



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

**YÜKSEK KARBONLU ve MİKRO ALAŞIMLI DIN EN ISO 16120-
2:2011-C66D ÇELİKLERDE DÖKÜM HIZININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

Volkan KIZILAY

İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2017

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

**YÜKSEK KARBONLU ve MİKRO ALAŞIMLI DIN EN ISO 16120-
2:2011-C66D ÇELİKLERDE DÖKÜM HIZININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

Volkan KIZILAY

İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2017

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

Tezin Adı: Yüksek Karbonlu ve Mikro Alaşımli DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D
Çeliklerde Döküm Hızının İyileştirilmesi
Öğrencinin, Adı Soyadı: Volkan KIZILAY
Tez Savunma Tarihi: 13.09.2017
Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Kod No:

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdürü

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

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü ABD Başkanı

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

(Unvanı, Adı ve SOYADI)
İkinci Tez Danışmanı (varsa)

Yrd. Doç. Dr. Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI
Tez Danışmanı

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

Jüri Üyeleri (Unvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Yrd. Doç. Dr. Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI

.....

Prof. Dr. Bülent KURT

.....

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA

.....

13.09.2017

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.

Volkan KIZILAY

ÖZET

YÜKSEK KARBONLU ve MİKRO ALAŞIMLI DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D ÇELİKLERDE DÖKÜM HIZININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Dünyada ve ülkemizde önemli bir çelik üretim aşaması olarak bilinen sürekli döküm prosesinde, farklı parametreler bir arada kullanılabilir. Ürün özelliklerinin karşılanmasında metalurjik açıdan uygun parametrelerin kullanılması önem arz etmektedir.

Sürekli döküm prosesinde geçmişten günümüze birçok yenilik gerçekleştirilmiştir. Sürekli döküm kabiliyetleri ile ihtiyaçlara cevap verecek uygun katılaştırmanın optimum düzeyde yapılabilmesi amacıyla çelik analizleri, refrakter malzemeler, sürekli döküm parametreleri gibi etkili bir çok konu üzerinde çalışmaların yapıldığı bilinmektedir.

Sürekli döküm parametreleri incelendiğinde; döküm hızı parametresinin makro numunelerdeki kalite ihtiyaçları açısından etkili olabileceği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada döküm hızı parametresi artışının makro numunelerdeki kaliteye etkisi araştırılmıştır. Yöntem olarak; yüksek karbonlu, mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliklerde, farklı dökümlerde söz konusu parametre değiştirilerek makro numuneleri alınmış ve kalite ihtiyaçları açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Makro numune kalite sonuçları karşılaştırıldığında; döküm hızının etkisinin gözlemlendiği görülmüştür.

2017, 99 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çelik üretim, sürekli döküm, döküm hızı

ABSTRACT

The EFFECTS of SPEED PARAMETER on MACRO SAMPLES in CONTINUOUS BILLET CASTING in HIGH CARBON, MICRO ALLOY DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D STEEL GRADES

In continuous casting process which is known important steel making stage in Turkey and all over the world, different parameters may be used in combination. Using the appropriate parameters to fulfill the terms of the metallurgical product properties are important.

Many innovations in the continuous casting process was performed to present day from past. The needs and ability of continuous casting, perform optimally in accordance solidification, because of that reason steel analysis, refractory materials, are known to do a lot of work on topics such as effective continuous casting parameters.

When analyzing continuous casting parameters it was seen that the casting speed can be effective on the macro sample quality needs consumption. For this reason in this study, it is investigated that the effects of the increase casting speed in the macro samples. For this purpose, high carbon, micro alloys DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D steel grades macro samples were cast by changing this parameter is different and needs are evaluated in terms of quality.

Compared macro sample quality results; casting speed was the effected.

2017, 99 pages

Key Words: Steel production, continuous casting, casting speed

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 Yrd. Doç. Dr. Ömer Saltuk BÖLÜKBAŞI' na ve ayrıca katkılarından dolayı Prof. Dr. Bülent KURT ve Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA' ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen bölüm hocalarımızdan Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN hocama katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, çalışmalarım sırasında desteklerini ve sabrını esirgemeyen sevgili eşim Fatma KIZILAY' a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	5
3.1. Materyal	5
3.1.1. Sürekli Döküm	5
3.1.1.1. Pota Tareti	6
3.1.1.2. Tandış	7
3.1.1.3. Kalıp, Kalıp Osilasyonu, Kalıp Karıştırıcı	7
3.1.1.4. Çekme ve Doğrultma Ünitesi	9
3.1.1.5. Gazlı Kesme Makinesi	10
3.1.1.6. Hareketli Soğutma Yatağı	11
3.1.2. Kapalı Döküm	12
3.1.3. Birincil Katılaşma	13
3.1.4. İkincil Soğutma	15
3.1.5. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler	17
3.1.6. Deneysel Test ve Ölçü Cihazları	17
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Sürekli Döküm Prosesi İçin İzlenecek Yol	23
3.2.2. Kalite Sonuçları İçin İzlenecek Yol	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	24
4.1. Deneysel Çalışmalar	24
4.2. Deney Verileri.....	24
4.2.1. Deney 1	26
4.2.2. Deney 2	30
4.2.3. Deney 3	34
4.2.4. Deney 4	38
4.2.5. Deney 5	42
4.2.6. Deney 6	46
4.2.7. Deney 7	50
4.2.8. Deney 8	54
4.2.9. Deney 9	58
4.2.10. Deney 10	62
4.2.11. Kütük Numunesi Üzerinde Optik Mikroskop İncelemeleri	66
4.2.12. Kütük Numunesi Üzerinde SEM ve EDS İncelemeleri	68
4.2.13. Kütük Numunesi Üzerinde XRD ve Autoquan Analiz İncelemeleri	74
4.3. Deney Verilerinin Karşılaştırılması	76
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR	81
EK 1 UZUN ÜRÜN KUSUR KATALOĞU	84
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tipik entegre demir çelik tesisi.....	2
Şekil 3.1.	Tipik sürekli döküm prosesi	6
Şekil 3.2.	Pota taretı	6
Şekil 3.3.	Kalıp şekli ve resmi.	7
Şekil 3.4.	Kalıp elektromagnetik karıştırıcı	8
Şekil 3.5.	Çekme ve doğrultma ünitesi	10
Şekil 3.6.	Gazlı kesme bölgesi	11
Şekil 3.7.	Hareketli soğutma yatağı hareketi	11
Şekil 3.8.	Hareketli soğutma yatağı	12
Şekil 3.9.	Birincil soğuma bölgeleri şematik gösterimi	14
Şekil 3.10.	Birincil ve ikincil soğutma bölgeleri	14
Şekil 3.11.	Birincil soğutma bölgesinden ikincil soğutma bölgesine geçiş kesiti	15
Şekil 3.12.	Çeliğin sürekli dökümünde , (a) nozulların ve rölelerin tipik yerleşim planı, (b) bölgelerin şemalandırılması ve (c) su ile soğutma sürecinin detaylı görüntüsü.....	16
Şekil 3.13.	İkincil soğutma bölgesi zone dağılımlarını gösterir çizim	16
Şekil 3.14.	a) Makro numune kesme işlemi b) döküm kanal numaralandırma... ..	18
Şekil 3.15.	Makro hazırlama atölyesi resmi.....	18
Şekil 3.16.	Freze işleme makinesi.....	19
Şekil 3.17.	a) Asit tankı b) durulama tankı c) yüzey temizliği	19
Şekil 3.18.	İnceleme bekleyen makro numuneler	20
Şekil 3.19.	a) Fotoğraflama masası b) makro numune inceleme	20
Şekil 3.20.	a) Bakalitleme b) zımparalama c) parlatma d) numune.....	21
Şekil 3.21.	SEM cihazı.....	22
Şekil 3.22.	Optik mikroskop	22
Şekil 4.1.	Deney 1' in kalıp salınım grafiği	27
Şekil 4.2.	Deney 1' in spesifik su hacmi	28
Şekil 4.3.	Deney 1' in makro numune resmi.....	29
Şekil 4.4.	Deney 2' nin kalıp salınım grafiği	31
Şekil 4.5.	Deney 2' nin spesifik su hacmi	32
Şekil 4.6.	Deney 2' nin makro numune resmi.....	33
Şekil 4.7.	Deney 3' ün kalıp salınım grafiği	35
Şekil 4.8.	Deney 3' ün spesifik su hacmi	36
Şekil 4.9.	Deney 3' ün makro numune resmi.....	37
Şekil 4.10.	Deney 4' ün kalıp salınım grafiği	39
Şekil 4.11.	Deney 4' ün spesifik su hacmi	40
Şekil 4.12.	Deney 4' ün makro numune resmi.....	41
Şekil 4.13.	Deney 5' in kalıp salınım grafiği	43
Şekil 4.14.	Deney 5' in spesifik su hacmi	44
Şekil 4.15.	Deney 5' in makro numune resmi.....	45
Şekil 4.16.	Deney 6' nın kalıp salınım grafiği	47
Şekil 4.17.	Deney 6' nın spesifik su hacmi	48
Şekil 4.18.	Deney 6' nın makro numune resmi.....	49
Şekil 4.19.	Deney 7' nin kalıp salınım grafiği	51

Şekil 4.20.	Deney 7' nin spesifik su hacmi.....	52
Şekil 4.21.	Deney 7' nin makro numune resmi.....	53
Şekil 4.22.	Deney 8' in kalıp salınım grafiği	55
Şekil 4.23.	Deney 8' in spesifik su hacmi.....	56
Şekil 4.24.	Deney 8' in makro numune resmi.....	57
Şekil 4.25.	Deney 9' un kalıp salınım grafiği	59
Şekil 4.26.	Deney 9' un spesifik su hacmi	60
Şekil 4.27.	Deney 9' un makro numune resmi.....	61
Şekil 4.28.	Deney 10' un kalıp salınım grafiği	63
Şekil 4.29.	Deney 10' un spesifik su hacmi	64
Şekil 4.30.	Deney 10' un makro numune resmi.....	65
Şekil 4.31.	2,8 m/dk döküm hızı için optik mikroskop görüntüsü	67
Şekil 4.32.	3,2 m/dk döküm hızı için optik mikroskop görüntüsü.....	67
Şekil 4.33.	2,8 m/dk döküm hızı için SEM görüntüsü	70
Şekil 4.34.	3,2 m/dk döküm hızı için SEM görüntüsü	70
Şekil 4.35.	2,8 m/dk döküm hızı için EDS görüntüsü.....	71
Şekil 4.36.	3,2 m/dk döküm hızı için EDS görüntüsü.....	72
Şekil 4.37.	2,8 m/dk döküm hızı için XRD görüntüsü.....	74
Şekil 4.38.	3,2 m/dk döküm hızı için XRD görüntüsü.....	74
Şekil 4.39.	2,8 m/dk döküm hızı için Autoquan programı sonucu	75
Şekil 4.40.	3,2 m/dk döküm hızı için Autoquan programı sonucu	75
Şekil 4.41.	Denemelerdeki ikincil soğutma bölgesi spesifik su hacmi dağılımı.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kullanılan çeliğe ait standardın kimyasal analiz tablosu	17
Çizelge 4.1.	Deneyde yapılan değişiklikler	24
Çizelge 4.2.	Deney 1' in kimyasal analiz değerleri	26
Çizelge 4.3.	Deney 2' nin kimyasal analiz değerleri	30
Çizelge 4.4.	Deney 3' ün kimyasal analiz değerleri	34
Çizelge 4.5.	Deney 4' ün kimyasal analiz değerleri	38
Çizelge 4.6.	Deney 5' in kimyasal analiz değerleri	42
Çizelge 4.7.	Deney 6' nın kimyasal analiz değerleri	46
Çizelge 4.8.	Deney 7' nin kimyasal analiz değerleri	50
Çizelge 4.9.	Deney 8' in kimyasal analiz değerleri	54
Çizelge 4.10.	Deney 9' un kimyasal analiz değerleri	58
Çizelge 4.11.	Deney 10' un kimyasal analiz değerleri	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

dk	: Dakika
eV	: Elektronvolt
kV	: Kilovolt
m	: Metre
mm	: Milimetre
nm	: Nanomikron
pH	: Power of hydrogen
Ppm	: Part per million
Vm	: Kalıp hızı
°C	: Sıcaklık santigrat
%	: Yüzde
α	: Alfa
θ	: Theta

KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
EDS	: Energy dispersive X-ray spectrometry
Fe	: Demir
Fe ₃ C	: Demir 3 karbür
Max.	: Maksimum
Mn	: Mangan
M-EMS	: Kalıp elektromagnetik karıştırıcı
N	: Azot
S	: Kükürt
SEM	: Scanning electron microscope
Si-Al	: Silisyum-alüminyum
XRD	: X ray diffraction
%Al	: Sıvı çelik içerisindeki alüminyum oranı
%B	: Sıvı çelik içerisindeki bor oranı
%C	: Sıvı çelik içerisindeki karbon oranı
%Ceş	: Sıvı çelik içerisindeki karbon eşdeğer oranı
%Cu	: Sıvı çelik içerisindeki bakır oranı
%Cr	: Sıvı çelik içerisindeki krom oranı
%Mn	: Sıvı çelik içerisindeki mangan oranı
%Mo	: Sıvı çelik içerisindeki molibden oranı
%Nb	: Sıvı çelik içerisindeki niobyum oranı
%Ni	: Sıvı çelik içerisindeki nikel oranı
%P	: Sıvı çelik içerisindeki fosfor oranı
%Pb	: Sıvı çelik içerisindeki kurşun oranı
%S	: Sıvı çelik içerisindeki kükürt oranı
%Sn	: Sıvı çelik içerisindeki kalay oranı
%Si	: Sıvı çelik içerisindeki silis oranı
%Ti	: Sıvı çelik içerisindeki titanyum oranı
%V	: Sıvı çelik içerisindeki vanadyum oranı

