesi istenmektedir.

### **1.6.6. Ocağın Hazırlanması**

Dökümü tamamlanan ocakta, refrakter kontrolü ve mekaniksel bakım kontrol edildikten sonra tekrar yeni şarj için ocağın hazırlanması işlemidir.

### **1.7. Pota Ocağı**

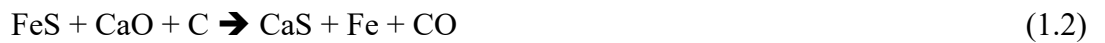
Pota ocağının temel görevi metalürjik arıtma işlemlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu temel işlemler sırasıyla;

- Kükürt Giderme
- Deoksidasyon
- Sıcaklık ve kimyasal analiz homojenizasyonu
- Alttan üfleme sistemi ile kısmi gaz giderme

#### **1.7.1. Kükürt Giderme**

Kükürt çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen ve darbe mukavemetini azaltan zararlı bir elementtir. Bu nedenle çelik içerisinde istenmez ve miktarı sınırlandırılmıştır.

Kükürt tasfiyesinin yapılması için öncelikle deoksidasyon işleminin yapılması gerekir ve kükürt tasfiyesinin yapılabilmesi için cüruftaki FeO oranı %1'in altında olmalıdır.

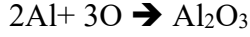
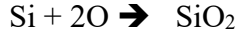


Kükürt rafinasyonu yapılabilmesi için sıcaklığın artması istenir. Sıcaklığın artması ile reaksiyon hızı yükselir ve verimli bir dekükürdizasyon oluşur. 1570 °C üzerinde sağlıklı bir rafinasyon sağlanabilmektedir.

#### **1.7.2. Deoksidasyon**

Ark Ocağında defosforizasyon (fosfor giderme) işleminde sıvı çeliğe oksijen verildiğinden dolayı sıvı çelikte oksijen miktarı fazladır. Deoksidasyon işleminin yapılması

için oksijene ilgisi demirden fazla olan ve oksijenle kararlı bir bileşik oluşturan Al, Si, Mn gibi elementleri içeren ferro alyaj malzemeler ilave edilir.



### 1.7.3. Sıcaklık ve Kimyasal Analiz Homojenizasyonu

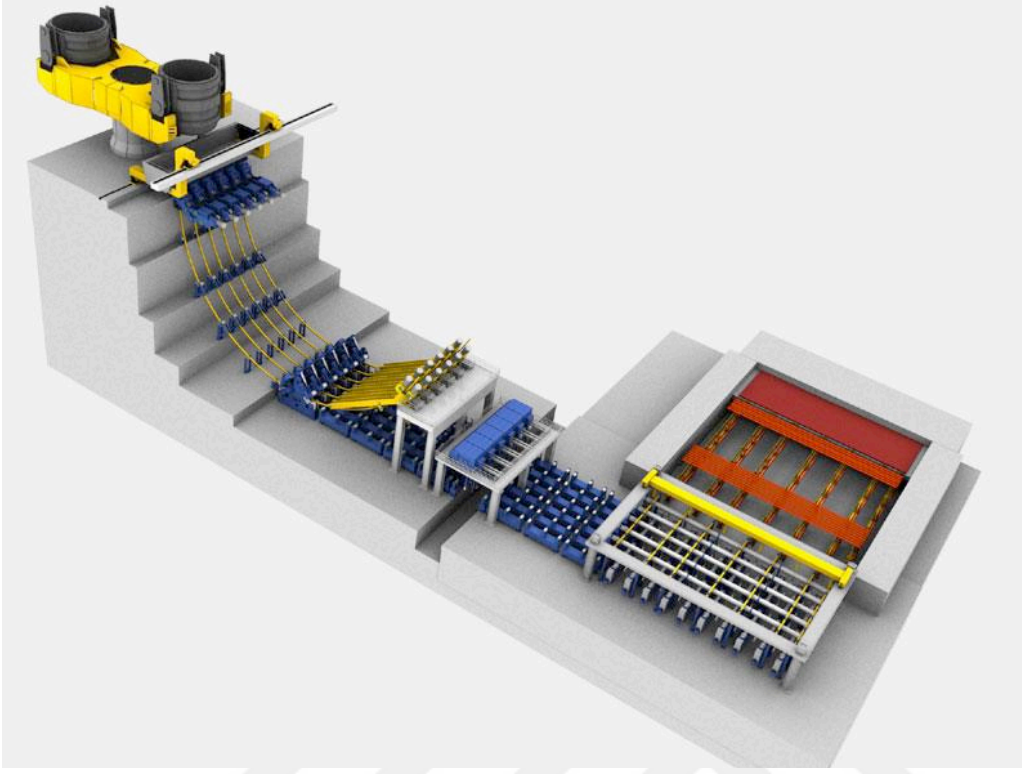
Alaşımlandırma işlemi, istenilen kaliteye uygun kimyasal analiz değerlerine bakılarak yapılmaktadır. Alaşımlandırma işlemi yapılan çelikten numune alınarak kimyasal analiz için laboratuvara gönderilir ve uygun analiz elde edilmesi hedeflenir. Her kalitenin bindirme sıcaklığı farklılık göstermektedir. Uygun analiz ve sıcaklık değeri elde edildiğinde döküm sürekli döküm makinesine gönderilir.

### 1.8. Sürekli Döküm Makinesi (SDM)

Pota ocağında hazır hale getirilen pota döküm vinci ile alınarak Sürekli Döküm Makinası adı verilen makinaya koyulur. Pota taret adı verilen kola yerleştirilir ve 180 derece döndürülerek tandiş üzerinde hazır hale getirilir (Şekil 7).

Potada bulunan sıvı çelik öncelikle tandişe verilir. Tandiş geniş hazneli ve içi refrakter ile kaplı bir ekipmandır. Tandişin geniş haznesi içerisinde bulunan sıvı çelik pota aktarımı sırasında herhangi bir olumsuzluk yaşanırsa zaman kaybının önüne geçmek ve makinenin ara vermemesini engellemeye olanak sağlar.

Şekil 7’de pota altında bulunan tandiştan akan sıvı çelik ilk olarak bakır alaşımlı ve su soğutmalı döküm kalıbına akar. İlk kabuk oluşumu burada gerçekleşir. Kalıplara akan sıvı çelik belirli bir seviyede tutulur. Bu seviye dökümün özelliğine göre belirlenmektedir. Kalıplar döküm esnasında sürekli osilasyon hareketi yapar, bunun sebebi ise dökümün akışını sağlamaktır. Kalıplara üst kısımdan yağ ilave edilerek oluşan ilk kabuğun kalıba yapışmasını engellemekte ve kalıbın iç yüzeyi korunmaktadır. Üretilen kütükler “touch” adı verilen mekanik sistem yardımıyla istenilen ebat ve uzunlukta kesilmektedir. Döküm sıcaklığı dökümün kalitesine ve sdm’de bekleyen pota sayısına göre pota ocağında belirlenir. Eğer bu sıcaklık yüksekken döküme başlanırsa, sdm makinasındaki yolların kanama yapma riski çok fazla olur. Bunun sebebi ise yüksek sıcaklıktaki çeliğin tam soğutulamamasıdır.



Şekil 7. Sürekli Döküm Makinesi (Tunuz ve Furat, 2018)

### 1.8.1. Katılaşma Sonucunda Kütükte Oluşan Katılaşma Bölgeleri

Kalıp içerisinde çok hızlı soğuma nedeniyle ilk katılaşan bölgeye çil bölgesi denir. Katılaşan taneler gelişi güzel sıralanmıştır.

Katılaşan kabuk belirli bir kalınlığa ulaştıktan sonra katılaşmakta olan kütükten ısı transferi azalmaktadır. Sıvı çelik kalıptan çıktıktan sonra S yoluna girer ve soğuma devam eder. Çelik s yolu denilen bölgeye bakır kalıplardan geçtikten sonra gelir ve bu alan çelik ve suyun birbirine direk temas ettiği yerdir. S yolunda soğumaya devam eden taneler ısı transferi yönüne zıt olarak merkeze doğru dentritik şekilde uzantılar çıkartarak katılaşır. Katılaşmanın son aşamalarında katılaşan çelik kalınlığı daha da artmakta ve kütük merkezinde sıvı halde bulunan çelikten ısı transferi iyice azalmaktadır. Böylece dentritik bölgeden sonra kütük merkezinde yer alan yeni bir bölge oluşmaktadır.

## 1.9. Yarı Mamul (Kütük) Üretiminde Meydana Gelen Hatalar

Elektrikli Ark Fırını (EAF) ve Sürekli Döküm Makinası (SDM) sistemlerinde oluşan üretim hataları 3 gruba ayrılır. Bunlar;

- Yüzey hataları
- İçsel çatlaklar
- Şekil bozuklukları

Aynı zamanda birçok ser-serbest element küçük boyutta kütük üzerinde problemlere yol açar. Bu ser-serbest elementler filmaşın üretiminde haddehanede hatalara sebebiyet vermektedir.

- Oksijen (O), azot (N), hidrojen (H) yüzeyde gözenekli yapı oluşmasına sebep olmaktadır ve nokta boşluklarına sebep olur.
- Bakır (Cu), kalay (Sn), arsenik (As) yüzey çatlaklarına sebep olmaktadır.
- Oksijen (O), kükürt (S), alüminyum (Al) yapı içerisinde inklüzyonlara (boşluklara) sebep olmaktadır.
- Kükürt (S) ve fosfor (P) kütük merkezinde ve yüzey tabakasının altında içsel çatlaklara sebep olmaktadır.

### **1.9.1. Gaz Boşlukları**

Yüzey altında görüntüsü incelendiğinde göz ile muayene de noktasal hatalar görülebilmektedir. Yapı içerisinde yüksek miktarda oksijen, hidrojen ve azot bulunması sebebiyet vermektedir. Kangal üretiminde (filmaşın) yüzeysel çatlaklara sebep olmaktadır (İlgaz, 1977).

### **1.9.2. Yüzeyde Cüruf**

Kütük yüzeyi bakıldığında göz ile kontrol edildiğinde görülebilmektedir. Dağlama yapıldığında çok daha net görülmektedir. Sıvı çeliğin hava ile temasının fazla olması ve sıvı çelik içerisinde cüruf olması sebep olabilmektedir. Kangal üretiminde uç noktalarda fiziksel mukavemetin düşük gelmesine ve kopmalara sebep olmaktadır.

### **1.9.3. Enine ve Boyuna Çatlaklar**

Kütük yüzeyini göz ile kontrol edildiğinde görülebilmektedir. Daha net görüntü elde edebilmek için dağlama numunesi kesilmesi yeterlidir. Çelikte içerisinde empürite bulunması, düzensiz kalıp soğutması ve sıvı çelik sıcaklığının yüksek olması sebeplerinden kaynaklanmaktadır. Kangal üretiminde yüzeyde çatlaklara ve kopmalara sebep olmaktadır.

#### **1.9.4. Kütük Yüzeyinde Osilasyonlu Bölgeler**

Kütük yüzeyi göz ile kontrol edildiğinde görülebilmektedir. Karbon miktarının düşük olması, düşük üretim hızı ve düşük sıvı çelik sıcaklığı sebep olmaktadır. Kangal üretiminde yüzeyde çatlaklara sebep olmaktadır (İlgaz, 1977).

#### **1.9.5. Rombik**

Rölelerin düzgün hizalanmamasından, uygun olmayan birincil ve ikincil soğutmadan ve tandište sıvı çelik sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kangal üretiminde haddehane rölelerine zarar verebilir ve mamulde geniş açılı çatlaklara sebep olabilmektedir (İlgaz, 1977).

#### **1.9.6. İçbükey**

Yüksek döküm hızı ve doğru yapılmayan ikincil soğutma sebebiyet verebilmektedir. Bu hatalar kangal üretiminde, merkezci çatlaklara yol açtığı için kopmalara sebep olmaktadır.

#### **1.9.7. Şişkinlik ve Yanak Verme**

SDM' de yüksek döküm hızı ve düzgün olmayan birincil ve ikincil soğutmalar sebep olabilmektedir. Kangal üretiminde merkezci çatlaklara yol açtığı için kopmalara sebep olmaktadır.

#### **1.10. Haddehane (Filmaşın Üretimi)**

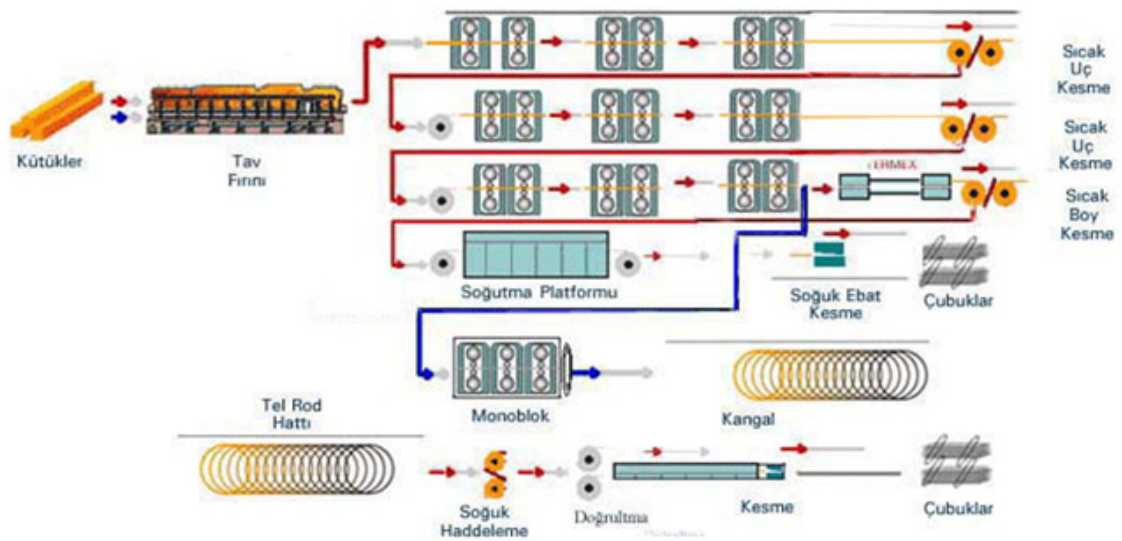
Haddehane tavlama fırını 3 kısımdan oluşur ve sevki yapılan farklı ölçülerdeki kare kesit kütükler yaklaşık olarak 1050-1100 °C sıcaklıklara kadar tavllanır. Tavlamadaki amaç; malzemenin şekil almasına yarayacak plastik şekil değiştirme sıcaklığına ulaşması ve malzeme dokusunun mükemmel hale getirilmek istenmesidir.

