



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRÜN ÇELİK KALİTESİNE BAĞLI OLARAK SÜREKLİ KÜTÜK
DÖKÜM KUSURLARININ ARAŞTIRILMASI**

Mahmut GÜLDALİ

**İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
NİSAN-2018**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRÜN ÇELİK KALİTESİNE BAĞLI OLARAK SÜREKLİ KÜTÜK
DÖKÜM KUSURLARININ ARAŞTIRILMASI

Mahmut GÜLDALİ

İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
NİSAN-2018

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI

Tezin Adı: Ürün Çelik Kalitesine Bağlı Olarak Sürekli Kütük Döküm Kusurlarının Araştırılması

Öğrencinin, Adı Soyadı: Mahmut GÜLDALI

Tez Savunma Tarihi: 14.04.2018

Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Kod No: 78

Doç. Dr. Tolga DEPCİ
Enstitü Müdürü V.

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

Doç. Dr. Tolga DEPCİ
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(Unvanı, Adı ve SOYADI)

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

İkinci Tez Danışmanı (varsa)

Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

.....

Prof. Dr. Bülent KURT

.....

Prof. Dr. Mehmet Eyyuphan YAKINCI

.....

14.04.2018

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Mahmut GÜLDALİ

ÖZET

ÜRÜN ÇELİK KALİTESİNE BAĞLI OLARAK SÜREKLİ KÜTÜK DÖKÜM KUSURLARININ ARAŞTIRILMASI

Önemli bir çelik üretim prosesi olarak bilinen sürekli kütük döküm yönteminde, birçok değişken bir arada bulunabilmektedir. Yarı mamül olarakta kabul edilebilen kütük üretiminde uygun parametrelerin kullanılması önemlidir. Sürekli kütük döküm üretim faaliyetlerinde kalite ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için çelik analizi, refrakter malzeme ve sürekli döküm parametreleri gibi konular üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Sürekli kütük döküm prosesinde üretilen nihai ürün (kütük) incelendiğinde; çelik kalitesi, kullanılan refrakter malzemeler, tesis ekipmanları, operasyonel uygulamalar v.b parametrelere bağlı olarak farklı kusurların oluştuğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında kütük üretiminde meydana gelen ürün kusurları; “iç yapı kusurları”, “yüzey kalitesi ve yüzey kusurları” ile “şekil ve ebat kusurları” olmak üzere üç ana başlık altında gruplandırılarak, araştırılmıştır. Sürekli döküm tesisinde üretilen kütük malzemesinin; üretim miktarı, kalite ve kusur açısından dağılımları incelenmiştir. Kütük numuneleri üzerinde makro ve mikro yapılarda kusur incelemeleri yapılmıştır. Yüksek üretim miktarına sahip kaliteden alınan numunelerdeki inklüzyon kusurunun incelenmesi amacı ile optik mikroskop ve SEM görüntüsü alınmış ve EDS analizi yapılmıştır. Ayrıca, beyaz toz kusuru üzerinde SEM görüntüsünden alınan EDS analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda, sürekli kütük döküm kusurlarında sıvı çelik ve sürekli döküm prosesi parametrelerinin etkili olduğu ve kalite sonuçlarına yansıdığı görülmüştür.

2018, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çelik üretim, sürekli döküm, kütük ürün kusurları

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CONTINUOUS BILLET CASTING DEFECTS RELATED WITH STEEL PRODUCT QUALITY

In the continuous billet casting process known as an important steel production process, many variables can coexist. It is important to use the appropriate parameters in the production of billets which can be accepted as semi-finished products. In order to meet the quality requirements in continuous billet casting production activities, researches have been carried out on subjects such as steel analysis, refractory materials and continuous casting parameters.

When the final product (billet) produced in the continuous billet casting process is examined, steel quality, refractory materials used, plant equipments, operational applications, etc. Various defects have been observed depending on the parameters.

In this thesis, product defects that occur in the production of billet; "Internal structure defects", "surface quality and surface defects" and "shape and size defects" have been grouped into three main categories and investigated. The billet material produced in the continuous casting plant; production quantity, quality and defect distribution of these products. Defects on macro and micro structures were examined on the billet samples. In order to investigate inclusion defects in samples with high production quantities, an optical microscope and SEM image were taken and EDS analysis was performed. In addition, the EDS analysis of the SEM image was performed on the white powder defect.

As a result of the study, it has been seen that the parameters of continuous casting process and liquid steel in continuous billet casting defects are reflected in the quality results.

2018, 77 pages

Key Words: Steel production, continuous casting, billet product defects

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI'na ve ayrıca katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet Eyyuphan YAKINCI ve Prof. Dr. Bülent KURT'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen bölüm hocalarımızdan Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜNEN hocama katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında katkı ve desteklerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım Metalurji Yüksek Mühendisi Volkan KIZILAY'a ve sevgili eşim Ayşegül GÜLDALI'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Materyal	7
3.1.1. Sürekli Döküm Prosesi	7
3.1.1.1. Sürekli Döküm Makinasının Ekipmanları	9
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler	14
3.1.3. Deneysel Test ve Ölçü Cihazları	14
3.2. Yöntem	20
3.2.1. Sürekli Döküm Prosesi İçin İzlenecek Yol	20
3.2.2. Kalite Sonuçları İçin İzlenecek Yol	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	21
4.1. Deneysel Çalışmalar	21
4.2. Kütük Numunesinde Optik Mikroskop, SEM ve EDS İncelemeleri	21
4.3. Uzun Ürün Kusurlarının Gruplandırılması	26
4.3.1. İç Yapı Kusurları	26
4.3.1.1. Merkez Segregasyon	26
4.3.1.2. Merkez Çekilme Boşluğu	28
4.3.1.3. Merkez Yıldız Çatlağı	29
4.3.1.4. Gaz Boşluğu	31
4.3.1.5. İnküzyon Bandı (İç Yapı İnküzyon)	32
4.3.1.6. Yarı Yol Çatlağı	33
4.3.1.7. Diagonal Çatlak	35
4.3.1.8. Köşe Çatlağı	36
4.3.1.9. Beyaz Toz	37
4.3.2. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Kusurları	39
4.3.2.1. Ekli Kütük	39
4.3.2.2. Kanamalı Kütük	40
4.3.2.3. Eğri Kütük	41
4.3.2.4. Delik Kütük	41
4.3.3. Şekil ve Ebat Kusurları	42
4.3.3.1. Dış Bükey	43
4.3.3.2. İç Bükey	44
4.3.3.3. Kambur	45
4.3.3.4. Burulma	45
4.3.3.5. Rombik	46
4.3.3.6. Boy Kısa	48
4.3.3.7. Boy Uzun	48
4.4. Uzun Ürün Kusur Verileri Ve Grafikleri	48
4.5. Beyaz Toz Kusurunun İncelemesi	53

5. SONUÇ ve ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Entegre demir çelik tesisi akış şeması	2
Şekil 3.1.	Tipik sürekli döküm prosesi akış şeması	7
Şekil 3.2.	Sürekli döküm ürün resimleri	8
Şekil 3.3.	Taret resmi	10
Şekil 3.4.	Kütük döküm tandişi resmi.....	10
Şekil 3.5.	Bakır tüp ve kalıp resmi.....	11
Şekil 3.6.	Osilasyon ve eksantrik bölgesi	12
Şekil 3.7.	Çekme ve doğrultma bölgesi resmi	12
Şekil 3.8.	Kesme makinası resmi	13
Şekil 3.9.	Soğutma ızgarası resmi.....	14
Şekil 3.10.	a) Makro numune alma; b) makro hazırlama atölye; c) talaşlı imalat tezgahı	14
Şekil 3.11.	a) Asit tankı; b) durulama tankı; c) yüzey temizliği	15
Şekil 3.12.	İncelenen makro numuneler.....	15
Şekil 3.13.	a) Bakalitleme; b) zımparalama; c) parlatma.....	16
Şekil 3.14.	Mikroyapı inceleme numunesi.....	16
Şekil 3.15.	SEM cihazı.....	17
Şekil 3.16.	Optik mikroskop	18
Şekil 3.17.	XRF cihazı	19
Şekil 4.1.	Peritektik çelikler grup 2 (%C 0,13-0,17 karbon içeriği) için optik mikroskop görüntüsü	22
Şekil 4.2.	Tespit edilen inklüzyonlara ait optik mikroskop görüntüsü	23
Şekil 4.3.	Tespit edilen inklüzyona ait SEM görüntüsü.....	24
Şekil 4.4.	Tespit edilen inklüzyona ait element haritası	24
Şekil 4.5.	İnklüzyona ait SEM görüntüsü ve EDS analizi	25
Şekil 4.6.	Merkez segregasyon derecesi	27
Şekil 4.7.	Merkez çekilme boşluğu makro resimleri	29
Şekil 4.8.	Merkez yıldız çatlağı makro resimleri	30
Şekil 4.9.	Gaz boşluğu makro resimleri.....	31
Şekil 4.10.	İnklüzyon bandı makro resimleri	33
Şekil 4.11.	Yarı yol çatlağı makro resimleri	34
Şekil 4.12.	Diagonal çatlak makro resimleri.....	35
Şekil 4.13.	Köşe çatlağı makro resimleri	36
Şekil 4.14.	Beyaz toz makro resimleri	38
Şekil 4.15.	Ekli kütük resmi.....	39
Şekil 4.16.	Kanamalı kütük.....	40
Şekil 4.17.	Delik kütük görünümü	42
Şekil 4.18.	Dış bükey görünümü.....	43
Şekil 4.19.	Dış bükey ölçümü	43
Şekil 4.20.	İç bükey görünümü	44
Şekil 4.21.	İç bükey ölçümü.....	44
Şekil 4.22.	Kambur ölçümü	45
Şekil 4.23.	Burulma görünümü	46
Şekil 4.24.	Rombik görünümü	46
Şekil 4.25.	Rombik şekilsel gösterimi	47

Şekil 4.26.	Döneme ait çelik grubu bazlı % üretim dağılımı grafiği	50
Şekil 4.27.	Döneme ait kalite bazlı % kusur dağılımı grafiği	51
Şekil 4.28.	Döneme ait ürün kusuru % dağılımı grafiği	52
Şekil 4.29.	Beyaz toz kusurlu kütük makro resmi	53
Şekil 4.30.	1 ve 2 nolu makro numuneleri	54
Şekil 4.31.	1 nolu makro numune SEM görüntüsünden alınan EDS analizi	55
Şekil 4.32.	2 nolu makro numune SEM görüntüsünden alınan EDS analizi	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1.	Merkez segregasyon kusur derecelendirmesi.....	28
Çizelge 4.2.	Merkez çekilme boşluğu kusur derecelendirmesi	29
Çizelge 4.3.	Merkez yıldız çatlağı kusur derecelendirmesi.....	30
Çizelge 4.4.	Gaz boşluğu kusur derecelendirmesi.....	32
Çizelge 4.5.	İnklüzyon bandı kusur derecelendirmesi.....	33
Çizelge 4.6.	Yarı yol çatlağı kusur derecelendirmesi	34
Çizelge 4.7.	Diagonal çatlak kusur derecelendirmesi.....	36
Çizelge 4.8.	Köşe çatlağı kusur derecelendirmesi	37
Çizelge 4.9.	Beyaz toz kusur derecelendirmesi	38
Çizelge 4.10.	Köşegen uzunluğu	47
Çizelge 4.11.	Dönem boyunca üretilen çelik grupları	49



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
°	: Derece
°C	: Sıcaklık santigrat
%	: Yüzde
dk	: Dakika
eV	: Elektronvolt
kV	: Kilovolt

KISALTMALAR

S	: Kükürt
EAO/F	: Elektrik Ark Ocağı/Fırını
Max.	: Maksimum
Min.	: Minimum
Mn	: Mangan
M-EMS	: Kalıp elektromagnetik karıştırıcı
HCl	: Hidroklorik asit
Mn/S	: Mangan/kükürt oranı
SEN	: Submerged entry nozzle (daldırma nozulu)
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
EDS	: Energy dispersive X-ray spectrometry
SEM	: Scanning electron microscope
Fe	: Demir
XRF	: X-ışını floresans spektrometresi
Si	: Silisyum
O	: Oksijen
MgO	: Magnezyum oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
ZrO ₂	: Zirkonyum oksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
CaO	: Kalsiyum oksit
MnO	: Mangan oksit
K ₂ O	: Potasyum oksit

1. GİRİŞ

Demir çelik üretimi ülkemiz açısından önem arz etmektedir. Ülkemizde modern anlamda demir-çelik üretimine yönelik girişimler, Cumhuriyet'in kuruluşundan sonra başlamış ve ilk demir-çelik tesisi, 1930'lu yıllarda Kırıkkale'de kurulmuştur. Ardından bütünleşmiş bir tesis olan Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları faaliyete geçmiştir. Özel sektörde ise ilk ark ocaklı tesis olan Melas, 1960 yılında üretime başlamıştır. Yassı ürüne yönelik ilk tesis olan Erdemir ise, 1965 yılında Ereğli'de üretime geçmiş, demir-çelik talebindeki gelişmeye cevap vermek üzere 1975 yılında İskenderun'da, İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları üretime başlamıştır. 1980'li yılların ilk yarısında, yeni ark ocaklı tesislerin üretime geçmesiyle, özel kesim Türkiye'nin demir-çelik üretimine ağırlığını koymuştur (Aslan, 2008).

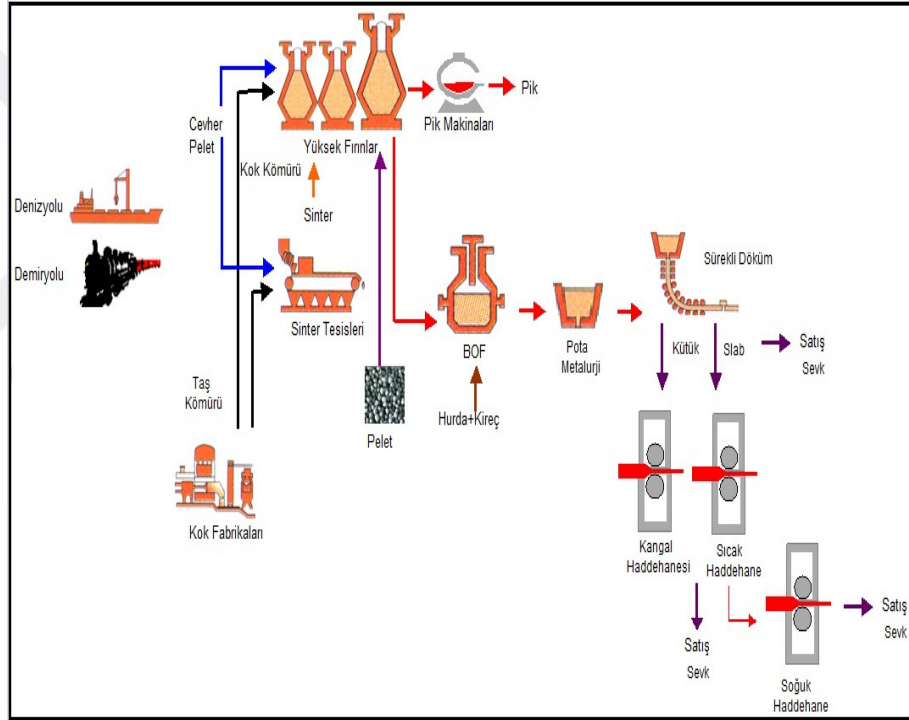
2017 yılında dünyanın toplam çelik üretimi 1,69 milyar ton civarındadır. Bu miktarın yaklaşık 37,52 milyon tonu Türkiye'de üretilmiştir. 2017 yılında Türkiye'de yaklaşık 25,84 milyon ton kütük, 11,68 milyon ton slab üretimi gerçekleşmiştir (Anonim, 2017).

Demir çelik sektörü esas itibarıyla, demir cevherinin yüksek fırınlarda veya hurdaların ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilen ürünün değişik işlemlerden geçirilerek istenilen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamuller üreten bir sektördür. Ağır sanayi sektörlerinden en önemlisi olan demir çelik sektörü; inşaat, altyapı, otomotiv, beyaz eşya ve makine sanayi gibi pek çok önemli endüstriye hammadde sağlamaktadır. Bu nedenle bir ülkenin sanayileşmesi güçlü bir demir çelik sektörüne ve tüketimine sahip olmasıyla doğrudan ilişkilidir (Doğaka, 2014).

Demir-çelik sanayiinde genelde iki farklı proses ile ham çelik üretilmektedir. Entegre tesisler ile üretim yöntemi, demir cevherinden ham demir ve sonrasında çelik üretimi yöntemidir. Elektrik ark ocaklı tesisler ile üretim ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir. Demir cevheri, hurda ve enerji demir çelik sektörünün ana girdileridir (TOBB, 2016).

Entegre tesislerde; demir çelik üretimi, ana hammaddeler olan demir cevheri ve kömürün denizyolu ve demiryolu vasıtası ile tesislere gelmesiyle başlar. Kömür, koklaştırma prosesi için kok fabrikasına, toz cevher ise sinterleştirmek amacı ile sinter fabrikasına gönderilir. Kok fabrikası silosuna taşınan kömür, fırınlara şarj edilerek yüksek

sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda koka dönüştürülür. Böylece yüksek fırınların ihtiyacı olan kok üretilir. Toz cevher, demirli baca tozları ve tufal, sinter fabrikasında yüksek fırınların kullanılabilceği ebata getirilerek sinter üretilir ve yüksek fırına gönderilir. Yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretimi için demir cevheri, sinter, pelet ve kok girdi olarak kullanılır. Çelik üretimi sürecinde ise belirli bir miktar hurda ve alaşım elementleri bir konvertör içinde sıcak metale eklenir, alaşımın üzerine saf oksijen üflenir ve sıvı çelik elde edilir (Kayır, 2016). Rafinasyon işlemlerinden sonra döküm makinalarında dökülmeye hazır hale gelen sıvı çelik, belli şekil ve ölçülerde döküm yapabilen sürekli döküm makinalarında istenen ebatlarda, yarı ürün haline getirilir. Yarı ürün haline getirilen çelik haddehanelere veya direk satışa gönderilir.



Şekil 1.1. Entegre demir çelik tesisi akış şeması (Anonim, 2017)

Elektrik ark ocaklı tesislerde; ark ocaklarında hurda ergitilir ve istenilen kimyasal bileşimde çelik elde edilir. Elektrik ark ocağı proste hurdaların sıvı çeliğe dönüştüğü yerdir. Sonrasında nihai kimyasal analiz pota ocağında sağlanır. Genel itibarla çelik hurdası grafit elektrotlar aracılığı ile ergitilerek, sıvı çelik elde edilir. Elektrik ark ocaklarında hurda kullanılır. Sistemde elektrotlar bulunmaktadır. Elektrik arkı kullanılarak yüksek sıcaklıklar elde edilir, ergitme işlemi esnasında demir esaslı metaller

(ferro-alaşım) ilave edilir. Rafinasyon işlemlerinden sonra döküm makinalarında dökülmeye hazır hale gelen sıvı çelik, belli şekil ve ölçülerde döküm yapabilen sürekli döküm makinalarında istenen ebatlarda, yarı ürün haline getirilir. Yarı ürün haline getirilen çelik, haddehanelere veya direk satışa gönderilir (Gitmez ve Güney, 2017).

Dünya genelinde en çok kullanılan döküm yöntemi verim, üniform katılaşma, hızlı döküm ve az sayıda üretim aşaması avantajlarını bünyesinde barındıran “Sürekli Döküm” yöntemidir. Son yıllarda, sürekli döküm süreci çok büyük ilerlemeler kaydetmiştir ve dünya çelik üretiminin % 90'ından fazlası sürekli döküm yöntemi ile yapılmaktadır (Brandaleze, Gresia, Santini, Martín and Benavidez, 2012). Sürekli Döküm Makinaları genellikle yatay ve düşey olmak üzere iki tipte bulunmaktadır. Yatay döküm tarzının düşey döküm tarzlarına göre birçok üstün yönleri olmasına rağmen çeliğin yatay sürekli dökümünde bazı güçlükler mevcuttur. Bu nedenle çeliklerin sürekli dökümünde genellikle dikey sürekli döküm makinaları kullanılmaktadır (Atalay, 2008). Genel hatlarıyla anlatılan sürekli döküm prosesinin en önemli aşamalarından biri tandış metalürjisidir. Çelik dökümü esnasında dikkat edilmesi gereken birçok metalurjik olay tandışlerde gerçekleşir. Tandışler öncelikle çelik temizliği için çok önemlidir. Bu bölgede kullanılan refrakterlerin cinsi ve kalite özellikleri ile tandış geometrisi sürekli döküm performansı için önem arz etmektedir (Şişli, 2016). Sürekli döküm yönteminde insan gücü ihtiyacı her geçen gün azalmış ve çalışma şartları iyileştirilmiştir (İlgaz, 1977).

Bu tez çalışmasında; sürekli kütük döküm prosesi açısından önem arz eden ürün kusurları ana hatları ile sınıflandırılmış olup, muhtemel nedenleri üzerinde de tespitler yapılmıştır. Tesiste kütük üretiminde oluşan kusurlar, üretim hacmi ve çelik kalitesi ile korelasyon sağlanarak incelenmiştir. Yüksek üretim oranına sahip çelik kalitesinden alınan kütük numuneleri üzerinde inklüzyon kusurunun incelenmesi için optik mikroskop, SEM görüntüsü alınmış ve EDS analizi ile metalurjik çalışmalar yapılmıştır. Buna ilave olarak makro inklüzyon kaynaklı beyaz toz kusurunda SEM görüntüsü ve EDS analizi değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu tez çalışması ile Sürekli kütük döküm işletmeciliğinde, kaliteli maksimum üretim ihtiyaçları göz önüne alınarak üretim sırasında oluşan kusurlu ürün miktarının azaltılması ve üretim sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kütük üretiminde kusurlar ile ilgili bir takım çalışmalar önceki dönemlerde de yapılmıştır. Ancak ürün çelik kalitesine bağlı olarak sürekli kütük döküm kusurlarının araştırılması çalışmasının önceki dönemlerde yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında diğer konularda yapılan sürekli kütük döküm kusurlarına ait bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

C. Li, B.G. Thomas, (2002) “Maximum Casting Speed for Continuous Cast Steel Billets Based on Sub-Mould Bulging Computation” adlı çalışmada 120, 175 ve 220 mm kare ölçülerinde, kalıp altında şişme ve köşe çatlağı kusurları esas alınarak döküm hızı belirlenmesi amacıyla hesaplama dayalı çalışma yapmıştır.