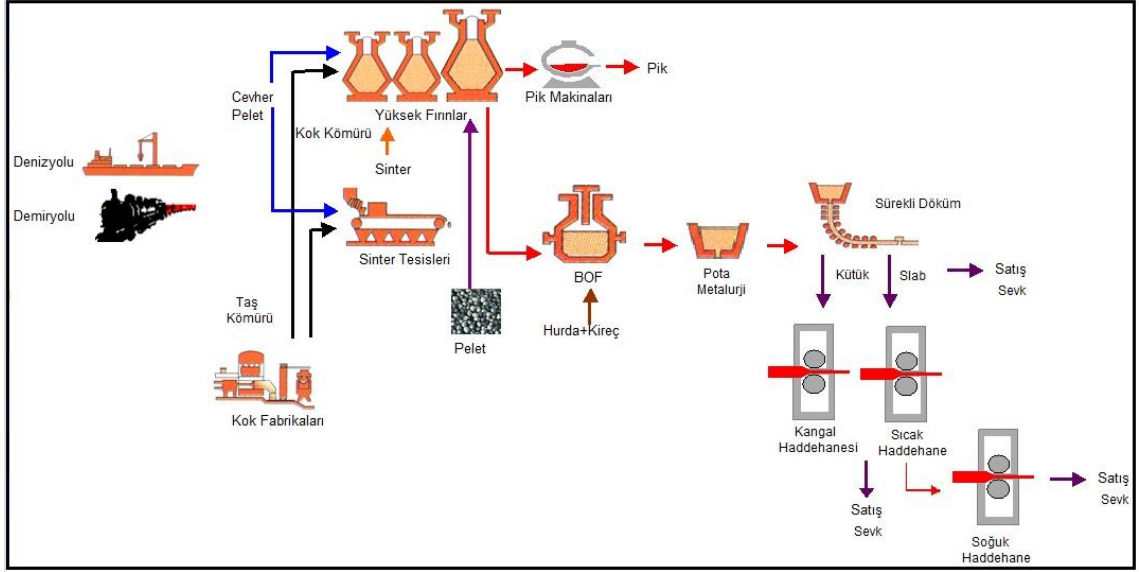
1.GİRİŞ

Demir çelik sektörü Türkiye açısından büyük önem arz etmektedir. 2016 yılı itibariyle dünyanın toplam çelik üretimi 1.600 milyar ton civarında olup ve bu miktarının % 2 kadarını (33.000 milyon ton/yıl) Avrupa çelik üretiminde 2. sırada olan Türkiye üretmektedir. 2016 yılında Türkiye’ de 23 milyon ton kütük, 10 milyon ton slab üretimi olmak üzere 33 milyon ton seviyelerinde çelik üretimi gerçekleşmiştir (Anonim, 2017).

Entegre demir çelik tesislerinde demir çelik üretimi, ana hammaddeler olan demir cevheri ve kömürün denizyolu ve demiryolu vasıtası ile tesislere gelmesiyle başlar. Kömür, koklaştırma süreci için kok fabrikalarına; toz cevher ise yüksek fırınlarda kullanılabilmesi için sinterleştirmek amacı ile sinter fabrikasına iletilir. Kok fabrikası silosuna konveyör bant sistemi ile taşınan kömür, fırınlara şarj edilerek yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda koka dönüştürülür, böylelikle yüksek fırınların ihtiyacı olan kok üretilir. Toz cevher, demirli baca tozları ve tufal, sinter fabrikasında yüksek fırınların kullanılabilmesi için ebata getirilerek sinter üretilir ve konveyör bant sistemi ile yüksek fırınlara gönderilir. Yüksek fırınlar sıvı ham demir üretir. Sıvı ham demir üretimi için demir cevheri, sinter, pelet ve kok girdi olarak kullanılır.

Üretilen sıvı ham demir curuftan arındırılarak torpidolara alınır. Torpidolardaki sıvı ham demir kükürt giderme tesislerinde kükürdü giderildikten sonra üretime girmek üzere çelikhaneye nakledilir. Çelikhanede; sıvı ham demir, hurda ve istenilen kaliteye göre farklılık gösteren çeşitli alaşım elementleri kullanılarak saf oksijen üfleme yöntemi ile sıvı ham demirdeki karbon oranı düşürülür, böylelikle sıvı ham demir, sıvı çeliğe dönüştürülür. Üretilen sıvı çelik sürekli döküm tesislerinde kalıplara kesintisiz olarak dökülüp, istenilen ebatlarda katılaştırılarak yarı mamuller olan slab, kütük vb. haline getirilir. Şekillendirilen çelik haddehanelere veya direk satışa gönderilir.

Slabtan yassı sıcak ürünler olan bobin, levha vb., kütükten ise uzun ürün olan kangal, inşaat demiri vb. üretilebilir. Sıcak haddehanede üretilen bobinler, soğuk haddehanede (oda sıcaklığında) haddelenerek daha da ince hale getirilerek soğuk ürün elde edilir. Soğuk ürün, talebe göre galvanizli, ya da kalay-krom kaplı ambalaj çeliği haline getirilir. Üretilen ürünler denizyolu, demiryolu ve karayolu ile müşterilere ulaşır (Anonim, 2017).



Şekil 1.1. Tipik entegre demir çelik tesisi

Sıvı çeliğin, direkt redüksiyon ve oksijen üfleli konverterlerin kullanılmasıyla üretimi bugün çok yüksek bir düzeye ulaşmıştır. Buna paralel olarak sıvı çeliğin kütük, blum, platin veya H, I profilleri gibi daha kolay ve seri halde biçimlendirmeye yarayan sürekli döküm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu sayede eski klasik yöntemle göre büyük ölçüde işlem sayısı azalmış, malzeme, enerji ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.

Sürekli döküm yönteminde insan gücü ihtiyacı azaldığı gibi çalışma şartları da iyileştirilmiştir. Halen gelişme halinde olan bu yöntemin en üstün yönlerinden biri döküm veriminin çok yüksek olmasıdır. Bilindiği gibi blok dökümünde ingotlar da katılma esnasında kof bölge oluşmaktadır. Merdanelere temas ettikten sonra parçalardaki bu boşluklu kısımların kesilmesi gerekmektedir. Sürekli dökümde ise söz konusu blok, sürekli olarak döküldüğünden katılma da bloğun bir tarafından sürekli devam etmekte dolayısıyla boşluk kayıpları ortadan kalkmaktadır. Böylece klasik ingot dökümüne göre verim sürekli döküm yönteminde %95'in üzerinde çıkmaktadır.

Bugün artık sıvı çeliğin genel anlamda biçimlendirilmesi sürekli döküm yöntemi sayesinde neredeyse her kapasitedeki çelik dökümhanesinde mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemin esasını, iki tarafı açık, su ile soğutmalı, istenen profil kesitli bir kalıp ile bu kalıptan kısmen katılmış iş parçasını sürekli çekmeye yarayan merdaneler oluşturur. Kalıbı sürekli, sıvı metalle besleyen bir ara pota (dağıtıcı, tandiş) soğutma, su püskürme donanımı ve kesme mekanizması sistemi tamamlayan elemanlardır (Atalay, 2008).

Bu tezde öncelikle sürekli kütük döküm yöntemi tesisine genel bir giriş yapıp sistemin nasıl bir süreçten geçtiği incelemek ve daha sonra esas konusu olan hız değişiminin kalite sonuçlarına etkisi incelenecektir. Tez çalışmasında üretim artışının kalite ihtiyaçları da gözetilerek sağlanması amaçlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sürekli kütük döküm üretiminde proses parametrelerinin optimizasyonu ve kalite ihtiyaçları da göz önüne alınarak bir takım çalışmalar önceki dönemlerde de yapılmıştır. Ancak mikro alaşımlı yüksek mukavemetli tel-yay-halat imalatına uygun karbon çelikleri olarak da ifade edilen yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliğinin kütük döküm hızının iyileştirilmesi çalışmasına önceki dönemlerde rastlanılmamıştır. Bu çalışma kapsamında diğer konularda yapılan sürekli kütük döküm prosesi çalışmaları aşağıda belirtilmiştir.

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

C.Chow (2001) “The Effects of High Speed Casting On The Mould Heat Transfer, Billet Solidification, And Mould Taper Design Of Continuously Cast Steel Billets” adlı çalışmada kalıp ısı transferi, kütük katılaşması ve kalıp eğiminin yüksek karbonlu çelikler için dizayn çalışması yapılmıştır.

S. Semplici, R. Karan, C. Mapelli, (2005) “Diamold design of corners in billet high speed continuous casting” adlı çalışmada yüksek hızda döküm için kalıp köşe dizaynı konusunda çalışma yapılmıştır.

Chunsheng Li, Brian G. Thomas, Claudio Ojeda, (2002) “Ideal Taper Prediction for High Speed Billet Casting” adlı çalışmada yüksek hızda kütük döküm için ideal koniklik tahmini çalışması yapılmıştır.

J. Mortan, N. Kapaj, M.H. (2015) “Next Steps in High-Speed Billet Casting at Ege Celik (Aliaga, Turkey)” adlı çalışmada ekipman değişiklikleri ile % 0.19 karbona kadar çeliklerde 130x130 mm kesitte 6,2 metre/dakika hız artışı çalışılmıştır.

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

S. Kittaka, M. Uehara, T. Sato, H.Higashi, (2000) “High Speed Casting Mould for Billet Caster (NS Hyper Mold)” adlı çalışmada NS Hyper Mold kalıp dizaynı ile % 0.12 karbon çelikte 130x130 mm ebat üretimde 6 metre/dakika hız artışı çalışılmıştır.

R. Villoria, H. Stafforte, O. Sparapani, J. Madias, M. Dziuba, (1996) “High Speed Continuous Casting of Low Carbon Steel Billets” adlı çalışmada düşük karbonlu çeliklerde nozul çaplarını artırarak 120x120 mm ebat üretimde karbon çeliklerde 3,5 metre/dakika yüksek döküm hızı çalışılmıştır.

P. Cobelli, A.N. Grundy, S. Feldhaus, Y.C. Hsu, C.H. Lo, C.H. Lin (2015) “Fast Casting of 150 sq billets-boost of productivity” adlı çalışmada % 0.32 karbon çelikte 150x150 ebat üretimde kalıp altı ilave role, krom kaplı kalıbın kalıp suyu oluklarında yapılan dizayn değişikliği ile kalıp içi geçiş oluklarında dizayn değişiklikleri vb. ile 5,6 metre/dakika yüksek döküm hızı çalışılmıştır.

H. Yu, M. Zhu, (2009) “Effect of electromagnetic stirring in mold 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.

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 160x10 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.

S. Luo, F. Piao, D. Jiang, W. Waing, M. Zhu, (2014) “Numerical Simulation and Experimental Study of F-EMS for Continuously Cast Billet of High Carbon Steel” adlı çalışmada 160x160 ebat 1,9 metre/dakika döküm hızında F-EMS değerinin 380 amper akım/6 hertz frekans değeri ile merkez segregasyonun optimumda olabileceği Ansys ve CFX yazılımları ile çalışılmıştır.

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 değeri olacağı çalışılmıştır.

Önceki çalışmalardan da görüleceği üzere kütük döküm üretiminde farklı kalitelere daha yüksek döküm hızları, ekipman parametrelerinin optimizasyonu ve kalite ihtiyaçları çalışılmıştır. Ancak mikro alaşımlı yüksek mukavemetli tel-yay-halat imalatına uygun karbon çelikleri olarak da ifade edilen yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliğinin döküm hızının iyileştirilmesi çalışması önceki dönemlerde yapıldığına rastlanılmamıştır.

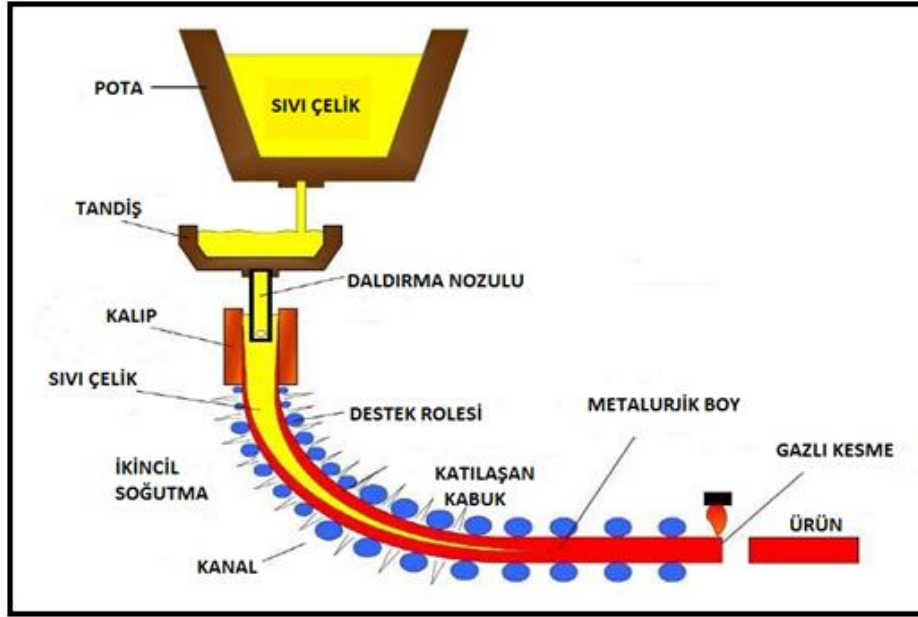
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sürekli Döküm

Sürekli döküm, erimiş metalin sonraki nihai haddelemeye uygun kütük, blum, slab gibi yarı mamul olarak katılaştırılması prosesi olarak tanımlanabilmektedir. 1950' lerde sürekli dökümün geliştirilmesinden önceki dönemlerde çelik, ingot şeklinde sabit kalıplara dökülürdü. O zamandan bu yana sürekli döküm; üretim, verimlilik, kalite ve maliyetlerin iyileştirilmesi amacıyla gelişmeler göstermiştir. Sürekli döküm; bir ürünün standart üretimi, süreklilikten kaynaklanan daha düşük maliyetler ve otomasyon yoluyla süreç üzerinde daha yüksek denetim sağlanması gibi sebeplerden daha iyi kaliteyle metale şekil vermeye uygundur. Bu proses genellikle çelik dökümde (tonajlı döküm olması sebebiyle) kullanılır. Alüminyum ve bakır da sürekli döküm prosesi ile üretilebilir (Anonymous, 2015).