Kütüklerde homojen ısı dağılımının olması önemli bir yer etmektedir. Sırasıyla fırından çıkan kütükler önce tufal kırıcıda su ile yüzeyinde tufal kalıntıları temizlendikten sonra hazırlama grubunun ilk tezgahına geçer (Şekil 8).

Tezgahlarda ezilen ve kesiti küçülen kütükler üretilmek istenilen çap ve boyuta kadar ezilmeye devam eder. Buradaki asıl amaç istenilen mekaniksel değerlerin tutturulmasıdır. Bunun için dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler; Filmaşın'ın paket döküm sıcaklığı, malzemeye verilen su miktarı ve malzemenin çekilme hızıdır.

Haddeleme, kütük demirin dönen iki merdane arasından geçirilerek kalıcı plastik şekil verme işlemine denir. Malzemenin merdaneler arasından her bir geçişine “paso” adı verilir. Haddeleme, merdaneler arasında oluşan radyal basınçtan meydana gelir ve malzemeler pasodan her geçişinde deformasyona uğrarlar. Bu deformasyona uğramayla birlikte malzeme ile merdane arasında yüzey kayma gerilmeleri oluşur.

Malzemenin hadde boyunca ilerlemesi sürtünme kuvveti ile sağlanır. Bu işlemlerle kütüklerin kesitlerinde daralma meydana gelirken boylarında uzama meydana gelir. Buna “yayılma” adı verilir.



Şekil 8. Filmaşın ve çubuk üretim şeması (“Filmaşın Demir Nedir?”, t.y.)

## 1.11. Kangal Üretiminde Meydana Gelen Hatalar

### 1.11.1. Çatlak

Sıcak haddelenmiş filmaşindeki hatalar genellikle döküm kaynaklı olmaktadır. Elektrikli ark ocağında başlayan çelik üretiminden kütük üretimine kadar olan bölümde kütükte meydana gelen hatalar kangal üretimini dolaylı olarak etkilemektedir. Bu hatalar haddeleme esnasında uzamalarda çatlaklar oluşturur.

#### Boylamasına Oluşan Çatlak

Çelik fabrikasının yanlış haddeleme işlemi nedeniyle, bağlantı elemanı hammadde çubuğu, yüzeyinde haddeleme yönü boyunca uzanan uzunlamasına çatlaklar sergiler. Bu çatlaklar genellikle doğrusaldır ve haddelemenin ana deformasyon yönü ile tutarlıdır. Hammaddelerde boyuna çatlakların oluşmasının birden fazla nedeni vardır. Örneğin, haddelenmiş kütüklerin yüzeyindeki çizik tipi kusurlar, gerilme yoğunlaşması nedeniyle soğutma sırasında çizikler boyunca çatlaklara neden olabilir. Benzer şekilde, hammaddelerin iç kusurları, çubuklarda haddeleme ve yüzeyin akış yönü boyunca deforme olabilir ve sonunda stres altında çatlayabilir (Gill, 1968).

Şekil 9' da gösterildiği üzere, süper bir alaşım çubuğun hammaddesinin yüzeyindeki uzunlamasına çatlakların morfolojisini göstermektedir.



Şekil 9. Filmaşin yüzeyinde uzunlamasına oluşan çatlaklar



### **Enlemesine Oluşan Çatlak**

Bağlantı elemanları hammadde olarak çubuklardan üretilir. Ancak, çelik fabrikasındaki hatalı kafa kesme işlemleri veya uygun olmayan ekstrüzyon işlemi parametreleri nedeniyle, çubuk kafasının yüzeyinde enine çatlaklar olabilir. Enine yüzey çatlaklarının uzunlamasına çatlaklardan daha zararlı olduğuna dikkat etmek önemlidir.

### **İç Çatlak**

Hammaddelerdeki iç çatlaklar yaygın bir kusurdur. Tipik olarak, bu çatlaklar ince bir kuyruğu ve yerel çatallanmaları olan zikzak bir desene sahiptir. Çatlağın her iki tarafında dekarbürizasyon ve çatlak içinde bir oksit tabakası varsa, bu durum çatlağın ısıl işlem önceden var olduğunu gösterir. İç çatlaklar genellikle gevşeklik ve inklüzyonlar da dahil olmak üzere malzeme kusurlarıyla ilişkilendirilir. Bu durum özellikle merkez hattındaki deformasyonun teorik olarak sıfır olduğu çubukların ekstrüzyonu sırasında geçerlidir. Bu süreçte, malzeme içinde önceden var olan kusurlar, dış yüzeyde merkeze kıyasla daha fazla ekstrüzyon gerilimi nedeniyle eşit olmayan bir şekilde deforme olur ve ek çatlamaya neden olur (Gill, 1968).

#### **1.11.2. Katlamalar**

Çelik tesislerindeki yanlış üretim süreçleri, bağlantı elemanları için kullanılan alaşımlı çubukların yüzeyinde katlanmalara yol açabilir. Pasolar yanlış tasarlandığında, pasolarda dolma meydana gelir. Malzeme pasoyu tam dolduramadığı için haddesel kaynaklı mamulde katlanmalar oluşur. Çelik kaynaklı çekilme boşluğu, segregasyon ve inklüzyonlarda bu hata oluşumuna neden olabilir.

#### **1.11.3. Fital**

Uygun olmayan finiş merdaneleri ayarlarında, pasoların aşırı dolması sonucu oluşur. Eğer fitil tek taraflı olmuşsa, yolluklar tek bir tarafa ayarlanmıştır. Çok tezgahlı sıcak haddelemelerde filmaşinin çekme etkisi nedeniyle kuyrukta fitil oluşur. Oluşan bu fitiller üretim esnasında kesilerek mamulden ayrılır. Çelik üretimi kaynaklı inklüzyon dağılımı ve segregasyonu düzgün olmayan kütüklerde de fitil oluşumu gözlemlenmektedir.

#### **1.11.4. Çizikler**

Çiziklerin oluşumu yollukların üzerinde tufal ve haddeleme esnasında önceki mamulden kalan parçaların birikmesi ile oluşmaktadır. Bu yüzden haddehanelerde belirli bir üretimden sonra yolluk temizliği yapılmaktadır. Haddehane fırınından çıkışında da kütükler tufal banyosu denilen kısımda temizlenmektedir (Gill, 1968).

#### **1.11.5. Sıcak Çatlaklar**

Yanlış merdane kullanımı ve düzgün yapılamayan soğutma işlemi merdanelerde gerilim çatlakları oluşturur. Oluşan bu gerilim çatlakları filmaşın üzerinde istenmeyen kabartılar oluşturur (Gill, 1968).

#### **1.11.6. Tufal**

Filmaşın üzerinde oluşan oksit tabakasıdır ve homojen dağılımı gerçekleşmemiş bu oksit tabakası filmaşın üzerinde istenmez. Bu tabaka kalınlığı sıcaklık ve soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Homojen dağılmayan tufal malzemenin mekaniksel özelliklerini etkilemektedir. Yetersiz soğutulmadan dolayı oluşmuş tufaller malzeme üzerinde çatlaklar oluşturabilmektedir.

#### **1.11.7. Çapak (Kabuk)**

Kütük yüzeyinin altında oluşan istenmeyen inklüzyonlar haddeleme esnasında kırılıp kabuk bırakırlar ve biriken bu kabuklar kalın kabuk oluşumuna sebep olurlar. Kütük üretimi esnasında oluşan enine ve boyuna çatlaklarda kabuk oluşumuna sebep olabilirler. Hasarlı ve aşınmış merdanelerde çapak oluşumuna sebebiyet vermektedirler (Gill, 1968).

#### **1.11.8. Sıcak Yırtılma**

Çelik içerisinde istenmeyen elementler (S, Sn, Cu, O) haddeleme sıcaklığında çeliğin işlenebilirliğini düşürmektedir ve yüzeyde sıcak yırtılmalara sebep olmaktadır.

### **1.11.9. Hammadde Yüzeyinin Dekarbonizasyonu**

Ham malzemelerin yüzeyinde bulunan dekarburizasyon, esas olarak çelik tesisinde çekme sırasında uygun olmayan tavlamadan kaynaklanır. Bu dekarburizasyon tabakası bağlantı elemanı malzemelerinin yüzeyine dağılırken, her iki uçtaki işlenmiş uç yüzeylerinde dekarburizasyon bulunmaz. Kullanım sırasında dekarburizasyon, bağlantı elemanlarının genel mukavemetini önemli ölçüde azaltabilir. Dahası, yüzeydeki dekarburize tabaka düşük mukavemete sahiptir, bu da onu yüzey çatlaklarına ve bağlantı elemanlarının erken kırılma hatasına duyarlı hale getirir (Gill, 1968).

### **1.11.10. Hammaddelerin Kalın Çekme Boşluğu**

Hammaddelerdeki kalıntı büzülme boşluğu, esas olarak çelikhane tarafından külçe kapağının tam olarak çıkarılmamasından kaynaklanır. Bu kapak açma ve haddeleme sırasında hammaddede kalır. Kalıntı çekme boşluklarının yoğun olduğu bölgelerde, inklüzyonlar, gözeneklilik ve segregasyon gibi diğer kusurlar da ortaya çıkma eğilimindedir. Kalıntı büzülme boşluklarına sahip hammaddeler, bağlantı elemanlarının deformasyonu veya işlenmesinden sonra, bağlantı elemanlarının merkezinde deliklerin ve düzensiz iç çatlakların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Çatlak yayılımı bağlantı elemanlarının hasarına neden olur.

### **1.11.11. Hammaddelerin Safsızlık Kusurları**

Ham maddelerdeki safsızlık unsurları temel olarak eritme işleminde kullanılan malzemeler, atmosferdeki kirleticiler ve eritme sırasında fırın duvarı veya pota malzemeleri dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan kaynaklanır. Ek olarak, safsızlıklar alaşım külçelerinden veya ana alaşımlardan ve parçaların döküm işlemi sırasında ortaya çıkabilir. Şekillendirme işlemi sırasında, safsızlıklar deformasyon yönü boyunca bir zincir halinde kümelenir veya hizalanırsa, işleme ve kullanım sırasında bağlantı elemanlarının kolayca çatlamasına neden olabilirler.

## İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Isıl işlem, malzemeye ısı vererek mekanik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmenin bir yoludur (Şekil 10). İstenilen mekanik özelliklere ulaşmak için malzemenin ısı ile mikro yapısı değiştirilir. Mukavemet, süneklik ve tokluk gibi malzemenin mekanik özellikleri ısı işlem uygulayarak değiştirilebilmesi mümkündür (Salman vd., 2019).



Şekil 10. Çeliklere uygulanan ısı işlemler (Anonim, 2013)

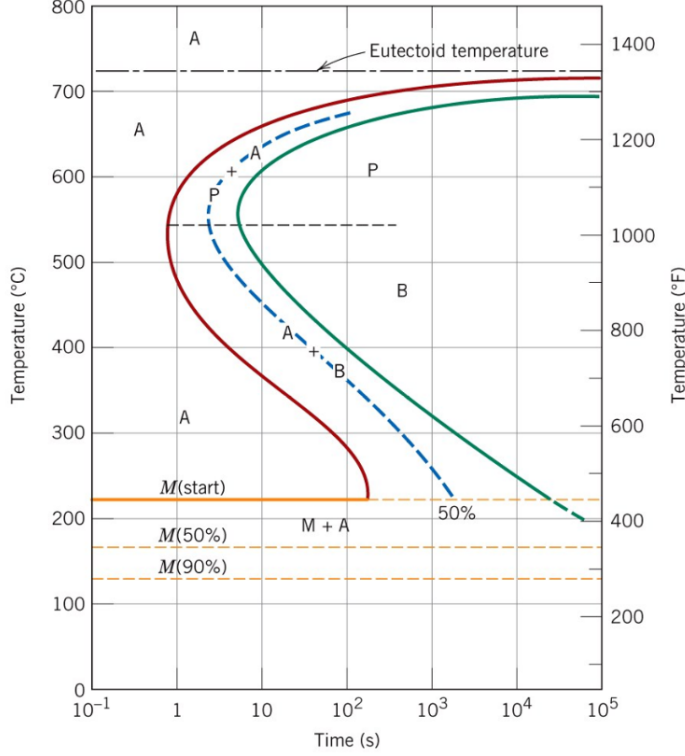
### 2.1. TTT Diyagramları

Bazı fazlar denge dışı fazlar oldukları için demir karbon denge diyagramında görünmezler. Bu fazlar TTT diyagramı denilen izotermal dönüşüm diyagramında görünür. Diyagram içeriğinde ki fazlar sıcaklık ve zamana bağlı olarak oluşurlar (Şekil 11).

A1 sıcaklığının üzerinde (ötektoid noktası) 723-911°C üzerinde ısıtılıp yavaş veya hızlı soğuma ile elde edilen fazlar vardır. Hızlı soğumanın hangi sıcaklıkta ve zaman diliminde gerçekleştiği faz oluşturmak için önemlidir.