I. Mamuzic, M. Longauerova, A.Strkalj, (2005) “The Analysis of Defects on Continuous Cast Billets” adlı çalışmada, sürekli döküm kütükler ve haddelenmiş çelik beton çubuklar üzerindeki kusurların örnekleme ve düzeltme yöntemlerini sunmaktadır. Bu kütüklerin kimyasal bileşimi (manganez ve oksijen içeriğinin artmasıyla) standart kimyasal bileşime (DIN 488 - BSt 500S) uygun olsa da, gaz üfleme delikleri ve çatlaklar ile birlikte merkezi ve çevresel ayrışma görülmüştür. Bu noktada katılaşma sırasında oluşan sıcak çatlakların tatmin edici olmayan deoksidasyonları olmuştur.

G. Atalay, (2008) “Sürekli Dökümde Katılaşma ve Soğutmanın İncelenmesi” adlı çalışmada alüminyum ve çelikte sürekli dökümde katılaşma ve soğutmayı incelemiştir.

H. Yu, M. Zhu, (2009) “Effect of electromagnetic stirring in mould on the macroscopic quality of high carbon steel billet” adlı çalışmada yüksek karbonlu % 0.80 karbonlu 82B kalite, 150 mm çapında yuvarlak çelik dökümde M-EMS parametrelerinin optimizasyonu (260 amper akım / 8 hertz frekans) ile özellikle merkez boşluk, merkez çatlak ile yüzeydeki çatlaklara etkisi çalışılmıştır.

Brian G. Thomas, (2010) “Modeling of Continuous Casting Defects Related to Mould Fluid Flow” adlı çalışmada kalıp içi akışla ilişkili kusurların modellenmesi çalışmasını yapmıştır.

Honga Pan, Guorongb Wu, Zhiqiang Li, (2012) “Study on quality control technology for square/round billet in Panzhihua Steel”, ve Wenhong Liu, Zhi Xie, Guanglin Jia (2011) “Study on CA-Based Quality Prediction Model of Internal Cracks in Continuous Casting Billet” adlı çalışmalarında, Sürekli dökümde, üretimin sürekliliğinin

sağlanması, ürün kalitesinin yükseltilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi için kütüğün iç çatlaklarını zamanında tespit edilmesinin önemi anlatılmıştır. Bu çalışmada, saha içi üretim verileri kullanılarak, meydana gelen kusurlarının özellikleri çıkarıldı ve sınıflandırıldı. Bu çalışmalarda sürekli döküm süreci optimize edilmiş ve kare / yuvarlak kütüğün kalite kusurlarının önlenmesi için kapsamlı çözümler önerilmiştir.

Erika Popa, (2012) Teodor Heput, Erika Ardelean, Ana Socalici “Identifying the Main Defects Appeared in the Structure of Continuous Blanks” adlı çalışmada yuvarlak kesitli ürünlerdeki temel kusurları çalışmışlardır. Saheb M. Mahdi, (2013) Al-Taqani “Studying the Reasons of Surface Defects in the Continuous Casting Billets” adlı çalışmada kütük yüzey kusurları sebepleri araştırılmıştır.

X. Chao, Z. Jiong-ming, L. Yan-zhao, W. Xiano-dong, W. Lian, W. Shun-xi, (2013) “Control of Macrosegregation Behavior by Applying Final Electromagnetic Stirring for Continuously Cast High Carbon Steel Billet” adlı çalışmada 0,77 % karbon SWRH77B kalite çelikte 1,65 metre/dakika döküm hızında F-EMS 360 amper akım/12 herzt frekans ile katılma ve segregasyonun optimum değer olacağı çalışılmıştır.

W. Su, W. Wang, S. Luo, D. Jiang, M. Zhu, (2014) “Heat Transfer and Central Segregation of Continuously Cast High Carbon Steel Billet” adlı çalışmada 160x160 mm ebat % 0.81 karbon SWRH82B kalite çelikte kütük yüzey sıcaklık değeri ile ikincil soğutmanın optimizasyonu ve F-EMS ile merkez segregasyonun 1,7 metre/dakika hızda dökümünün uygun olabileceği çalışılmıştır.

Abdul Haseeb Nc, (2015) Alex P Jacob, Arvind Kumar, Dibin Vincent “Reform the Performance of a Billet Quality by Reducing its Defects at Sail-Scl Kerala Limited” adlı çalışmada Sail-Scl Kerala işletmesindeki kalite kusurlarını azaltarak performans iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında bulunmuşlardır.

A. Rodziewicz, M. Perzyk, (2016) “Application of Time-Series Analysis for Predicting Defects in Continuous Steel Casting Process” adlı çalışmada, sürekli döküm tesislerinden elde edilen endüstriyel veriler üzerinden hatalı kütüklerin sebepleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonuçları ile gelecekteki muhtemel oluşacak kusurların tahmin edilme olasılığı araştırılmıştır. Gelecek üretim dönemlerinde kritik üretim süreçlerinde, uygun eylem planları gerçekleştirilerek hatalı ürün üretimini azaltmak için işletmenin teknik personeline kılavuz olacak bilgiler elde edilmiştir.

S. Mosayebidorcheh, M. Gorji-Bandpy, (2017) “Local and Averaged-Area Analysis of Steel Slab Heat Transfer and Phase Change in Continuous Casting Process” adlı çalışmada, sürekli döküm sürecinde çelik levha için sıcaklık dağılımı ve faz değişiminin kararlı durum analizi araştırılmıştır. Kusurların meydana geldiği termal sınır koşulları, ikincil soğutma bölgelerindeki ortalama ısı transfer şartları kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Wei Wang, Zi-bing Hou, Yi Chang, Jiang-hai Cao, (2018) “Effect of Superheat on Quality of Central Equiaxed Grain Zone of Continuously Cast Bearing Steel Billet Based on Two-Dimensional Segregation Ratio” adlı çalışmada, GCr15 taşıyan çelik kütüklerinde oluşan merkezi tane zonunun (CEGZ) kusurlu çıkan kaliteleri, sürekli döküm prosesinde ısıtma sistemi optimize edilerek çözülmeye çalışılmıştır. Sürekli döküm atölyesinden GCr15 kaliteye sahip kütükler kullanılarak CEGZ ile GCr15 kütüklerinin iç kalitesinin karşılaştırılması yapılmıştır.

A. E. Vasiliev, S. I. Lukyanov, O. S. Logunova, A. L. Karyakin, (2018) “Improving The Quality of Continuously Cast Slabs: By means of The Pinch Roll Drive of the Horizontal Part of A Continuous Casting Machine” adlı çalışmada, tandış’den çıkan sıvı çeliğin akışını düzenleyen tahrik sisteminin yapısını ve kontrol sistemini değiştirerek döküm levhalarında meydana gelen geniş makro yapısal hataların payını azaltmaya çalışılmıştır. Bu sonuçların temeli, sıvı çelik akışını düzenleyen sürücünün yapısı ve kontrol sistemi, geliştirilen bir kontrol felsefesi ve yeni bir fonksiyonel blok şeması önerilmiştir. Sürekli döküm tesisinde iç yapı kusurları üzerinde test laboratuvarı tarafından; teorik çalışma, cebirsel denklemlerin yanı sıra yapısal modelleme için analitik ve sayısal çözümlerin uygulanmasını içermektedir.

Önceki çalışmalardan da görüleceği üzere yüksek döküm hızının spesifik bir kusura etkisi, EMS kullanımı ve iç yapı kusuru ilişkisi, yüzey kusurlarının analizi, kalıp içi akışla kusur ilişkisi, yuvarlak ürünlerdeki temel kusurlar, işletme özelinde kalite-performans ilişkisi vb. çalışılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarından da anlaşılacağı üzere kütük döküm üretiminde kusurlar ile ilgili çalışmaların az sayıda ve dar kapsamda olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasını diğer çalışmalardan farklı kılan sürekli kütük döküm prosesinde meydana gelebilecek kusurların muhtemel sebepleri ile birlikte sınıflandırılarak detaylandırılması, alınan numuneler üzerinde de makro ve mikro incelemeler yapılmasının yanı sıra kusurların çeşitliliğinin incelenmesidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

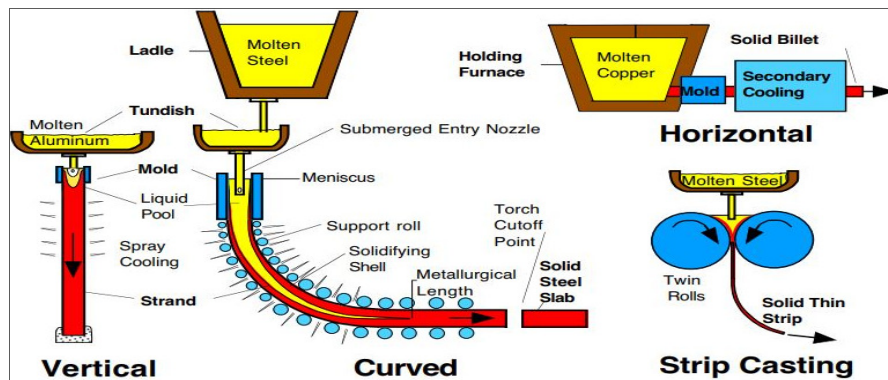
3.1. Materyal

3.1.1. Sürekli Döküm Prosesi

Sürekli döküm, tarihsel anlamda nispeten yeni bir süreçtir. Sürekli şerit dökümü prosesi, 1858'de Bessemer tarafından tasarlanmasına rağmen, 1960'lı yıllara kadar yaygın bir şekilde kullanılmamıştır (Thomas, 2001). 1934 yılında çeliğin kalıba alınmasında yapılan iyileştirmeler ile çelik endüstrisinde, sürekli döküm kullanımında gelişmeler sağlanmıştır. 1940 yılında proses üzerinde geliştirici testler yapılmış olup, 1950 yılında ilk defa dikey tip sürekli döküm makinası işletmeye alınmıştır (Haghighi, 2012). Daha sonra yapılan birçok gelişme ve yenilikler ile sürekli döküm prosesi günümüzde, karbon çeliği, alaşım ve paslanmaz çelik gibi çelik kalitelerinin üretiminde proses olarak dünyada %90'dan fazla kullanılmaktadır (Yamaguchi, Nakashima and Sawai, 2013).

Erimiş metalin elde edilmek istenen şekle sahip bir kalıba doldurulup katılaştırma işlemine döküm denir. Sıvı metalin su ile soğutulan bakır kalıplara bir uçtan akıtılırken öteki uçtan katılaşmış durumda çekilmesine sürekli döküm prosesi denir (Anonim, 2016).

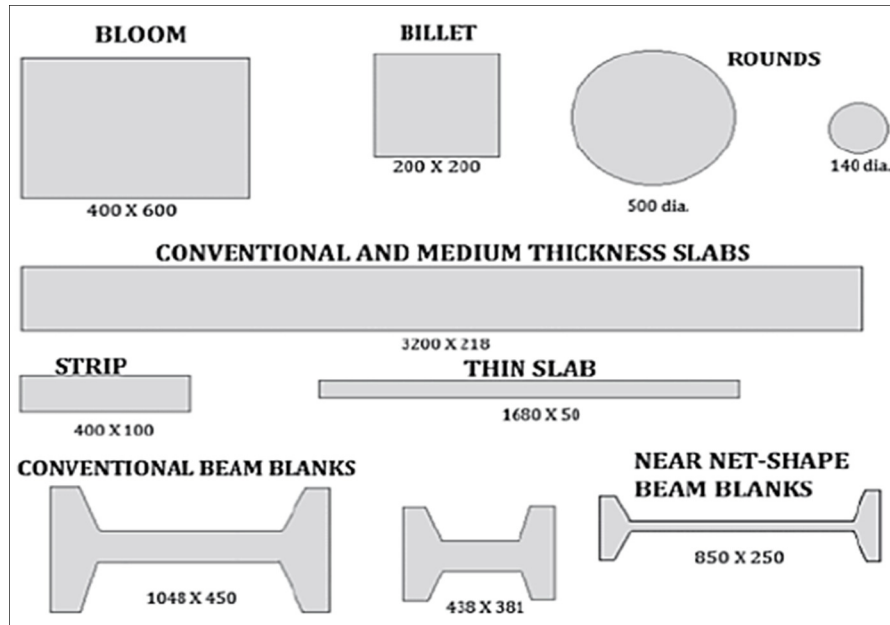
Son dönemlerde sürekli döküm süreçlerinin birçok gelişimi gerçekleşmiştir. Örneğin farklı elektromanyetik cihazlar kullanılmaya başlanmıştır. Elektromanyetik alanlar, frenleme ve sıvı metali kalıp içinde karıştırmak için kullanılabilir. Güçlü bir elektromanyetik alanla eriyiği kalıp duvarlarından uzaklaştırmak da mümkündür (Elfsberg, 2003).



Şekil 3.1. Tipik sürekli döküm prosesi akış şeması (Sarler, 2003)

Sürekli döküm prosesinin diğer döküm proseslerine göre üstünlüğü şöyle sıralanabilir: Soğuma hızı yüksek olduğundan homojen çelik elde edilir (Brandaleze, Gresia, Santini, Martín and Benavidez, 2012). Kalıp amaçlanan yarı mamule en uygun şekilde tasarlanabilir. Üretim hattında tav çukurlarına ve blok haddesine gerek kalmaz. Verimlilik yüksektir (İlgaz, 1977).

Çelik üretim proseslerinde pota fırınındaki işlemleri tamamlanan çelik, sürekli döküm makinasının taret koluna yerleştirilir. Tarete yerleştirilen potadaki çelik ilk olarak tandişe dökülür. Tandiş ergimiş metalin kalıplara dökülüp katılaşmanın başlamasından hemen önce muhafaza edildiği son ekipmandır. Tabanında döküm kanalı sayısı kadar delik bulunan bir konteyner biçimindedir ve ergimiş metalin kalıplara doğru beslenmesi görevini görmekte, ergimiş metal akışının sıçramalar olmadan daha pürüzsüz akışını sağlamaktadır. Tandişte belli bir seviyeye gelen sıvı çelik, tandişin alt kısmında döküm deliklerinden kalıba doğru akmaya başlar (Haghighi, 2012). Kalıpta birincil soğutma yapılır ve kalıp çıkışında kabuk oluşumu sağlanmış olur. Sonrasında püskürtme suyu yardımıyla ikincil soğutma bölgesinde katılaşma tamamlanır. Katılaşması tamamlanan kütük, kesme makinesi ile istenen boyda kesilir. Yarı mamul haline gelen kütük, transfer hatlarıyla planlanan bölgelere gönderilir (Ma, Xie and Jia, 2008).



Şekil 3.2. Sürekli döküm ürün resimleri (mm) (Kumar, Singh, Panigrahi and Nayak, 2016).

Sürekli döküm prosesi açık döküm veya kapalı döküm olarak yapılabilmektedir. Kapalı döküm olarak yapılmasının nedeni üründeki problemlerin en aza indirilmesidir. Kapalı dökümde çelik tandiştin kalıba akarken bir nozul içerisinden geçer. Sıvı çelik gözlenemez ancak nozulun rengi çeliğin ısısından dolayı değişir ve içerisinden çelik geçtiği bu şekilde anlaşılır. Çelik kalıba aktıktan sonra yüzeyi örtü tozu adı verilen bir toz ile kapatılır. Dökümde kullanılan kalıpların ana malzemesi elektrolitik bakırdır (Haghighi, 2012).

Sürekli döküm prosesi her ne kadar teknolojik bir yöntem olsa da üretim sırasında standart dışı (kalite ihtiyaçlarını karşılayamayan) ürün meydana gelmektedir. Meydana gelen kusurlar sıvı çelik, bakır tüp, kalıp, soğutma suları ve mekanik uygunsuzluklar gibi birçok faktörden kaynaklanabilmektedir (Wang, Liu, Wang, Qing, Hu and Sun, 2011).

Sürekli kütük döküm prosesinde kalite ihtiyaçları göz önüne alındığında, üretim sırasında meydana gelen kütük döküm ürün kusurlarının incelenmesi ve sebeplerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bundan dolayı bu tez çalışmasında, ürün çelik kalitesine bağlı olarak sürekli kütük döküm kusurlarının araştırılması çalışılmıştır (Spuy, Craig and Pistorius, 1999).

3.1.1.1. Sürekli Döküm Makinasının Ekipmanları

Taret; ikincil metalurji bölgesinde hazırlanarak döküme hazır hale getirilen içinde sıvı çelik dolu olan potanın, döküm anında tandiştir üzerindeki hareketleri için kullanılır. İçerisinde sıvı çelik olan dolu pota, sürekli döküm makinalarında taret üzerinde durarak boşaldıktan sonra yeni bir döküm potasının hazırlanabilmesi için tekrar ikincil metalurji bölgesine gönderilir (Sarler, 2003).

Taret sabit kısım ve hareketli kısım olmak üzere iki kısımdan oluşur. Sabit olan kısım döküm kotuna sabitlenmiştir ve hareket etmez. Hareketli kısım ise taret gövde rulmanı sayesinde kendi etrafında 360° dönebilmektedir.



Şekil 3.3. Taret resmi

Tandiş; sıvı çeliğin kalıba girmeden önce içinde bulunduğu refrakter malzemeler ile örülmüş bir haznedir. Döküm makinalarda üretilen ürünün kalitesi sonraki prosesler için önemlidir. Bu sebeple tandiş ürün kalitesini etkileyen önemli bir işletme malzemesidir (Haghighi, 2012). Döküm sırasında harici ısı kayıplarının olmaması için tandiş refrakter ile yalıtılmıştır. Tandiş döküme girmeden önce refrakter astarın ısı kayıplarını minimize edilmesi için yüksek bir sıcaklığa ön ısıtma yapılır. Tandiş işletme şartlarına bağlı olarak kapalı döküm ya da açık döküm yapabilecek şekilde hazırlanabilir (Atalay, 2008).



Şekil 3.4. Kütük döküm tandişi resmi

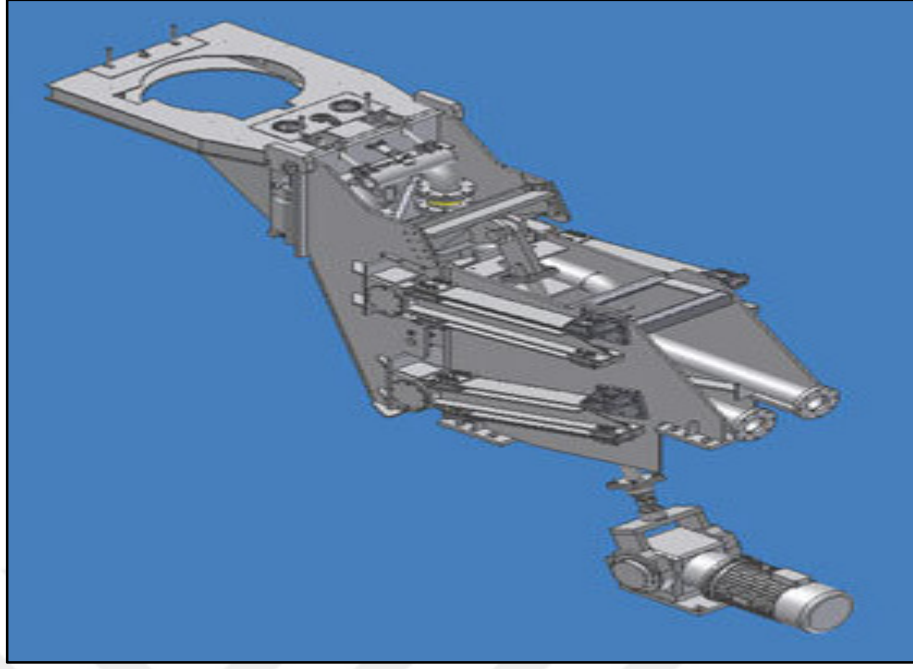
Kalıp; sürekli döküm prosesinde önemli bir ekipmandır. Gövde, bakır tüp, soğutma ceketli, contalar, oringler, footrole ve flanşlardan oluşmaktadır (Sarler, 2003). Kalıpta kullanılan bakır tüpün ana malzemesi 70-90 Brinell sertlikte elektrolitik bakırdır. Bakır tüp koniktir ve tüpün iç kısmında aşınma direncini artırmak için nikel-krom vb. kaplama bulunabilmektedir (Concast, 2003).

Çelik fabrikasında doğrudan üretim prosedürlerinden soyutlanan ortak prosedür ağı, statik bir yapı ağıdır. Bir işlemdeki dinamik işlem ilişkisindeki değişimleri ifade etmek ve somutlaştırmak zor olabilir (Zhu, Zheng, and Gao, 2010).



Şekil 3.5. Bakır tüp ve kalıp gövdesi resmi

Osilasyon; imal edilmiş çelik bir gövde içerisine kalıp (bakır tüp montaj edilmiş) ve eksantrik montaj edilerek bir araya getirilen sisteme denir. Sürekli şekilde kalıp içerisine dökülen sıvı çelik ilk olarak burada soğutulmaya başlanır ve böylece kütüğün dış kabuğu oluşur. Osilasyon sehпасının aşağı ve yukarı hareketi ile kabuk kalınlığının eşit şekilde artması, kabuğun kalıba yapışmaması ve iyi yüzey kalitesi beklentileri sağlanmış olur. Mekanik veya hidrolik osilasyon sistemleri vardır (Concast, 2003).



Şekil 3.6. Osilasyon ve eksantrik bölgesi (Anonim, 2016)

Çekme ve doğrultma ünitesi; ürün çekiş kontrolü, hidrolik silindir kollarının basınç ve yön kontrolü, yardımcı çekme ünitesi fonksiyonu, dökümün başlaması, kuklanın hareketi, kuklanın parkı, üretim hızının kontrolü ve döküm sonu kanalın boşaltılması için gereklidir (Gay, Schaus and Smedt, 2014).

Çekme ve doğrultma ünitesinin aşağı yukarı hareket eden kolları vardır. Kollarının aşağı ve yukarı pozisyonu hidrolik sistem ile kontrol edilir. Ayrıca doğrultma rolelerinin eğimli gelen kütüğün doğrultulması fonksiyonu da vardır.