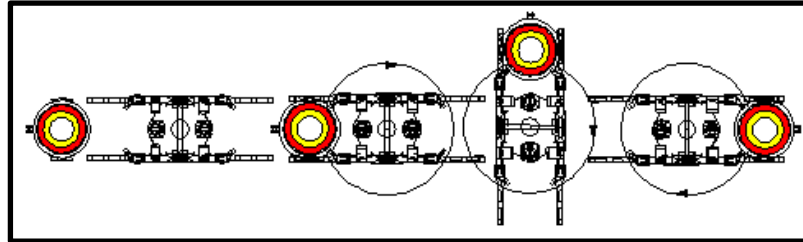
Sürekli döküm prosesinde ilk adım olarak ikincil metalurji istasyonunda kalitesi ve sıcaklığı ayarlanan sıvı çelik potası, kütük döküm tesisi taretine yerleştirilmektedir. Taretteki potadan sıvı çelik tandişe ve tandişten de su ile soğutulan bakır kalıplara dökülmektedir. Kalıpta ve makinanın ikinci soğutma bölgesinde soğuyarak katılma çelik kütük, blum vb. olarak şekillenmektedir. Kütük, blum vb. döküm yolu sonunda gazlı kesme makinası ile istenilen boylarda kesilerek sonraki hatlara iletilmektedir.



Şekil 3.1. Tipik sürekli döküm prosesi

3.1.1.1. Pota Tareti

Sıvı çelik dolu potanın, tesis yerleşimi ihtiyacına göre pota metalurji holünden döküm holüne geçişi ve tandış üzerinde potanın döküm pozisyonu hareketleri için kullanılır. Pota boşaldıktan sonra boş pota, pota metalurji holüne geri döner ve vinçler ile transfer edilir.



Şekil 3.2. Pota tareti (Concast, 2003)

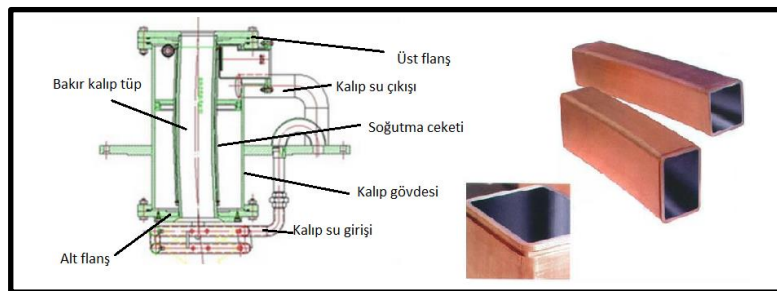
Genellikle pota tareti sabit bir alt gövde ile hareketli bir üst kısımdan oluşur ve hareketli üst kısım birbirlerine göre 180 derece konumlanmış sabit 2 kola sahiptir. Üst kısımdaki taret gövde rulmanı genelde hem elektrik hem de pnömatik ile hareket ettirilebilmektedir. Rutin operasyonel işlemlerde elektrik motoru kullanılırken enerji kesintisi, elektrik sürücüsü hataları gibi acil durumlarda pnömatik sistem kullanılmaktadır.

3.1.1.2. Tandış

Tandış, kalıba girmeden önce çeliğin geçtiği son refrakter astarlı kısımdır. Dökümü yapılmış ürünün kalitesi, sonraki proses ve verim kayıplarında büyük öneme sahiptir. Tandış sayesinde; potadan çelik hareketinin yönlendirilmesi, önceden belirlenmiş bir oranda kalıplara çeliğin dağıtılması, akış kontrolü ve çalışma astarı ile önemli termal, eroziv ve kimyasal ataklar altında korumalı şekilde çalışılması sağlanır. Tandış esasen, potadaki mevcut termal şartlardan büyük ölçüde etkilenen sıcaklığında bir dağıtıcısıdır. Harici ısı kayıplarının olmaması için astar refrakter ile yalıtılmış olmalıdır. Genellikle tandışın ilk dolumu aşamasında ve refrakter astarın ısı kayıplarını minimize edilmesi için tandış yüksek bir sıcaklığa ön ısıtma yapılır. Çelik akışı tandışten kalıba bir nozul ile gerçekleştirilir. Nozulun tipi döküm sistemi için temel ve esastır, çelik dökümün kalite ihtiyaçlarına ve işletme personelinin gördüğü durumlara bağlı olarak seçilir. Tandış genellikle ya otomatik akış (kapalı döküm) dökümü ya da otomatik olmayan akış (açık döküm) dökümü için sabit nozulla hazırlanabilir.

3.1.1.3. Kalıp, Kalıp Osilasyonu, Kalıp Karıştırıcı

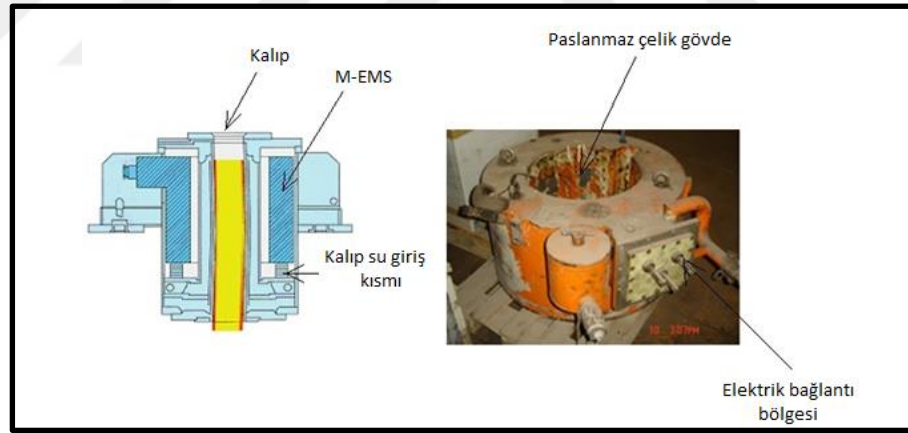
Kalıbın durumu sürekli döküm prosesinde önemli bir etkidir ve esasen iki parçadan oluşur; bakır kalıp tüp ve su ceketi. Kalıp üst kısmında bir plakaya sabitlenir ve su ceketi iç kısmına monte edilir. Sızdırmazlık alt ve üst kısımlarda conta ile sağlanmaktadır. Bakır tüpün ana malzemesi genelde 70-90 brinell sertlikte fosfor deoksidi elektrolitik bakırdır. Çoğu zaman tüp, katılaştıran kütüğün büzülmesinden dolayı koniktir ve tüpün içi aşınma direncini artırmak için krom vb. kaplama bulunabilmektedir. Kaset olarak bilinen sabit bir kalıp düzeneğine kalıp tüp ve su ceketi monte edilmiştir.



Şekil 3.3. Kalıp şekli ve resmi (Anonymous, 2015)

Özel bir su ceketine sabitlenmiş bakır bir tüpten oluşan kalıp, osilasyon (salınım) sehпасına monte edilmiş haldedir. Sürekli olarak kalıp içine dökülen sıvı çelikten ilk ısı, kalıpta uzaklaştırılır ve böylece dökülen kütüğün dış kabuğu ya da zarı oluşur. Kalıp osilasyon sehпасının aşağı ve yukarı hareketi ile (osilasyon, salınım) kabuk kalınlığının eşit şekilde artması, kabuğun kalıba yapışmaması ve iyi yüzey kalitesi beklentilerinden emin olunur. Döküm makinesinin radyüsünün eğimine geometrik olarak uyumlu bir harekettir, çalışma boyu (strok) ve frekansta ayarlanabilir. Strok mekanik olarak ayarlanacaksa osilasyon motoru eksantrik dişlisinin ayarlanmasıyla değiştirilir, frekans değişken hızlı motor ile kontrol edilir. Ayrıca kalıp osilasyon frekansı kanalın gerçek döküm hızına bağlı olarak orantılı şekilde kontrol edilir ve ilgili metalurjik parametreler önceden tanımlanmıştır. Hidrolik osilasyon sistemleri de mevcuttur.

Elektromagnetik kalıp karıştırıcı sürekli döküm makinelerinde, yüzey kalitesi, verim, üretim esnekliği ve üretimin geliştirilmesi için kullanılır. Karıştırıcı, kalıp çevresine monte edilmiştir. Her kanal için ayrı ayrı olan karıştırıcı; karıştırıcı şasesi, elektrik bağlantı kutusu için güç kablosu, bir frekans dönüştürücü ünite ve karıştırıcı bobinlerinin soğutma suyu sisteminden oluşur.



Şekil 3.4. Kalıp elektromagnetik karıştırıcı (Concast, 2003)

Rutin proseste katılaştırıcı bobinlerinin soğutulmasının sağlanmasında su soğutma kullanılır. Sistem, doğru ekipmanları kullanarak ve azami özen gösterilerek dizayn edilmiştir. Katılaştırıcı bobinler maksimum koruma altındadır, soğutma suyu kalitesi izlenmelidir. M-EMS (kalıp elektromagnetik karıştırıcı) kalıbı çevreleyen elektromagnetik karıştırıcı sürekli döküm makinesi çelik kalitelerinde uygun merkez yapmayı ve merkez segregasyonunu sağlamaya yardımcı olur.

Paslanmaz çelik bir gövdeye montajlı dönen karıştırıcı prensip olarak motor statorudur, sıvı metal hareketi ise rotor olarak iş yapar. Katılaşılan kütükte döner magnetik alanın karıştırma etkisi; su ceket, bakır kalıp tüp ve katılaşılan kabuktan sıvı çelik merkezine doğru çeliği harekete geçirir. Likidüs-solidüs ara yüzeyindeki türbülanslı hareket ile önemli miktarda kararsız dendritik kol katılaşılan ön bölgeden koparak sıvı çeliğe doğru gider. Küresel tane büyümeleri için çekirdek gibi davranışa sebep olur, daha fazla eş eksenli bölge oluşturmaya sebep olur. Kapalı dökümde elektromagnetik karıştırmanın istenmeyen iki temel etkisi vardır; karıştırma etkisinin çok güçlü olması durumunda döküm tozu ve cüruf karışımı sıvı çeliğe geçebilmektedir, üst kısımda oluşan çok yüksek türbülans sebebiyle, nozul (tandıştan kalıba daldırma nozulu) erozyonu artabilmektedir.

M-EMS operasyonel kontrol; kalıpta elektromagnetik karıştırmanın etkili olduğu iki önemli operasyon parametresi vardır. Frekans; düşük frekansta magnetik alanın nüfuz etme derinliği yüksek frekansa göre daha düşüktür. Frekans kalıbın mekanik düzenine göre set edilmelidir. Akım; daha yüksek akım yüksek karıştırma gücü sağlar.

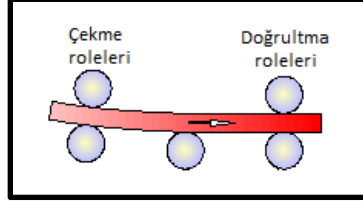
Optimum set değerleri, imalatçı firmanın devreye alma sürecindeki tavsiyeleri ve geçerli döküm parametreleri ile belirlenebilmektedir. M-EMS soğutma; karıştırıcının bobinleri kalıp soğutma suyundan daha iyi şartlandırılmış kapalı çevrim suyu ile soğutulur. Suyun çıkış sıcaklığı, iletkenliği ve pH değeri sürekli olarak izlenmelidir.

3.1.1.4. Çekme ve Doğrultma Ünitesi

Dökümün çekme ve doğrultma ünitesinin çekiş kontrolü, hidrolik silindir kollarının basınç ve aşağı/yukarı kontrolü, kuklanın park sistemi, kesme makinası yanındaki yardımcı çekme ünitesi fonksiyonların dışında, döküm prosesinin başlaması, kuklanın hareketi ve parkı, kanaldaki hızın kontrolü ve döküm sonu kanalın hareketi için gerekli ekipmanlardır.

Bu fonksiyonların kontrolü yazılım koordinasyonuna ihtiyaç duyar. Soğutma odasına yakın olan çekme ünitesi, dökümün çıkış işlemi ve kuklanın giriş-çıkış hareketlerinde kullanılır. Üst çekme role motorları kuklanın tekrar kanala verilmesi halinde pozisyonunu bir fren ile koruyabilecek şekilde teçhiz edilmiştir. Alt çekme role motoru, çevrimin darbe etkisini azaltmak üzere konumlandırılmıştır. Bunların yanında

hız ölçümü içinde sinyal kullanılabilir. Çekme ve doğrultma ünitesinin üst kolları ile aşağı ve yukarı hareket eder.

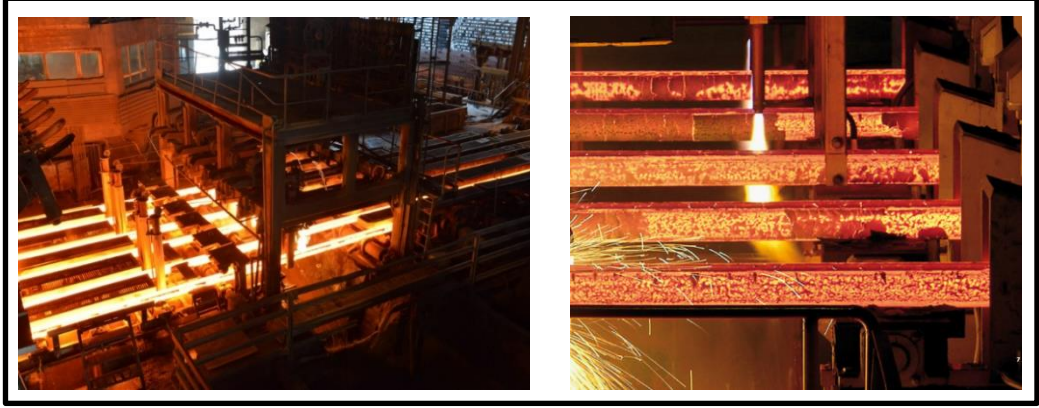


Şekil 3.5. Çekme ve doğrultma ünitesi

Kollarının aşağı ve yukarı pozisyonu genelde hidrolikle kontrol edilir. İkinci role çiftinin (doğrultma roleleri) eğimli şekilde gelen kanaldaki kütüğün doğrultulması fonksiyonu vardır. Ayrıca bu rolelerin aşağı hareketi ile kukla ve kütük arasındaki geçiş sağlanarak bu iki parça birbirinden ayrılabilir. Döküm modunda tam zamanlamalı başarılı bir operasyon için bu ayırma işi elle yapılmaması gereken otomatik bir işlemdir.