Martenzit elde etmek için östenitin sıcaklığın altında bir sıcaklığa soğutulması gerekir. Martenzit dengede olmayan dörtgen bir yapıya sahiptir. Dislokasyon yoğunluğu yüksek olduğu için sert ve kırılgan bir yapıdadır.

Temperleme ile daha iyi mekanik özellikleri olan temperlenmiş martenzite dönüşebilir ve böylece süneklik ve tokluk artırılabilir bilinir.



Şekil 11. TTT Diyagramı (Krauss, 2015)

Soğutma hızına bağlı olarak martenzit sınırı üzerinde alt ve üst beynit oluşturulabilir. Alt beynit üst beynite göre daha düşük sıcaklıkta oluşmaktadır (Miranda, 2013). Beynit orta sertliktedir ve ısıtma işlemi sırasında karbon östenite difüzyonu ve ısıtma işlemi sırasında onu stabilize eder. Tutulan östenit stabilizesi tokluğu iyileştirmek için çok önemlidir. Tutulan östenitin stabilizesini etkileyecek faktörler; dislokasyon yoğunluğu, kristalografik faktör, kristalografik oryantasyondur.

Perlit bir çeliğin mukavemetini arttıran sert bir fazdır. Beynit ile aynı görünüme sahiptir. Karbürler istenmeyen mekanik özelliklere sahip olduğu için genellikle istenmezler (Forouzan, 2019) (Feng vd., 2014).

## 2.2. Küreselleştirme Tavlaması

Küreselleştirme tavlamasının yapılmasındaki amaç; çeliğin sünekliliğini ve şekillendirilebilme yeteneğini arttırmaktır. Alaşımlandırma ve sıcaklık ayarı yapılan sıvı çelik SDM makinasına gönderilir ve burada yarı mamul (kütük) oluşumunu sağlanırken belirli bir kontrollü soğuma işlemine tabi tutulur. Üretilen kütük mamul (filmaşın) üretiminde tekrar belirli standartlarda tavllanır ve istenilen mekaniksel değerlerinin ayarlanabilmesi için thermex (ıslatma) işlemine tabi tutulur. Bu işlemler esnasında çeliğin iç yapısında sert ve gevrek kalıntılar meydana gelir. Küreselleştirme işlemi ile bu sert ve gevrek kalıntılar giderilerek, üretilen mamulün sertliği azaltılır ve şekillendirilebilirliği artırılır.

Küreselleştirme tavrında mamul Ac1 çizgisi civarında (yaklaşık 700-750 °C) ısıtılır ve tavlanaacak sıcaklıkta uzun süre bekletilir. Bu süre çalışmada kullanılacak olan 23MnB4 ve 30MnB4 kaliteleri için yaklaşık olarak 17 saattir. Zamanın ve sıcaklığının ayarının yapılması önemli bir yer teşkil etmektedir. Gereğinden fazla tavlama işlemine tabi tutulan mamulde, fazda bulunan parçacıklar birleşerek uzama gösterirler bu da işlenebilirliği olumsuz etkiler. Tavlama işlemi gerçekleştirilen mamul, soğuma işlemine tabi tutulur. Kalitelerimiz için soğuma yaklaşık olarak 8 saat sürecektir. Bu işlemler ile birlikte çelik, içerisinde sertliği arttıran kalın lamelli perlitik ve sementit yapılar yok edilerek, ferritik bir matris ve içerisinde dağılmış küre şeklindeki karbürlerden oluşur (Adalı, 2003).

Küreselleştirme tavlaması genellikle orta ve yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Düşük karbonlu çeliklere uygulandığında, çok yumuşama meydana gelebilir bu durumda işlenebilirliği zorlaştırmaktadır.

Çeliğin sertliğini arttıran en büyük faktör sahip olduğu karbon elementidir. Sıvı çelik içerisinde karbon oranının artması ve azalması işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik özelliklerini etkiler. Ötektoid altı çeliklerde mikroyapıda bulunan sementit ( $Fe_3C$ ) çeliğin sünekliliğini azaltmaktadır. Uygulanan ısı işlemlerle birlikte çeliğin mekanik akma ve çekme değerleri düşer fakat şekillendirilebilirlik ve işlenebilirlik özellikleri iyileşir. Küreselleştirme tavlaması işlemine tabii tutulan sıvı çelikte mikroyapıdaki sementitlerin küre halinde olmadığı, kısa çubuklar ve çokgenler şeklinde görüldüklerinin ve bazılarının ise birbirinden hiç ayrılmadığını belirtmişlerdir (Okushima, vd., 1964).

Çeliğin mikroyapısında çeşitli fazlar bulunur. Bu fazlar çeliğin, işlenebilme özelliğini etkiler. Küreselleştirme işlemine tabi tutulan çelikte oluşan küreselleştirilmiş perlitik yapı, küreselleştirme işlemi yapılmamış lamelli perlitite göre daha iyi şekillenebilirlik ve

işlenebilirlik sonuçları vermiştir (Okushima vd., 1964). Orta ve yüksek karbonlu çeliklerin işlenebilirliği ve şekillendirilebilirliği zor ve maliyetlidir. Bu yüzden Ac1 sıcaklıkları civarında uzun süre tavllanır ve soğutulma işlemine tabii tutulur. Kesit daralması, şekillendirilebilirlik, tokluk, sertlik değerlerinde değişimler meydana gelmektedir. Çeliklerin mekanik özellikleri de mikroyapıda meydana gelen değişiklikler ile birlikte değişmektedir (Can, 2010).

400 °C ve 700 °C sıcaklıkları arasında Fe<sub>3</sub>C (sementit) parçacıkları düşük serbest enerjiye sahiptirler ve bu sıcaklıklara tavlama işlemi başladığında fazlar küresel şekilde büyürler. Bu küresel fazlar ile akma ve çekme mukavemetleri biraz düşer, tokluğu artar ve en önemlisi çelik şekillendirilebilme özelliği kazanır (Andrés vd., 1998).

Naylor ve Bellot yaptıkları deneyde, orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde tavlama işlemi ile meydana gelen lamelli perlitik yapının en iyi şekillendirilebilmeye ve işlenebilirliğe sahip olduğunu söylemişlerdir. Küreselleştirilip mukavemet değeri düşürülen orta karbonlu çeliğin, kaba taneli perlitik yapıya sahip olan küreselleştirme işlemine tabi tutulmayan çeliğe göre daha iyi işleme özelliği vermiştir (Naylor vd., 1976; Bellot, 1980).

Kılıçlı, küreselleştirme işlemine tabi tutulan AISI 414, çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldıracımlı özellikleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Küreselleştirme işlemine tabi tutulan çeliğin küreselleştirme süresinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ortaya konulmuştur. Küreselleştirme tavlamasında uygulanan sıcaklık ve uygulanan süre önemli bir etkidir. Talaş kaldırma özelliği üzerinde belirgin bir etki görülmemesine rağmen kesilme işlemi uygulanan bütün kesme hızlarında iyi bir talaş kaldırma meydana gelmiştir (Kılıçlı vd., 2004).

Kılıçlı, yaygın olarak kullanılan 4140 çeliğine yüzey pürüzlülüğü üzerine başka bir deney yapmıştır. Bu deneyde 4140 çeliğine Ac1 (723 °C) altında ve üstünde iki farklı sıcaklık seçerek sırasıyla 2, 4, 8 saat süreleri ile küreselleştirme işlemine tabi tutmuştur. Artan sıcaklık ve sürelerin hepsinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür (Kılıçlı vd., 2005).

Adalı, AISI/SAE 5140 kalite çeliği 870 °C'ye kadar tavlayıp su verme işlemine tabi tutmuştur. 720 °C'de sırasıyla 2, 4, 8, 16, 24 saat küreselleştirme tavlaması uygulanmış ve 2. saatte küreselleşme başlamış ve 4. saatte yapı tamamen küresel hale gelmiştir. Daha önce tavllanmış numunelerde ise mikroyapıda küreselleşme 8. saat ile başlamıştır (Adalı, 2003).

Zhang ve Kelly' nin yapmış oldukları çalışmada, küreselleştirme tavlaması sonucu mikroyapıda oluşan sementit morfolojisini incelenmiştir. Küreselleştirme tavlaması sonucu

yapıda bulunan sementitlerin küre halinde olmadığını daha çok kısa çubuklar ve çokgenler şeklinde ve bazılarının ise birbirinden hiç ayrılmadığını belirtmişlerdir. Aynı deney temperlenmiş martenzit ile denenmiş ve 400-605 °C’de yapıdaki sementit fazlarının küre şekline daha yakın olduğu belirtilmiştir. Buradan küreselleşme ve temperleme sonucu oluşan mikroyapının farklı olduğunu ortaya koymuştur (Zhang ve Kelly, 1998).

Karadeniz, küreselleştirme işlemi sonrası soğuk şekillendirme üzerine çalışmalar yapmış ve oluşan mikroyapıları incelemiştir. AISI 4140 çeliği ilk olarak Ac1 723 °C üzerinde uzun süre tavlansmıştır. İkinci olarak AISI 4140 çeliği Ac1 sıcaklığı altında 4, 8, 12, 24, 48 saat tavlansmıştır. Elde edilen numunelere soğuk şekillendirme işlemi uygulanmıştır. Her numunenin sertlik, kesit daralması değerleri göz önüne alınmıştır ve 12 saat küreselleştirme tavlmasına tabii tutulan numunenin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. (Karadeniz, 2008).

### **2.3. Çeliklere Uygulanan Diğer Isıl İşlemler**

#### **2.3.1. Normalizasyon Tavlama**

Otomotiv endüstrisinde AISI 4140 alaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 4140 alaşımı yüksek mukavemet, aşınma direnci ve iyi tokluk gibi mükemmel özelliklerine rağmen yorulma mukavemetinin iyileştirilmesi için ısıl işleme tabi tutulur. Proses metal ısıtma ile başlar ve işlenmiş bir numuneyi sabit bir sıcaklıkta tutan 3 aşamadan oluşur (Hamedon, 2015).

Isıl işlem genellikle yeterli süneklikte çekme mukavemetini veya sertliği geliştirmek için uygulanır.

Temperleme ile süneklik artar ve daha iyi bir aşınma direnci elde edilir (Sharma, vd., 2013). Tablo 2’de gösterilen AISI 1040 düşük üretim maliyeti ve kolay dövülebilir bir malzeme olması nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen orta karbonlu bir krom-molibden çeliğidir (Wahab vd., 2014).

Normalleştirme tava, ısıtma yoluyla metal yumuşatması arttırmak için çok kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak ısıl işlem sürecinde tam tavlama 900 °C’ye çıkılmıştır ve salınımlı olarak soğutma işlemi uygulanmıştır. (Digges vd., 1966).

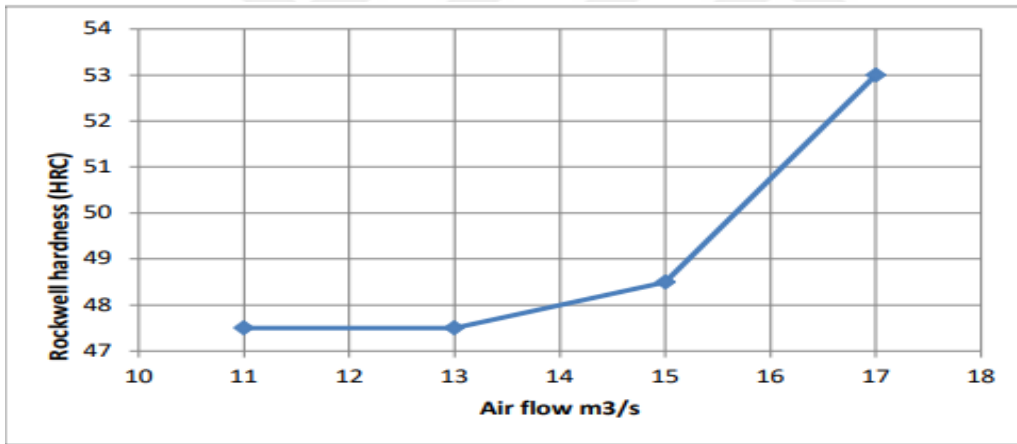


Tablo 2

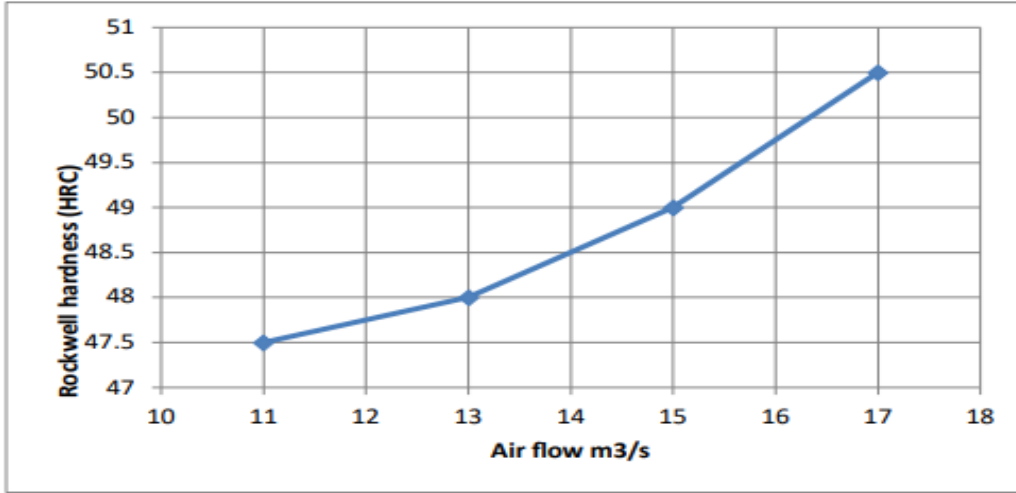
AISI 1040 kimyasal analizi (Digges vd., 1966).