Şekil 3.7. Çekme ve doğrultma bölgesi resmi

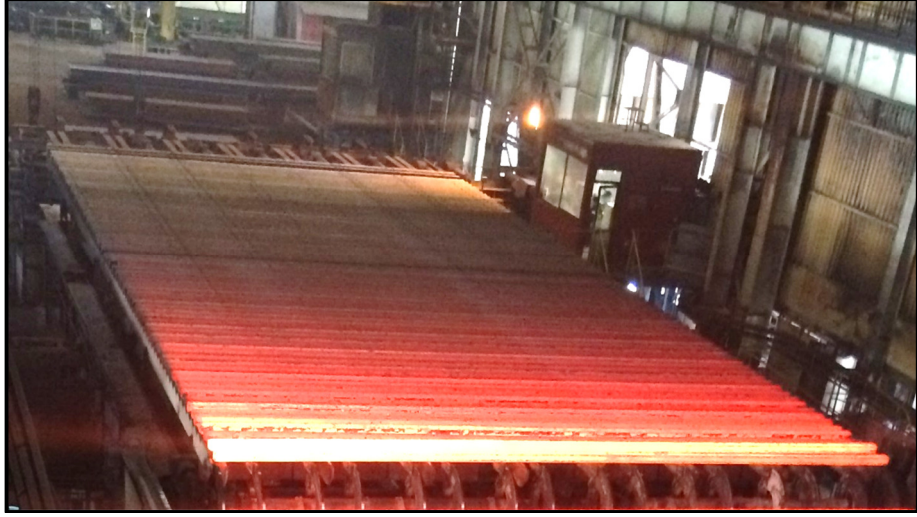
Kesme makinası; kütükler üretim planlama ve satış gruplarının isteğine bağlı olarak çeşitli boylarda kesme makinesi ile kesilirler. Kesme işlemi, uzunluk ölçme sisteminden bir sinyal ile manuel olarak veya otomatik olarak yapılabilir. Kesme makinası arabaları pnömatik silindirlerin tahrik ettiği kışkaçların aktif hale gelmesi ile döküm hızında ve yönünde hareket ederek kesme işlemini yapar. Kesme işlemi bitince kesme arabası bir sonraki kesme işlemi için başlangıç noktasına döner (Gay, Schaus and Smedt, 2014)



Şekil 3.8. Kesme makinası resmi

Soğutma ızgarası; kesme sisteminde istenilen uzunluklarda kesilen kütüklerin homojen şekilde soğutulması için transferinin yapılması soğutma ızgarasının görevidir. Soğutma ızgarası hareketli taraklar ve sabit taraklar olmak üzere iki bölüme oluşur (Gay, Schaus and Smedt, 2014).

Soğutma ızgarasında bulunan sabit ve hareketli taraklar üzerinde dönerik ilerleyen kütükler stok sahasına iletilir. Soğutma ızgarası, kütüklerin soğutma ızgarası üzerindeki yatay ve dikey yönlü hareketlerini, hidrolik silindirler ile gerçekleştirir.



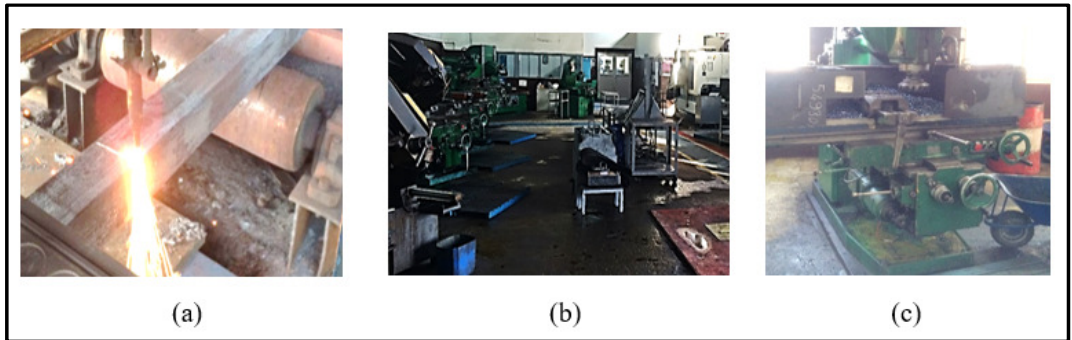
Şekil 3.9. Soğutma ızgarası resmi

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada kullanılan başlıca hammadde; deneylerin yapıldığı sürekli döküm tesisinde bir yıl boyunca üretimi yapılan iç yapı, yüzey ve fiziksel ölçü uygunsuzlukları bulunan kusurlu çelik kütük malzemesidir.

3.1.3. Deneysel Test ve Ölçü Cihazları

Makro numuneler, döküm işlemi sonrasında makro numune alma bölgesinde alınmıştır. Makro numune hazırlama atölyesinde işlenmeye hazır hale getirilen numuneler, yüzeylerinin düzgün hale getirilmesi amacıyla talaşlı imalat tezgâhında işlenmiştir.



Şekil 3.10. a) Makro numune alma; b) makro hazırlama atölye; c) talaşlı imalat tezgâhı

Talaşlı imalat tezgâhında yüzeyi işlenmiş numuneler, dağlama işlemi için % 40 HCl (%38'lik) ve % 60 su ile hazırlanmış olan karışımda 50 dakika dağlanmıştır. Dağlama işlemi bittikten sonra, numuneler sodalı suda 15-30 saniye bekletilerek durulanmıştır. Durulama işlemi sonrası ise numune yüzeyleri su ve alkol ile temizlenerek incelemeye hazır hale getirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.11. a) Asit tankı; b) durulama tankı; c) yüzey temizliği

Bu çalışmalarda makro numunelerdeki kusurların değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi göz ile yapılmıştır.



Şekil 3.12. İncelenen makro numuneler

Makro numuneler ASTM E381 (Standard Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings) standardı ve ek maddeleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu standart; çubuk, kütük, blum ve dövme gibi çelik ürünlerin makro

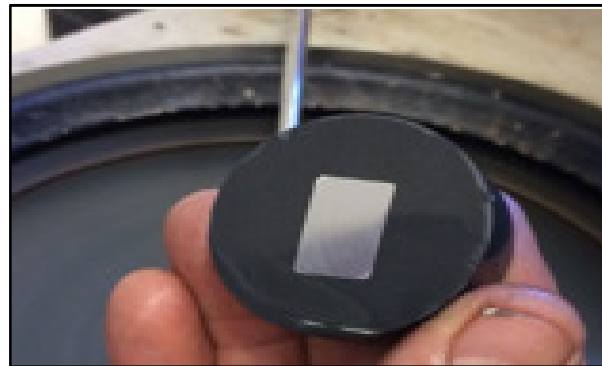
yapısal muayenesi için düşük büyütmelerde örneklerin aşındırılarak kaba dağlanmasıyla sıkça kullanılan bir tekniktir. Yapılan muayene türüne bağlı olarak bir dizi farklı aşındırıcı reaktif kullanılabilir. Kimyasal bileşimdeki değişiklikler, imalat yöntemi, ısıl işlem ve diğer birçok değişken nedeniyle çelikler aşındırma reaktife farklı tepki verirler. Çelik numunelerde, belirli kusurların nitelendirilmesini gösteren bir seri fotoğrafla derecelendirmek için bu yöntem bir prosedür olarak uygulanır. Yöntem, karbon ve düşük alaşımlı çelik çubuklar, kütükler, blumlar ve dövme malzemelerle sınırlıdır.

Ayrıca kütük mikro yapılarının incelenmesi amacıyla numunelere Şekil 3.12’de belirtilen işlemler (bakalitleme, zımparalama, parlatma) yapılarak, Şekil 3.13’te görülen mikroyapı inceleme numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.13. a) Bakalitleme; b) zımparalama; c) parlatma

Hazırlanan numunelerin SEM ve optik mikroskop görüntüleri alınmış ve incelenmiştir.



Şekil 3.14. Mikroyapı inceleme numunesi

Deneyisel çalışmada kullanılan Şekil 3.14’de görülen SEM cihazı, Jeol JSM-6510, maksimum 300.000 büyütmedir. 30 kV 3.0 nm çözünürlüğe sahiptir. EDS ünitesi olarak 124 eV çözünürlüğe sahip Oxford X MaxN50 dedektörü kullanılmaktadır. İnce ve Aztec yazılımları kullanılmaktadır.



Şekil 3.15. SEM cihazı

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir (Anonim, 2017).

Deneyisel çalışmada kullanılan Şekil 3.15'te görülen Optik Mikroskop, Nikon, Epiphot 200 model, maksimum 1.000 büyütmedir.



Şekil 3.16. Optik mikroskop

Metalurjik çalışmalarda malzemenin iç yapısının incelenmesi gerekebilir. Malzemelerin iç yapısını incelemeye amaç; mevcut fazların dağılımı, tane boyutu, şekli ve genel olarak yapı kusurlarını saptamaktır. Normal yapısal incelemeler için optik mikroskoplar kullanılmaktadır. Metal ve alaşımların iç yapılarının etüd edilmesi için kullanılan optik mikroskopta numunedeki fazların özellikleri, dağılımları, tane sınırları, kayma bantları, ikizler, porozite, kalıntı ve çatlaklar kolayca ayırt edilebilmektedir. Metal mikroskobu başlıca üç ana optik sistem içerir. Bunlar; objektif, oküler ve aydınlatma sistemleridir. Optik mikroskopta görüntü, parlatılmış numunenin dağlanması sonucunda dağlayıcıdan etkilenecek çözünmüş fazın çukurlaşması sonucu daha koyu renkte görülmesi prensibine dayanır (Kızılay, 2017).

Deneysel çalışmadaki curuf numunesine ait kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesinde Şekil 3.16'da görülen ARL THERMO 9800 XP-161 X-Ray spektrometer XRF cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.17. XRF cihazı

XRF ile analiz yöntemi, X ışınının analiz edilen malzemeye etkileşimiyle oluşan ikincil X ışınlarının karakteristik dalga boyu ve şiddetinin ölçülmesiyle kalitatif ve kantitatif element analizinin yapıldığı tahribatsız bir analitik yöntemdir. Kalitatif ve kantitatif analiz, XRF cihazında yer alan özel bir kristalde ışınların kırınımına uğraması sonucu dalga boylarına ayrılması ve şiddetlerinin ölçülmesi ile yapılır. Numune üzerine gönderilen X ışını ile oluşan floresans, X ışınları kristal spektrometre ile analiz edilerek farklı açılardan gelen pik şiddetlerine bağlı olarak malzeme elementleri ve konsantrasyonlarını belirlemede kullanılır (Bilen, 2010).

3.2. Yöntem

Çalışmanın amacı, entegre bir demirçelik tesisindeki sürekli kütük döküm tesisinde üretilen kütük malzemesinde meydana gelen ürün kusurlarının ana hatları ile sınıflandırılması, incelenmesi ve elde edilen veriler ışığında öne çıkan kusurların sebeplerinin araştırılmasıdır.

Bu tez çalışması ile; sürekli kütük döküm işletmeciliğinde, kütük üretiminde meydana gelen ürün kusurları; “iç yapı kusurları”, “yüzey kalitesi ve yüzey kusurları” ile “şekil ve ebat kusurları” olmak üzere üç ana başlık altında gruplandırılarak araştırılmıştır. Kütük numuneleri üzerinde makro ve mikro incelemeleri yapılmıştır. Yüksek üretim oranına sahip çelik kalitesinden alınan kütük numuneleri üzerinde inklüzyon kusurunun incelenmesi için optik mikroskop, SEM görüntüsü alınmış ve EDS analizi yapılmıştır. Ayrıca, beyaz toz kusuru üzerinde SEM görüntüsünden alınan bölgeler üzerinde EDS analizi yapılmıştır.

3.2.1. Sürekli Döküm Prosesi İçin İzlenecek Yol

Kütük döküm üretim planının yapılmasının ardından üretim planına uygun tonaj, ebat ve kalitede döküm işlemi yapılır ve dökümlere ait kayıtlar tutulur. Döküm işlemi sonrasında uygun numunelerinin alınmasıyla sürekli döküm prosesi işlemi sonrası kalite sonuçlarının incelenmesi aşamasına geçilir.

3.2.2. Kalite Sonuçları İçin İzlenecek Yol

Numuneler uygun ölçülerde üretim hattı sonunda oksijen-gaz sistemiyle kesilir. Kesilen numuneler metalurjik inceleme yapılacak atölyeye götürülerek talaşlı imalat tezgâhında işlenir. Numuneler inceleme metoduna göre hazırlanır.

Makro numunelerdeki kusurlar ve diğer kusurların değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi göz ile yapılır. Makro inceleme yapılarak, ayrıca optik mikroskop ve SEM görüntüleri ile de mikro inceleme yapılarak deney numunesi sonuçları değerlendirilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneysel Çalışmalar

Çalışma yapılan dönem boyunca sürekli kütük döküm prosesinde farklı çelik gruplarında kütük üretilmiştir. Üretilen kütüklerin üretim ve kalite kayıtları tutulmuştur. Metalurjik inceleme amaçlı numuneler alınmıştır.

Sürekli kütük döküm katılaşma prosesi sırasında, çok sayıda potansiyel hatalar meydana gelebilmektedir. Deneysel çalışma kapsamında; kütük numuneleri üzerinde makro ve mikro kusur incelemeleri yapılmıştır. Yüksek üretim oranına sahip çelik kalitesinden alınan kütük numuneleri üzerinde inklüzyon kusurunun incelenmesi için optik mikroskop, SEM ve EDS incelemeleri yapılmıştır. Uzun ürün kusurlarının gruplandırılması ve kusurların muhtemel meydana gelme sebepleri araştırılmıştır. Uzun ürün kusur verileri ve grafikleri oluşturularak incelenmiştir. Ayrıca, beyaz toz kusuru üzerinde SEM-EDS analizi yapılmış ve değerlendirmeler sonrası çalışma tamamlanmıştır.

4.2. Kütük Numunesinde Optik Mikroskop, SEM ve EDS İncelemeleri

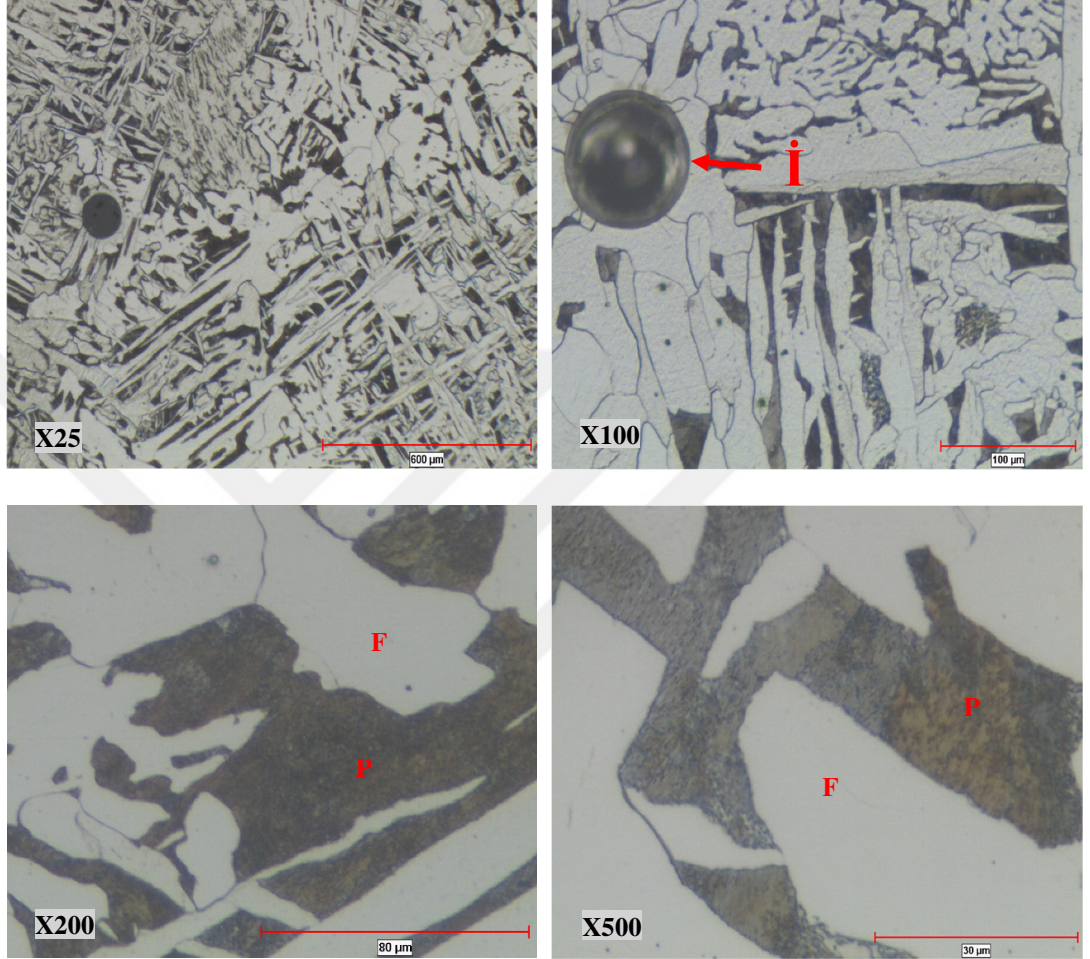
Deneysel çalışmada X25, X100, X200, X500 büyütme kullanılmış, optik mikroskop görüntüleri ile birlikte SEM’de inklüzyon içeriklerinin tayini amaçlı görüntüleme ve analiz yapılmıştır.

Kullanılan optik mikroskop’un marka ve modeli Nikon Epiphot 200’dür. X25, X50, X100, X200, X500, X1000 büyütme aralıklarına sahiptir. Clemex PE V8.0 ve CIR V8.0 yazılımları kullanılmaktadır.

Şekil 4.1’de X25 olan en küçük büyültmede optik mikroskop görüntüsünde matrisin ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Makro incelemede, inklüzyon tespit edilmiştir. Inklüzyonun bulunduğu nokta soğuk kesme makinası ile kesilerek çıkartılmıştır.

Yüksek kalite için sürekli artan talepler, çelik üreticisinin ürün “temizlik” gerekliliklerini giderek daha fazla fark etmesini sağladı. Metal olmayan kapanımlar, dökme dökümlerde, aşırı döküm onarımlarına veya reddedilen dökümlere yol açabilecek

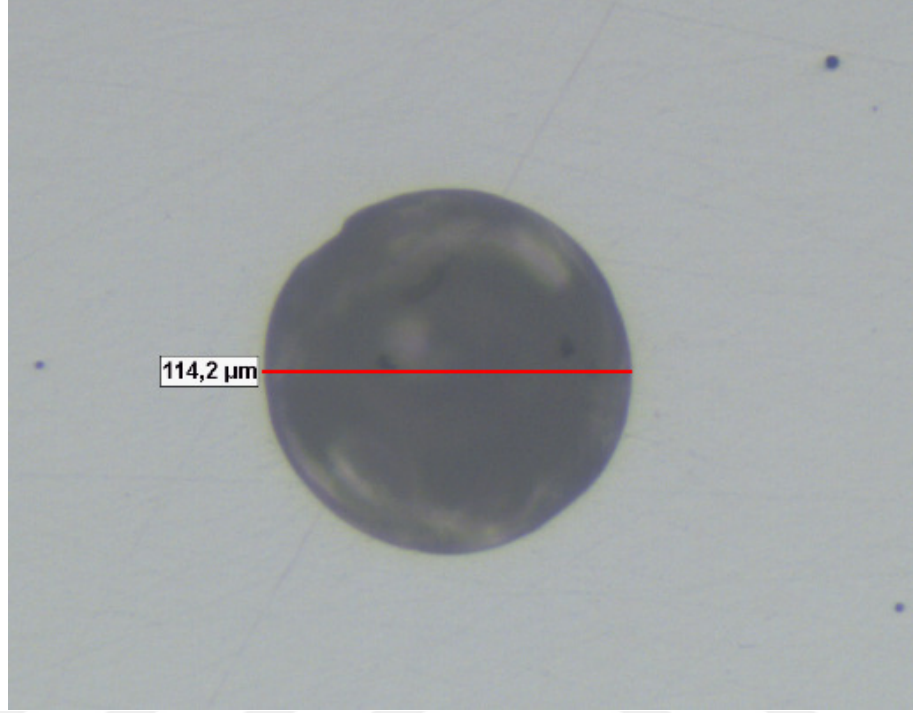
önemli bir sorundur. Ginzburg ve Ballas gibi birçok araştırmacı inklüzyonla ilgili olan dökme levha ve sıcak haddelenmiş ürünlerdeki kusurlar üzerinde araştırmalarda bulunmuştur (Ginzburg ve Ballas, 2000).



Şekil 4.1. Peritektik çelikler grup 2 (%C 0,13-0,17 karbon içeriği) için optik mikroskop görüntüsü (İ:İnküzyon, F: Ferrit, P:Perlit)

Sürekli döküm tesislerinde deneysel çalışma yapılan dönemde en fazla üretimi gerçekleşen peritektik çelikler grup 2 (% C0,13 – 0,17 karbon içeriği) makro numunede tespit edilen inklüzyon yapısının incelenmesi adına optik mikroskopta alınan görüntüler Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu çelik kalitesindeki numuneye ait optik mikroskop görüntüsünde matrisin ferrit ve perlit yapısından oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.1’de X25 ve X100 büyütmelerde, inklüzyon yapısı küresel olarak görülebilmektedir.

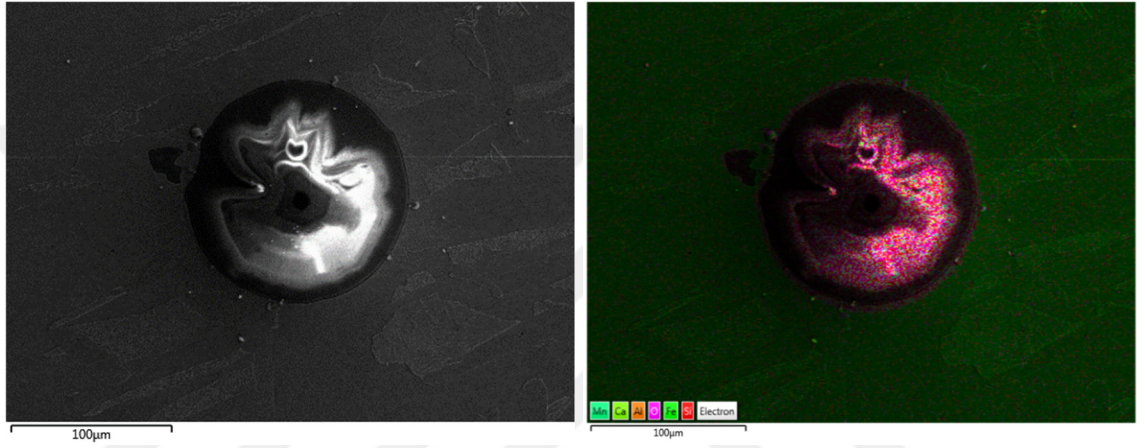
Optik mikroskop incelemesi ile aynı numune üzerindeki inklüzyonların boyutu Şekil 4.2’de verilmiştir. Inklüzyonlar küresel formda olup boyutları yaklaşık 114 – 141 μm aralıklarındadır.