3.1.1.5. Gazlı Kesme Makinesi

Genellikle kütükler çeşitli boylara gazlı kesme makinesi ile kesilirler. Gazlı kesme işlemi, uzunluk ölçme sisteminden bir sinyal ile manuel seçenekte veya otomatik seçenekte (gazlı kesme makinesi önünde kanalın uzunluğunun kesme hedef değerine eşit olduğu zamanda) ya da gazlı kesme kontrol masasındaki “kesme başlat” düğmesine basıldığında başlatılabilir. Pnömatik silindireler kışkaçları aktif hale getirdiğinde ileri yönlü hareket döküm hızında gerçekleşir.

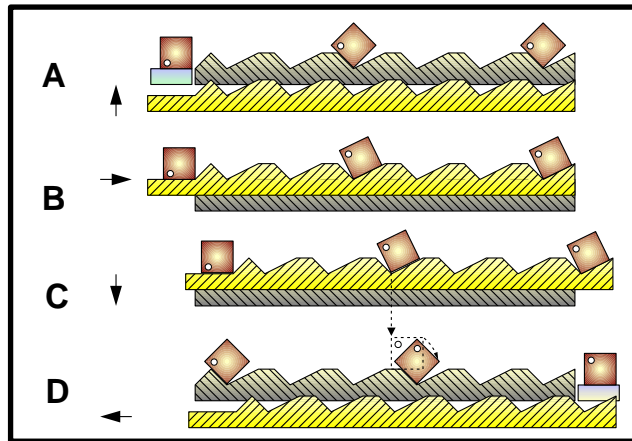


Şekil 3.6. Gazlı kesme bölgesi (Anonymous, 2015)

Frekans konvertör sürüclü bir motor kesmenin çapraz yönündedir. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra otomatik harekete geçen elektromagnetik kavrama sürüclü bir motor ile gazlı kesme arabası ilk pozisyonuna döner. Döküm sonunda son kütük parçası yardımcı çekme rölesi dışında olduğunda parçayı kıskaçla deşarj role masasına ilerletmek mümkündür, makine tahrik mekanizması ile kütük ve makine ileri hareket eder.

3.1.1.6. Hareketli Soğutma Yatağı

Gelen kütüklerin transferinin yapılması hareketli soğutma yatağının fonksiyonudur ve bu transfer esnasında uniform şekilde soğuması sağlanır. Aşağıdaki çevrim ile hareketli ve sabit tarak ağıyla kütük transferi her biri için sağlanacaktır.



Şekil 3.7. Hareketli soğutma yatağı hareketi (Concast, 2003)

Öncelikle sabit tarahtan ve itici masasından hareketli tarağa kütük yükselir, hareketli tarak kütüğü ileri hareket ettirir, hareketli tarak sabit tarağa kütüğü indirir (ve kütük döner), hareketli tarak ilk pozisyonuna geri döner.



Şekil 3.8. Hareketli soğutma yatağı (Anonim, 2016)

Kütükler soğutma yatağının sonuna ulaştığında biriktirme kısmına hareketli tarağın hareketi sırasında itilir. Hareketli tarak hareketlerini hidrolik silindire gerçekleştirir. İleri yönlü hareketin mesafesi transfer edilen kütüğün ebadına bağlıdır. Ters pozisyon tüm ebatlar için aynıdır. Konumlandırma iki hareket hızı için, bir oransal valf kullanımı ile hassas olarak ayarlanır. İleri ya da ters pozisyona ulaşmadan hemen önce düşük hıza geçilir. Yukarı veya aşağı harekette de değişken hızlara izin veren oransal valf kullanılır. Kütük hareketli soğutma yatağına ulaştığında biriktirme kısmına itilir. Bir elektronik anahtar ile kütüklerin hareketli soğutma yatağı sonunda olduğu tespit edilir.

3.1.2. Kapalı Döküm

Kapalı dökümde, stoper kontrolü ile tandiştan kalıba çelik akışında, stoper nozul deliğini kapatarak çekme hızı hedef değerine karşılık gelecek akışı sağlar. Stoperin aşağı ya da yukarı hareketiyle tandiştan akış miktarı kontrol edilebilir. Açıklıktaki değişiklik çelik akışını sağlar. Kapalı dökümde refrakter bir tüp kalıp içerisine daldırılır, tandiş ve kalıp arasındaki akışta kullanılan bu malzeme daldırma nozuludur. Daldırma nozulu olmadan kısılarak yapılan akış bütünleşik olmaz, kalıba yönlenmektense kalıp kapağı

üzerine sıçrar. Hava ile herhangi bir temas çelik kaliteleri için istenilmeyen reoksidasyona sebebiyet verebilir.

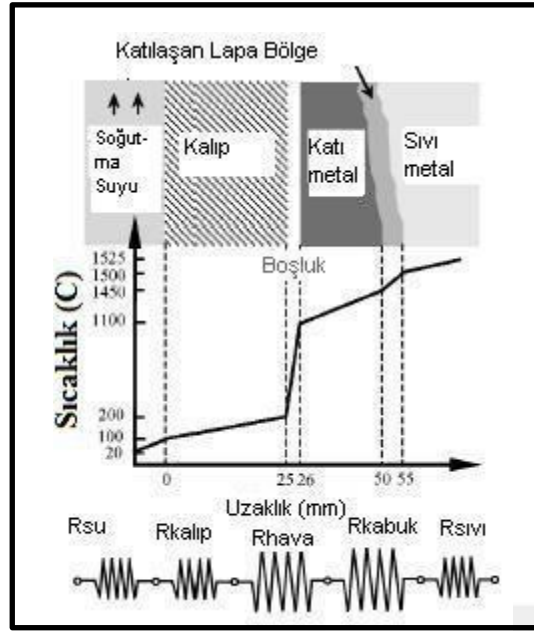
Tüm Si-Al öldürülmüş, Al öldürülmüş çelikler, daha yüksek temizlik talep edilen çeliklerde ve otomat çeliklerinde kapalı döküm kullanılır. Temel operasyonel kavramlar sabit döküm hızı, kalıptaki menisküs bölgesinde izolasyon ve ayrıca reoksidasyon koruması için döküm tozu kullanılması, kalıp ve kütük arasında erimiş döküm tozu ile yağlamadır.

3.1.3. Birincil Katılaşma

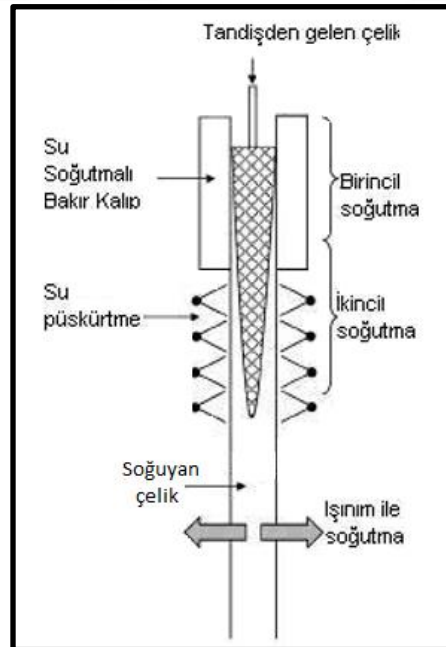
Sıvı çelik kalıp içerisine girdiğinde bakır kalıp duvarları, soğutucu (çil) olarak davranır ve katı kabuk şekli oluşmaya başlar. Bu işlem birincil katılaşma olarak bilinir. Birincil katılaşmada üç prosesle ısı transferi meydana gelir. Kütükten kalıp soğutma suyuna kalıp duvarı boyunca yatayda iletim, kütüğün alt kısmına aşağıya doğru iletim, çelik menisküsünden itibaren radyasyon.

Diğer soğutma süreçlerine göre daha etkin ve yoğun soğutma işleminin ilkidir. Yalıtkan cüruf ile battaniye gibi iş gören döküm tozu, döküm sırasında özellikle daha dik radyasyonu engeller. Isı çekme oranı, kalıbın hemen altındaki role gölgesine ve role olmayan bölgelere girişlerde katı kabuk içerisindeki sıvı çeliğin basıncına dayanacak katı kabuk sağlamak için yeterli olmalıdır.

Kanal ile kalıp arasındaki ısı transferi genellikle iki bölgede gerçekleşir. Üst bölgede ince çelik kabuk, kesik kesik duvara temas eder ve ısı transferi oldukça yüksektir ancak kalıp salınım hareketine bağlı olarak ve yağlayıcının durum ve miktarları sebebiyle düzensizdir. Aşağı kısımda kabuk kalınlaşır ve ilerledikçe kalıp duvarından büzülerek uzaklaşır dolayısıyla kabuk ve kalıp arasında bir boşluk meydana gelir. Bu bölgedeki hava boşluğu yüzünden iletim ve radyasyonla ısı transferi meydana gelir. Hava boşluğu sebebiyle ısının dışarı çıkması aralıklı temas eden bölgeden daha az olacaktır. Kalıp duvarları kalıp daralan uzunluğu boyunca kalıbın alt bölgesinde bir boşluk oluşumunu dengeleyerek sabit bir ısı transferi ve kütük şeklinin kararlılığı sağlar.

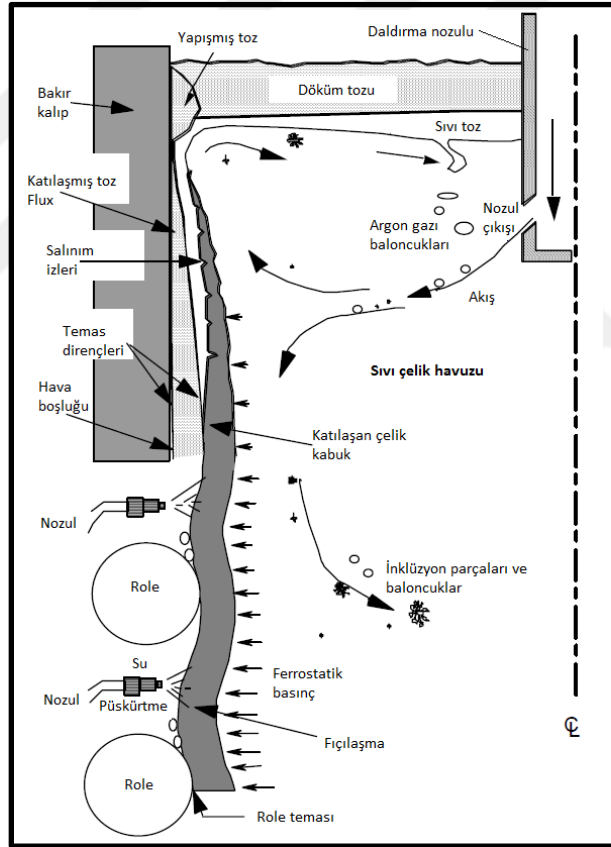


Kalıp dışında çevrim halinde olan su, birinci katılaşmayı kalıptan ısı transferi sonrası gerçekleşmesine sebep olur. İkincil soğutma çelik üzerine direkt su püskürtülerek yapılır. Birincil katılaşmadan ikincil katılaşmaya geçen kısımda katı kabuğun 2-3 mm olması beklenmektedir.



3.1.4. İkincil Soğutma

İkincil soğutma, kütük yüzeyine direk su püskürtmeyle soğutmanın sağlanması şeklinde tanımlanabilir. Isı çıkarım miktarı; hacme, sıcaklığa, dağılıma, su basıncına, yağ veya döküm tozu olmak üzere kalıp yağlamanın cinsine bağlıdır. İkincil soğutmanın amacı, kararlı ve çatlaksız kütük kabuğu oluşturmaktır. Bu, ikincil soğutma suyunun döküm istikameti boyunca doğru dağılım göstermesi ve doğru miktarda uygulanmasıyla elde edilebilir. Isı çıkarımının normal şartlarında, püskürtülen su kaynar yani kütüğe bitişik istikrarlı bir buhar filmi oluşur. İkincil soğutma akış oranına bağlı olmak üzere bu koşulda üniform bir ısı çıkarımı elde edilebilir.