KALİTE	Kullanılan Sıvı Çelik Analizi				
	%C 0.	%Mn 0.	%Si 0.	%Cr 0.	%Mo 0.0
AISI 1040	38	75	2	90	15

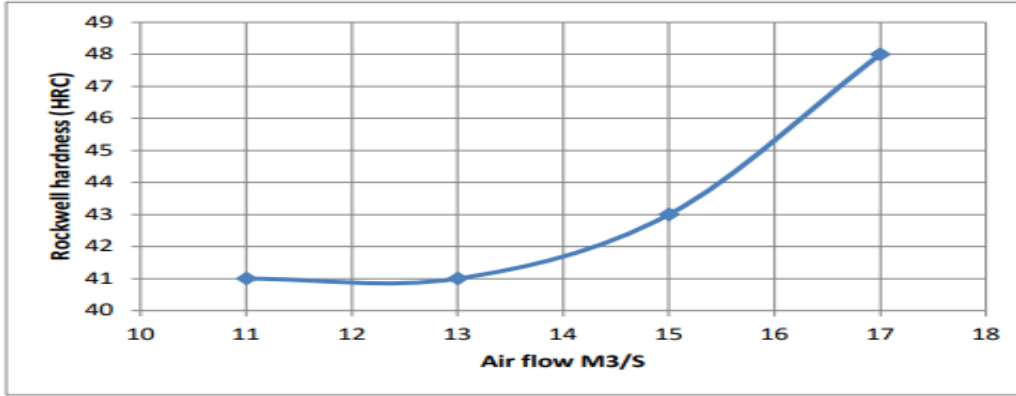
Yapılan çalışmadan çelik sıcaklığı 800, 850 ve 900 °C'ye kademeli olarak yükseltilmiştir. 800 °C'de 17 m<sup>3</sup> hava akışında sertlik 53 HRC olarak ölçülürken (Şekil 12), 850 °C'de 17 m<sup>3</sup> hava akışında sertlik 50,5 HRC olarak ölçülürken (Şekil 13), 900 °C'de 17m<sup>3</sup> hava akışında sertlik 41 HRC olarak ölçülmüştür (Şekil 14). Bunun nedeni ince bir granit ve küçük granüllerle ferrit oluşturmaya yardımcı olan hızlı soğuyan bir hava akışı olarak belirtilmiştir. (Higgins, 1993).



Şekil 12. Örnek bir normalizasyon tavlamasında 800 °C'de ölçülen sertlik değeri (Digges vd., 1966).



Şekil 13. Örnek bir normalizasyon tavlamasında 850 °C’de ölçülen sertlik değeri (Digges vd., 1966).



Şekil 14. Örnek bir normalizasyon tavlamasında 900 °C’de ölçülen sertlik değeri (Digges vd., 1966).

Rockwell sertlik testinin verdiği değerler sonucunda; AISI 1040 alaşımının normalizasyon işlemi ısıtma yoluyla numunenin tokluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik, hava akış hızı ve sıcaklık ile ilişkilidir. Düşük sertlik değeri dayanımı daha fazla artırır.

### 2.3.2. Gerilim Giderme

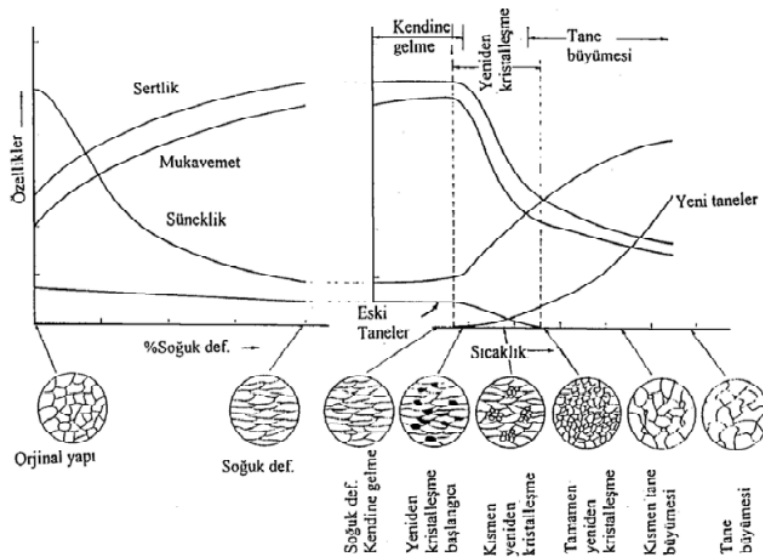
Gerilim giderme tavlaması, talaşlı imalat, soğuk şekillendirme vb. imalat işlemleriyle üretilen malzemelerde oluşan kalıcı gerilmeleri azaltmak veya gidermek için yapılan tavlama yöntemidir (Lim ve Chung, 1990). Bu yöntemde malzeme A1 sıcaklığının altında (723 °C) belirli bir süre (genellikle 1-2 saat aralığında ısıtılır) ısıtıldıktan sonra yavaş soğutulularak yapılan bir ısıl işlem çeşididir.

### 2.3.3. Temperleme (Menevişleme):

Temperleme işleminde diğer ısı işlemlerdeki gibi malzemenin tokluğunu ve şekillendirilebilirliğini arttırmak amacıyla uygulanan bir ısı işlemidir. Menevişleme işlemi önceden sertleştirilmiş çelikler için tercih edilen bir temperleme yöntemidir. Menevişleme ile sertleşen çelikler çok daha kırılğan bir yapıya bürünürler. Bu işlem ile malzeme yapısındaki iç gerilmeler ortadan kaldırılarak şekillendirilebilme ve tokluk özelliklerinde iyileştirmeler sağlanabilir. Menevişlemede A1 sıcaklığının altında (723 °C) malzeme ısıtılır (genellikle 650 °C) ve homojen soğuma işlemi ile ısı işlem tamamlanır.

### 2.3.4. Yeniden Kristalleşme:

Şekil 15'te gösterilen yeniden kristalleştirme ısı işleminde amaç, malzemeyi yumuşatmak, tokluk ve şekillendirilebilirliğini arttırmaktır. Soğuk deformasyona uğramış malzemede atomlar rastgele bir dizilim içerisinde. Bu durum dislokasyon yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde sertliğe ve kırılğanlığa yol açmaktadır. Yeniden kristalleşme ile dislokasyon yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda yeni kristal çekirdekleri oluşur. Oluşan yeni kristal çekirdeklerinin büyümesiyle birlikte yeniden kristalleşme evresi tamamlanmış olur (Guy, 1972).



Şekil 15. Soğuk deformasyon ve yeniden kristalleşme ile meydana gelen değişiklikler (Bozkurt, 1994).

Dislokasyon miktarının yoğun olduğu bölgelerde enerji fazla olur ve çekirdekleş oluşumu kolaylaştırır. Bu nedenle yeniden kristallenme ısı işlemi için gerekli kuluçka süresi azalır (Ün, 2007)

### **2.3.5. Östemperleme**

Bu ısı işlemi iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; östenitleme ve östemperlemedir. Birinci aşama olan östenitlemede malzeme 850-900 °C aralığında ısıtılır ve yaklaşık olarak 2 saat bu sıcaklıkta bekletilir. İkinci aşama östemperleme işleminde ise malzeme tuz banyosuna daldırılır. Belirli bir süre beklemenin ardından havada soğutma işlemine tabii tutulur. Tuz banyosunun sıcaklığı yaklaşık olarak 250-400 °C'dir. Tuz banyosunda dikkat edilmesi gereken husus perlitik yapının oluşmasını engellemek amacıyla süredir. İstenilen mekanik özellikleri yakalamak östemperleme sıcaklığı ve süresine göre ayarlanmaktadır (Darwish ve Elliot, 1993), (ASM Handbook, 1990), (Chang, 1994).

### **2.3.6. Martemperleme**

Martemperleme ısı işleminde malzeme kritik soğuma hızından daha hızlı bir soğutma işlemine maruz bırakılır. Ms (Martenzit oluşma sınırı) üzerinde bir sıcaklığa ani soğuma yapılır ve bekletilir. Bu soğumada beynit oluşmaması için süreye dikkat edilmesi gerekmektedir. Kalan soğutma için yağ ve su kullanılması işlemlerinden oluşmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda yapıda sert martenzitik yapılar gözlenir. Malzemenin mekanik özellikleri ve mikroyapı değişir (Soy, 2014).

### **2.3.7. Su verme**

Su verme işleminin yapılma amacı havada soğutma hızından daha hızlı bir şekilde soğuma gerçekleştirilmesidir. Normalde malzeme soğutulma hızı yavaş ve orta hızlı olmaktadır. Su verme işlemi ile bu proses hızlandırılıp martenzitik faz elde edilir. Çeliklerin sertleşebilme kabiliyeti soğutma hızına, kimyasal analizinde bulunan karbon oranına ve ilk sertlik derinliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. (Güler ve Özcan, 2014)

## 2.4. Motivasyon

Bu tez çalışmasında 23MnB4 ve 30MnB4 kalite çelikler elektrikli ark fırını ve sürekli döküm makinası içeren bir sistemde üretilmiştir. Elektrikli ark ocağı ve pota ocağında istenilen kimyasal kompozisyonu elde edilen pota içerisinde bulunan sıvı çelik sürekli döküm makinasında yer alan taret içerisine yerleştirilir. Sürekli Döküm makinasında istenilen ölçüde ve ebatta kütük üretilir. Sıvı çelik bakır kalıplar içerisinde soğutularak kütük haline getirilir. Katılaşmaya başlayan sıvı çelik içerisinde atomlar rastgele dizilim halinde yer edinirler. Üretilen kütük, filmaşın haline gelebilmesi için çubuk kangal hattına transfer edilir. Haddehane de merdane ve ringler ile ezilen kütük filmaşın haline getirilir. Kütük içerisinde rastgele yer alan atomlar haddeleme işlemi ile üst üste geldiğinde o bölgede kaba taneli sert fazlar oluşturur. Küreselleştirme ısıl işlemi ile kaba ve sert fazların giderilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamızın yapılış amacı somun ve cıvata yapımında tekrar işlem görecektir. 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşınların mikro yapı içerisinde bulunan kaba taneli ve kalın lamelli perlitik ve sementit yapıları gidermektir. Cıvata ve somun üretimi sırasında dış açmada problem yaşanmaması ve istenilen mekaniksel değerlerin sağlanması için filmaşınlar ısıtılarak 740 °C 17 saat ısıtma ve 8 saat soğutma işlemine tabii tutulmuştur. Uygulanan küreselleştirme ısıl işlemi ile mikro yapıda bulunan kaba taneli ve kalın lamelli perlitik ve sementit yapıların yerini ferritik bir matris içerisinde dağılmış küresel yapılar almaktadır. Elde edilen bu yeni mikro yapı ile akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik değerinde azalma gözlemlenirken, kopma uzaması ve kesit daralması değerlerinde artış gözlemlenmiştir. 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşınların somun ve cıvata üretimi için şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği arttırılmıştır.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. 23MnB4 ve 30MnB4 Kaliteleri Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin üretilmesi için Elektrikli Ark Ocağı şarjında genellikle pik demir ve dkp kullanılmaktadır. Bu hurdaların kullanılmasının ana nedeni düşük bakır içermeleri ve empürite içermemeleridir. Tablo 3 ve Tablo 4'te TS EN 10263-4 standartların da 23MnB4 ve 30MnB4 kalite analizleri gösterilmiştir.

Tablo 3

TS EN 10263-4 standartlarına uygun 23MnB4 kimyasal analizi (Anonim, 2001)

Kalite	TS EN 10263-4 standartlarına göre 23MnB4 analizi							
	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Cu	%B
23MnB4	0,2-0,25	0,9-1,20	max 0,30	max 0,025	max 0,025	max 0,30	max 0,025	0,0008- 0,005

Tablo 4

TS EN 10263-4 standartlarına uygun 30MnB4 kimyasal analizi (Anonim, 2001)

Kalite	TS EN 10263-4 standartlarına göre 30MnB4 analizi							
	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Cu	%B
30MnB4	0,27- 0,32	0,8-1,10	max 0,30	max 0,025	max 0,025	max 0,30	max 0,025	0,0008- 0,005

#### 3.1.1. DKP

Otomotiv ve beyaz eşyadan elde edilen düşük karbonlu hurdalardır. Empürite oranı yok denebilecek kadar azdır. İnce saç ve levha şeklindedirler. Yumuşak olması sebebi ile istenilen şekil verilebilmektedir ve genellikle ocağa preslenmiş şekilde şarj edilmektedir. Bakır oranı düşüktür.



Şekil 16. Preslenmiş DKP hurdası

### 3.1.2. Pik Demir

Yüksek karbon oranına sahiptir. Yüksek fırın ürünüdür ve yüksek fırında demir cevherinin külçe halinde eritilmesiyle üretilmektedir. Yaklaşık %4 karbon oranı içermelerine rağmen bakır içermezler. Ark ocağında genellikle ilk şarjda tercih edilmektedir.



Şekil 17. Yüksek fırın ürünü pik demir

## 3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

### 3.2.1. Sıcaklık Ölçüm Cihazları

23MnB4 ve 30MnB4 üretimleri esnasında sıvı çeliğin, SDM makinesine bindirilmeden önce sıcaklık ayarının yapılması gerekmektedir (Şekil 18). Dökümlerin bindirilme sıcaklıkları 1530 – 1540 °C arasında tutularak bindirme gerçekleştirilmiştir. Sağlıklı kütük üretilebilmesi için bindirme sıcaklığının istenilen sıcaklıkta olması çok önemlidir. Bindirme sıcaklığının düşük veya yüksek olması SDM’de yolların akış kesmesine ve yarı mamul (kütük) oluşum hatalarına sebebiyet vermektedir.