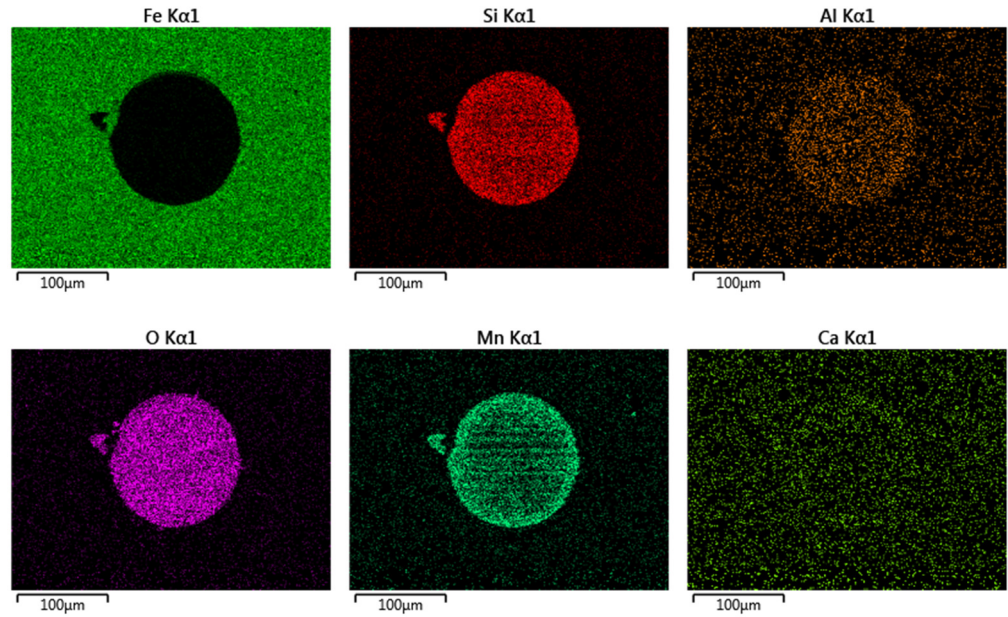
Şekil 4.2. Tespit edilen inklüzyonlara ait optik mikroskop görüntüsü (X100)

İnklüzyonlar üzerinde SEM ile görüntüleme ve EDS analizi yapılmıştır. SEM cihazında element haritalama tekniği ile yapılan görüntülemede inklüzyonun içeriği tespit edilmiştir. Çelik ürünlerindeki bazı kusurlar, ölçekleme kusurları gibi yuvarlanma süreciyle ilgilidir. Burada sadece sürekli döküm dökümünden kaynaklanan inklüzyonlarla ilgili kusurlar gözden geçirilmektedir (Ginzburg and Ballas, 2000).

Aşağıdaki resimlerde renkli olarak haritalama yapılmış olup ilk iki resimde inklüzyona ait genel görüntü yer almaktadır.

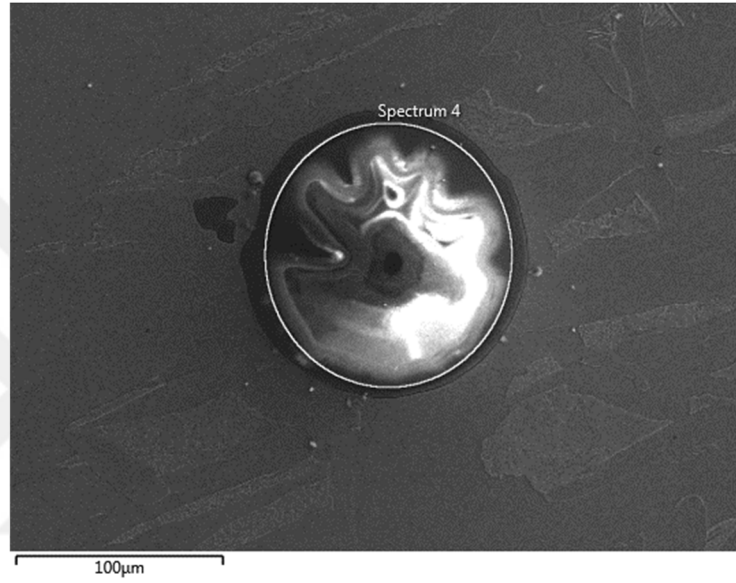


Şekil 4.3. Tespit edilen inklüzyona ait SEM görüntüsü



Şekil 4.4. Tespit edilen inklüzyona ait element haritası

Şekil 4.4'te her elemente ait inceleme sonucu verilmiş ve küresel inklüzyon içerisindeki elementlerin dağılımı renkli olarak haritalandırılmıştır. Resimlerde görüleceği üzere inklüzyon içeriği oksijen, silisyum ve mangan içerikli olduğu tespit edilmiştir. Katkıların katılma morfolojisi, çelik dökümlerde önemli olmasına rağmen, dövme ürünlerindeki inklüzyonların morfolojisi, çelik işleme sırasında mekanik davranışları, yani, çelik matrisine göre "sert" veya "yumuşak" olup olmadıkları büyük ölçüde kontrol edilir (Zhang and Thomas, 2003).



Şekil 4.5. İnküzyona ait SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.5'te SEM görüntüsü ve EDS analizi sonucu inklüzyona ait içerik verilmiştir. İnküzyonun üzerinde "Spektrum 4" olarak işaretlenmiş bölgeden spektrum alınarak analiz edilmiştir. Spektrum 4 değerlerinde inklüzyon içeriğinin yoğun olarak oksijen,

silisyum ve mangan olduğu gör÷lmektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi temel sebep reoksidasyondur. Çeliğin reoksidasyonunun mümkün olduğunca engellenmesi gerekmektedir.

4.3. Uzun Ürün Kusurlarının Gruplandırılması

Deneyisel çalışmanın yapıldığı tesisteki söz konusu bir yıllık dönemde en fazla karşılaşılan hatalar üç ana grupta değerlendirilmiştir. Uzun ürün kusurları;

- İç yapı kusurları,
- Yüzey kalitesi ve yüzey kusurları,
- Şekil ve ebat kusurları,

olmak üzere üç grupta incelenmiştir.

4.3.1. İç Yapı Kusurları

Deneyisel çalışmanın yapıldığı dönemde karşılaşılan iç yapı kusurları 9 grupta değerlendirilmiştir. İç yapı kusurları;

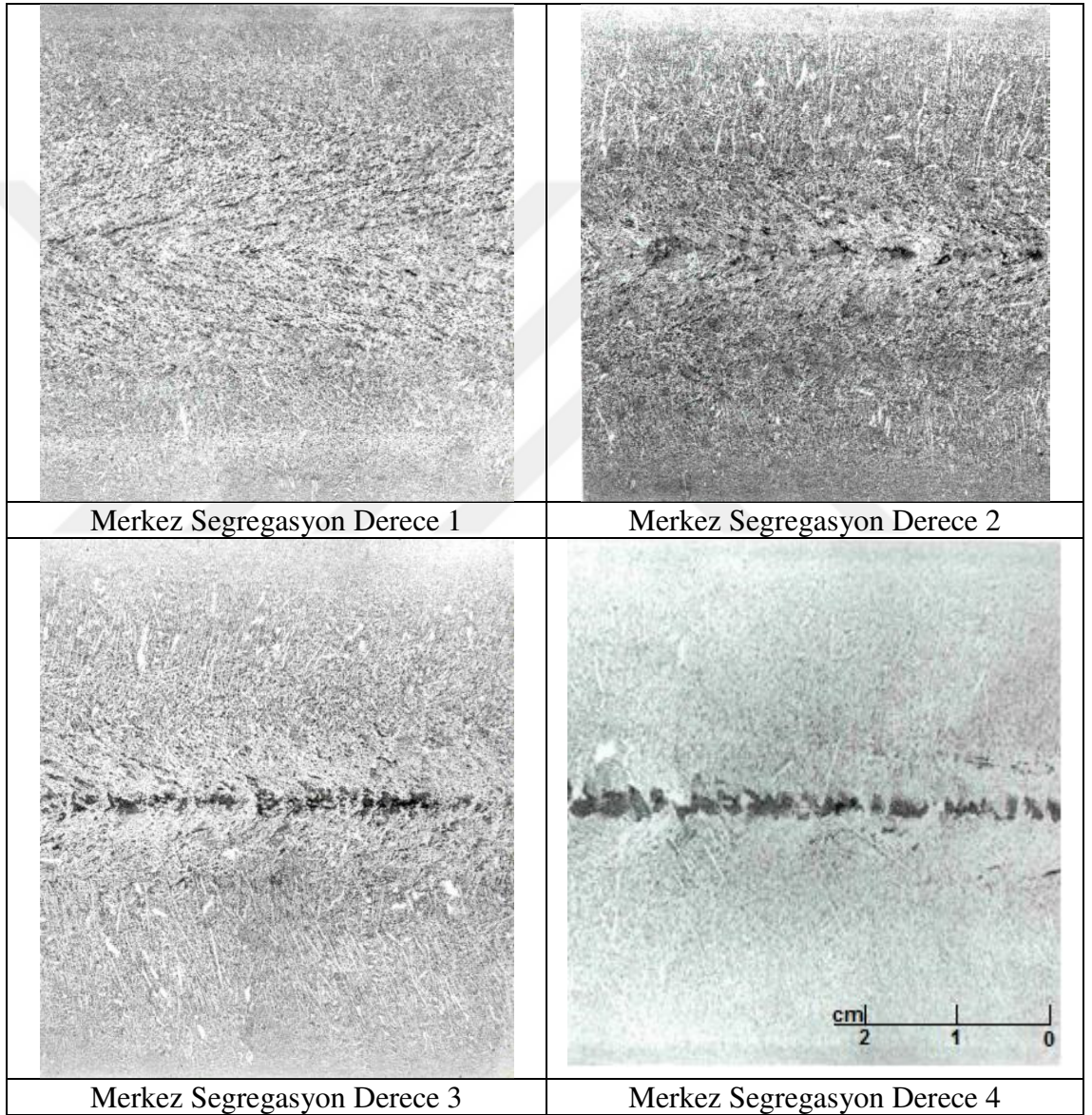
- Merkez Segregasyon,
- Merkez Çekilme Boşluğu,
- Merkez Yıldız Çatlağı,
- Gaz Boşluğu,
- İnküzyon Bandı (İç Yapı İnküzyon),
- Yarı Yol Çatlağı,
- Diagonal Çatlak,
- Köşe Çatlağı,
- Beyaz Toz,

olmak üzere dokuz grupta incelenmiştir.

4.3.1.1. Merkez Segregasyon

Sıvı çelik içerisinde karbon ve kükürt elementlerinin çözünürlüğü merkeze yaklaştıkça düşer. Katılama kütük kenarlarında başladığında çözünürlük farkından

dolayı merkeze doğru ilerledikçe karbon ve kükürdü sıvı çelik içerisine iletir. Merkezde biriken ve heterojen duruma neden olan bu birikinti segregasyon olarak ifade edilir. Kütüğün merkezinde olup kalitenin karbon, kükürt, fosfor değerine ve döküm sıcaklığına göre değişiklik gösterir. Çeliğin işlenmesi sırasında mekanik özelliklere olumsuz etki ettiğinden dolayı çelik içerisinde en az seviyede olması istenir. Segregasyon kusurunun çelik katılaştıktan sonra giderilme imkanı yoktur (Anonim, 2017).



Şekil 4.6. Merkez segregasyon derecesi (Concast 2003)

Tabloda örneklenen merkez segregasyon dereceleri belirlenmiştir. Kütük merkezindeki konsantrasyon farklılığı V şeklinde ilerlediği gibi boşluklar şeklinde de merkezde kendisini gösterir (Hacki and Nylen, 1987).

Bu yapının oluşumu döküm parametrelerine göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle kütük merkezinde süreksizlik gösterir. Kütüğün belirli kesitlerinde farklı yapılar görülebilmektedir. Bu nedenle alınan makro numunesinde görülen kusur derecesi çok kusurlu ise sürekliliği tespit etmek amacı ile farklı bir kütük makrosuna daha bakılmalıdır (Longauerova, 2004).

Çizelge 4.1. Merkez segregasyon kusur derecelendirmesi

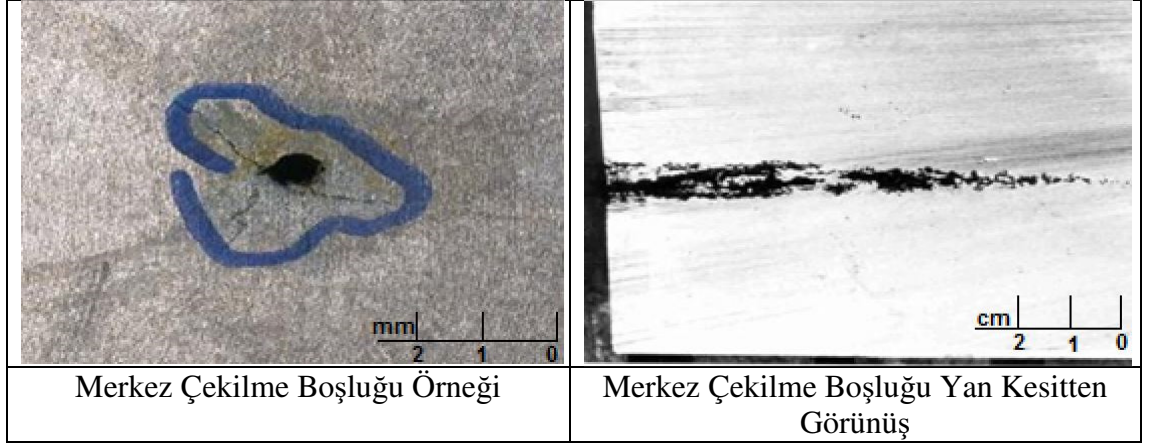
Merkez Segregasyon Derecesi	Segregasyon Genişliği (mm)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	<0.5	Az Kusurlu
3	<1	Orta Kusurlu
4	>2	Çok Kusurlu

Kusurun temel sebebi yüksek döküm sıcaklığıdır. İkincil sebepler ise ikincil soğutma ve döküm hızıdır. Segregasyonun etkisinin azaltmak için M-EMS (Kalıp Elektromagnetik Karıştırıcı) kullanılabilir. Kusuru ortadan kaldırmak için döküm sıcaklığı ve döküm hızı düşürülmeli, soğutma artırılmalıdır (Anonim, 2017).

4.3.1.2. Merkez Çekilme Boşluğu

Katılma sırasında 4 kenardan ilerleyen dendritlerin merkezde birleşmesi ile sıvı çeliğin akışına izin vermemesi sonucu oluşan kütük merkezinde boşluklu yapıdır. Segregasyon kusuru ile benzerlik göstermektedir ve aynı şekilde bu hatanın da katılma sonrası giderilmesi mümkün değildir.

Segregasyon kusurunda olduğu gibi bu yapının oluşumu döküm parametrelerine göre değişiklik gösterebilir ve bu nedenle kütük merkezinde süreksizlik gösterir. Bu nedenle alınan makro numunesinde görülen kusur derecesi “çap>4 mm” ise sürekliliği tespit etmek amacı ile farklı bir kütük makrosuna daha bakılır.



Şekil 4.7. Merkez çekilme boşluğu makro resimleri

Çizelge 4.2. Merkez çekilme boşluğu kusur derecelendirmesi

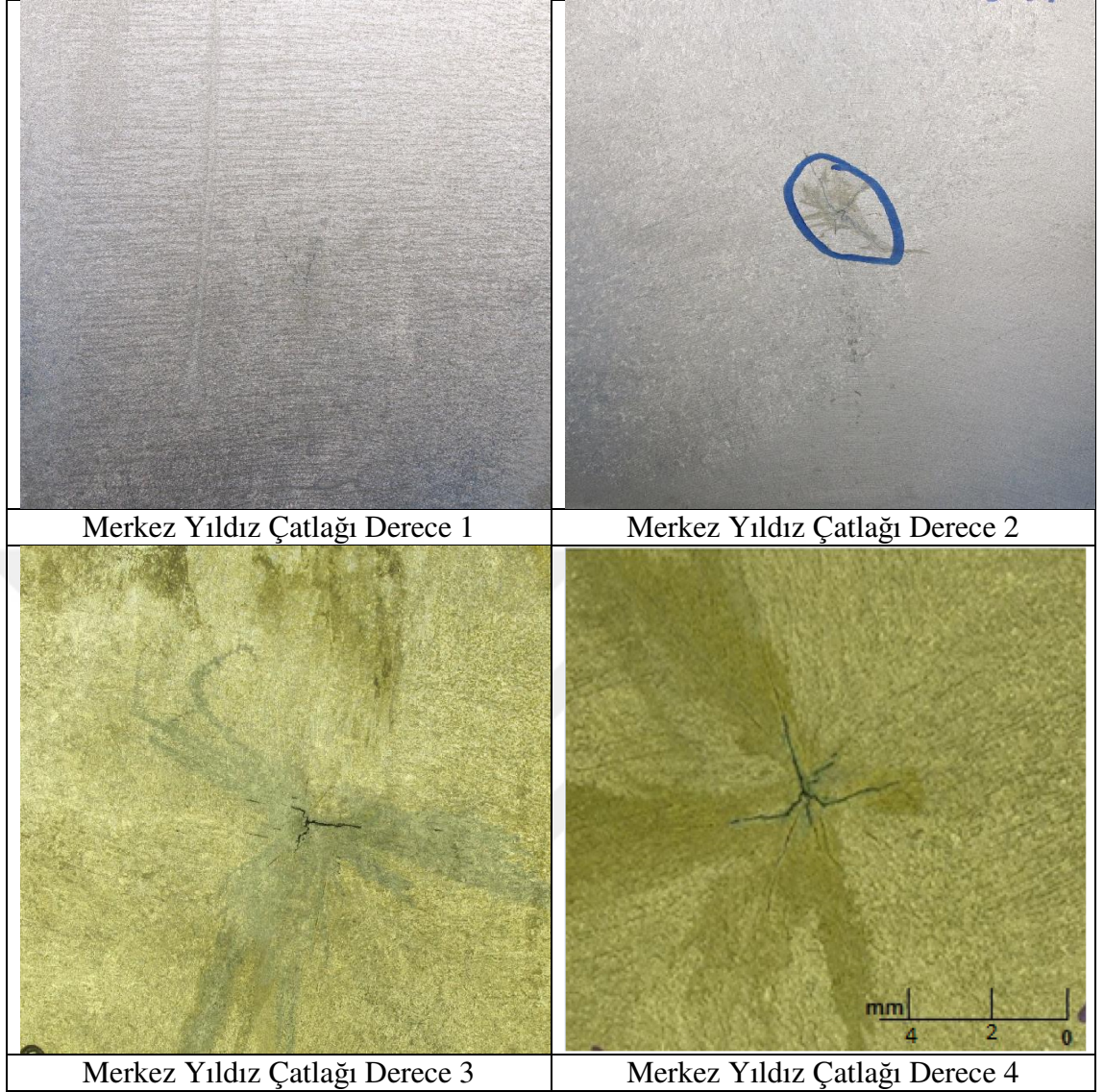
Merkez Çekilme Boşluğu Çap (mm)	Kusur Derecelendirmesi
Çap<2	Kusursuz
Çap<3	Az Kusurlu
Çap<4	Orta Kusurlu
Çap>4	Çok Kusurlu

Döküm sıcaklığının yüksek olması sebebi ile meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca yüksek döküm hızı ve aşırı soğutmanın da bu kusurun oluşmasında etkili olduğu tespit edilmiştir (Ilgaz, 1977).

4.3.1.3. Merkez Yıldız Çatlağı

Kütük merkezinde oluşan yıldız biçimli çatlaklardır. Özellikle düşük karbonlu kaliteler bunlara örnektir.

Merkez yıldız çatlağının derecesi kalitenin kullanım alanına ve hassasiyetine bağlı olarak değişebilir (Anonymous, 2016).



Şekil 4.8. Merkez yıldız çatlağı makro resimleri

Çizelge 4.3. Merkez yıldız çatlağı kusur derecelendirmesi

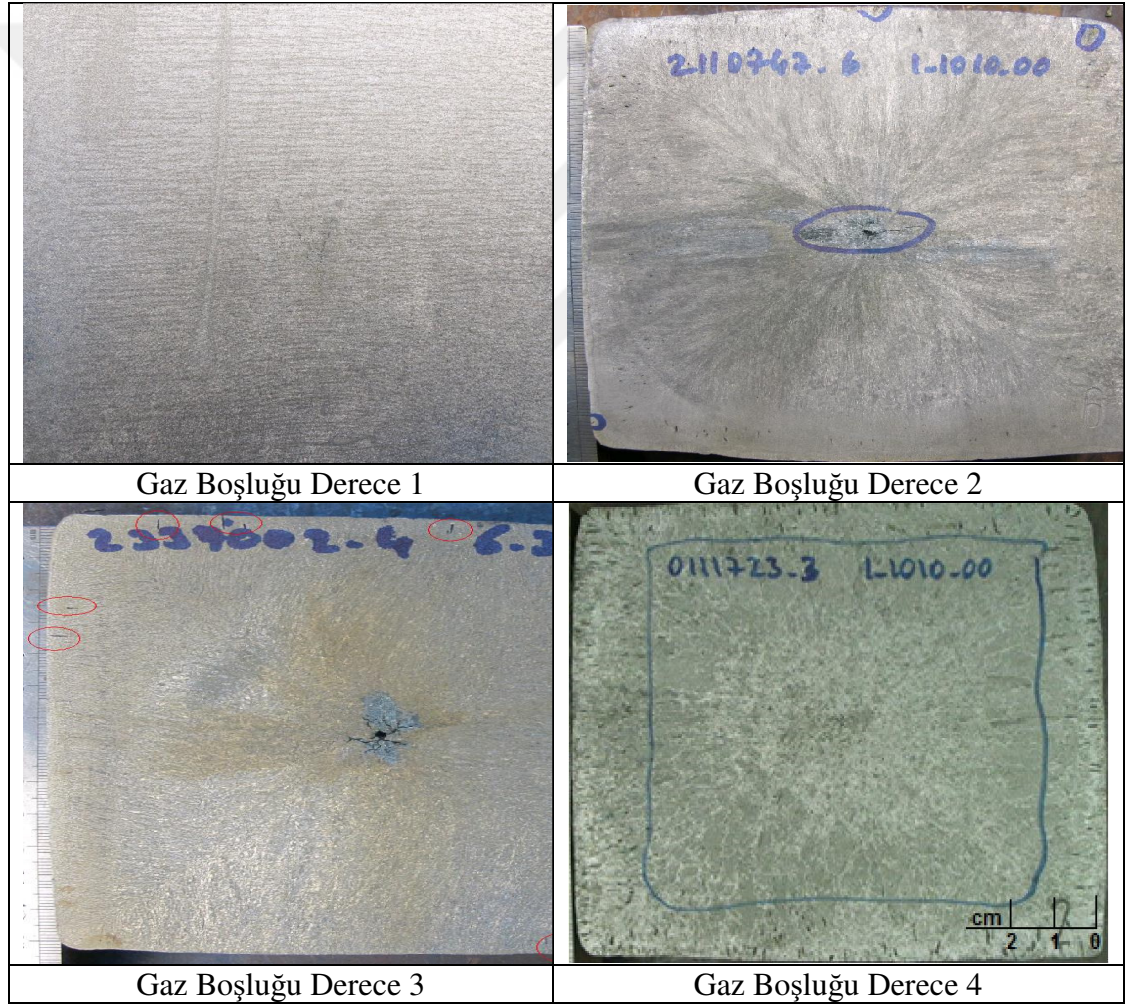
Merkez Yıldız Çatlağı Derecesi	Çatlak Uzunluğu (mm)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	< 2	Az Kusurlu
3	< 4	Orta Kusurlu
4	> 4	Çok Kusurlu

Temel sebep yüksek sprej soğutmadır. İkincil soğutma olarak bilinen sprej soğutma şiddetinin yüksek olması kütük merkezinde yıldız şeklinde kusura yol açtığı

görülmüştür (Li, Yao, and Liang, 2011). Yüksek döküm hızı ve yüksek tandış içi çalışma sıcaklığının da bu kusurun diğer sebepleri olduğu tespit edilmiştir.