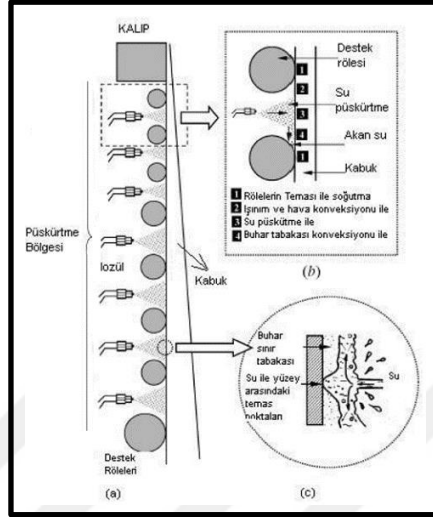


Şekil 3.11. Birincil soğutma bölgesinden ikincil soğutma bölgesine geçiş kesiti

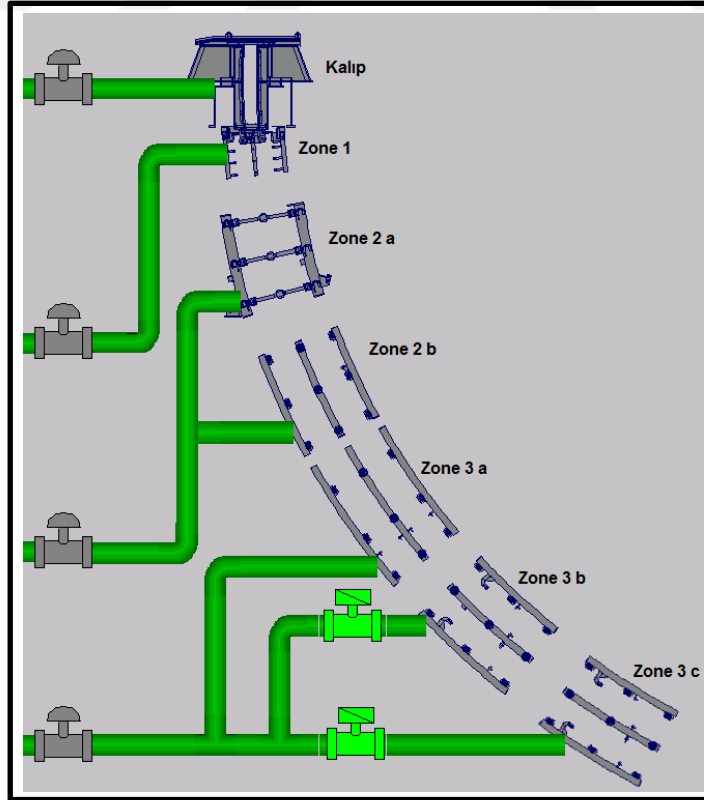
(Thomas, 2001)

Yoğun bir soğutma kullanıldığında kütüğün yüzey sıcaklığı; buhar filminin kararlı olmadığı, iç çatlak riskini artıran bir düzeye düşebilir. Bu teknik bazen yüksek karbonlu çeliklerde merkez segregasyonu minimize etmek için kullanılır. Çeliğin nispeten düşük ısı iletkenliği nedeniyle, kabuk kalınlığının artmasıyla sıvı çekirdekten ısıyı

uzaklaştırmak zorlaşır. Ebat ve döküm hızına bağlı olarak kalıptan uzaklaştıkça soğutma suyu katılma için daha da önemlidir. Kalıp içerisine giren çeliğin yaklaşık %30-40 civarındaki ısı içeriğinin ikincil soğutma bölgesinde uzaklaştırıldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 3.12. Çeliğin sürekli dökümünde , (a) nozulların ve rölelerin tipik yerleşim planı, (b) bölgelerin şemalandırılması ve (c) su ile soğutma sürecinin detaylı görüntüsü (Sengupta, 2004)



Şekil 3.13. İkincil soğutma bölgesi zone dağılımlarını gösterir çizim

3.1.5. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

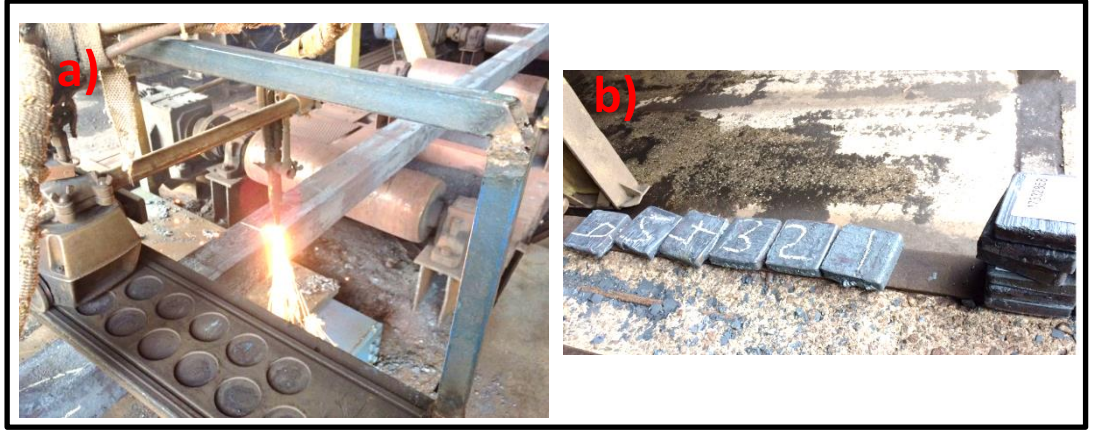
Çalışmada kullanılan başlıca hammadde; yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliğidir. Kullanım alanları dikkate alındığında mikro alaşımlı yüksek mukavemetli tel-yay-halat imalatına uygun karbon çelikleri olarak ta ifade edilebilir. Çalışma kapalı döküm prosesi ile yapılmıştır, kullanılan malzeme entegre (kok, sinter, yüksek fırın, çelikhane, sürekli döküm, haddehane tesisleri bir arada bulunan) bir demir çelik tesisinin sürekli kütük döküm makinesi nihai ürünüdür. Bu kalite, söz konusu tesiste kapalı döküm prosesiyle üretilen en yüksek tonaja sahip çelik kalitesi olma özelliğindedir. Rekabet şartlarında katma değere sahip olan yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliği, yüksek mukavemetli tel-yay-halat imalatında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Kullanılan çeliğe ait standardın kimyasal analiz tablosu
(DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D)

ANALİZ BİLGİLERİ											
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B		
0,65	0,60	0,012	0,012	0,20	0,010	0,010	0,008	0,010	0,0045		
0,63 0,66	0,55 0,65	Max.	Max.	0,15 0,25	Max.	Max.	Max.	Max.	0,0030 0,0060		
%Ni	%Cu	%Cr	N ppm	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca		
0,08	0,10	0,080	90	0,015	0,015	0,010	35	-	-		
Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Min	Max.	Max.		

3.1.6. Deneysel Test ve Ölçü Cihazları

130x130x30 mm ölçülerdeki makro numuneler, oksijen gaz kesme sistemi ile alınmıştır. Döküm numarası ve kanal bilgileri dahil olmak üzere deneme olduğunu gösterir işaretleme makro numuneler üzerine kayıt edilmiştir. Makro hazırlama atölyesine gelen numuneler incelemeye uygun hale getirilmesi amacıyla işlenmiştir. Üretimi yapılan her dökümde her bir kanaldan birer adet makro numunesi potanın son 60-80 tonundan alınmaktadır. Yapılan deneyde bahsi geçen üç dökümden toplamda 18 makro numunesi alınmış olup 10 adet makro numunesi incelenmiştir.



Şekil 3.14. a) Makro numune kesme işlemi b) döküm kanal numaralandırma



Şekil 3.15. Makro hazırlama atölyesi resmi

İşlenmeye hazır numuneler freze tezgâhında yüzeylerinin düzgün hale getirilmesi amacıyla işlenmiştir. Freze işlemi sonrası numunelerin döküm numarası ve kanal bilgileri dahil olmak üzere deneme olduğunu gösterir işaretleme işlemi düzgün yüzeye tekrar yapılmıştır.



Şekil 3.16. Freze işleme makinesi

Freze ile yüzey işleme tamamlanmış numuneler dağlama işlemi için makro numune manipstasyon sepetine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.17. a) Asit tankı b) durulama tankı c) yüzey temizliği

Makro numune manipstasyon sepetine yerleştirilmiş numunelerin dağlama işlemi için uygun karışım hazırlanmıştır. Dağlama işlemi için % 40 HCl (%38' lik) ve % 60 su ile karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım numunelerin dağlanabileceği büyüklükteki asit tanklarında muhafaza edilmiştir. Numuneler 50 dakika dağlanmıştır.

Metalurjik incelemelerin çoğu parlatılmış yüzeylerin uygun bir kimyasal çözelti ile dağlanması sonrası yapılır. Tane boyutu, deformasyon yapısı, segregasyon, mikroyapı,

sementasyon-nitrasyon derinlikleri, dekarbürizasyon gibi birçok parametrenin incelenmesi için dağlama işlemi gerekli olabilmektedir.

Prensipte asitle dağlama banyosunda mevcut bulunan asit, pası veya oksit tabakasını metale zarar vermeden çözer. Makro numunenin kontrol edilecek yüzeyi gres veya yağ gibi harici yapılarla kirlenmiş olabilir ve aynı zamanda lekeler, pastan kaynaklanan renk bozuklukları mevcut olabilir. Asitle dağlamanın amacı bu pas ve lekeleri ortadan kaldırmaktır.

Dağlama işlemi biten numuneler sodalı suda 15-30 saniye bekletilerek durulanmıştır. Dağlama ve durulama işlemlerindeki manipulyasyon için makro numune manipulyasyon sepeti asit-durulama değiştirme aparatı kullanılmıştır. Durulama işlemi sonrası su ve alkol ile yüzeyler temizlenmiştir.



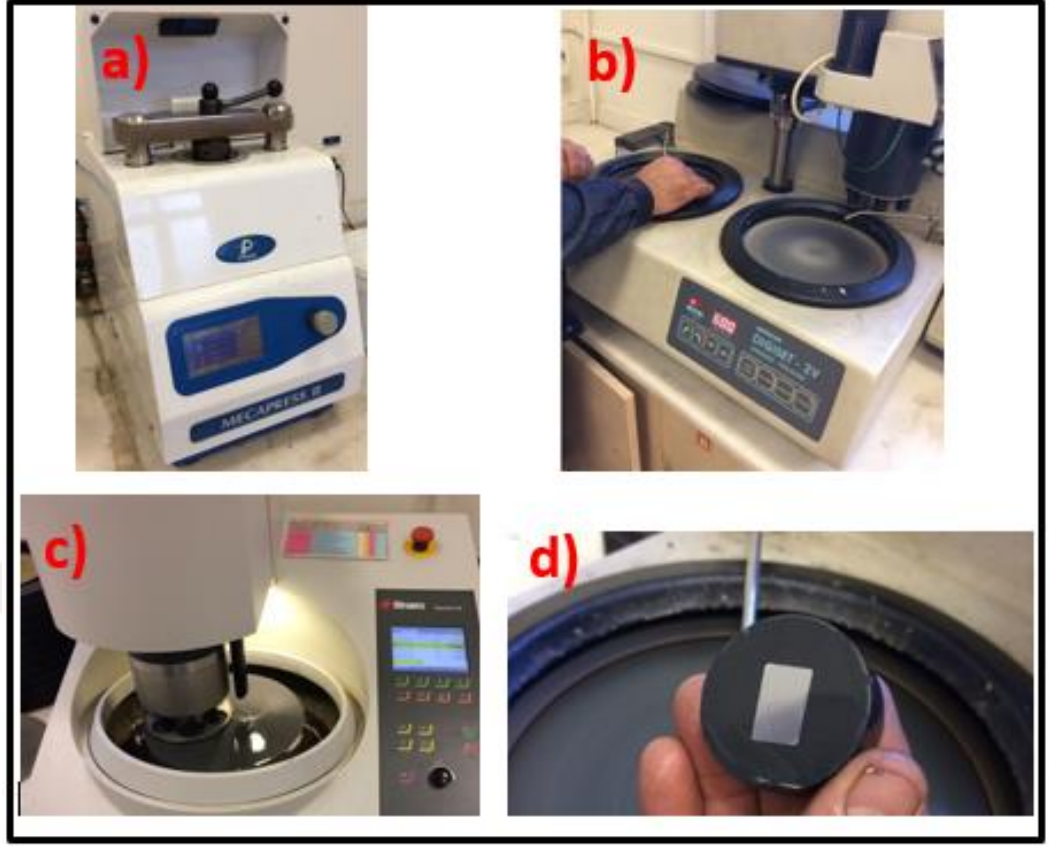
Şekil 3.18. İnceleme bekleyen makro numuneler

Makro numunelerin kontrolü için uygun aydınlatmaya sahip makro numune inceleme ve fotoğraflama masasında numuneler fotoğraflanmıştır.



Şekil 3.19. a) Fotoğraflama masası b) makro numune inceleme

Kütük mikro yapılarının incelenmesi amacıyla numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.20. a) Bakalitleme b) zımparalama c) parlatma d) numune

SEM ve optik mikroskop görüntüleri alınmış ve incelenmiştir. SEM cihazı, Jeol JMS-6510, maksimum 300.000 büyütme iken Optik mikroskop, Nikon, Epiphot 200, maksimum 1.000 büyütmedir, EDS 50 mm kristal çapa sahiptir. Kütük numuneleri üzerinde XRD ve Autoquan analiz incelemeleri de yapılmıştır.



Şekil 3.21. SEM cihazı



Şekil 3.22. Optik mikroskop

Makro numunelerdeki kusurların ve diğer kusurların değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi göz ile yapılmıştır. Makro numuneler değerlendirilmesi ASTM E381 (Standard Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings1) standardı ve ek maddeleri de dikkate alınarak denemelerin yapıldığı işletmenin hazırladığı EK 1’ de verilen “Uzun Ürün Kusur Kataloğu” nun Kütük İç Yapı Kusurları başlıklı bölümü göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

3.2. Yöntem

Çalışmanın amacı farklı döküm hızları ile diğer operasyonel parametrelerin optimizasyonu sonrası makro numunelerdeki kalite sonuçlarına etkisinin araştırılmasıdır. Farklı olarak tabir edilen yöntem ise; rutin işletme şartlarında 2,8 metre/dakika döküm hızıyla üretimi yapılan yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliğinin 3,2 metre/dakika döküm hızı ile üretiminin yapılmasındaki operasyonel parametrelerinin optimizasyonunun sağlanmasıdır. 2,8 metre/dakika döküm hızıyla üretimi yapılan yüksek karbonlu ve mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliğinin 3,2 metre/dakika döküm hızına çıkarılmasıyla kalite ve üretim sürekliliğini etkileyen herhangi bir dezavantaj öngörülmemiştir. Fiziksel yapı, makro ve mikro incelemeler açısından her iki hızda da aynı özellikler hedeflenmiştir. Çalışmada, üretilen çeliğin kalite standartları çerçevesinde olup olmadığı araştırılmıştır. Deneyler aşağıdaki sıra izlenerek tamamlanmıştır.