Şekil 18. Sıcaklık ölçüm cihazı

### 3.2.2 Sıvı Çelikten Numune Alınması

Elektrikli Ark Ocağı tarafından üretilen Sıvı çelik pota ocağına gönderilir. Burada doğru analizin uygulanabilmesi için dökümden numune alınması gerekmektedir (Şekil 19).

İstenilen kimyasal analizin oluşabilmesi için dökümden tekrar tekrar numune alınabilir. İstenilen mekaniksel değerlerin elde edilebilmesi için üretilecek sıvı çeliğin kimyasal analiz standartlarına uygun olması gerekmektedir.





Şekil 19. Sıvı çelikten numune alma aparatları

### 3.2.3. X-Ray Spektrometre (XRF)

PANALYTICAL Marka AXIOS MAX model XRF cihazı kullanılmıştır. (Şekil 20). Cihaz azot dahil 21 elementi ölçebilmektedir. ISO 29581-2 standartlarına göre test yapılmıştır. Bu cihaz ile sıvı çelik içerisine ilave edilen alyajların analizine ve oksitlenmesine, elektrikli ark fırınının da kullanılan kireç taşının kalsiyum (Ca) değerine ve oksitlenmesine, üretilen cürufun baziklik oranına bakılmaktadır.

Kullanılan elektrikli ark ocağı bazik karakterli olduğu için üretilen sıvı çelik ve cürufun bazik karakterli olması istenmektedir.



Şekil 20. Alyaj analizinde kullanılan XRF cihazı

### 3.2.4. ARL Spektrometresi

Numune alıcılar ile alınan sıvı çelik numunesinin elementsel analizi yapılmaktadır (Şekil 21). 8860 ASTM E 415 standartlarına göre test yapılmıştır. Numune alınmasının amacı istenen nihai sıvı çelik kalitesinin elde edilebilmesi için ilave edilecek alaşım elementlerinin ilave edilmesini belirlemektir. İstenilen mekaniksel değerlerin elde edilebilmesi için sıvı çeliğin istenilen kimyasal kompozisyona uygun olması gerekmektedir.



Şekil 21. Kimyasal analiz belirlemede kullanılan ARL spektrometresi

### 3.2.5. Çekme Deney Cihazı

ZWICK marka Z2500KN model çekme cihazı kullanılmıştır. Malzemelerin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerini  $\pm 5$  KN hassasiyet ile ölçen bir cihazdır (Şekil 22). ISO 6892-1 standartlarına göre test yapılmıştır. Test oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Küreselleştirme ısıl işlemi öncesi ve sonrası filmaşınların bitiş noktasından 70 cm numune kesilmesi ile test gerçekleştirilmiştir. Test ile 23MnB4 ve

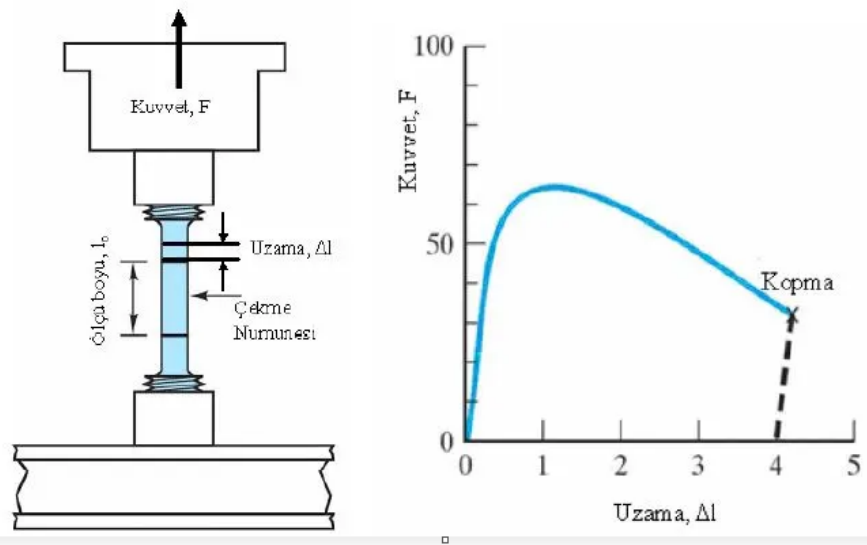
30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme ısıl işleme öncesi ve sonrası değişen akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması ve kesit daralması değerleri incelenmiştir.



Şekil 22. Mekanik değerleri belirlemede kullanılan çekme cihazı

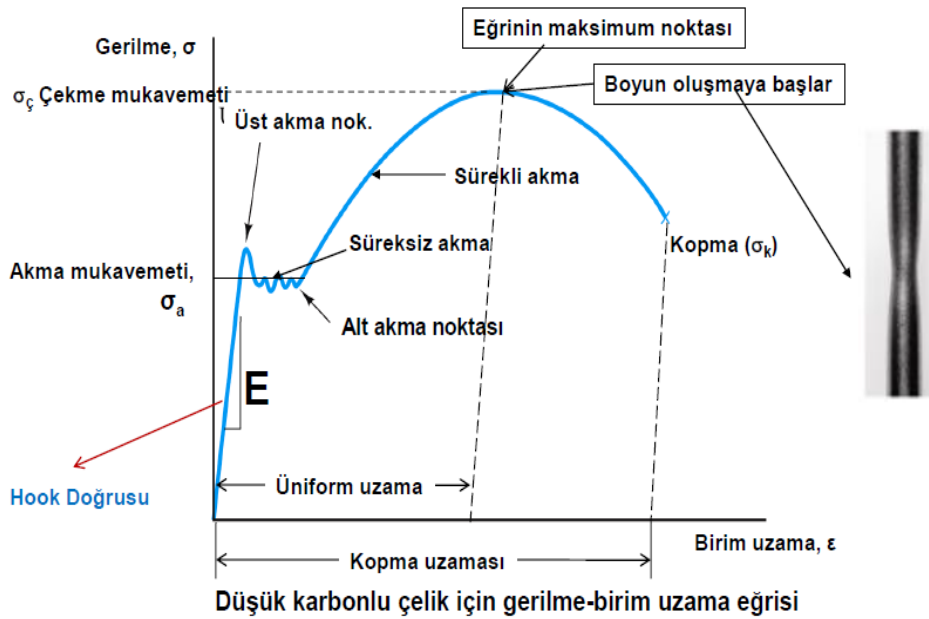
Malzemenin mekanik özellikleri ile ilgili bilgi alınmasını sağlar. Bu testin amacı malzemelerin yük altında elastik ve plastik davranışlarının incelenebilmesidir.

Biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki çeneden oluşur. Filmaşinden alınan numune hareketli ve hareketsiz çeneyi ortalayacak şekilde sıkıştırılır. Hareketli çeneye kuvvet uygulanır ve bu kuvvete bağlı uzama kaydedilir (Şekil 23).



Şekil 23. Çekme testlerinde deney düzeneği (“Çekme Deneyi”, t.y.)

Gerilim= Uygulanan kuvvet / ilk kesit alanı formülü ile bulunur. Gerinim, bir yük uygulandıktan sonra numunenin deformasyonudur. Değişim oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil değişimi ise (anlık uzunluk – ilk uzunluk) / ilk uzunluk formülü ile bulunur. Çekme testinde, uygulanan kuvvet kademeli olarak arttırılır ve genellikle kırılana kadar deforme olur (Şekil 24).



Şekil 24. Çeliklerin gerilim-gerinim eğrisi (“Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlantıları”, 2014.)

**Akma dayanımı:** akma gerilimi olarak da adlandırılır, genellikle çekme testi deneyi yapılarak bulunur. Belirli bir yerden sonra kuvvet artmasa bile malzemenin boyca uzaması devam eder ve bu sınır kalıcı plastik deformasyonun başladığı sınır olarak kabul edilir. Bu noktaya akma noktası denir. Bu noktaya gelene kadar malzemedeki kalıcı şekil değişikliği meydana gelmemiş, elastik olarak şekil değişikliği oluşmuştur.

**Üst çekme direnci:** Malzemenin kuvvete gösterdiği en yüksek dayanım olarak ifade edilir. Maksimum uzamanın elde edildiği yer olarak ifade edilir.

**Kırılma:** Malzeme üst çekme direncinden sonra gerilim altında boyun vermeye başlar ve sonucunda iki veya daha fazla parçaya ayrılır. Malzemelerin kırılmaları genellikle katı içindeki belirli yer değiştirme süresizlik yüzeylerinin gelişmesinden kaynaklanır.

**Süneklik:** Genellikle çekme deneyleri yapılarak belirlenir. Malzeme kopmadan önce plastik deformasyona uğrar ve bu aralıkta malzemenin sünekliği tespit edilebilir.

### 3.2.6. Sertlik Ölçüm Cihazı

INTENDEC marka H150 model sertlik ölçüm cihazı ile malzemenin HRB ve HRC cinsinden sertlik değerlerini ölçebilen bir cihazdır. Test ISO 6507 standartlarında gerçekleştirilmiştir.

Küreselleştirme ısıl işlemi öncesi ve sonrası filmaşinlerden 5 cm numune kesilerek test gerçekleştirilmiştir. Küreselleştirme ısıl işlemi ile 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinde değişen sertlik değerleri incelenmiştir.

### Rockwell Sertlik Deneyi

Tezde kullanılan 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşinlerden, küreselleştirme tavlama öncesi ve sonrasında numune alınmıştır. Bu numuneler sırasıyla Rockwell sertlik değerinin bulunabilmesi için, cihaza yerleştirilmiştir. Cihazda kullanılan batıcı uç 1/16 inç çelik bilye olduğu için sonuç HRB değerinde bulunmuştur. Rockwell sertlik testi prensibinde, numune üzerine batıcı uç ile bir ön yük uygulanır ve ön yük uygulandıktan sonra numune esneme yapabileceği için belirli bir süre beklenir. İkinci olarak numuneye ana yük uygulanır ve esneme payına karşı belirli bir süre tekrar beklenir. Üçüncü ve son olarak uygulanan ön yüke geri dönülür ve bekleme süresi kadar beklenir. Batırıcı uç yüzeyden alınır ve girinti derinliği ölçülerek Rockwell sertlik değeri bulunur.

Küreselleştirme tavlama ile malzemede yeni bir mikroyapı oluşur. Küreselleştirme tavlama amacını mikroyapıda bulunan kaba lamelli perlit ve sementit fazlarını parçalayarak yeni bir mikroyapı oluşturmaktır. Bu oluşan yeni mikroyapıda şekil değiştirilebilirlik ve tokluk değerlerinde artma beklenirken, sertlik, akma ve çekme dayanım değerlerinde ise azalma beklenmektedir.

Küreselleştirme tavlama işlemi öncesi ve sonrasında malzemelerden alınan numuneler Rockwell sertlik testine sokulmuştur. Çıkan sonuçlar neticesinde küreselleştirme tavlama sokulan 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşinlerde oluşan yeni mikroyapı ile sertlik değerlerinde düşüş olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.7. Optik Mikroskop

NİKON Marka ECLIPSE L150 model optik mikroskop kullanılmıştır. Yansıyan ışık prensibine göre çalışan optik mikroskop 5x/0.15, 10x/0.30, 20x/0.45, 50x/0.80, 100x/0.90 büyütmede görüntü verebilen bir cihazdır. Test ASTM E-45 standartları ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 25).

23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşinlerden küreselleştirme ısıl işlemi öncesi ve sonrası 5 cm numune kesilip sırasıyla; kaba zımpara, ince zımpara ve partlatma işlemleri uygulanıp optik mikroskop altında 100x ve 500x görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 25. Mikroyapı görünümü için kullanılan optik mikroskop

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Kimyasal Kompozisyonu

Tez çalışmasında kullanılan 23MnB4 ve 30MnB4 dökümlerinin kimyasal kompozisyonları Tablo 5'te gösterilmiştir. 2 kalitenin de kimyasal kompozisyonunda görüldüğü gibi %Mn, %Al, %Cr, %Ti ve %B değerleri aynı referans aralığında çalışılmıştır. Bu iki kalite arasında sertlik değerini değiştiren %C oranıdır.

Tablo 5

23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin sıvı çelik analizi

Kalite	Kullanılan sıvı çelik analizi											
	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cr	%Cu	%Al	%Ti	%B	%Ceq
	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.00	0.
23MnB4	24	102	10	08	03	02	20	03	29	41	40	45,6
30MnB4	30	98	19	09	03	03	23	05	33	31	45	51,8

#### 4.1.1. Karbon Eşdeğerliği (Ceq)

Sıvı çeliğin Ceq değerinin bilinmesi kütüğün, haddehane üretimi esnasında malzemenin thermex (mukavemeti arttırmak için haddehane üretiminde su verilmesi) ya da non thermex (haddehane üretiminde su verilmesi) üretimi konusunda bilgi vermektedir. Sonuçta çelikler su ile sertleştirilebilen, soğutma hızına göre mekanik özellikleri değiştirilebilen bir demir karbon alaşımıdır. Çelik içerisindeki karbon miktarı sertlik ve mukavemet değerlerini arttırmanın yanında kaynaklanabilirliği de etkilemektedir.

Karbon eşdeğerliği %45'den küçük ( $Ceq < 0,45$ ) olan orta karbonlu çeliklerde kaynaklanabilme kabiliyeti iyi olarak kabul edilir ve üretim sonrasında herhangi bir ısıl işleme gerek duyulmaz. Karbon eşdeğerliği %0,45 ile %0,6 ( $0,45 < Ceq < 0,60$ ) arasında olan çelikler orta derece bir kaynak kabiliyetine sahip olarak kabul edilir ve ön tavlama ihtiyacı

duyulur. Karbon eşdeğeri %1' den büyük ( $C_{eq} > 1$ ) olan çeliklerin kaynak kabiliyeti kötü olarak kabul edilir.

#### Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) 'ne Göre $C_{eq}$ Hesaplanması

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

#### 4.2. Küreselleştirme Tavlaması

Tablo 5'te Kimyasal kompozisyonu gösterilen 23MnB4 ve 30MnB4 kaliteleri Tablo 6'da gösterildiği gibi 740 °C sıcaklıkta 17 saat tavlansın, 8 saat soğutma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem ile birlikte cıvata ve somun yapımında kullanılan bu iki kalitenin şekillendirilebilirliğinin ve işlenebilirliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Tablo 6

Küreselleştirme ısıtma ve soğutma süreleri

Kalite	Sıcaklık (°C )	Tavlama süresi (saat)	Soğutma Süresi (saat)
23MnB4	740	17	8
30MnB4	740	17	8

##### 4.2.1. Çeliğin İç Yapısında Bulunan Fazlar

###### Ferrit

Demir karbon denge diyagramında "a" ile gösterilir. HMK (Hacim Merkezli Kübik) yapıdadır. Max %0,008 karbon çözünebilir. Hemen hemen saf demir olmasına rağmen yumuşak bir fazdır.



## **Perlit**

Ferrit ve sementit fazlarının karışımı ile oluşur. Ac1 (723 °C) çizgisinin altında oluşmaktadır. HMK yapıda ferrite dönüşür. Ac1 çizgisi civarında bir sıcaklıkta tavlama ve yavaş soğutma ile taneli yapı oluştururken, normal şartlar altında (havada) soğutulmasıyla lamelli yapı oluşur. Lamelli yapı daha serttir ve şekillendirilebilirliği düşüktür.

## **Östenit**

YMK (Yüzey Merkezli Kübik) yapıdadır. Ac1 (723 °C) çizgisinin üzerinde oluşur. 1147 °C civarında çözünme tamdır. %2,14' e kadar karbon çözümlenebilir. Ferrit gibi yumuşak bir fazdır.

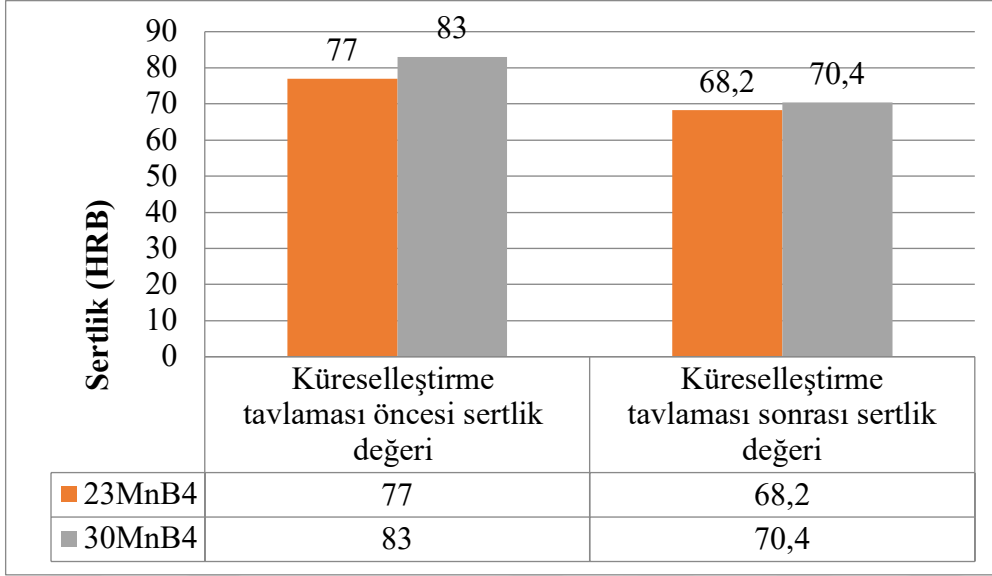
## **Sementit (Fe<sub>3</sub>C)**

Basit bir şekilde 3 demir atomu ve bir karbon atomunun birleşmesiyle oluşur. Çeliğin yapısında bulunan fazlar arasında en sert ve kırılgan olan fazdır. Sert ve kırılgan olduğu için çekme mukavemeti düşüktür. Karbon çözünürlüğü %6,67 dir.

### **4.3. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlama Öncesi ve Sonrası Sertlik Değerleri**

Şekil 26'da küreselleştirme tavlama öncesi ve sonrası sertlik değerleri gösterilmiştir. Küreselleştirme işleminin amacı; sertliği azaltıp malzemenin işlenebilirliğini ve şekillendirilebilirliğini arttırmaktır.

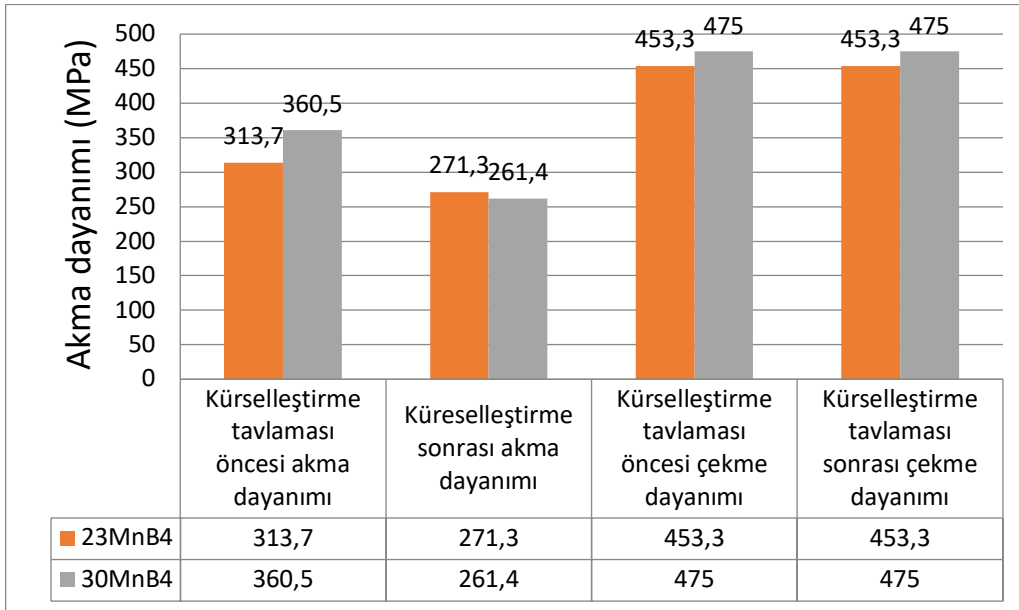
23MnB4 ve 30MnB4 kaliteleri Tablo 6' de gösterildiği gibi 740 °C altında 17 saat tavlama ve 8 saat soğutma işlemine tabii tutulmuştur. İri taneli perlit ve sementit fazlar küreselleştirme tavlama ile kısa çubuklar, küre şeklinde fazlar veya çokgen görünümünde fazlar meydana geldiği görülmüştür. Yeni fazlarla birlikte 23MnB4 kalite filmaşinlerin sertlik oranında yaklaşık %12 azalma gözlemlenirken, 30MnB4 kalite filmaşinlerin sertlik oranında ise yaklaşık %15 azalma gözlemlenmiştir (Şekil 26).



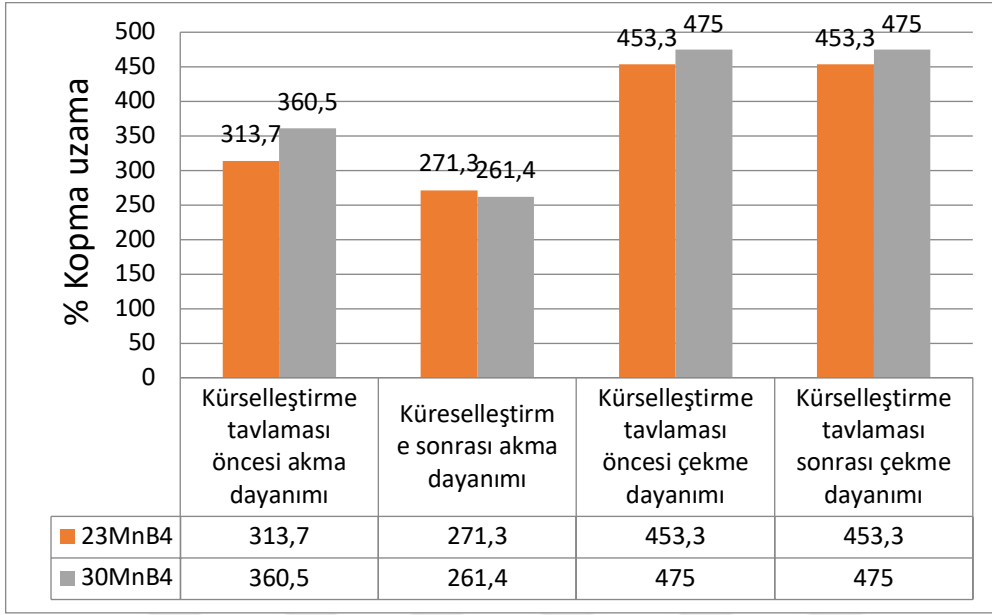
Şekil 26. Küreselleştirme tavlaması ile değişen sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi

#### 4.4. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi ve Sonrası Değişen Mekanik Değerler

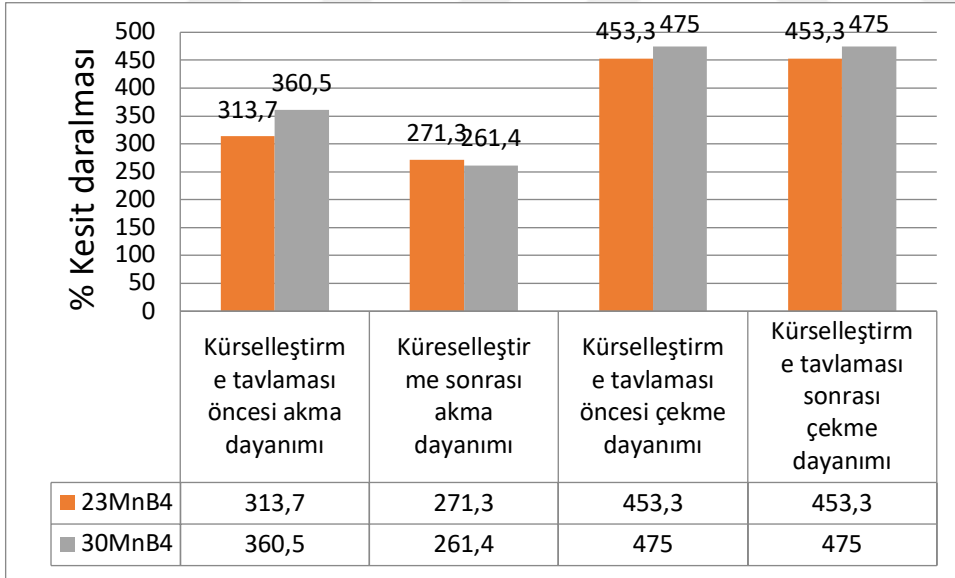
Küreselleştirme tavlaması öncesi ve sonrası filmaşınlerden alınan numuneler çekme testine alınmıştır. Bu test sonucunda bulunan değerler Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29’ da gösterilmiştir.



Şekil 27. 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen akma ve çekme dayanımlarının grafiksel gösterimi



Şekil 28. 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin kürselleştirme tavlaması ile değişen %kopma uzama değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 29. 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin kürselleştirme tavlaması ile değişen % kesit daralması değerlerinin grafiksel gösterimi

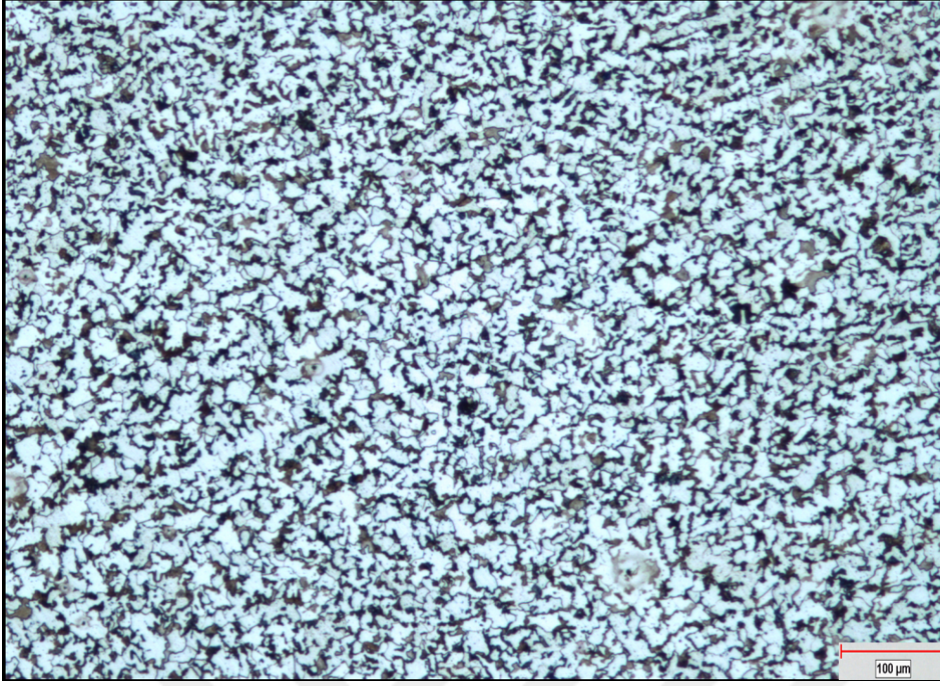
Kürselleştirme tavlaması sonrası 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşinlerin akma ve çekme dayanımlarında azalma gözlemlenirken, % uzama ve % kesit daralma değerlerinde artış gözlemlenmiştir. 23MnB4 kalite filmaşinler de kürselleştirme tavlaması sonrası akma

dayanımların da yaklaşık %13 azalma, çekme dayanımların da ise yaklaşık %27 azalma gözlemlenmiştir. 30MnB4 kalite filmaşınler de küreselleştirme tavlaması sonrası akma dayanımların da yaklaşık %27 azalma, çekme dayanımların da ise yaklaşık %24 azalma gözlemlenmiştir. 23MnB4 kalitesinin küreselleştirme tavlaması ile birlikte kopma uzamasında yaklaşık %30 artma gözlemlenirken, 30MnB4 kalitesinde ise yaklaşık %50 artış gözlemlenmiştir. Bunun ana sebebi; küreselleştirme tavlaması ile malzemede bulunan kalın ve kaba perlit fazların yerini daha ince ve küresel perlit fazlarına bırakmasıdır. Bu oluşan yeni fazdaki asıl amaç; sertliği azaltıp, tokluğu arttırmaktır. Bu artan tokluk ile malzemenin işlenebilirliği ve şekillendirilebilirliği artacaktır.