4.3.1.4. Gaz Boşluğu

Kütük makro kenarlarında bulunan noktasal biçimli boşluklardır. Çelik katılaşması sırasında yüzeyden çıkamayan ve katı çelik içerisinde hapsolan gazdan meydana gelmektedir. Kütük kenarında bulunan gaz boşluğu sayısına göre kalite uygulaması yapılmaktadır (Ilgaz, 1977).



Şekil 4.9. Gaz boşluğu makro resimleri

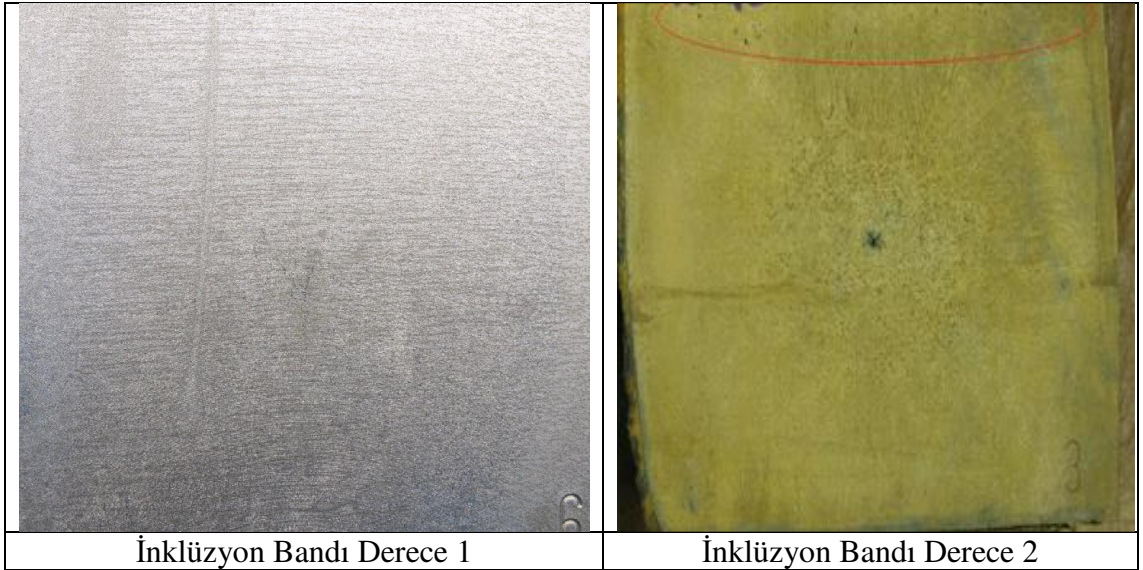
Çizelge 4.4. Gaz boşluğu kusur derecelendirmesi

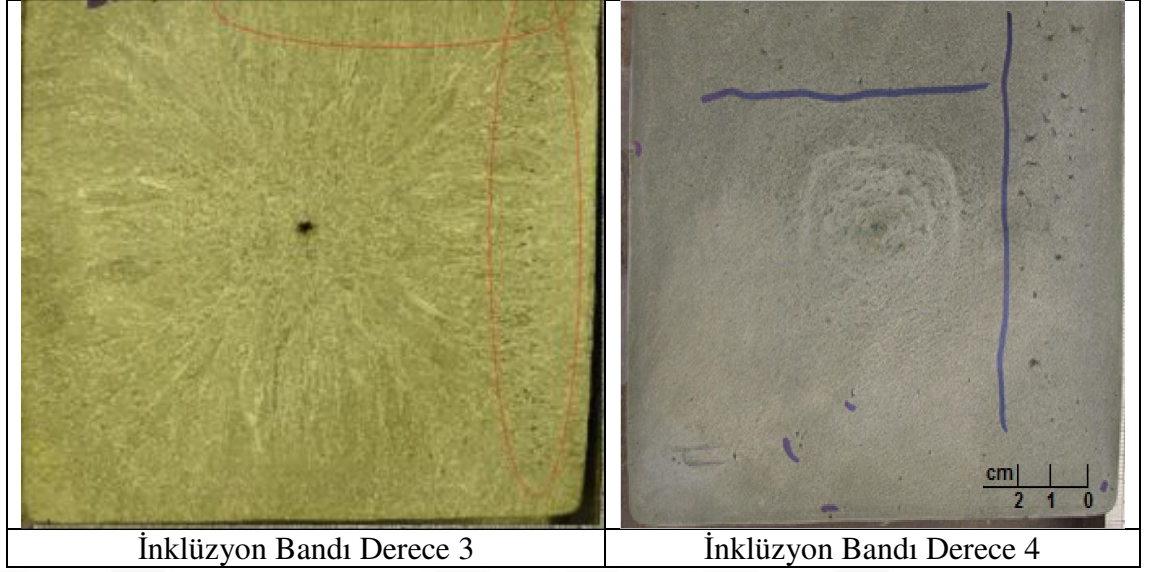
Gaz Boşluğu Derecesi	Gaz Boşluğu Sayısı (Adet)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	<6	Az Kusurlu
3	<10	Orta Kusurlu
4	>10	Çok Kusurlu

Deokside olmamış çelik kusurun temel sebebidir. Sıvı çeliğin yeteri derecede deokside edilmemesi ve sıvı çelik içerisinde fazla miktarda gaz (oksijen, hidrojen vb. gibi) bulunması kusurun ortaya çıkmasına sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca nemli olan refrakter, döküm tozu ve sarf malzemelerin kusur için diğer sebepler olduğu görülmüştür.

4.3.1.5. İnküzyon Bandı (İç Yapı İnküzyon)

Üretilen kütüğün alt kenarına yakın birkaç mm çaplı noktasal inküzyonların yol açtığı yapıdır. İnküzyon bandı genellikle açık dökümlerde görülür. Bu band haricinde gelişmiş güzel dağılmış inküzyonlarda kütük makrosunda görülebilir. Pota metalurjisi kaynaklı olduğu gibi sürekli döküm esnasındaki proses uygunsuzluklarında ve reoksidasyon durumunda oluşabilir. İnküzyon görülen dökümleri açık döküm veya kapalı döküm olarak farklı kalitelendirmek gereklidir. İnküzyon bandı açık dökümlerde çok sık görülen olağan bir kusur olmasına karşın kapalı dökümlerde görülmemesi gerekir.





Şekil 4.10. İnklüzyon bandı makro resimleri

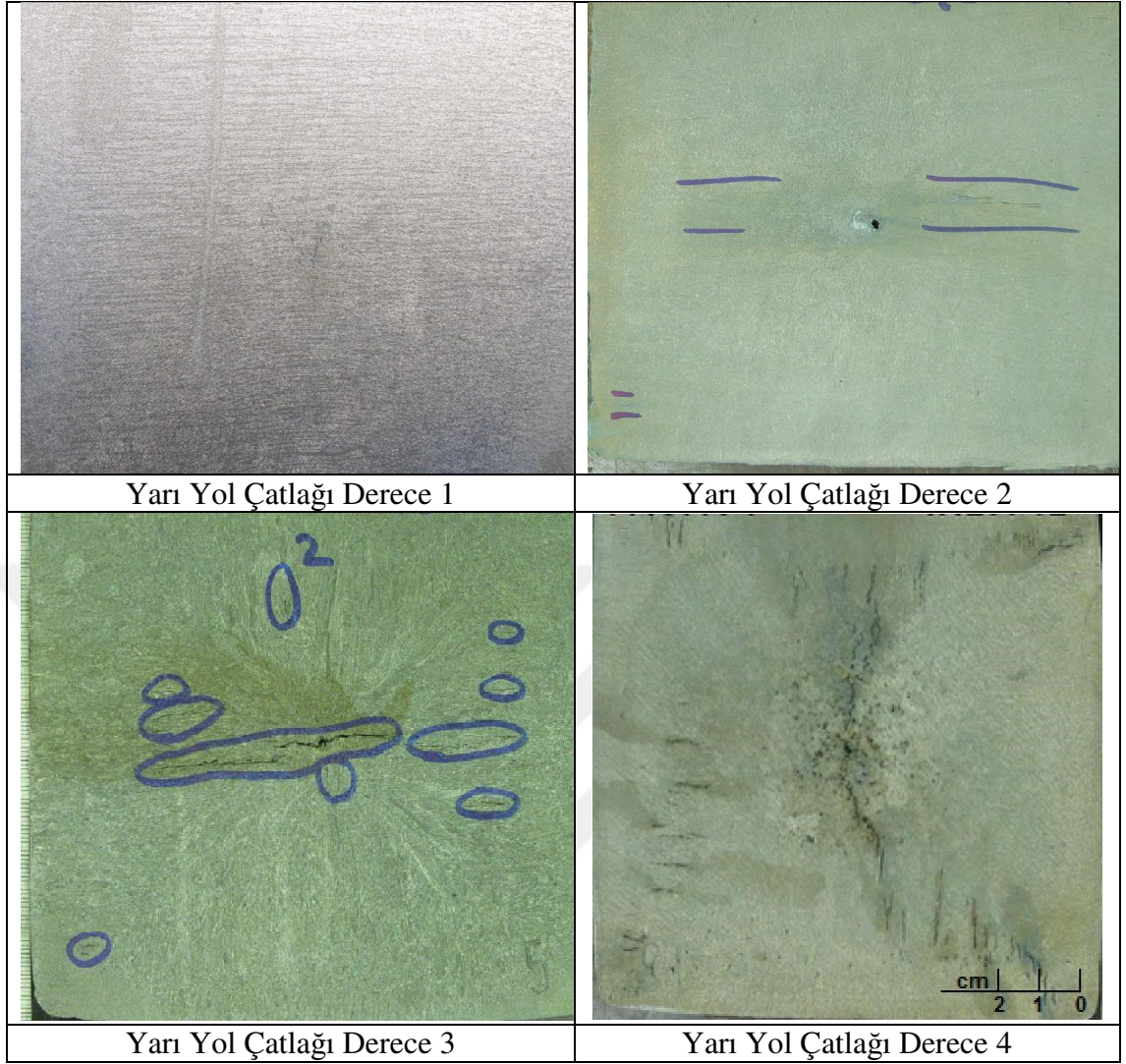
Çizelge 4.5. İnklüzyon bandı kusur derecelendirmesi

İnklüzyon Bandı Derecesi	İnklüzyon Sayısı (Adet)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	< 2	Az Kusurlu
3	< 5	Orta Kusurlu
4	> 5	Çok Kusurlu

Temel sebep reoksidasyondur. Çeliğin tamamen katılaşmasına kadar olan tüm aşamalarında reoksidasyonun mümkün olduğunca meydana gelmesi engellenmelidir. Diğer sebeplerin ise döküm tozu ve çelik yapım prosesi olduğu görülmüştür.

4.3.1.6. Yarı Yol Çatlağı

Kütük merkezine yakın birkaç mm ile birkaç cm arasında değişebilen kılcal çatlaklardır. Kütük makrosu incelenirken makro numunesinin standart ebatlarda olması gereklidir. Rombik, dışbükey veya iç bükey olan kütük makrolarında da yarı yol çatlakları görülebilmektedir. Bu nedenle yarı yol çatlaklı makro incelemesi için alınan numunenin standart ölçüler içerisinde olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.11. Yarı yol çatlağı makro resimleri

Çizelge 4.6. Yarı yol çatlağı kusur derecelendirmesi

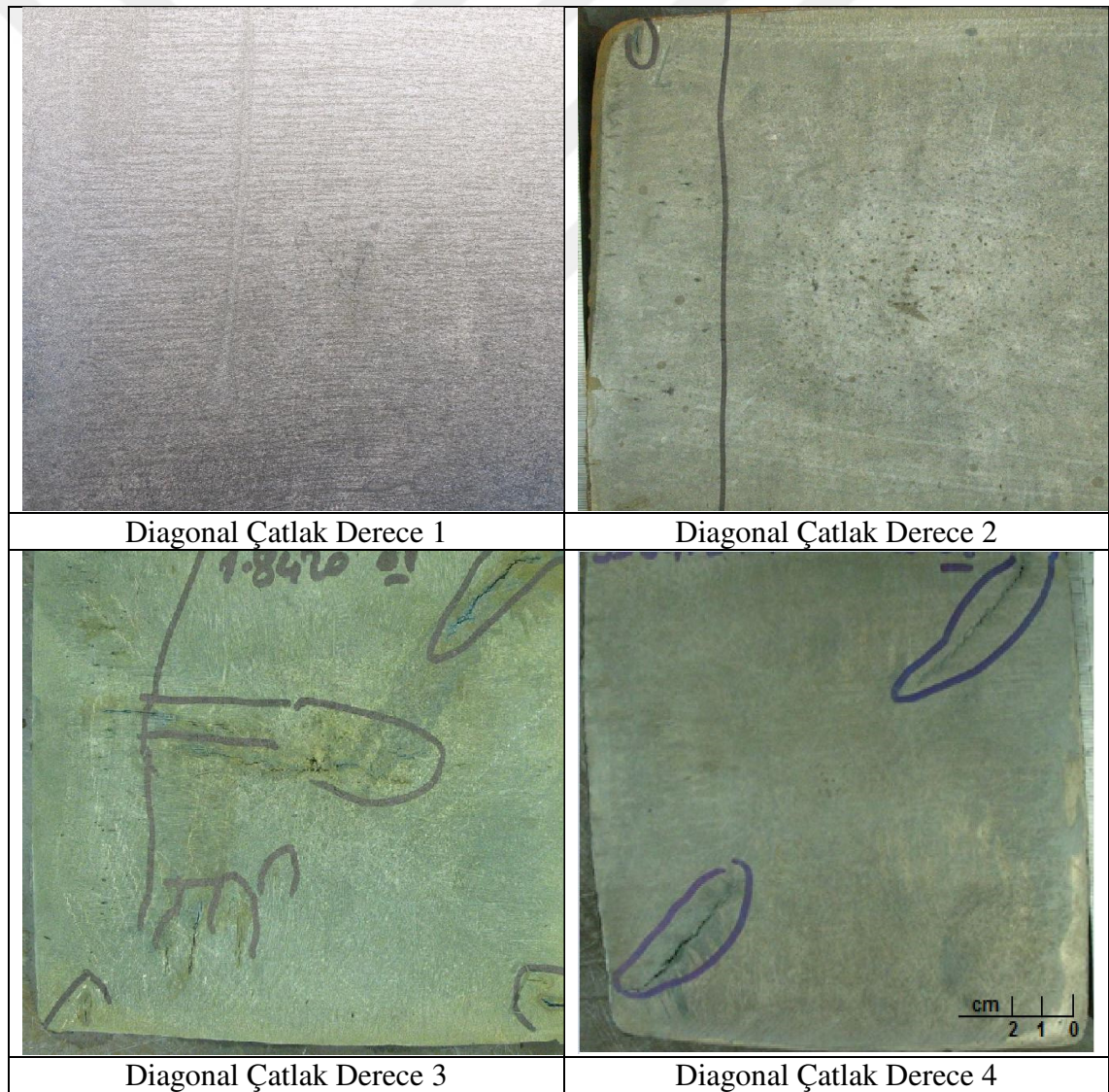
Yarı Yol Çatlağı Derecesi	Çatlak Sayısı (Adet)	Çatlak Açıklığı (mm)	Çatlak Boyu (mm)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	0	0	Kusursuz
2	<3	<0.5	5	Az Kusurlu
3	<10	<1	5	Orta Kusurlu
4	>10	<2	5	Çok Kusurlu

Yüksek spray soğutma temel sebeptir. İkincil soğutma olarak bilinen sprej soğutma şiddetinin yüksek olması, kütük merkezinde çatlak şeklinde kusura yol açtığı görülmüştür. Çelik kalitesine ve döküm makine özelliklerine uygun ikincil soğutma

seçimi ile kusur en aza indirilebilir. Diğer sebep ise tıkalı spray boru veya nozulların, yeniden tavlama müsaade etmesidir. İkincil soğutma bölgesi ekipmanlarının uygun soğutmayı yapacak şekilde olmasının sağlanması gerekmektedir.

4.3.1.7. Diagonal Çatlak

Kütük köşelerine yakın köşegene paralel olarak merkeze doğru uzanan kılcal çatlaklardır. Sürekli döküm parametrelerine bağlı olarak oluşabileceği gibi döküm analizi ile de ilişkilidir. Bu çatlakların varlığı çok şiddetli olduğunda makro inceleme yapılmadan da kütük alın kesitinin şeklinden anlaşılabilir.



Şekil 4.12. Diagonal çatlak makro resimleri

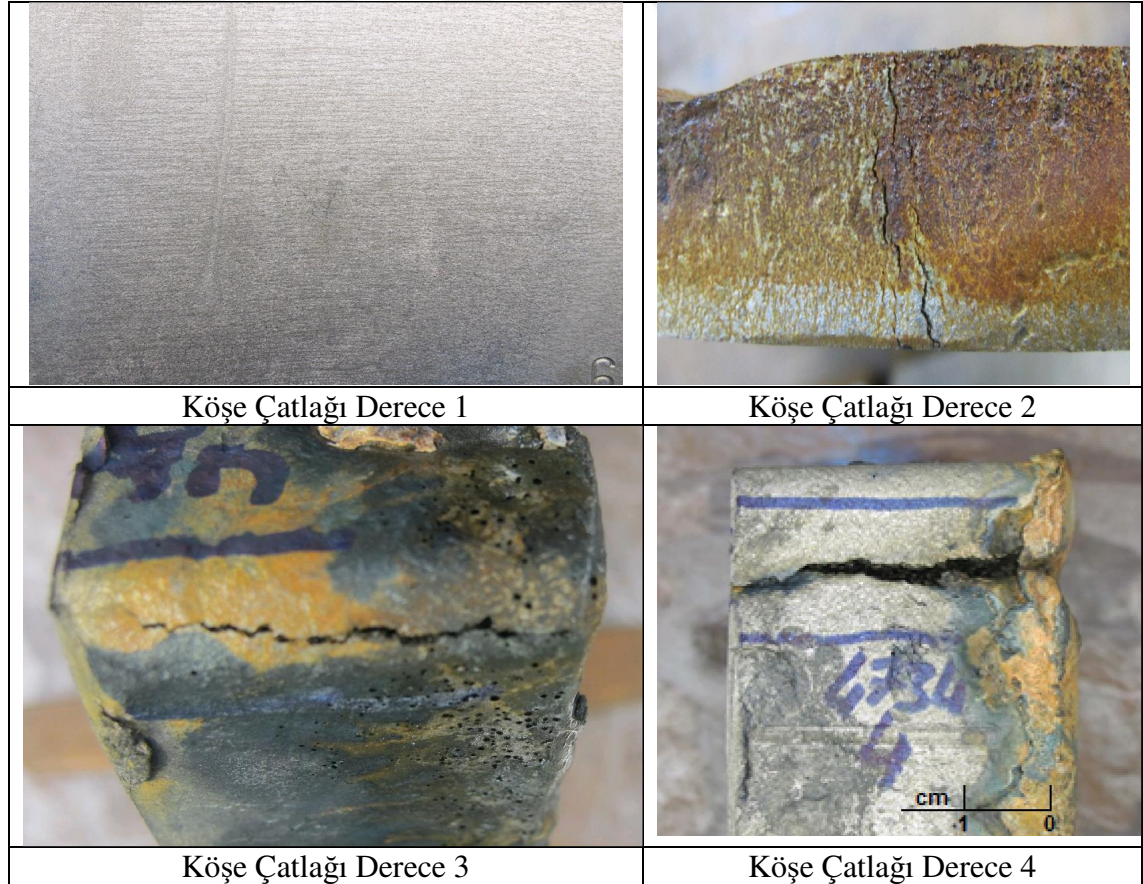
Çizelge 4.7. Diagonal çatlak kusur derecelendirmesi

Diagonal Çatlak Derecesi	Çatlak Boyu (mm)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	<2	Az Kusurlu
3	<3	Orta Kusurlu
4	>3	Çok Kusurlu

Temel sebebin rombiklik olduğu görülmüştür. Rombik kusur sebepleri ile birlikte düşünülmelidir.

4.3.1.8. Köşe Çatlağı

Kütük yüzeyinde görülen boyuna kılcal çatlaklardır. Bu çatlaklar tek bir kütükte birkaç cm olduğu gibi aynı kanaldan üretilen tüm kütükler boyunca da görülebilir.



Şekil 4.13. Köşe çatlağı makro resimleri

Çizelge 4.8. Köşe çatlağı kusur derecelendirmesi

Köşe Çatlağı Derecesi	Çatlak Genişliği (mm)	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	<0.5	Az Kusurlu
3	<2	Orta Kusurlu
4	>2	Çok Kusurlu

Köşe çatlağı kusuru hafif olduğu durumlarda yalnız asitlenmiş makro numunelerinde görülebilir. Makro numunesinde orta kusurlu ve alt derecesinde görülen köşe çatlaklarına ait diğer kütükler stok sahalarında görsel olarak kontrol edilmelidirler. Görsel kontrol sonrası tespit edilen çatlak kütükler olur ise bu kütüklerin çatlak genişliklerine göre yeniden derecelendirme yapılmalıdır.