3.2.1. Sürekli Döküm Prosesi İçin İzlenecek Yol

- Parametrelerin belirlenmesi,
- Döküm işleminin yapılması,
- Döküm işlemi sürecince sıcaklık ölçümlerinin yapılması, sıvı çelik numunelerinin alınması,
- Sıcaklık ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle parametre kontrolü

3.2.2. Kalite Sonuçları İçin İzlenecek Yol

- Numune kesilmesi ve numunenin hazırlanması,
- Nihai ürün uygunluğunun değerlendirilmesi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneysel Çalışmalar

Tandış içindeki sıvı çelik sıcaklığının (hedef değeri 1510-1520 °C arası) ölçümü yapılmıştır. Döküm hızı, M-EMS ve spesifik su hacmi değerleri değiştirilerek 10 farklı deneme çalışması yapılmıştır. Yaklaşık 600 ton sıvı çelikte toplam 3 farklı dökümde deneme çalışması tamamlanmıştır.

4.2. Deney Verileri

Yapılan deneysel çalışma 3 ana grupta incelenebilir. Birinci grup deneysel çalışma 1,2 ve 3. deneyler, ikinci grup deneysel çalışma 4,5,6,7,8. deneyler ve üçüncü grup çalışma 9 ve 10. deneyler.

Çizelge 4.1. Deneylerde yapılan değişiklikler

Deney Grubu	Deney No	M-EMS (akım/frekans)		İkincil Soğutma (litre/kilogram)		Döküm Hızı (metre/dakika)	
		Rutin Uygulama	Deneme Uygulaması	Rutin Uygulama	Deneme Uygulaması	Rutin Uygulama	Deneme Uygulaması
1	1	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	2,8
	2	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	2,9
	3	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	3,0
2	4	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	2,8
	5	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	2,9
	6	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	3,0
	7	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	3,1
	8	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	3,2
3	9	360/5	400/5	0,95	0,95	2,8	3,2
	10	360/5	400/5	0,95	1,27	2,8	3,2

Birinci grup deneme çalışmasında hızın artırılabilmesi ve M-EMS değeri optimizasyonu esas alınmıştır. Birinci grup deneysel çalışmada 2,8 metre/dakika döküm

hızının 2,9 metre/dakika ve 3,0 metre/dakikaya artırılması sağlanmıştır. 2,8 metre/dakika döküm hızında M-EMS değerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

İkinci grup deneme çalışmasında M-EMS değeri optimizasyonu sonrası hızın 3,2 metre/dakika hıza artırılacağı ve ayrıca farklı bir dökümde de hızın artırılacağı esas alınmıştır. İkinci grup deneme çalışması kalite sonuçlarındaki uygunluğa bağlı olarak bir başka dökümde üçüncü grup deneme çalışması yapılmıştır.

Üçüncü grup deneme çalışmasında M-EMS değeri optimizasyonu ve hızın 3,2 metre/dakikaya çıkarılması sonrası ikincil soğutma spesifik su hacmi artışı ile sıvı çelik içerisinde ferrostatik basınç sebebiyle oluşabilecek kabuk yırtılmaların önüne geçilmesi amacıyla katılan kabuk yeterliliğinin sağlanması ve ayrıca farklı bir dökümde de hızın artırılacağı esas alınmıştır.

Yapılan 3 farklı grupta deneysel çalışma ile hızın kalite ihtiyaçlarını ve üretim sürekliliğini de sağlayarak 2,8 metre/dakikadan 3,2 metre/dakikaya çıkarılacağı gözlenmiştir.

4.2.1 Deney 1

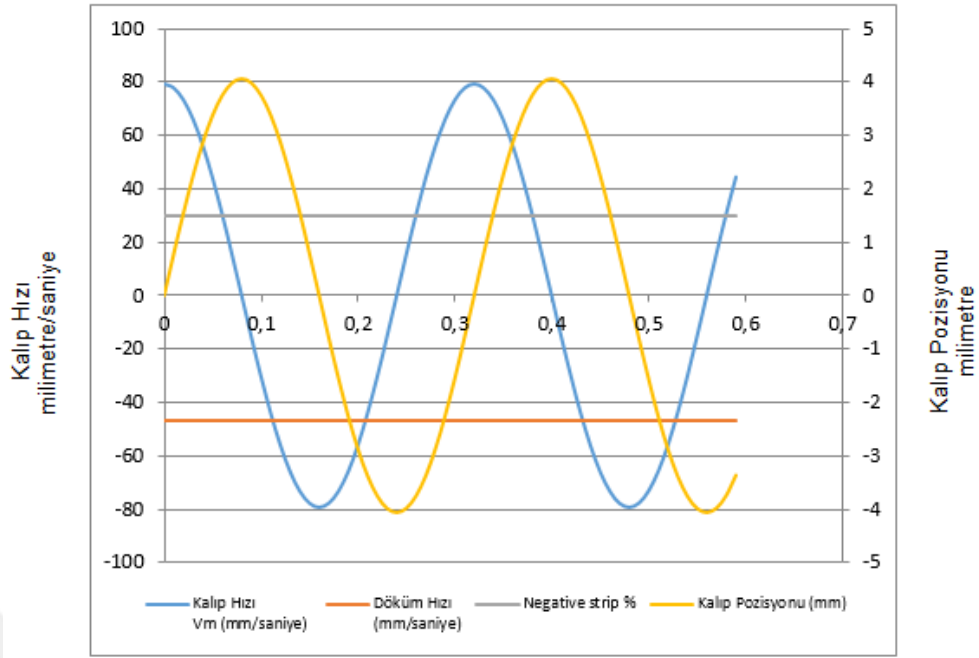
Birinci grupta yer alan Deney 1, ilk dökümde yapılan çalışmadır. Deney 1' de mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan M-EMS 360 amper akım/5 hertz frekans değeri 400 amper akım/5 hertz frekans olarak değiştirilmiştir. Döküm hızı 2,8 metre/dakika sabit tutulmuştur.

Deney 1

Döküm No	: 1	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1520	°C
Döküm Hızı	: 2,8	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 187,6	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,10	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,32	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 4,77	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

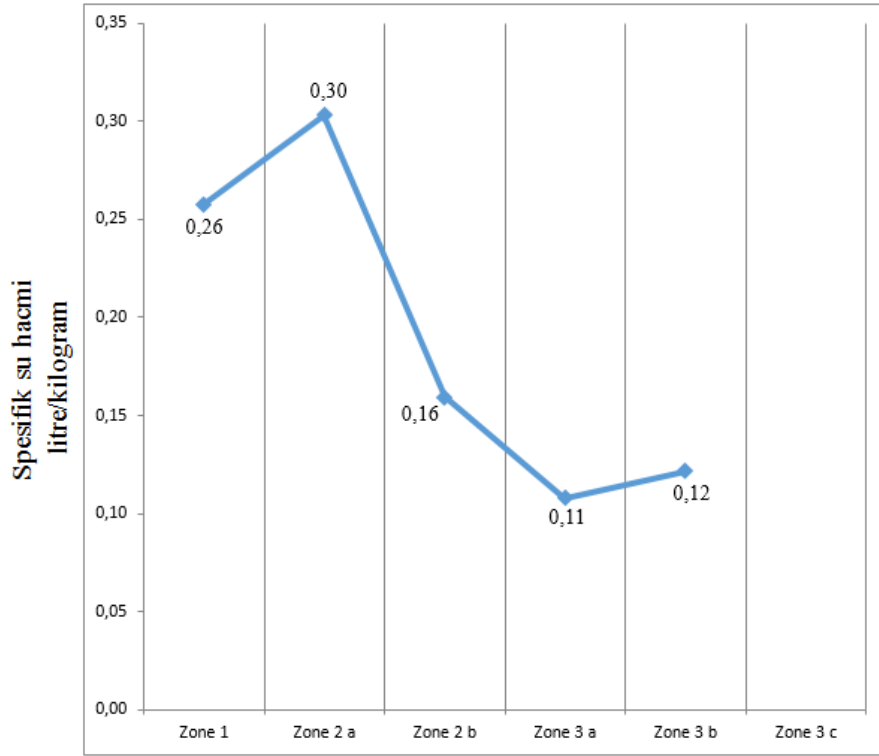
Çizelge 4.2. Deney 1' in kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,635	0,583	0,0094	0,0057	0,186	0,0035	0,0016	0,0001	0,002	0,0036
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,039	0,038	0,016	0,0088	0,003	0,0047	0,0001	102	0,741	0,0014



Şekil 4.1. Deney 1' in kalıp salınım grafiği

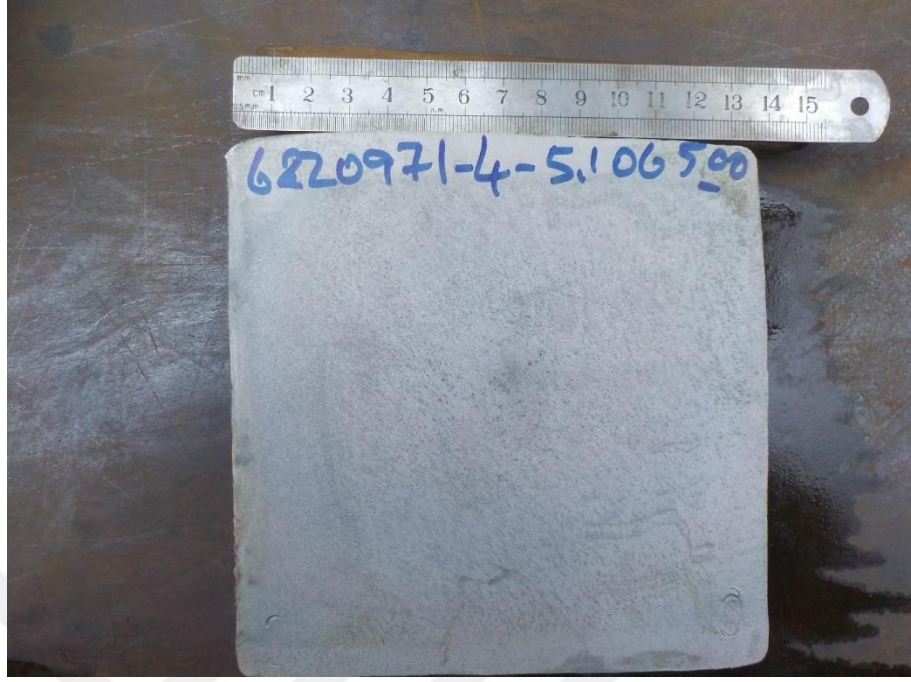
Kalıp salınım frekansı, kalıp strok boyu (duble) negatif sıyırma süresi, negatif sıyırma oranı, kalıbın toplam çevrim süresi, kalıbın maksimum hızı, birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış M-EMS 360 amper akım/5 hertz frekans değeri 400 amper akım / 5 hertz frekans olarak değiştirilmiştir. Şekil 4.1.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 4,77 metre/dakika (79,5 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 4,77 metre/dakika (79,5 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,32 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,32 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyırılmasına harcanmaktadır. Deney 1 için döküm hızı 2,8 metre/dakika (46,6 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.1' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.2. Deney 1' in spesifik su hacmi

Şekil 4.2.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.3. Deney 1' in makro numune resmi

Şekil 4.3. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 1' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlağı, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlağı, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapıda görülen kabul edilebilir segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir. Deney 1 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 2 gerçekleştirilmiştir.

4.2.2 Deney 2

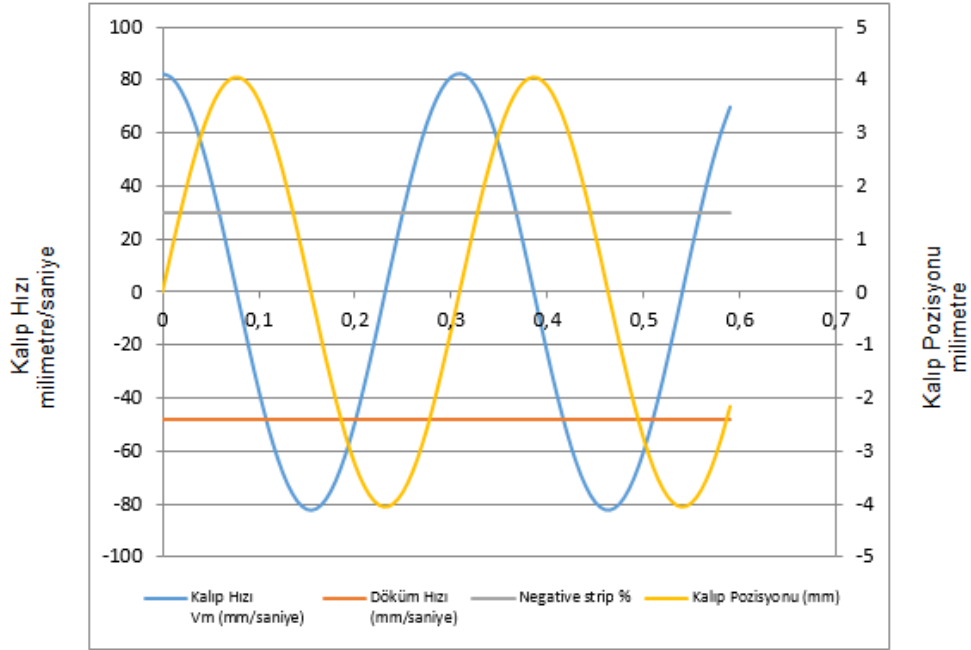
Birinci grupta yer alan Deney 2, ilk dökümde yapılan çalışmadır. Deney 2' de öncelikle mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan 400 amper akım / 5 hertz frekans M-EMS ile 2,8 metre/dakika olan döküm hızı 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 2

Döküm No	: 1	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1520	°C
Döküm Hızı	: 2,9	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 194,3	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,09	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,31	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 4,94	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