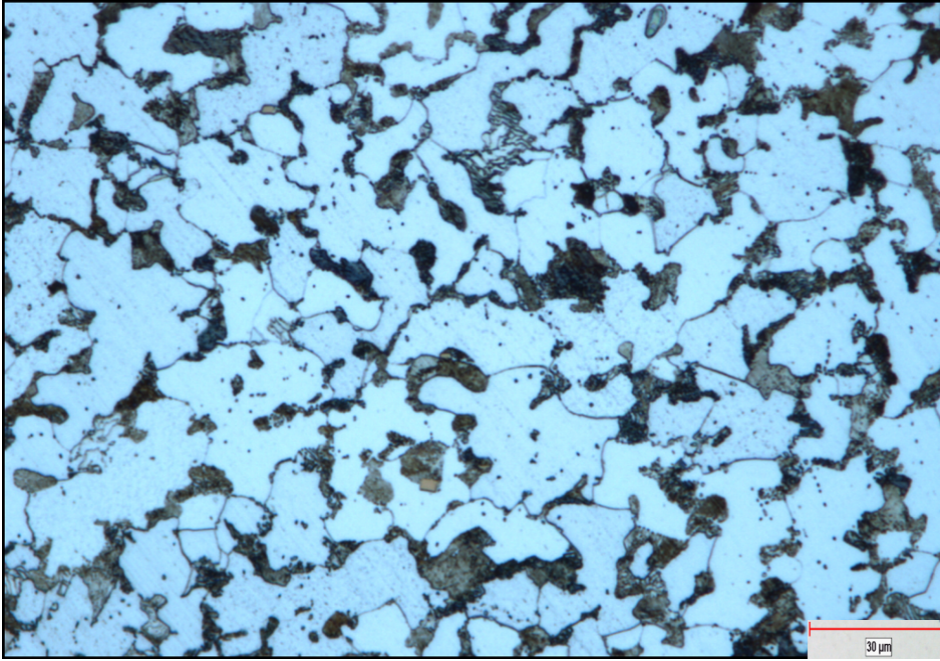
#### **4.5. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi Mikroyapısı**

Küreselleştirme tavlaması öncesi 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşınlerden alınan numunelerin optik mikroskop vasıtasıyla 100X büyütme ve 500X büyütme oranındaki mikroyapı görüntüleri Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 34’de gösterilmiştir. Mikroyapıda bulunan kalın ve kaba fazlar siyahlıklara bakılarak görülebilir. Koyu renkli fazlar yapıdaki perlitleri, açık renkli fazlar ise yapıdaki ferritleri göstermektedir.

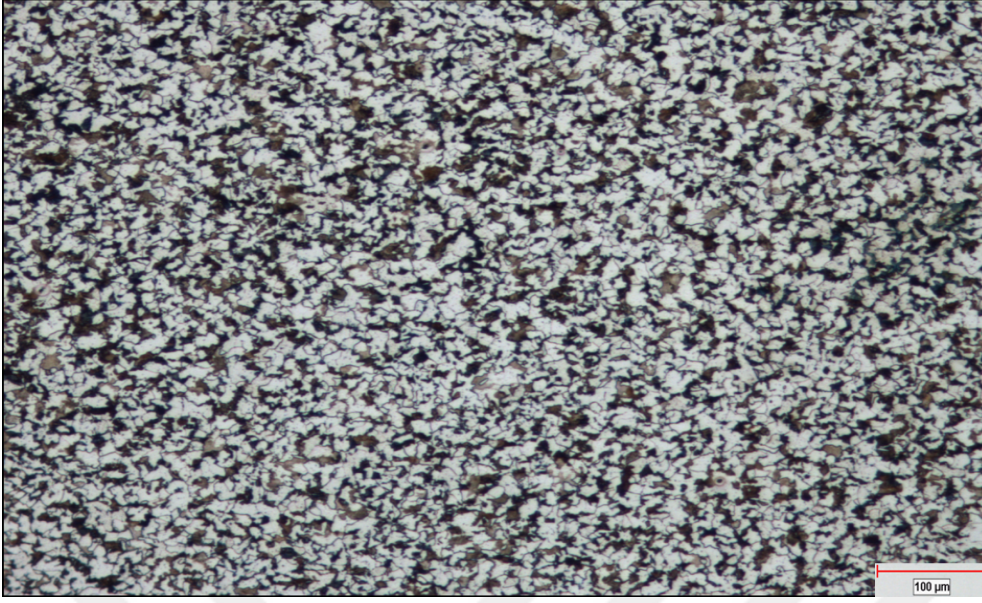
Artan karbon (C) miktarı ile 30MnB4 kalitesinin mikroyapısında koyu renkli fazların daha fazla olduğu görülmektedir. Tavlama işlemi yapılmasının ana sebebi, yapıdaki kaba ve kalın fazları parçalayıp yerine daha ince ve küresel yeni fazlar oluşturarak yeni bir mikro yapı elde etmektir.



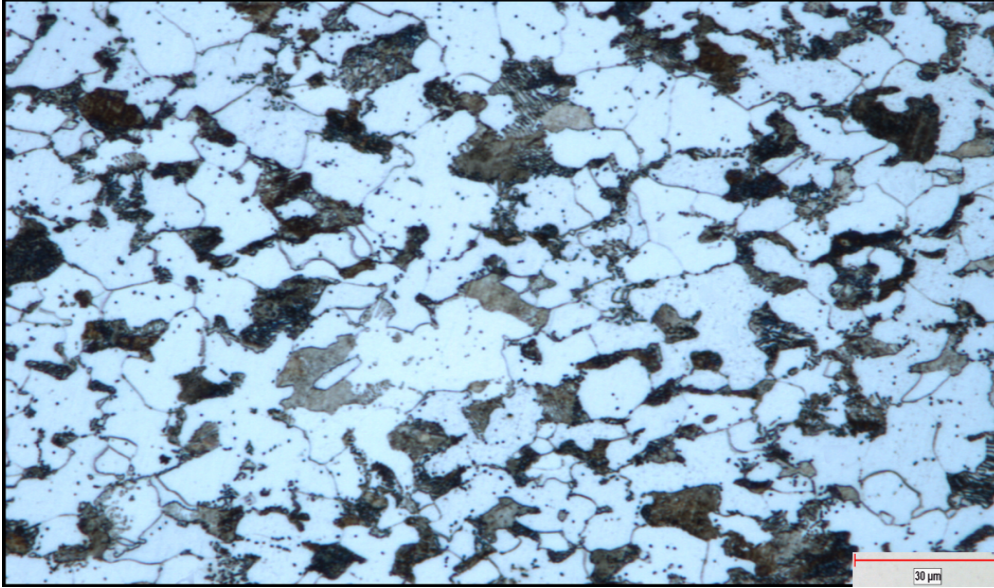
Şekil 30. Küreselleştirme tavlaması öncesi 23MnB4 100X büyütme



Şekil 31. Küreselleştirme tavlaması öncesi 23MnB4 500X büyütme



Şekil 32. Küreselleştirme tavlaması öncesi 30MnB4 100X büyütme

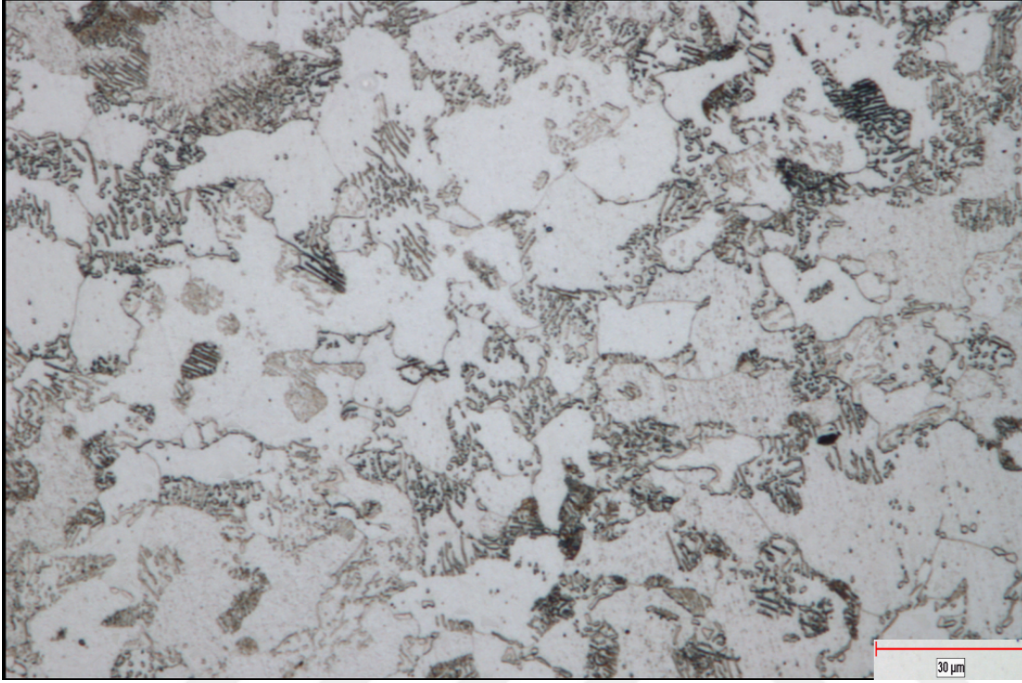


Şekil 33. Küreselleştirme tavlaması öncesi 30MnB4 500X büyütme

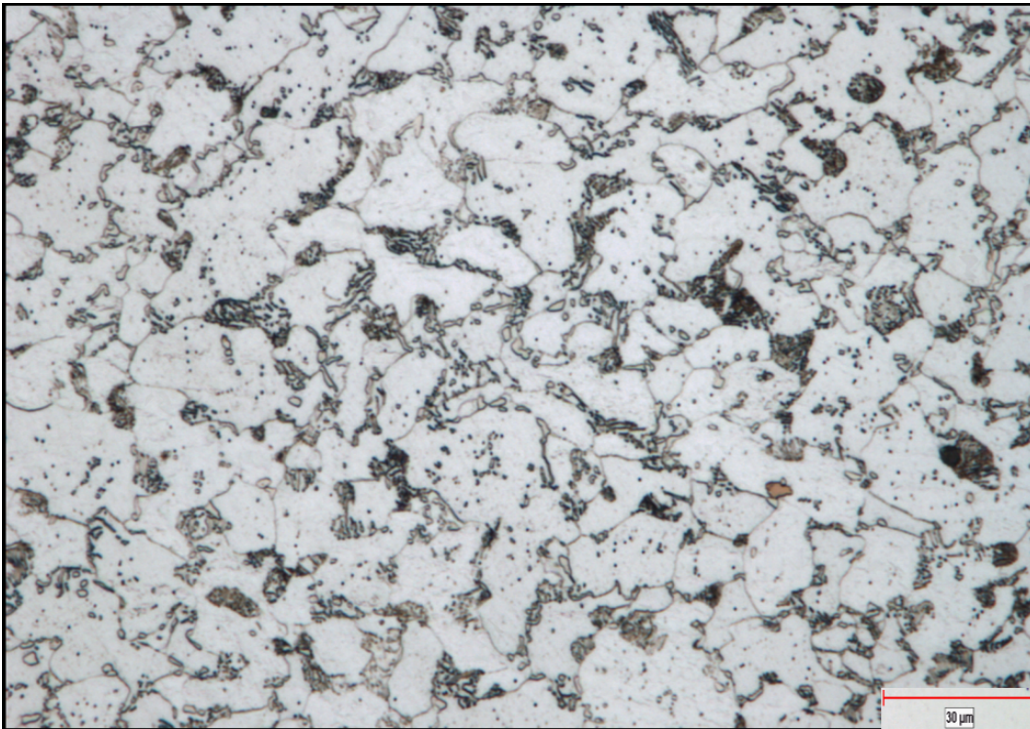
#### 4.6. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Sonrası Mikroyapısı

Küreselleştirme tavlaması sonrası 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşinlerden alınan numuneler optik mikroskop yardımıyla 500X büyütme oranındaki mikroyapı görüntüleri Şekil 34 ve Şekil 35 'te gösterilmiştir. Mikroyapıya bakılarak, kaba ve kalın perlit fazların

parçalandığı yerine daha ince ve küresel yeni fazlar elde edilmiştir. Bu elde edilen yeni fazlar ile malzemenin sertlik değeri azaltılıp, işlenebilirliği ve şekillendirilebilme yeteneği arttırılmıştır.