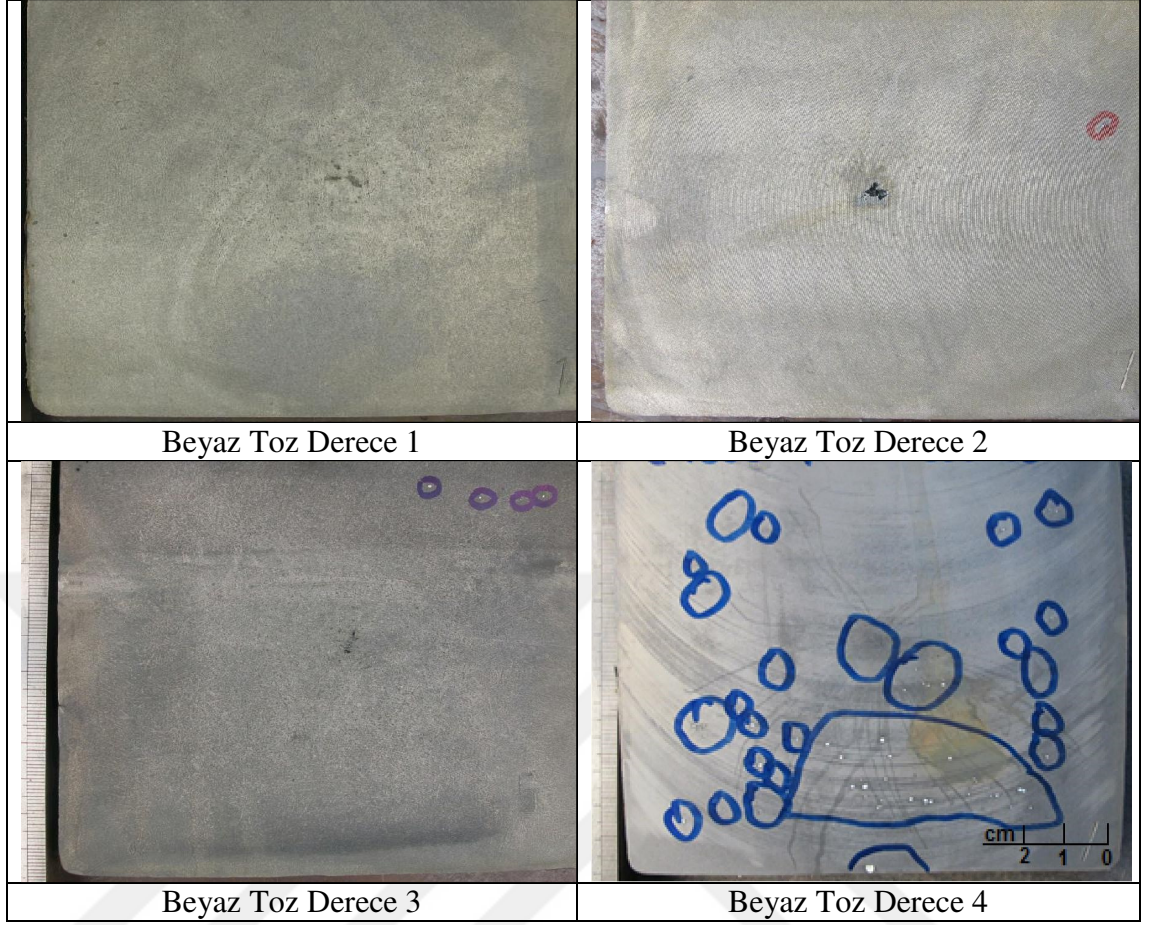
Yıpranmış kalıp temel sebeptir. Kalıp yüzeyindeki pürüzlerin ve kalıp içerisinde bulunan köşeli çiziklerin bu kusura sebep olduğu görülmüştür. Değişken ısı transferi de yeniden tavlama ve çatlak oluşumuna imkan tanır.

Ayrıca kusurun ortaya çıkmasında S ve Mn gibi elementlerinde etkili olabileceği görülmüştür. Kimyasal özelliklere bağlı olduğu gibi mekanik nedenlerden de oluşabildiği görülmüştür (Ilgaz, 1977).

4.3.1.9. Beyaz Toz

İnklüzyon kusuruna benzer olup beyaz renginden dolayı beyaz toz olarak ifade edilerek ayrılır. Noktasal inklüzyonların kütük makrosu yüzeyinde dağınık halde bulunması şeklinde gözükmektedir. Noktasal inklüzyonlar toplu iğne ucu büyüklüğünde olduğu gibi 1 mm çaplı olarak da makro içerisinde bulunabilir.

Beyaz toz kusuru numune içerisinde birkaç adet bulunduğu gibi çok yoğun bir şekilde dağılmış olarakta görülebilir. Özellikle alaşımli yüksek karbonlu çeliklerde görülmektedir.



Şekil 4.14. Beyaz toz makro resimleri

Çizelge 4.9. Beyaz toz kusur derecelendirmesi

Beyaz Toz Derecesi	Beyaz Toz Adeti	Kusur Derecelendirmesi
1	0	Kusursuz
2	< 2	Az Kusurlu
3	< 5	Orta Kusurlu
4	> 5	Çok Kusurlu

Çelik kirliliği kaynaklı olabileceği gibi kullanılan SEN (Submerged Entry Nozzle) malzemesindeki aşınma, delinme vb. sebeplerle menisküs bölgesinin hareketliliğinin artması ile kirliliğin, çelikte kusur olarak görünmesine sebep olur. Diğer olası sebeplerin;

- yoğun miktarda kalıptaki curuf, döküm tozu ve inklüzyonların; katılaştan çeliğin içine hapsolmesi,

- döküm tozunun, curufu tutmak yerine daha çok curuf oluşturması olduğu görülmüştür.

4.3.2. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Kusurları

DeneySEL çalışmanın yapıldığı dönemde karşılaşılan yüzey kalitesi ve yüzey kusurları 4 grupta değerlendirilmiştir. Yüzey kalitesi ve yüzey kusurları;

- Ekli Kütük,
- Kanamalı Kütük,
- Eğri Kütük,
- Delik Kütük,

olmak üzere dört grupta incelenmiştir.

4.3.2.1. Ekli Kütük

Sürekli döküm esnasında kanama, tıkanma gibi kanalda dökümün bitirilmesine sebep olabilecek durumlarda devam eden kütüğün son kısmına üretim devamı amaçlı tekrar çelik akışı sağlanarak meydana gelen kusurdur. İki farklı kütüğün uç uca eklenerek kaynak yapılmış hali şeklinde görüntüsü vardır.



Şekil 4.15. Ekli kütük resmi (Anonim, 2016)

Kusurun derecelendirilmesi: Ekli kütük tabir edilen kütükteki kusur ilk 1 metre içerisinde kalıyor ise bu kütükten kusurlu bölge kesilerek kütük boy kısa şekilde değerlendirilir.

Kusur ilk metre içerisinde kalmıyor ve kusur kalınlığı 20 mm olup köşelerde herhangi bir çatlak görülüyor ise kütük ikinci sınıf yapılıdır.

Kusur yine ilk metre içerisinde kalmıyor ve kusur kalınlığı 20 mm'den büyük veya köşelerde çatlaklar görülüyor ise kütük hurda yapılıdır.

Bu kusurun olduğu kısım, katılaşma için uygunsuz bir bölge olur. Bu kusurun meydana gelmesinin iş güvenliği açısından da ciddi riskler oluşturduğu görülmüş olup kütüğün son kısmına üretimin devamı için tekrar çelik akışı yapılmamalıdır.

4.3.2.2. Kanamalı Kütük

Sürekli döküm esnasında kalıp içerisinde katılaşan kabuğun kalıba yapışması veya kalıbın yırtılarak içerisindeki sıvı çeliğin bu kabuktan dışarı akması kusuruna kanama adı verilmektedir. Kanama kusuru kütük üzerinde net bir şekilde fark edilir. Kütük yüzeyinde süreksizlik ve dalgalı yapı olarak veya dışarı akan sıvı çelik nedeniyle katılaşmış bozuk bir yapı kendini gösterir.



Şekil 4.16. Kanamalı kütük (Anonim, 2016)

Temel sebeplerinin çelik analizi ve sıcaklığı, kalıp, soğutma ve kanal merkezleme uygunsuzluğu ile çekme-doğrultma sistemi kaynaklı olduğu görülmüştür.

Kusurun derecelendirilmesi: Kusur ilk 1 metre içerisinde kalıyor ise bu kütükten kusurlu bölge kesilerek kütük boy kısa şeklinde değerlendirilir.

Kusur ilk metre içerisinde kalmıyor ve kusur kalınlığı 20 mm olup köşelerde herhangi bir çatlak görülüyor ise kütük ikinci sınıf yapılıdır.

Kusur yine ilk metre içerisinde kalmıyor ve kusur kalınlığı 20 mm'den büyük veya köşelerde çatlaklar görülüyor ise kütük hurda yapılıdır. Kanama sonrası sıvı çelik kusur etrafında birikinti oluşturmuş ve kütüğün hadde fırınına girmesini engelliyor ise kütük aynı şekilde hurda yapılıdır.

4.3.2.3. Eğri Kütük

Doğrusallıktan sapma olarak ifade edilir. Kütüğün üretimi esnasında veya üretimi sonrasında hatlarda yürümesi sırasında veya vinçten düşmesi sonrasında eğilmesi şeklindedir. Hadde fırınına giremeyecek eğrilikte olan kütükler hurda yapılıdır.

Çelik analizi ve sıcaklığı, soğutma ve kanal merkezleme uygunsuzluğu, kütüğün homojen şekilde soğutma ızgarasında ilerletilememesi ve manipülasyonlar sebebiyle oluştuğu görülmüştür.

4.3.2.4. Delik Kütük

Kütüğün herhangi bir alınında görülen merkez çekilme boşluğu kaynaklı oluşumdur. Kütük alınına bakıldığında boşluk görülmektedir. Bu boşluk 5 mm'den büyük ise kütük ikinci sınıf yapılıdır. Delik büyüklüğü 30 mm'yi geçiyor ise kütük hurda yapılıdır.



Şekil 4.17. Delik kütük görünümü

Çelik sıcaklığı ve döküm hızının yüksekliği temel sebebi olup merkez çekilme boşluğunun artarak üretim anında dahi gözle görülür hale gelmesi durumudur. Merkez çekilme boşluğunun kusur sebepleri ile birlikte düşünülmelidir.

4.3.3. Şekil ve Ebat Kusurları

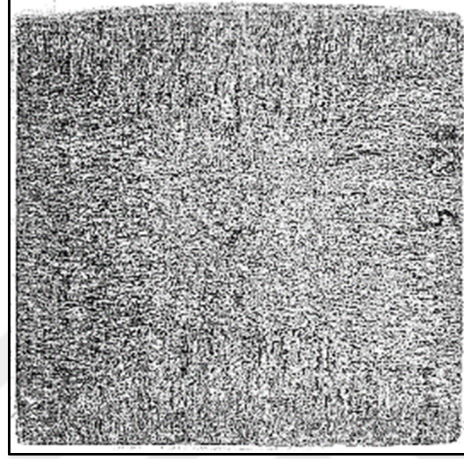
Deneyisel çalışmanın yapıldığı dönemde karşılaşılan şekil ve ebat kusurları 7 grupta değerlendirilmiştir. Şekil ve ebat kusurları;

- Dış Bükey,
- İç Bükey,
- Kambur,
- Burulma,
- Rombik,
- Boy Kısa,
- Boy Uzun,

olmak üzere yedi grupta incelenmiştir.

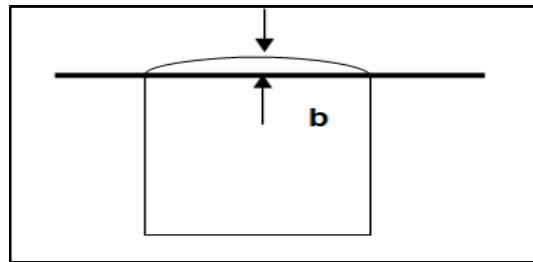
4.3.3.1. Dış Bükey

Kütük yüzeyi boyunca görülen dışa doğru şişmedir. Tek bir yüzeyde görüldüğü gibi diğer yüzeylerde de iki taraflı görülebilir. Dış bükeylik ölçümü için köşeye teğet olacak şekilde cetvel konularak şişme miktarı ölçülür. Bu değer dış bükeylik değeridir.



Şekil 4.18. Dış bükey görünümü

Dışbükeylik yüzde olarak ifade edilmekte olup tüm kesitler için genellikle yaklaşık olarak % 2.5 kabul edilebilir. Bu değer şişme ölçüsü b 'nin, anma kesiti ölçüsüne bölümü ile bulunur. Dış bükeylik değeri tek yüzeyi ifade etmektedir. Her iki yüzeyde görülen dış bükeylik durumunda diğer yüzey için tekrar hesaplama yapmak gerekecektir.

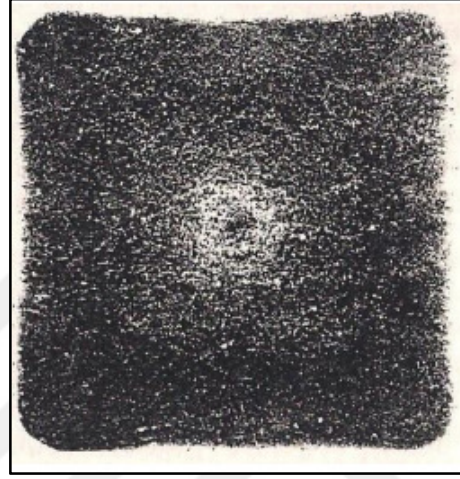


Şekil 4.19. Dış bükey ölçümü

Yüksek döküm hızı temel sebeptir. Diğer faktör ise katılaştıran kabuğun direncini etkileyebilecek çelik analizi olabilir. Oluşturulan kabuk kalınlığının içerideki sıvı çeliğin ferostatik basıncını karşılayamaması sonucu kusur görülmektedir.

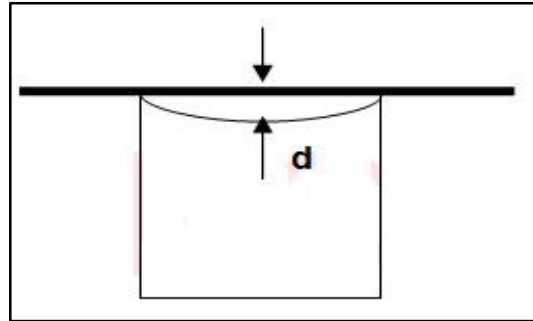
4.3.3.2. İç Bükey

Kütük yüzeyi boyunca görülen içe doğru çökmedir. Tek bir yüzeyde görüldüğü gibi diğer yüzeylerde de iki taraflı görülebilir. İç bükeyliğin ölçümü için köşeye teğet olacak şekilde cetvel konularak arada kalan boşluk miktarı ölçülür. Bu değer iç bükeylik değeridir.



Şekil 4.20. İç bükey görünümü

İç bükeylik yüzde olarak ifade edilmekte olup tüm kesitler için genellikle yaklaşık olarak % 2.5 kabul edilebilir. Bu değer çökme ölçüsü d 'nin, anma kesiti ölçüsüne bölümü ile bulunur. İç bükeylik değeri tek yüzeyi ifade etmektedir. Her iki yüzeyde görülen iç bükeylik durumunda diğer yüzey için tekrar hesaplama yapmak gerekecektir.

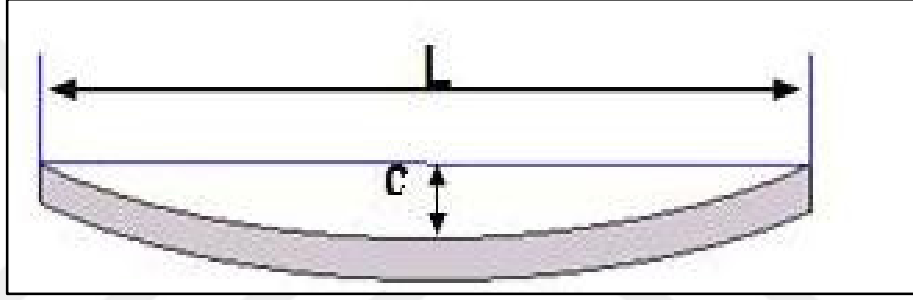


Şekil 4.21. İç bükey ölçümü

Düşük döküm hızı temel sebeptir. Döküm esnasında ikincil soğutmanın uygun olmayışı ve ikincil soğutma bölgesindeki rollerin kütük üzerine fazla basınç yapmasının kusurun ana sebepleri olduğu görülmüştür.

4.3.3.3. Kambur

Kütük uzunluğu boyunca meydana gelen eğriliktir. Kütüklerde eğrilik kütük boyunun en fazla % 1 i kadardır. Kütük düz bir alana bırakılarak alınlarında gerilen ipin oluşturduğu “c” kadar kamburluk ölçüsü kütük boyuna bölünerek % si hesaplanır. Hadde fırınına giremeyecek boyutta olan eğri kütükler hurda yapılır.

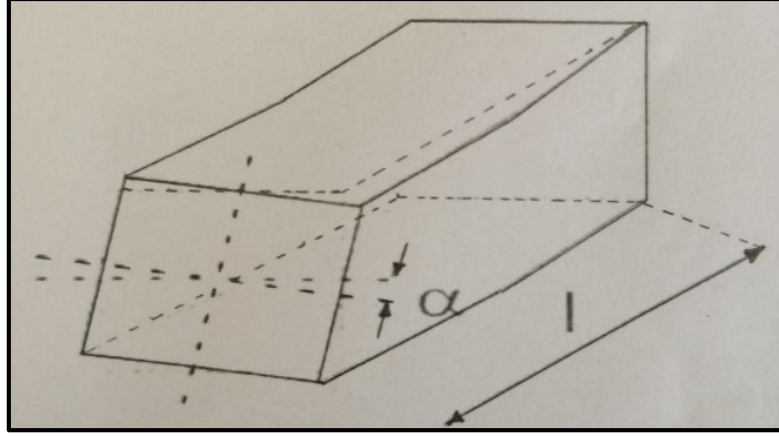


Şekil 4.22. Kambur ölçümü

Kütüğün homojen şekilde soğutma ızgarasında ilerletilememesi ve manipülasyonlar bu kusurun temel sebebi olarak görülmüştür. Ayrıca çelik analizi, çelik sıcaklığı, ikincil soğutma ve kanal merkezleme uygunsuzlularında bu kusura sebep olduğu görülmüştür.

4.3.3.4. Burulma

Kütük alnında görülen kare kesitli şeklin kütük uzunluğu boyunca doğruluğudur. Düz bir yüzey üzerine yatırılan kare kesitli çelik kütüğün düz yüzeyle arasında kalan en büyük açıdır. Anma kesitine bakılmaksızın metrede en fazla 1° ye izin verilebilmektedir. Metrede 1° yi geçen kütükler ikinci sınıf yapılmaktadır. Hadde fırınına giremeyecek şekilde burulmuş kütükler hurda yapılmaktadır.

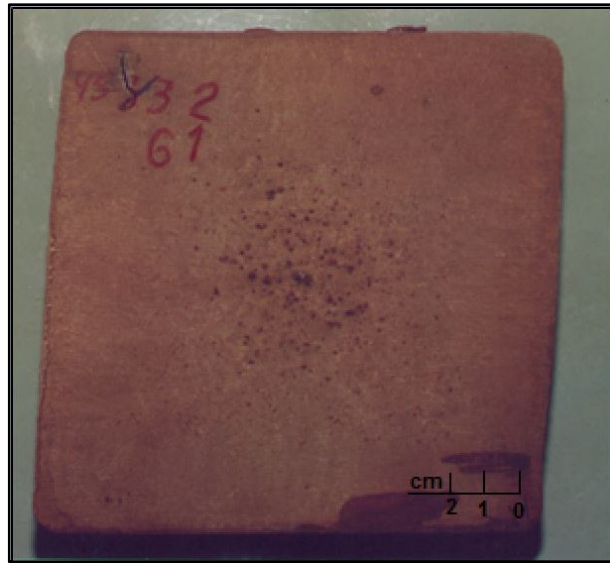


Şekil 4.23. Burulma görünümü

Sıvı çelik, ikincil soğutma, döküm kanallarının merkezleme uygunsuzlukları ve mekanik ekipmanlarının ayarsızlıklarının bu kusura sebep olduğu görülmüştür.

4.3.3.5. Rombik

Kütüklerde köşegenler arasındaki farkın sonucu oluşan şekil kusurudur. Kütüğün her iki köşesi kumpas ile ölçülür ve aşağıdaki tabloya göre hesaplanır. Bu ölçüm için kütük altına dik şekilde bakılması gerekir. Bu ölçüm sıcak ve soğuk kütüklerde yapılabilir.

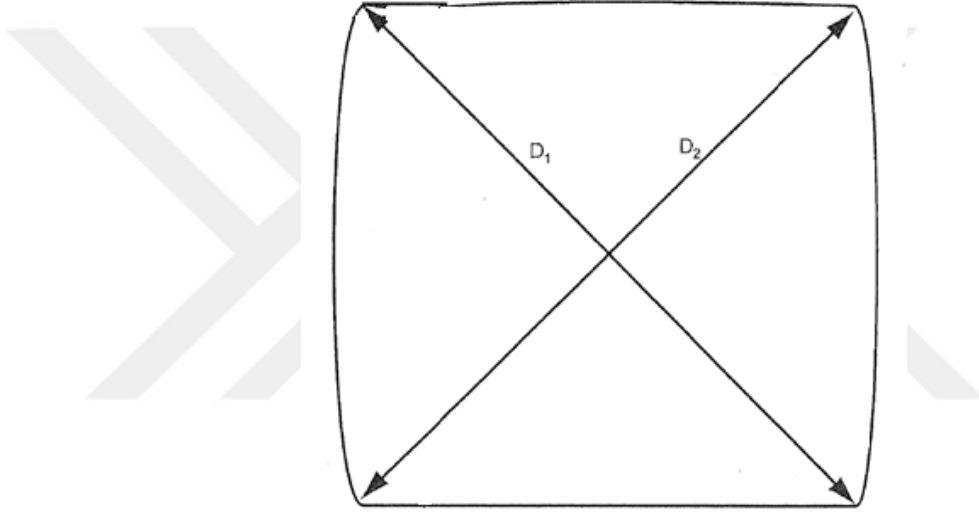


Şekil 4.24. Rombik görünümü

Temel sebep yıpranmış kalıp ve kalıp altı rolelerinin iyi ayarlanmamış olmasıdır. Uygun katılaşmaya müsaade etmeyen kalıptaki kusurlar rombik oluşumuna katkıda bulunur. Aşınmış, geometrisi bozulmuş, üniform olmayan ısı transferine sebep olan kalıp rombik oluşumunu tetiklemektedir.

Rombik kusuruna etki eden diğer temel faktör ise katılaşan kabuğun direncini etkileyebilecek çelik analizidir. Mn, S, Si, diğer alaşım elementleri rombik hassasiyetini artırmaktadır.