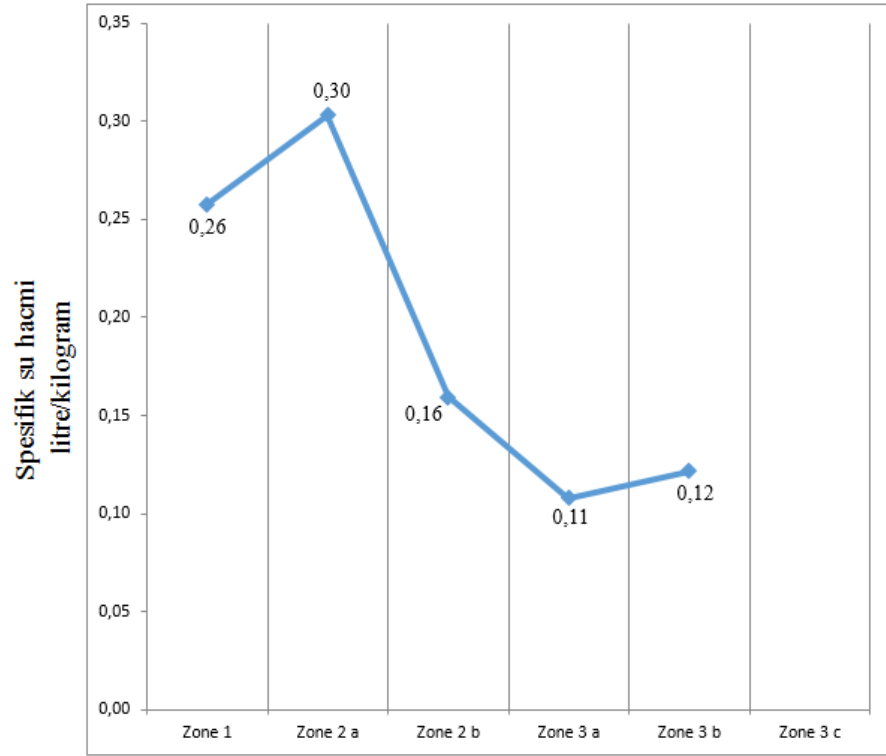
Çizelge 4.3. Deney 2' nin kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,635	0,583	0,0094	0,0057	0,186	0,0035	0,0016	0,0001	0,002	0,0036
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,039	0,038	0,016	0,0088	0,003	0,0047	0,0001	102	0,741	0,0014



Şekil 4.4. Deney 2' nin kalıp salınım grafiği

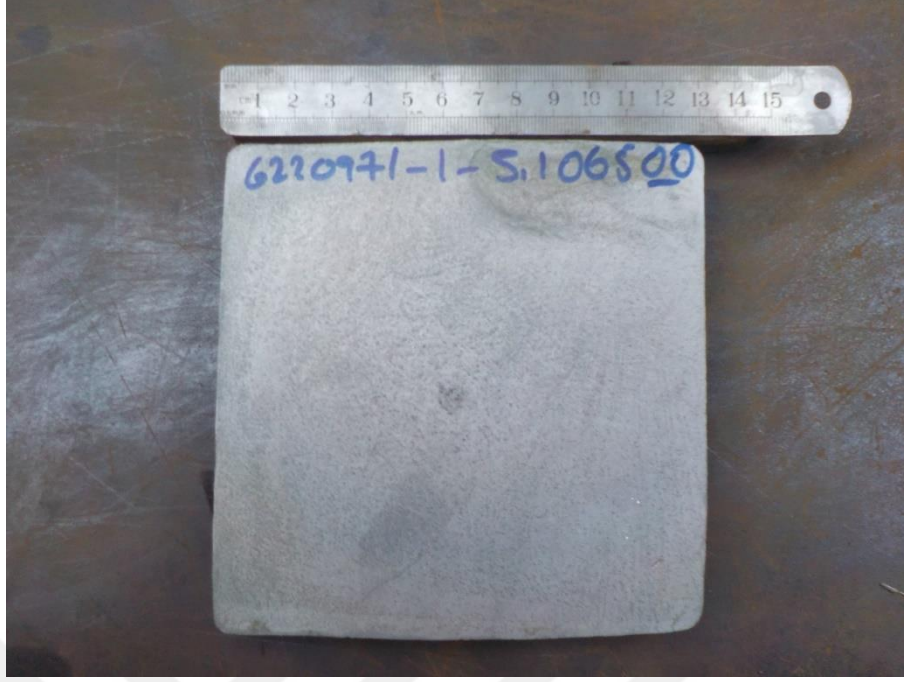
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerler olacak şekilde 400 amper akım / 5 hertz frekans M-EMS ile 2,8 metre/dakika olan döküm hızı 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.4.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 4,94 metre/dakika (82,3 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 4,94 metre/dakika (82,3 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,31 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,31 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 2 için döküm hızı 2,9 metre/dakika (48,3 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.4' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.5. Deney 2' nin spesifik su hacmi

Şekil 4.5.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.6. Deney 2' nin makro numune resmi

Şekil 4.6. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 2' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlağı, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlağı, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapıda görülen kabul edilebilir segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir. Kenara yakın bölgelerde kabul edilebilir inklüzyonlarda gözlenmiştir. Deney 2 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 3 gerçekleştirilmiştir.

4.2.3 Deney 3

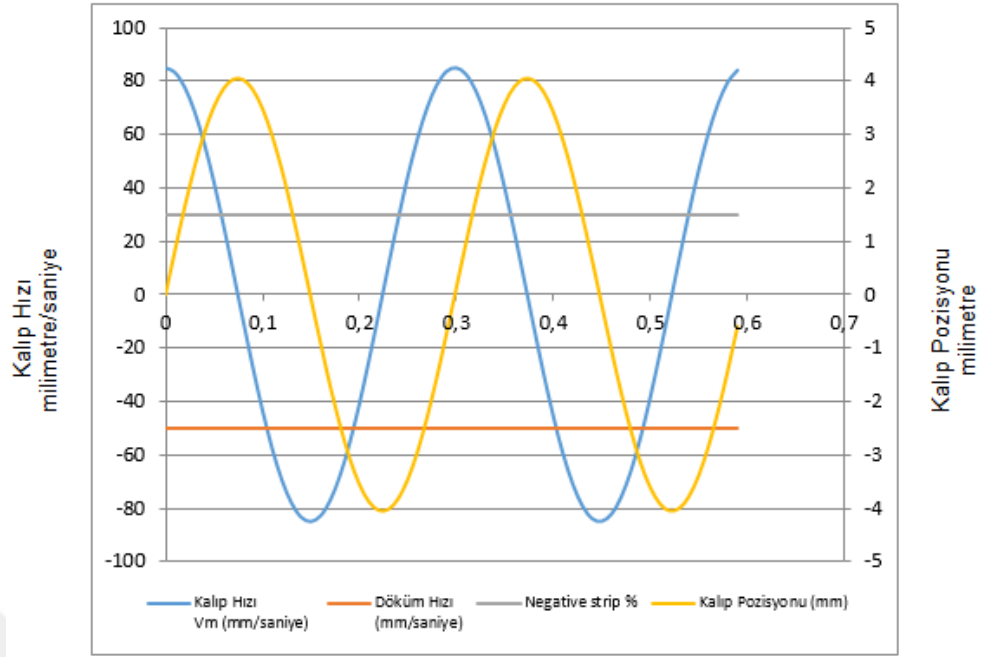
Birinci grupta yer alan Deney 3, ilk dökümde yapılan çalışmadır. Deney 3' te mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan 400 amper akım / 5 hertz frekans ile 2,8 metre/dakika olan hız 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 3

Döküm No	: 1	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1520	°C
Döküm Hızı	: 3,0	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 201	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,09	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,30	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,11	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

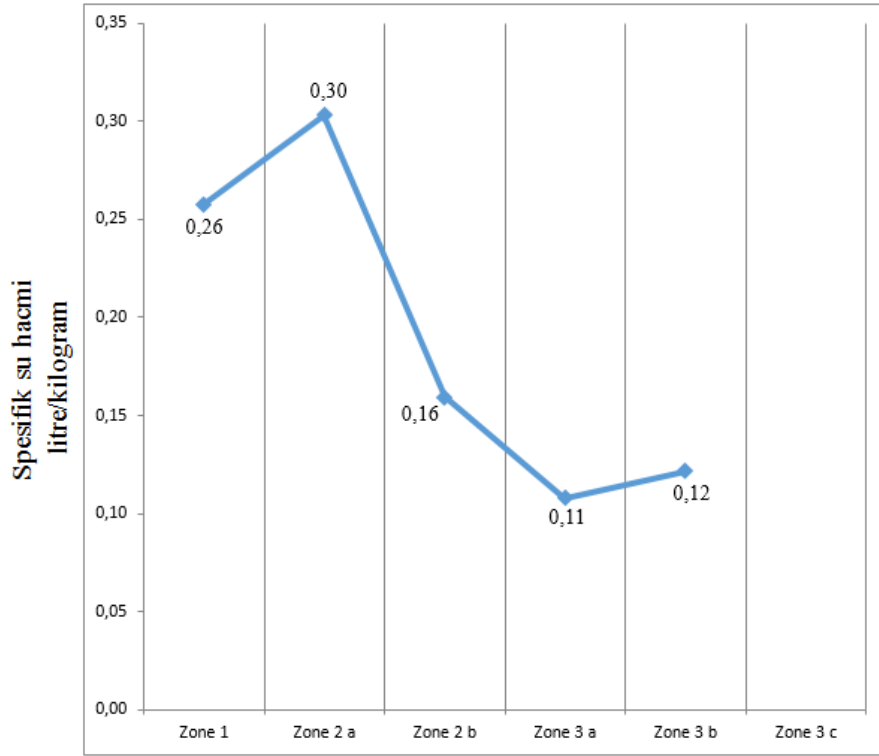
Çizelge 4.4. Deney 3' ün kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,635	0,583	0,0094	0,0057	0,186	0,0035	0,0016	0,0001	0,002	0,0036
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,039	0,038	0,016	0,0088	0,003	0,0047	0,0001	102	0,741	0,0014



Şekil 4.7. Deney 3' ün kalıp salınım grafiği

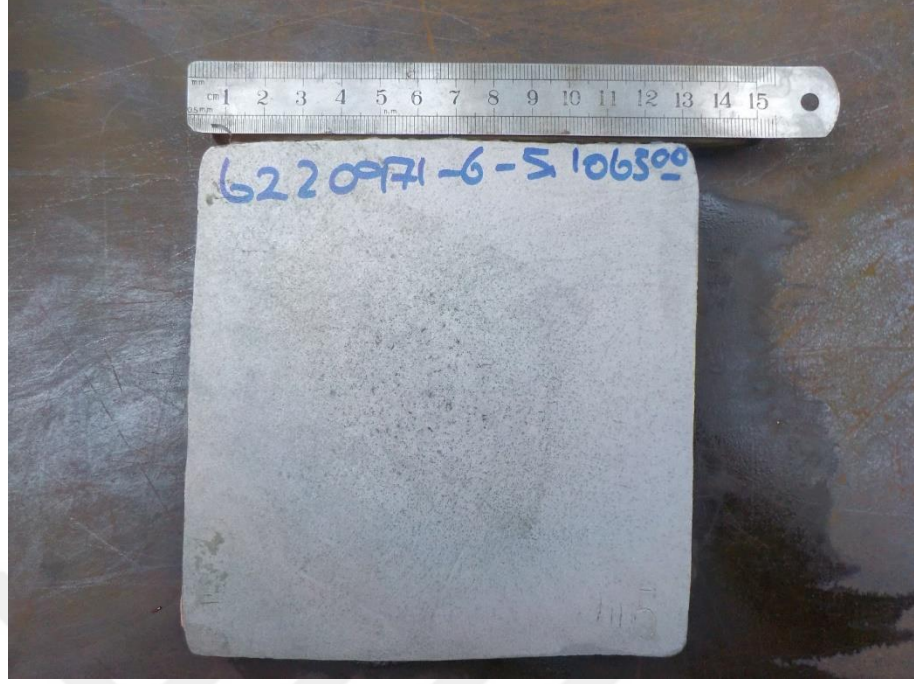
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerler olacak şekilde 400 amper akım / 5 hertz frekans M-EMS ile 2,8 metre/dakika olan döküm hızı 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.7.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,11 metre/dakika (85,2 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,11 metre/dakika (85,2 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,30 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,30 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 3 için döküm hızı 3,0 metre/dakika (50 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.7' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.8. Deney 3' ün spesifik su hacmi

Şekil 4.8.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.9. Deney 3' ün makro numune resmi

Şekil 4.9. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 3' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlağı, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlağı, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Kütük şeklinin köşegen farkları ve kenara yakın kısımdaki tam düzgün olamayan yapı boyutsal ihtiyaçları karşıladığından uygunsuzluk belirtilmemiştir. Deney 3 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 4 gerçekleştirilmiştir.

4.2.4 Deney 4

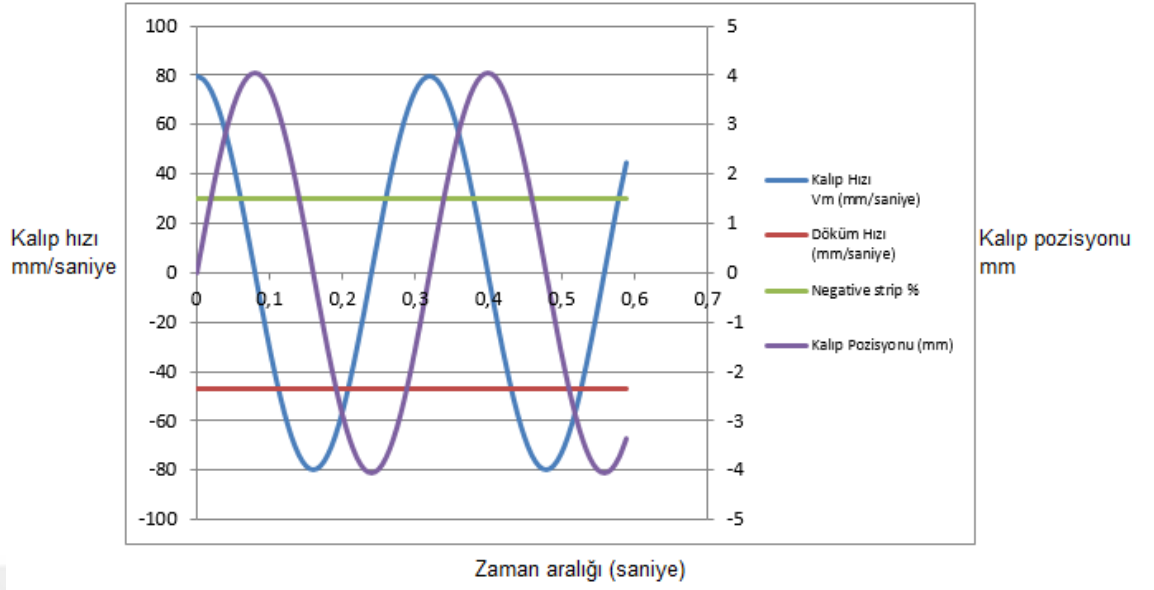
İkinci grupta yer alan Deney 4, ikinci dökümde yapılan çalışmadır. Deney 4' te M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ile işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 2,8 metre/dakika hızında farklı bir döküm olan bu denemede sabit tutulmuştur.