Şekil 34. Küreselleştirme tavlaması sonrası 23MnB4 500X büyütme



Şekil 35. Küreselleştirme tavlaması sonrası 30MnB4 500X büyütme

#### 4.7. 23MnB4 ve 30MnB4 Kalitelerinin Küreselleştirme Tavlaması Öncesi ve Sonrası Değişen Tane Boyutu

Tane boyutu ölçümlerinde kullanılan cihaz, Tablo 7'd3 gösterilen ASTM E 112-13 numune değerlerine göre kalibrasyon edilmiştir.

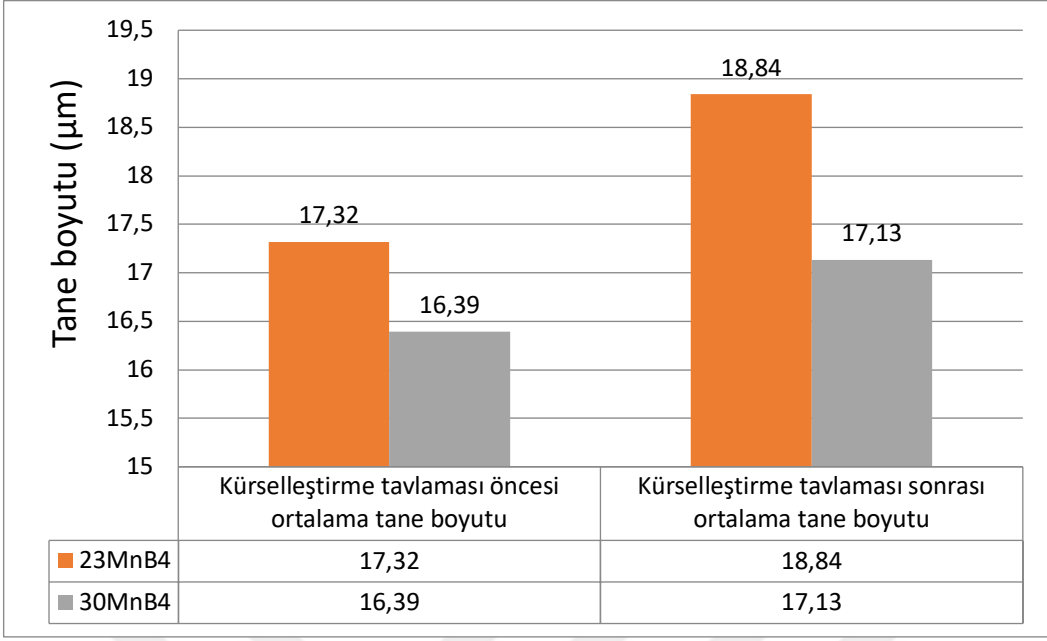
Tablo 7

Tane boyutu ölçümünde kullanılan ASTM E 112-13 kalibrasyon değerleri

ASTM E 112-13	
Minimum	7,00
Maksimum	13,66
Ortalama	9,98
Tane Sayısı	79121,00
# Sayısı	31,00

Kaba ve kalın taneli lameller küreselleştirme ısı işleminin uygulanması ile küresel ve ince taneli yapılar oluştururlar. Oluşan bu yeni taneler ile birlikte 23MnB4 tane boyutunda yaklaşık olarak %9 büyüme gözlemlenirken, 30MnB4 tane boyutunda ise yaklaşık olarak %5 büyüme gözlemlenmiştir. Tane büyümesi ile malzemenin kopma uzaması değeri artarken, sertlik değerinde azalma gözlemlenmiştir (Şekil 36).





Şekil 36. 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin küreselleştirme tavlaması ile değişen ortalama tane boyutu değerlerinin grafiksel gösterimi

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar neticesinde cıvata ve somun yapımında kullanılacak olan 23MnB4 ve 30MnB4 kalite filmaşınların küreselleştirme ısıl işlemi ile elde edilen sonuçları 6 başlıkta toplanabilir.

1-) Filmaşınların küreselleştirme ısıl işlemi sonrasında sertlik değerlerinde değişiklikler görülmüştür. Küreselleştirme tavlaması ile birlikte 23MnB4 kalitesinin sertlik oranında yaklaşık %12 azalma gözlemlenirken, 30MnB4 kalitesinin sertlik oranında yaklaşık %15 azalma gözlemlenmiştir.

2-) Küreselleştirme tavlaması sonrasında 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin akma ve çekme dayanımlarında değişiklikler gözlemlenmiştir. 23MnB4 kalitesinin küreselleştirme tavlaması sonrası akma dayanımların da yaklaşık %13 azalma gözlemlenirken, çekme dayanımlarında yaklaşık %17 azalma gözlemlenmiştir. 30MnB4 kalitesinin küreselleştirme tavlaması sonrasında akma dayanımı değerinde yaklaşık %27 azalma gözlemlenirken, çekme dayanımlarında yaklaşık %24 azalma gözlemlenmiştir.

3-) Küreselleştirme ısıl işlemi sonrasında oluşan yeni mikro yapılarda ise; kaba ve kalın lamelli yapının yerini küresel ve ince lamelli yapıların aldığı gözlemlenmiştir. Mikro yapıdaki ortalama tane boyutu değerlerinde ise küreselleştirme ısıl işlemi sonrası 23MnB4 kalite filmaşınlar de yaklaşık %9 artış gözlemlenirken, 30MnB4 kalite filmaşınlar de ise yaklaşık %5 artış gözlemlenmiştir.

4-) Küreselleştirme ısıl işlemi ile birlikte 23MnB4 kalitesinin kopma uzamasında yaklaşık yaklaşık %30 oranında artış gözlemlenirken, 30MnB4 kalitesinin kopma uzamasında ise yaklaşık %50 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

5-) Kesit daralması kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Küreselleştirme tavlaması ile birlikte 23MnB4 kalitesinin % kesit daralma değerlerinde yaklaşık %16 artış gözlemlenirken, 30MnB4 kalitesinin %kesit daralma değerlerinde yaklaşık %19 artış gözlemlenmiştir.

6-) 23MnB4 ve 30MnB4 kalitelerinin kimyasal kompozisyonlarına bakarak; %Mn, %Cr, %Ni, %Cu, %Ti, %Al ve %B değerlerinin her iki kalitede aynı referans aralığında çalışıldığı görülecektir. Bununla birlikte artan %C değeri ile akma, çekme mukavemetleri ve sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

- Wahab, A. A., Mokhtar, E. G., & Mazen, A. (2014). Effect of heat treatment on the fracture toughness of AISI 4140 Steel. *Minia Journal of Engineering and Technology*, 33(1), 1-6.
- Adalı, Y., & Kurnaz, C. (2003). 5140 Çeliğinin Küreselleştirme Isıl İşlemi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 7(1), 251-258.
- Akın, S. (2021). *Bir elektrikli ark ocağında yanmanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile modellenmesi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- de Andrés, C. G., Caruana, G., & Alvarez, L. F. (1998). Control of M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in 0.45 C–13Cr martensitic stainless steel by means of three representative heat treatment parameters. *Materials Science and Engineering: A*, 241(1-2), 211-215.
- Anonim, 2001. EN 10263-4 standartlarında 23MnB4 ve 30MnB4 kimyasal analizi. <https://www.scribd.com/document/489061014/BS-EN-10263-4#> (Erişim tarihi: 12.06.2023)
- Anonim, 2013. Çeliklere uygulanan ısı işlemler. <https://www.yumpu.com/tr/document/view/20491892/celiklere-uygulanan-sl-islemler> (Erişim tarihi: 15.06.2023)
- ASM Handbook, (1990). Heat Treating, Vol 4, Tenth Edition, ASM International.
- Babalık, F. C., & Çavdar, K. (2012). Strength Calculation In Machine Elements. Machine Elements And Construction Examples
- Bellot, J. (1980). Steels with improved machinability. *Metal Science and Heat Treatment*, 22(11), 794-799.
- Bloniarz, R., Majta, J., Trujillo, C., Cerreta, E., & Muszka, K. (2018). The mechanisms for strengthening under dynamic loading for low carbon and microalloyed steel. *International Journal of Impact Engineering*, 114, 53-62.
- Bozkurt, N. (1994). Isıl İşlem, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Matbaası. *İstanbul*, 975, 404449.
- Can, A. Ç. (2010). *Tasarımcı mühendisler için malzeme bilgisi*. Birsen Yayınevi.
- Çakmak, T., & Adaçağlar, Ş. A. (2021). The effects of failure types on cold forging dies. *Journal of Advances in Manufacturing Engineering*, 2(2), 53-60.
- Çekme Deneyi (2019, 29 Nisan). Erişim adresi: <https://argevetasarim.com/cekme-deneyi/>

- Çelik Tipleri ve İmalat Yöntemleri (2019, 29 Nisan). Erişim adresi: <http://mekanikkumpas.com/teknik-bilgiler/celik-tipleri-ve-imalat-yontemleri/>
- Çoban, D., & Ünlü, B. S. (2015). Civata Ve Somunların Çeşitleri Ve Üretimi. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(20), 36-48.
- Darwish, N., & Elliot, R. (1993). The effect of alloy elements on the microstructure and properties of austempered ductile irons. *Materials Science and Technology*, 9, 586.
- Feng, Q., Li, L., Yang, W., & Sun, Z. (2014). Effect of Nb on the stability of retained austenite in hot-rolled TRIP steels based on dynamic transformation. *Materials Science and Engineering: A*, 603, 169-175.
- Filmaşın Demir Nedir?. (2014, 6 Ekim). Erişim adresi: <http://www.peslidemir.com/filmasin-demir.asp>
- Forouzan, F. (2019). *Increasing phase transformation rate in advanced high strength steel applications* (Doctoral dissertation, Luleå University of Technology).
- Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlıları (2014, 6 Ekim). Erişim adresi: <https://kmyoinsaat.blogspot.com/>
- Chang, C. H., & Shih, T. S. (1994). Study on isothermal transformation of austempered ductile iron. In *Ninety-Eighth Annual Meeting of the American Foundrymen's Society* (pp. 357-365).
- Gill, F. L. (1968). Boron steels for mechanical fasteners. *SAE Transactions*, 529-533.
- Guy, A. G. (1972). Introduction to materials science.
- Güler, H., & Özcan, R. (2014). Yüksek Karbonlu Çeliklere Su Verme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 77-83.
- Higgins, R. A. (1993). *Engineering metallurgy*.
- İlgaz, A. (1977). “Çelik Üretiminde Kontinü Döküm”
- Hamedon, Z. (2015). 2nd International Manufacturing Engineering Conference and 3rd Asia-Pacific Conference on Manufacturing Systems (iMEC-APCOMS 2015).
- Karadeniz, E. (2008). Influence of different initial microstructure on the process of spheroidization in cold forging. *Materials & Design*, 29(1), 251-256.
- Kılıçlı, V., Motorcu, A. L. İ., Erdoğan, M., & Şahin, Y. (2005). AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Küreselleştirme Sıcaklık ve Süresinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Araştırılması.

- Kılıçlı, V., Motorcu, A., Erdoğan, M., & Şahin, Y. (2004). Farklı Mikroyapılara Sahip AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Atılabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi.
- Kınıt, U., & Bozca, M. (2014). Heat Treatment Effects on the Mechanical Properties and Microstructure of 30MnB4 Steel Bolts. *Materials Testing*, 56(11-12), 945-949.
- Krauss, G. (2015). *Steels: processing, structure, and performance*. Asm International
- Kutay, M. G. (2009). Cıvatalar ve Somunlar. Erişim: 13 Eylül 2023, [http://www.guvenkutay.ch/civata/08a\\_civata.pdf](http://www.guvenkutay.ch/civata/08a_civata.pdf).
- Larrea, M. T., Formoso Prego, A., Sirgado, M., Gutiérrez, A., Gómez, P. P., & Cores Sánchez, A. (1992). Development of sinter structure and correlation with its magnetic susceptibility for different basicity indices.
- Lim, J. K., & Chung, S. H. (1990). Stress Effect on Post-Weld Heat Treatment Embrittlement. In *American Society for Testing and Materials* (pp. 229-255).
- Miranda, R. (2013). Phase transformations in steels, Volume 1: Fundamentals and diffusion-controlled transformations.
- Naylor, D. J., Llewellyn, D. T., & Keane, D. M. (1976). Control of machinability in medium-carbon steels. *Metals Technology*, 3(1), 254-271.
- Okushima, K., Iwata, K., & Kurimote, T. (1964). A study of machinability of metals. *The Japon Society of Mechanical Engineers*, 7(25), 14-17.
- Özkan, D. Ç., & Ünlü, B. S. (2016). Kaynak Cıvata Ve Somunlarının Çeşitleri, Üretimi, Yöntemi Ve Kullanım Alanları. *Mühendis ve Makina*, 57(678), 44-52.
- Salman, O. O., Gammer, C., Chaubey, A. K., Eckert, J., & Scudino, S. (2019). Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of 316L steel synthesized by selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, 748, 205-212.
- Sharma, S. S., Jagannath, K., Bhat, C., Kini, A. U., Prabhu, P. R., Jayashree, P. K., & Shankar, G. (2013). Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of AISI 4147 Spring Steel.
- Soy, U. (2014). 1000 Soruda Malzeme Bilimi. *Değişim Yayınları*.
- Digges, T. G., Rosenberg, S. J., & Geil, G. W. (1966). *Heat treatment and properties of iron and steel*. US Government Printing Office.
- Tunuz, A., Furat, M., & Metallurgy&Recycling, M. (2018). A Sensorless Crude Steel Cutting Method for Continuous Casting Machine. *CILICIA International Symposium On Engineering and Technology CİSET, Mersin, Turkey*, 19-22.

Ün, H. (2007). Pamukkale üniversitesi inşaat mühendisliği metallerde ergime ve kristalleşme ders notları.

Zhang, M. X., & Kelly, P. M. (1998). Crystallography of spheroidite and tempered martensite. *Acta Materialia*, 46(11), 4081-4091.