Ayrıca sıvı çelik sıcaklığı, birincil ve ikincil katılaşmanın etkisi, ekipmanların sebep olabileceği durumlar nedeniyle de rombik oluşumu görülmüştür (İlgaz, 1977).



Şekil 4.25. Rombik şekilsel gösterimi

Çizelge 4.10. Köşegen uzunluğu

Olması Gereken Köşegen Uzunluğu (mm)	Kesit Alanı (mm)	Köşegen Farkı (D₁-D₂) (mm)	Rombiklik %
141	100 X 100	7	
156	110 X 110	8	
170	120 X 120	8	
184	130 X 130	9	%5
212	150 X 150	10	
226	160 X 160	11	

4.3.3.6. Boy Kısa

Döküm makinasında üretilen kütüklerin istenilen boydan daha kısa olarak kesilmesi sebebiyle meydana gelen kusurdur. Kütük boy ölçümü her iki alın arası ölçüdür. Genellikle kabul edilen yaklaşık değer - 100 mm'dir.

Operatörün sisteme yanlış veri (kesme boyu bilgisi) girmesi, metraj bilgisi veren sistem arızaları, kanaldan plansız döküm bitmesi, döküm sonu kanalda tamamlanamayan boy ve kesme sistemi arızası sebebiyle manuel kesim arızaları bu kusurun başlıca sebepleridir.

4.3.3.7. Boy Uzun

Döküm makinasında üretilen kütüklerin istenilen boydan daha uzun olarak kesilmesi sebebiyle meydana gelen kusurdur. Kütük boy ölçümü her iki alın arası ölçüdür. Genellikle kabul edilen yaklaşık değer + 100 mm'dir.

Bu kusurun da boy kısa kusurunda görüldüğü gibi operatörün sisteme yanlış veri (kesme boyu bilgisi) girmesi, metraj bilgisi veren sistem arızaları, kanaldan plansız döküm bitmesi, döküm sonu kanalda tamamlanamayan boy ve kesme sistemi arızası sebebiyle manuel kesim arızaları bu kusurun başlıca sebepleridir. Bu kusur kütüklerin hat sonunda bulunan kesme stentleri sayesinde istenen boyda kesilmesi ile giderilebilir (Anonim, 2017).

4.4. Uzun Ürün Kusur Verileri ve Grafikleri

Sürekli Döküm prosesinde üretim süresince; ürün kusurlarının tespiti için gözle, ön kontrol veya nihai karar amacıyla her bir kütük gözlemci personel tarafından kontrol edilmiş ve raporlanmıştır. Dökümü yapılan herbir potadan da makro numune alınmıştır. İhtiyaç halinde bu numuneden mikro incelemede yapılmıştır.

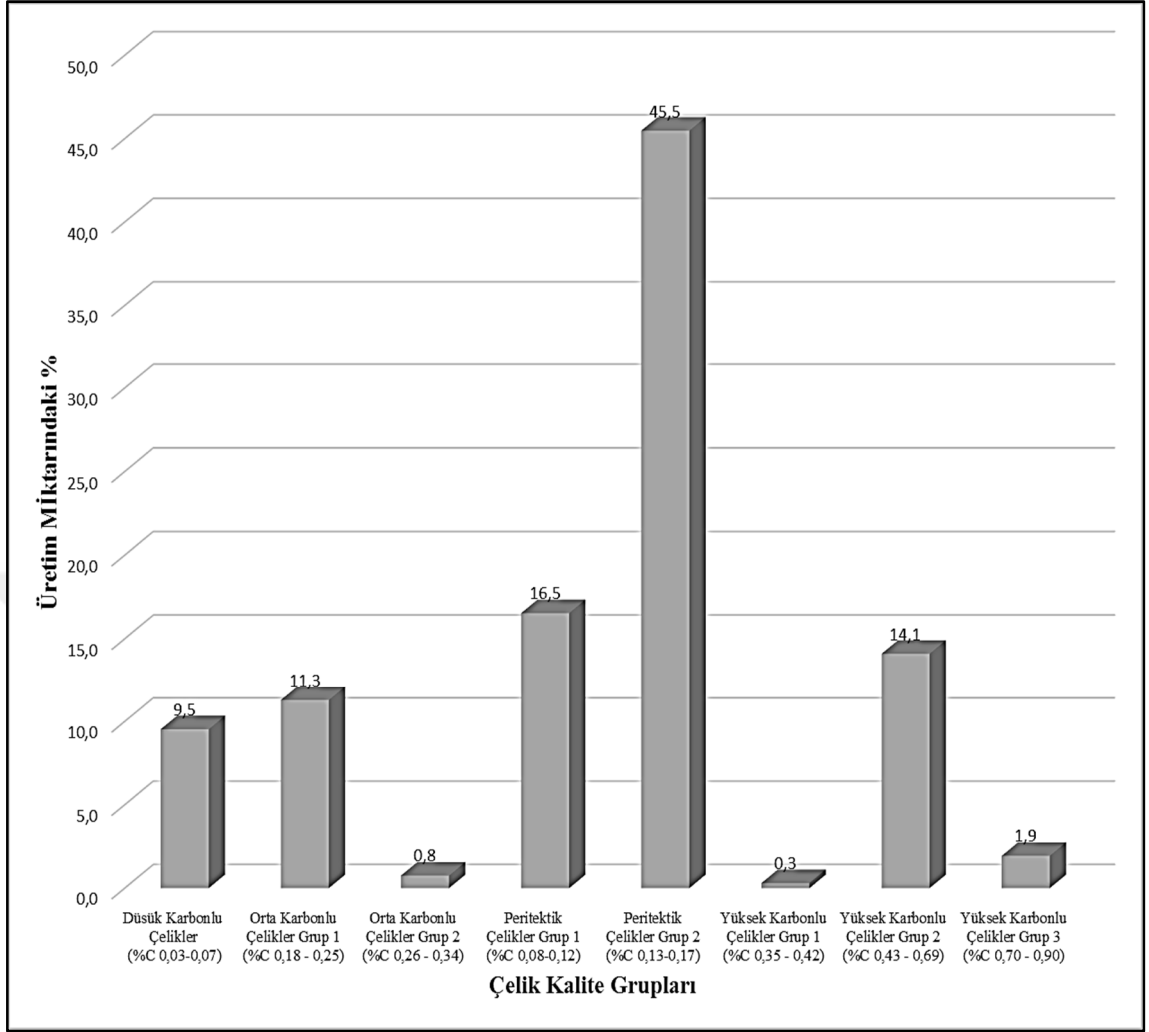
Deneyisel çalışma süresince ürün kusurlarını içeren numunelerin incelenmesi sonucunda;

- “çelik grubu bazlı % üretim dağılımı” grafiği Şekil 4.26’da,
- “kalite bazlı % kusur dağılımı” grafiği Şekil 4.27’de,
- “ürün kusuru % dağılım grafiği” ‘de Şekil 4.28’de verilmiştir.

Dönem boyunca üretilen çelik grupları ise Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Dönem boyunca üretilen çelik grupları

Çelik Kalite Grupları	%C
Düşük Karbonlu Çelikler	(%C 0,03 - 0,07)
Orta Karbonlu Çelikler Grup 1	(%C 0,18 - 0,25)
Orta Karbonlu Çelikler Grup 2	(%C 0,26 - 0,34)
Peritektik Çelikler Grup 1	(%C 0,08 - 0,12)
Peritektik Çelikler Grup 2	(%C 0,13 - 0,17)
Yüksek Karbonlu Çelikler Grup 1	(%C 0,35 - 0,42)
Yüksek Karbonlu Çelikler Grup 2	(%C 0,43 - 0,69)
Yüksek Karbonlu Çelikler Grup 3	(%C 0,70 - 0,90)

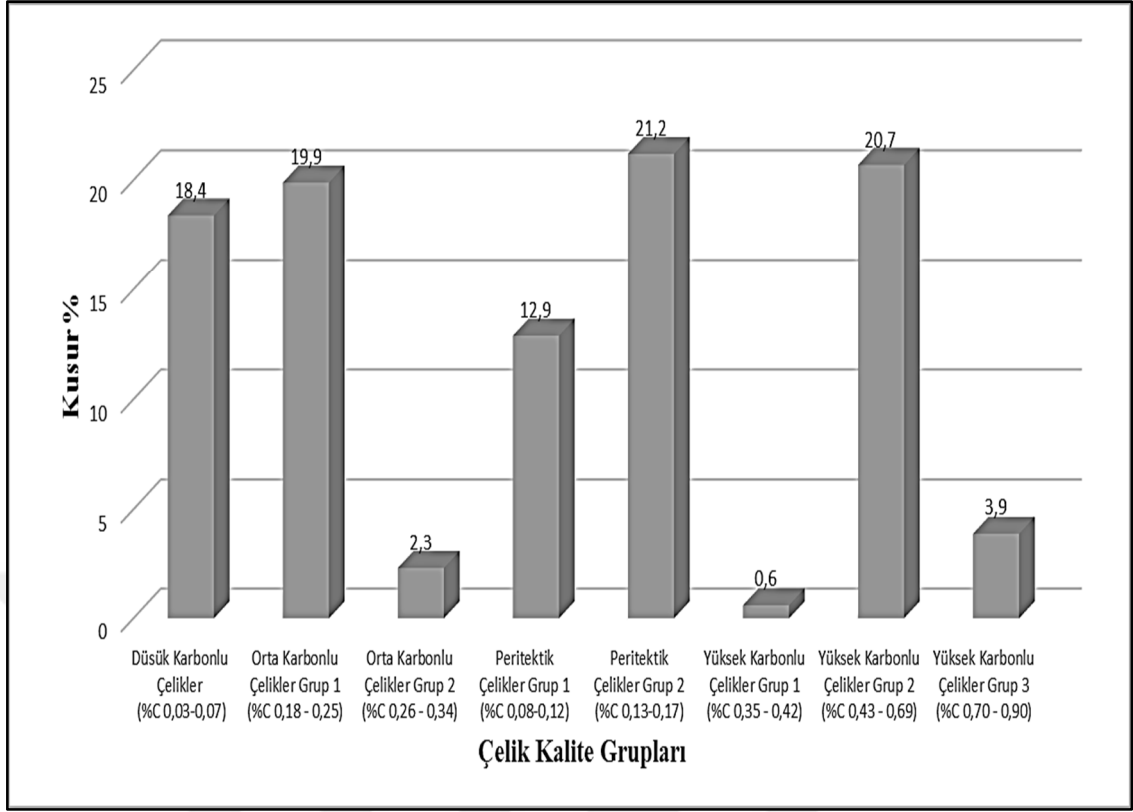


Şekil 4.26. Döneme ait çelik grubu bazlı % üretim dağılımı grafiği

Şekil 4.26’da görüleceği üzere dönem boyunca üretilen çelik grupları;

- % 9,5 düşük karbonlu çelikler,
- % 11,3 orta karbonlu çelikler grup 1,
- % 0,8 orta karbonlu çelikler grup 2,
- % 16,5 peritektik çelikler grup 1,
- % 45,5 peritektik çelikler grup 2,
- % 0,3 yüksek karbonlu çelikler grup 1,
- % 14,1 yüksek karbonlu çelikler grup 2,
- % 1,9 yüksek karbonlu çelikler grup 3,

olarak gerçekleşme göstermiştir. En fazla üretim “peritektik çelikler grup 2 (%C0,13 - 0,17)’de olmuştur.

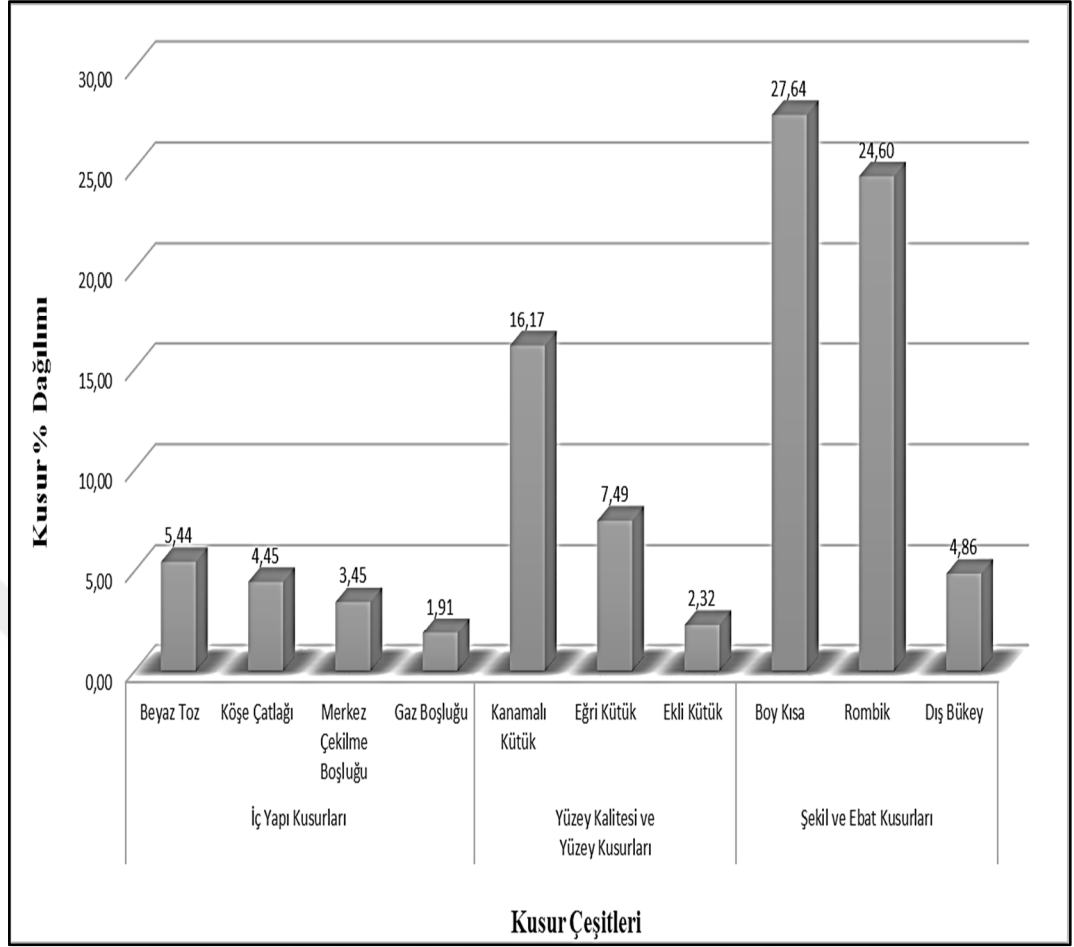


Şekil 4.27. Döneme ait kalite bazlı % kusur dağılımı grafiği

Şekil 4.27’de görüleceği üzere dönem boyunca üretilen çelik gruplarının kusur dağılımı;

- % 18,4 düşük karbonlu çelikler,
- % 19,9 orta karbonlu çelikler grup 1,
- % 2,3 orta karbonlu çelikler grup 2,
- % 12,9 peritektik çelikler grup 1,
- % 21,2 peritektik çelikler grup 2,
- % 0,6 yüksek karbonlu çelikler grup 1,
- % 20,7 yüksek karbonlu çelikler grup 2,
- % 3,9 yüksek karbonlu çelikler grup 3,

olarak gerçekleşme göstermiştir. En fazla % kusur “peritektik çelikler grup 2 (%C 0,13 - 0,17)’de olmuştur.



Şekil 4.28. Döneme ait ürün kusuru % dağılımı grafiği

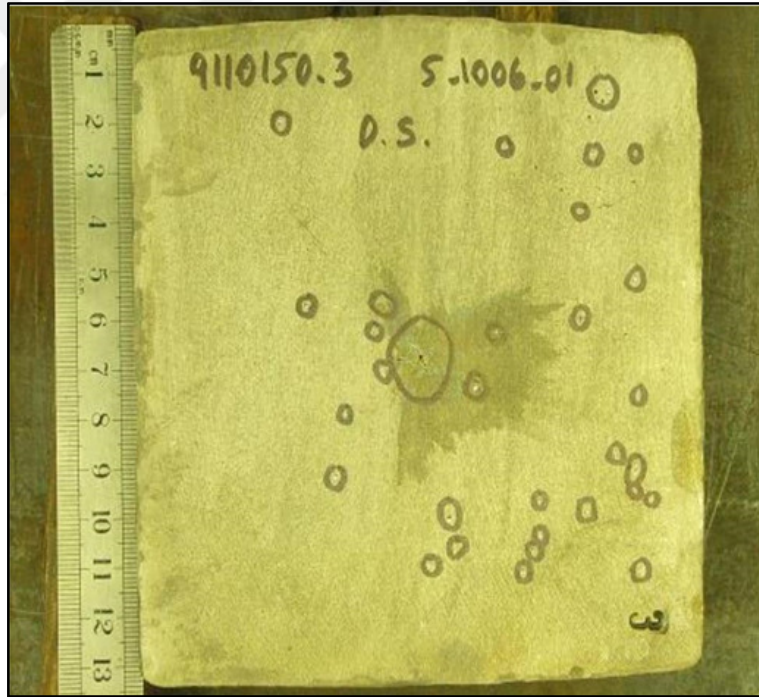
Şekil 4.28’de görüleceği üzere dönem boyunca meydana gelen ürün kusurlarının % dağılımı;

- % 5,44 beyaz toz (197 adet),
 - % 4,45 köşe çatlağı (161 adet),
 - % 3,45 merkez çekilme boşluğu (125 adet),
 - % 1,91 gaz boşluğu (69 adet),
 - % 16,17 kanamalı kütük (585 adet),
 - % 7,49 eğri kütük (271 adet),
 - % 2,32 ekli kütük (84 adet),
 - % 27,64 boy kısa (1000 adet),
 - % 24,60 rombik (890 adet),
 - % 4,86 dış bükey (176 adet)
- olarak gerçekleşme göstermiştir.

Ayrıca, düşük yüzdelerde gerçekleştiği için grafikte gösterilmeyen diğer kusurlar (delik kütük, yarı yol çatlağı, diagonal çatlak, merkez yıldız çatlağı, inklüzyon bandı, merkez segregasyon, iç bükey, kambur, burulma ve boy uzun) toplam % 1,66 (60 adet) olarak gerçekleşme göstermiştir.

4.5. Beyaz Toz Kusurunun İncelemesi

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi inklüzyon kusuruna benzer olup beyaz renginden dolayı beyaz toz olarak ifade edilerek ayrılır. Noktasal inklüzyonların kütük makrosu yüzeyinde dağınık halde bulunması şeklinde görülmektedir. Noktasal inklüzyonlar toplu iğne ucu büyüklüğünde olduğu gibi 1 mm çaplı olarak da makro içerisinde bulunabilir. Beyaz toz kusuru, numune içerisinde birkaç adet bulunduğu gibi çok yoğun bir şekilde dağılmış olarak da görülebilir.



Şekil 4.29. Beyaz toz kusurlu kütük makro resmi

Literatür araştırmasında beyaz toz kusurun aşağıdaki nedenlerden meydana gelebileceği tespit edilmiştir (Concast, 2003).

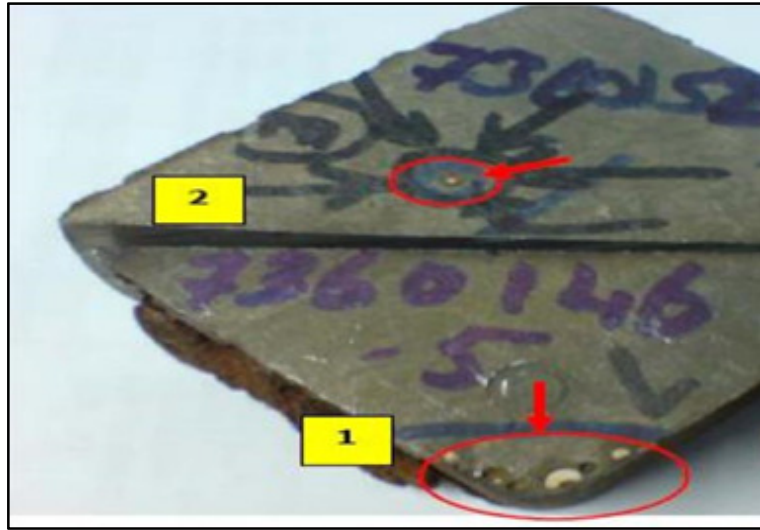
1. Reoksidasyon; Sürekli döküm makinesinde pota ve tandiş arasında, tandiş içerisinde veya tandişle kalıp arasında makro inklüzyon oluşturacak kadar reoksidasyonun meydana gelmesi.

2. Döküm tozunun çelik içerisine hapsolması; SEN (Submerged entry nozzle-daldırma nozulu) malzemesinin kalıpta menisküs bölgesinin altında yeterince dalmaması (daldırma mesafesinin yetersiz oluşu) ile oluşabilecek makro inklüzyon durumu.

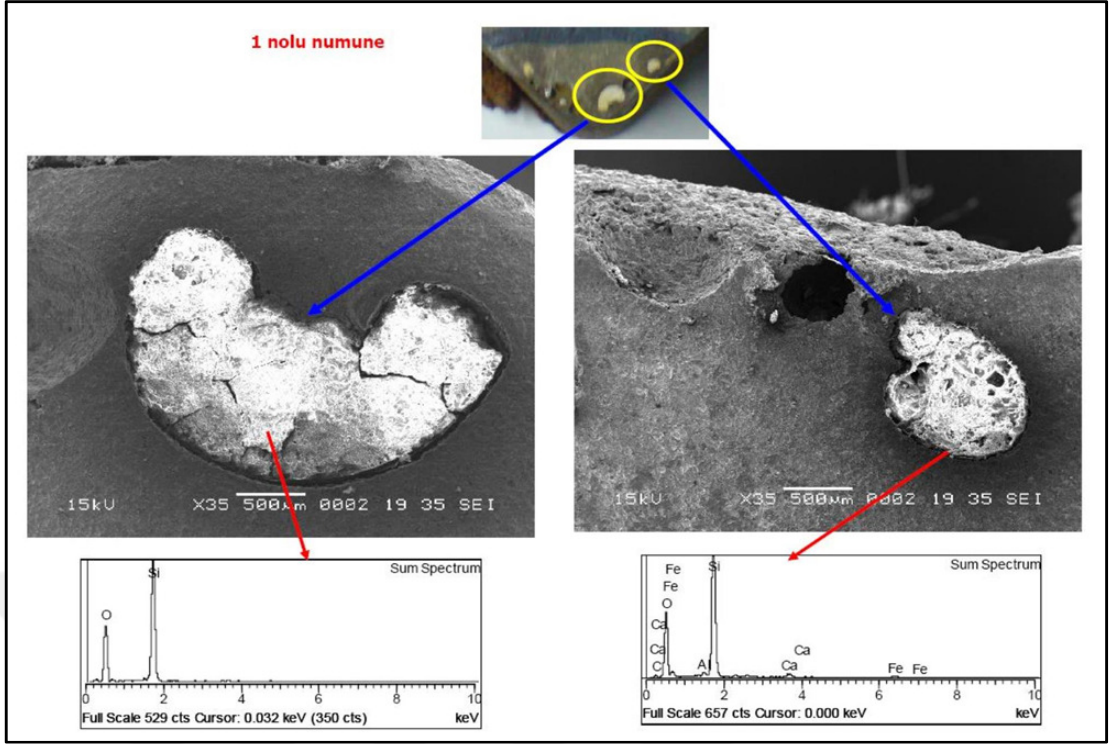
3. Çelik yapım; inklüzyonu oluşturabilir veya inklüzyon miktarını büyük ölçüde uzaklaştırabilir. Tüm ikincil çelik yapım sürecinin doğru kontrolü temiz çelik üretmek için gereklidir.

4. Kusura katkıda bulunan diğer faktör ise refrakter erozyonu inklüzyon problemlerine yol açabilir. Sistemin herhangi bir yerinde olabilir. SEN (Submerged entry nozzle-daldırma nozulu) malzemesinin ve tandişin ön ısıtmasının yeterli olmaması ya da malzemedeki kırılma, bozulma, gibi durumlar çelik içine doğru erozyona sebep olacaktır.

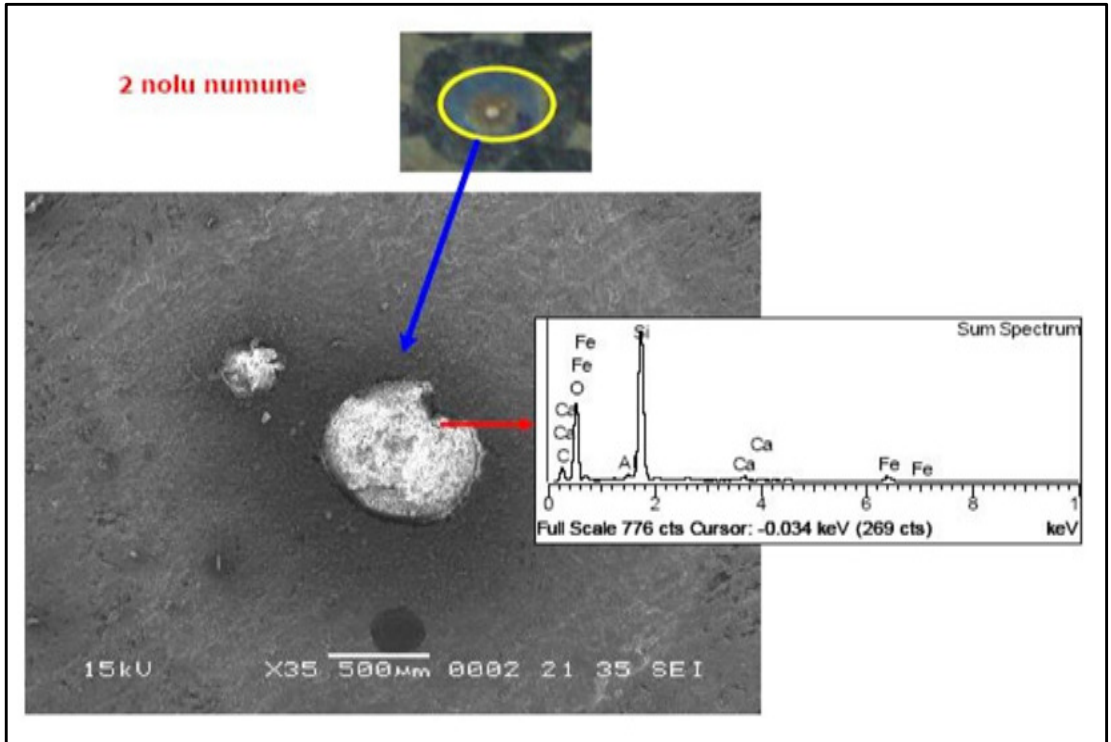
Bu tez çalışması kapsamında beyaz toz kusurunun incelenmesi amacıyla Şekil 4.30'da görülen 1 ve 2 nolu beyaz toz kusuru içeren makro numunelerin SEM-EDS incelemelerinin yapılması için Şekil 3.12'de görüleceği üzere bakalitleme, zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Şekil 4.30'da görülen 1 ve 2 nolu numuneler için ayrı ayrı bu işlemler yapılarak SEM-EDS incelemesi için uygun hale getirilmiştir. Şekil 3.13'te mikroyapı inceleme amacıyla hazırlanmış numune örneği görülmektedir.



Şekil 4.30. 1 ve 2 nolu makro numuneleri



Şekil 4.31. 1 nolu makro numune SEM görüntüsünden alınan EDS analizi



Şekil 4.32. 2 nolu makro numune SEM görüntüsünden alınan EDS analizi

Şekil 4.31. ve Şekil 4.32’de 1 nolu ve 2 nolu makro numunelerinde görülen beyaz toz analizinde Si elementi ağırlıklı olarak görünmekte olup, bunun dışında O, Ca, Fe ve Al elementleri de az miktarda görünmektedir. Kusur sebebinin daha net ortaya konabilmesi amacıyla aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

SEN malzemesinin bölümlerinde dikkate alındığında kimyasal analizinin MgO, Al₂O₃ ve ZrO₂ ‘den oluştuğu bilinmektedir. SiO₂ ise SEN malzemesinde çok az miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle beyaz toz analizinde görülen Si elementinin SEN malzemesinden kopan partiküllerden olabilme ihtimalinin düşük olduğu görülmüştür.

Döküm tozlarında, çeşidine bağlı olmak üzere içeriğinde SiO₂ olduğu bilinmektedir. Döküm tozunun görevlerinden bir tanesi de kalıp içerisinde ince bir film şeridi oluşturarak curufu kalıp yüzeyinde tutmaktır. Ancak bu durumda döküm tozunun tam olarak bu görevini yerine getiremediği ve kalıptaki curufun çelik içerisine geçmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Farklı döküm tozu kullanımlarında da beyaz toz kusurunun oluştuğu görüldüğünden, döküm tozu ve beyaz toz kusuru arasında direk ilişki tespit edilememiştir.

Curuf kimyasal analizlerinde SiO₂ olduğu bilinmektedir. Kalıptan alınan örnek curuf kimyasal analizi; SiO₂ 21,12%, CaO 43,79%, Al₂O₃ 29,42%, MgO 3,45%, MnO 0,28%, K₂O 0,25%, Fe 1,13% ve S 0,36% ‘dir. Curuf kimyasal analizi Spektral Analiz Laboratuvarında XRF (X-ışını floresans spektrometresi) metodu ile gerçekleştirilmiştir. Analizin gerçekleştirilmesinde ARL THERMO 9800 XP-161 X-Ray spektrometer tip, XRF cihazı kullanılmıştır. XRF analiz sonuçları %95 güven aralığında -/+%2,5 ‘tir. Kalıpta oluşan ya da kalıba gelen curufun uygun döküm tozu ile kalıp içerisinde sıvı çelik üzerinde tutmak gerekir. Döküm tozu curufu tutarak ince bir film şeridi oluşturmalıdır. Kalıptaki curuf ve döküm tozunun sıvı çelik akışına maruz kaldığında kalıp içerisindeki sıvı çeliğe dağılması ve curufun tekrar yüzmeye fırsat bulamadan çelik içerisine hapsolması kusurun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kalıptaki curufun sıvı çelik içerisine girmesi engellenmelidir. Bu yüzden makro numunelerde görülen beyaz tozların curuf kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kapalı ve açık dökümlerde tandişin son dökümünde, tandiş tonajı 10 tonun aşağısında kaldığı zaman, dökümün son kütüklerinden kütüğün sonundan alınan makrolarda yoğun olarak beyaz toz görülmektedir. Bu nedenle tandiş tonajı 10 tonun aşağısında çıkan kütükler dispoze edilmektedir. Aslında bu durum beyaz tozun curuftan kaynaklandığını desteklemektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, entegre bir demir çelik tesisinin sürekli kütük döküm prosesinde meydana gelen kusurların çeşitliliği ve sebepleri incelenmiştir.

Bu veriler ışığında meydana gelen tüm ürün kusurlarının gruplandırma çalışması yapılmıştır. Yapılan gruplandırmayla kusurlar; iç yapı kusurları, yüzey kalitesi ve yüzey kusurları ile şekil ve ebat kusurları olmak üzere üç ana kısma ayrılmıştır. Her bir kusur için tanımlama, görsel örnekleme ve kusur derecelendirmesi de yapılmıştır. Ayrıca deneysel çalışma süresince karşılaşılmış kusurların hangi muhtemel sebepler neticesinde meydana gelebileceği araştırılarak ortaya konmuştur.

Şekil 4.26'da çelik gruplarının üretimdeki payları gösterilmiştir. Söz konusu grafikte görüleceği üzere “peritektik çelikler grup 2”, % 45,5 oranı ile en yüksek paya sahip çelik kalite grubu olur iken “yüksek karbonlu çelikler grup 1” ise % 0,3 oranı ile en düşük paya sahip olmuştur.

Şekil 4.27'de çelik gruplarındaki kusurların % dağılımları gösterilmiştir. Söz konusu grafikte görüleceği üzere “peritektik çelikler grup 2”, %21,2 oranı ile en yüksek paya sahip çelik kalite grubu olur iken “yüksek karbonlu çelikler grup 1” ise % 0,6 oranı ile en düşük paya sahip olmuştur.

Şekil 4.28'de kusur çeşitlerine göre kusur % dağılımları gösterilmiştir. Söz konusu grafikte görüleceği üzere;

- iç yapı kusurlarından beyaz toz kusuru % 5,44 oranı ile en yüksek paya sahiptir.
- yüzey kalitesi ve yüzey kusurlarından kanamalı kütük kusuru % 16,17 oranı ile en yüksek paya sahiptir.
- şekil ve ebat kusurlarından boy kısa kusuru % 27,64 oranı ile en yüksek paya sahiptir.

Kütük numuneleri üzerinde metalurjik inceleme amaçlı makro ve mikro kusur incelemeleri yapılmıştır. Üretimdeki en yüksek paya sahip peritektik çelikler grup 2 kalitesinden alınan numunelerdeki inklüzyon kusuru incelemesi yapılması için optik mikroskop ve SEM görüntüsü alınmış ayrıca EDS analizi yapılmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde matrisin ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Makro incelemede, inklüzyon tespit edilmiştir. SEM cihazında yapılan element haritalama tekniği ile yapılan görüntülemelerde inklüzyonun; oksijen, silisyum ve mangan içerikli

olduğu tespit edilmiştir. İnküzyonlar soğutma ve katılaşma prosesi sırasında deoksidasyon ve çöktürme işlemlerinden kaynaklanır. İnküzyonların ana kaynakları çelik reoksidasyonu, cüruf atımı ve astar erozyonudur. Ayrıca, inküzyonları değerlendirmek için farklı yöntemlerinde gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çelik temizliğini ölçmek için tek bir ideal yöntem yoktur, bu yüzden daha doğru bir değerlendirme yapmak için birkaç yöntemi bir araya getirmek daha doğru olacaktır.

Ayrıca, iç yapı kusurlarından en yüksek orana sahip beyaz toz kusuru üzerinde SEM görüntüsünden alınan EDS analizi yapılmış olup literatür kabulleri de dikkate alınarak hangi muhtemel sebepler neticesinde meydana gelebileceği araştırılarak ortaya konmuştur. Kütük malzemesindeki çatlakların iyileştirilmesi için başarılı bir uygulamanın, ikincil soğutma suyunun azaltılması ve daha yavaş bir soğumaya yönelik bir dökümün yapılması olduğu görölmektedir. Soğutma süresinin artması, kütük yüzeyinin hızlı kabuk bağlamasına ve gaz boşluklarına sebep olmaktadır. Çatlak kusurları, sürekli döküm kütüğünün ana kalite kusurlarından birisidir. Sürekli döküm kütük kusurları için yapılan analiz ve derecelendirmeler, demir çelik endüstrisindeki kusur derecelendirme standardına göre yapılmıştır.

Sürekli döküm prosesi, sıvı çeliğin uzun ürün şeklinde katılaştırılması işlemindeki birçok parametrenin etkili olduğu ve kalite sonuçlarının izlenmesi gereken bir prosestir.

Yapılan çalışmadan da görülebileceği üzere oluşabilecek kusurlarda; sıvı çelik analizi ve sıvı çelik sıcaklığı kaynaklı olabileceği gibi sürekli döküm işletme parametreleri, döküm hızı, kalıp, birincil soğutma, ikincil soğutma, operatör hatası, sistem hatası ve diğer ekipmanların da etkili olabileceği görölmüştür.

İşletmelerin kaliteli maksimum üretim gerçeklerinin de etkili olduğu çelik üretim proseslerinde, kusurlu ürün oranının azaltılması ve bununda sürekliliğinin sağlanması maliyetler açısından avantaj da sağlayacaktır.

Araştırma bulguları ve tartışma sonuçlarına göre: teknik özellikleri açısından 1,2 milyon ton/yıl üretim kapasiteye, 9 m. yarıçapa ve 6 kanala sahip olan kütük üretim tesisinin, üretim ve kalite gerçekleri diğer tesislere göre farklı olabileceğinden, proseslerin sürekli olarak izlenmesi, kusurların ortaya çıkmadan önce gereken çalışmaların yapılması ve kusur-sebepl ilişkileri ile proses ihtiyaçlarının karşılanmasının önemli olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonymous,2015.<http://w3.siemens.com.br/datapool/industry/industrysolutions/metals/simetal/en/billet-casting-solutions-en.pdf>
- Anonymous, 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/continuous_casting
- Anonymous, 2016. <http://ispatguru.com/defects-in-continuous-cast-steels/>
- Anonim, 2016. <http://metalurji.kocaeli.edu.tr./files/mmt312-03.pdf>
- Anonymous, 2016. <http://sns.chonbuk.ac.kr/manufacturing/continue.htm>
- Anonymous, 2017. https://kupdf.com/download/astm-e381_pdf
- Anonim, 2017. <http://www.istanbul.edu.tr/eng2/metalurji/sem.htm>
- Anonim, 2017. Deneme Yapılan İşletmenin Ürün Kusur Kataloğu
- A. E. Vasiliev, S.I.Lukyanov, O. S. Logunova, A. L. Karyakin, 2018. **Crossmark-The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Improving the quality of continuously cast slabs: by means of the pinch roll drive of the horizontal part of a continuous casting machine, p.2-4.
- A. Rodziewicz, M. Perzyk, 2016. Application of Time-Series Analysis for Predicting Defects in Continuous Steel Casting Process, p.125-127.
- Abdul Haseeb Nc, Alex P Jacob, Arvind Kumar, Dibin Vincent, 2015. Reform the Performance of a Billet Quality by Reducing its Defects at Sail-Scl Kerala Limited, **Ijrst –International Journal for Innovative Research in Science & Technology**, Volume 1, Issue 12, 31-46.
- Ataman Ilgaz, 1977. Çelik Üretiminde Kontinü Döküm.
- Brandaleze, E., Di Gresia, G., Santini, L., Martín, A., & Benavidez, E., (2012). Mould fluxes in the steel continuous casting process, **In Science and Technology of Casting Processes**, InTech.
- B.H. Aslan, 2008. Demir-Çelik Üretimindeki Gelişmeler ve Bir Entegre Tesis Modernizasyon Örneği. Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- B.G. Thomas, 2001. Continuous Casting of Steel, Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign 1206 West Green Street Urbana, IL 61801, U.S.A.

- Bozidar Sarler, 2003. Continuous Casting Of Steel: Modelling, Simulation, Optimisation, Experiments, Institut Podstawowych Problemov Techniki, Polska Akademia Nauk, p.4-38.
- Brian G. Thomas, 2010. Modeling of Continuous Casting Defects Related to Mould Fluid Flow, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana Champaign, Urbana, **Aist Transactions** Vol.3 No.5
- Cenk Gitmez ve Caner Güney, 2017. Yüksek Kükürtlü Dövmelik Çeliklerin Çemtaş Çelik Fabrikasında Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretimi, sayfa 4-6.
- Chang Rong Li, Zhen Yao, and Zhao Hua Liang, 2011. Continuous Casting Process Parameters on Central Defect of SWRH82B Billet. **Advanced Materials Research**. Vol. 317. Trans Tech Publications, p.361-365.
- Concast, 2003. Continuous Casting Machine 6-Strand Billet Caster, Functional Description Manual.
- Concast, 2003. Continuous Casting Machine 6-Strand Billet Caster, Metallurgical, Operating and Safety Manual.
- Elfsberg, J., 2003. Oscillation mark formation in continuous casting processes (Doctoral dissertation, Casting of Metals, **Royal Institute of Technology**, p.2-5.
- Erika Popa, Teodor Hepu, Erika Ardelean, Ana Socalici, 2012. Identifying the Main Defects Appeared in the Structure of Continuous Blanks, **International Journal of Systems Applications, Engineering & Development**, Issue 1, Volume 6.
- G. Atalay, 2008. Sürekli Dökümde Katılma ve Soğutmanın İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Gay, S., Schaus, P., & De Smedt, V., 2014. Continuous casting scheduling with constraint programming. In International conference on principles and practice of constraint programming. **Springer**, Cham., p.831-845.
- Hacki, H., & Nylen, T., 1987. Macro segregation in Oscillation Marks on Stainless Steel: Influence of Mould Oscillation Conditions. **Solidification Processing** 1987, 110-112.
- Honga Pan, Guorongb Wu, Zhiqiang Li, 2012. Advanced Materials Research Study on quality control technology for square/round billet in Panzhihua Steel, Vols 396-398, p.1138-1144.

- İsmail ŞİŞLİ, 2016. Sürekli Döküm Tandışlarındaki Cüruf İle Refrakter Etkileşimleri, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa 7-10.
- K.H. J. Buschow, R. Cahn, M. Flemings, B. Ilschner, E. J. Kramer, S. Mahajan, (D. Apelian, subject ed.) **Elsevier Science Ltd.**, Oxford, UK, Vol. 2, 2001, pp. 1595-1599.
- I. Mamuzić M. Longauerova, A Strkalj, 2005. The Analysis of Defects on Continuous Cast Billets, **Metalurgija** 44, 3, 201-207
- L. Zhang ve B. G.Thomas, 2003. Inclusions in continuous casting of steel. **In XXIV National Steelmaking Symposium**, Morelia, Mich, Mexico (Vol. 26, p.28)
- Longauerova, M., 2004. Effect of impurity segregation and precipitation on embrittlement of the surface zone of continuously cast steel products. **Inzynieria Materiałowa**, 25(3), 169-175.
- M. Bilen, 2010. Çelikhane Curuflarından Liç-Karbonatlaştırma Prosesi İle Kalsiyum Karbonat Kazanılması, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Ma, Jiaocheng, Zhi Xie, and Guanglin Jia, 2008. Applying of real-time heat transfer and solidification model on the dynamic control system of billet continuous casting. **ISIJ international**, Volume 48.12, p.1722-1727.
- Majid Haghghi, 2012. Mechanical & Industrial Engineering Department, ME8109 – Casting and Solidification Materials, Ryerson University, p.2-12.
- S. Mosayebidorcheh, M. Gorji-Bandpy, 2017. Local and averaged-area analysis of steel slab heat transfer and phase change in continuous casting process, **Elsevier-Applied Thermal Engineering**, p.724-726.
- Saheb M. Mahdi, Al- Taqani, 2013. Studying the Reasons of Surface Defects in the Continuous Casting Billets, Vol. 26, No 2.
- Shravan Kumar, Ritika Singh, Isham Panigrahi and Ramesh K. Nayak, 2016. Continuous Casting of Steel and Simulation for Cost Reduction, Vol 60, No 8, p.43-44.
- T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı, 2014. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, sayfa 7.
- Thomas, B.G., 2001. “Continuous Casting,” The Encyclopedia of Materials: **Science and Technology**,

- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), 2016. Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi Raporu, **TOBB Yayın** No: 2017/300, ISBN: 978-605-137-634-9, sayfa 17-18.
- V. B. Ginzburg ve R. Ballas, 2000. Flat rolling Fundamentals, CRC Press, Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, p.354-378.
- V. Kızılay, 2017. Yüksek Karbonlu ve Mikro Alaşımli DIN EN ISO 16120-2:2011 C66D Çeliklerde Döküm Hızının İyileştirilmesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Van der Spuy, D. D., Craig, I. K., & Pistorius, P. C., 1999. An optimization procedure for the secondary cooling zone of a continuous billet caster, **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, 99(1), p.49-54.
- W. Su, W. Wang, S. Luo, D. Jiang, M. Zhu, 2014. Heat Transfer and Central Segregation of Continuously Cast High Carbon Steel Billet. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China
- Wang, X. Y., Liu, Q., Wang, B., Wang, X., Qing, J. S., Hu, Z. G., & Sun, Y. H., 2011. Optimal control of secondary cooling for medium thickness slab continuous casting. **Ironmaking & Steelmaking**, 38(7), p.552-560.
- Wei Wang, Zi-bing Hou, Yi Chang, Jiang-hai Cao, 2018. CrossMark Effect of superheat on quality of central equiaxed grain zone of continuously cast bearing steel billet based on two-dimensional segregation ratio, p.1-3.
- Wenhong Liu, Zhi Xie and Guanglin Jia, 2011. Advanced Materials Research Study on CA-Based Quality Prediction Model of Internal Cracks in Continuous Casting Billet, Vols 301-303, p.520-524.
- X. Chao, Z. Jiong-ming, L. Yan-zhao, W. Xiano-dong, W. Lian, W. Shun-xi, 2013. Control of Macrosegregation Behavior by Applying Final Electromagnetic Stirring for Continuously Cast High Carbon Steel Billet, State Key Laboratory of Advanced Metallurgy, School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing.
- Yamaguchi, J., Nakashima, T., & Sawai, T., 2013. Change and development of continuous casting technology. **Nippon Steel Tech. Rep.**, 104, 13.
- Yusuf Ziya Kayır, 2015. Dünyada ve Türkiye’de Demir Çelik Üretimi, **18. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**.

Zhu, D. F., Zheng, Z., & Gao, X. Q., 2010. Intelligent optimization-based production planning and simulation analysis for steelmaking and continuous casting process. **Journal of Iron and Steel Research**, 17(9), p.19-30.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1976 yılında Adana'nın Ceyhan ilçesinde doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Ceyhan'da tamamladı. 1995-1999 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünde öğrenim gördü. 2002 Temmuz ayında İsdemir'de Sürekli Dökümler Müdürlüğünde Makina Mühendisi olarak işe başladı, halen bu pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.