Deney 4

Döküm No	: 2	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1513	°C
Döküm Hızı	: 2,8	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 187,6	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,10	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,32	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 4,77	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

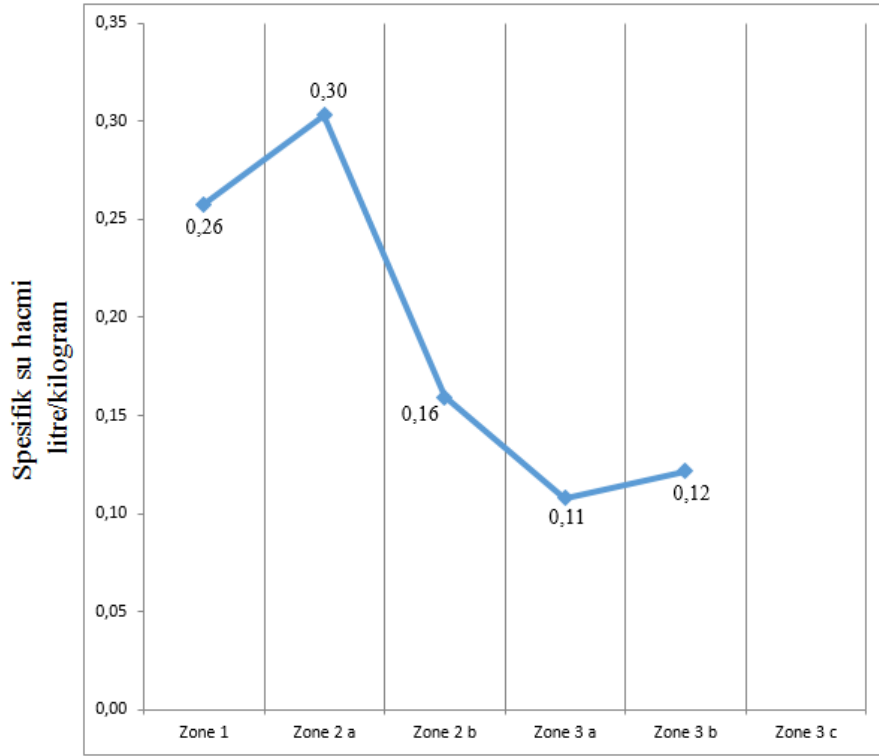
Çizelge 4.5. Deney 4' ün kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,633	0,604	0,0110	0,0070	0,204	0,0032	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,037	0,049	0,022	0,0088	0,003	0,0041	0,0001	86	0,745	0,0014



Şekil 4.10. Deney 4' ün kalıp salınım grafiği

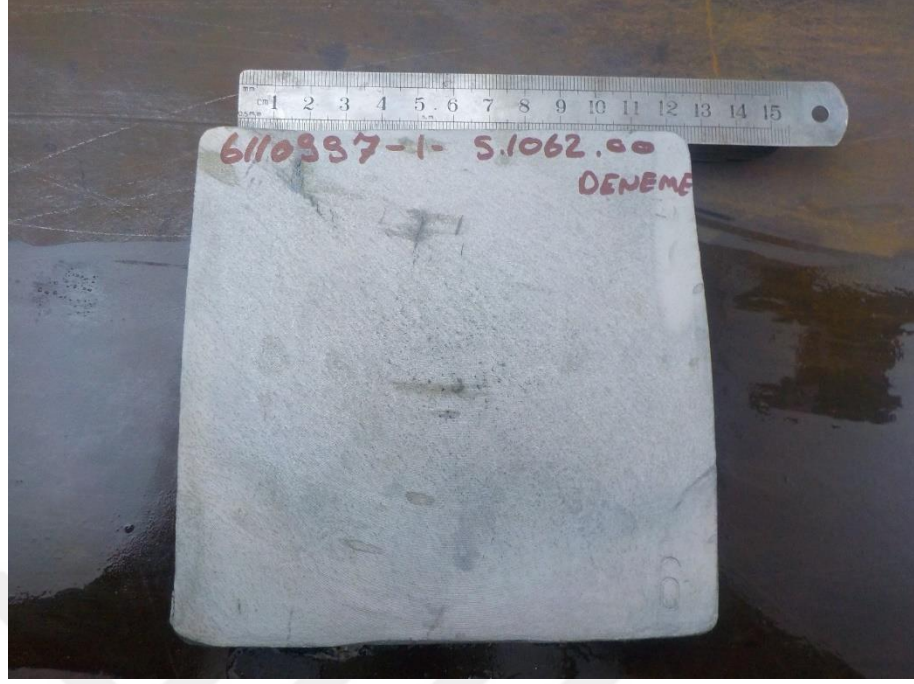
Kalıp salınım frekansı, kalıp strok boyu (duble) negatif sıyırma süresi, negatif sıyırma oranı, kalıbın toplam çevrim süresi, kalıbın maksimum hızı, birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans' ta 2,8 metre/dakika denemesi yapılmıştır. Şekil 4.10.' da görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 4,77 metre/dakika (79,5 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 4,77 metre/dakika (79,5 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,32 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,32 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyırılmasına harcanmaktadır. Deney 4 için döküm hızı 2,8 metre/dakika (46,6 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.10' daki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.11. Deney 4' ün spesifik su hacmi

Şekil 4.11.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.12. Deney 4' ün makro numune resmi

Şekil 4.12. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 4' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlak, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlak, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapıdaki segregasyon çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Kütük şeklinin köşegen farkları sebebiyle de oluşabilecek yarıyol çatlakları tespit edilmiştir. Kenara yakın kısımdaki kılcal çatlaklar ihtiyaçları karşıladığından uygunsuzluk belirtilmemiştir. Deney 4 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 5 gerçekleştirilmiştir.

4.2.5 Deney 5

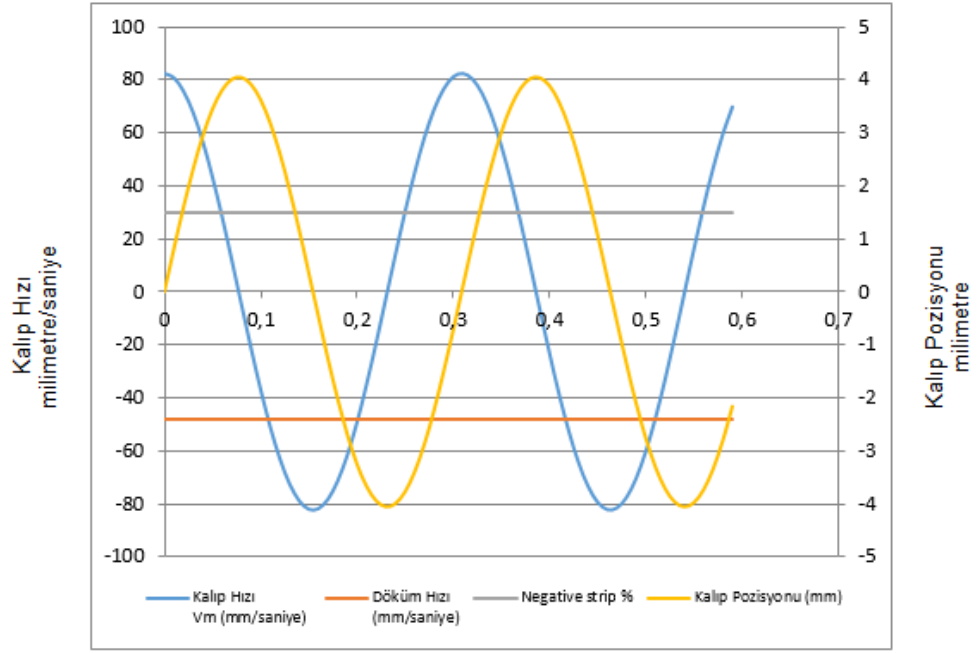
İkinci grupta yer alan Deney 5, ikinci dökümde yapılan çalışmadır. Deney 5' te M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 5

Döküm No	: 2	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1513	°C
Döküm Hızı	: 2,9	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 194,3	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,09	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,31	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 4,94	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

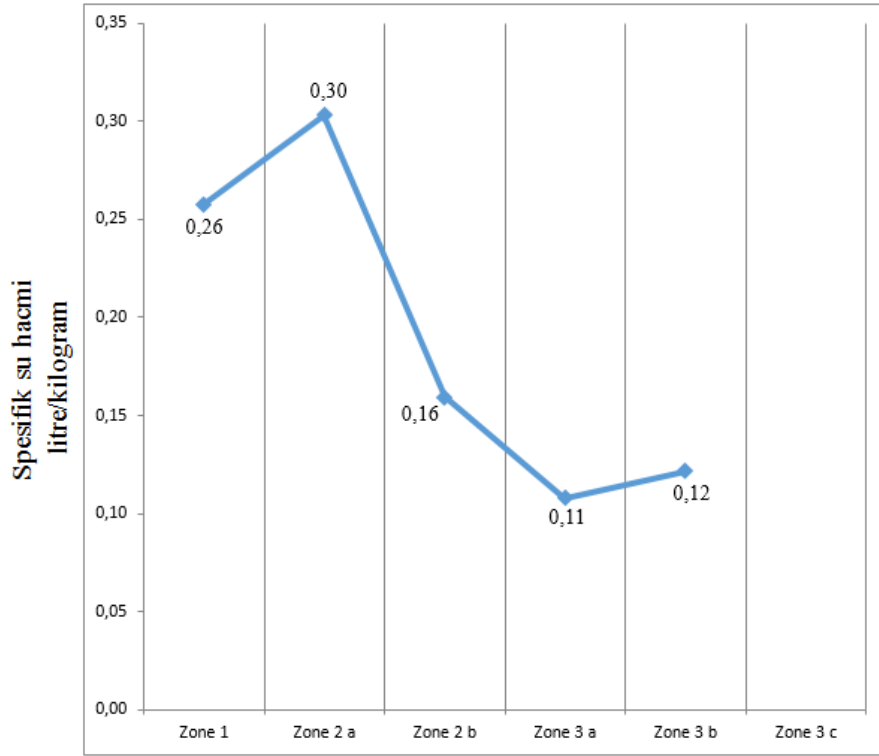
Çizelge 4.6. Deney 5' in kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,633	0,604	0,0110	0,0070	0,204	0,0032	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,037	0,049	0,022	0,0088	0,003	0,0041	0,0001	86	0,745	0,0014



Şekil 4.13. Deney 5' in kalıp salınım grafiği

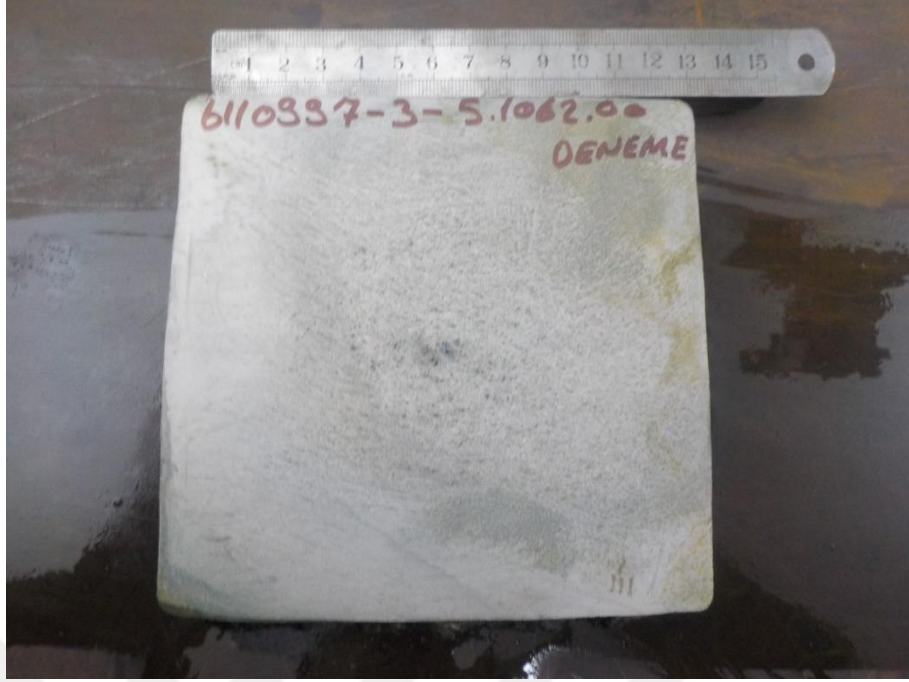
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.13.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 4,94 metre/dakika (82,3 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 4,94 metre/dakika (82,3 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,31 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,31 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 5 için döküm hızı 2,9 metre/dakika (48,3 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.13' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.14. Deney 5' in spesifik su hacmi

Şekil 4.14.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.15. Deney 5' in makro numune resmi

Şekil 4.15. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 5' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlağı, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlağı, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Kütük şeklinin köşegen farkları ve kenara yakın kısımdaki tam düzgün olamayan yapı boyutsal ihtiyaçları karşıladığından uygunsuzluk belirtilmemiştir. Deney 5 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 6 gerçekleştirilmiştir.

4.2.6 Deney 6

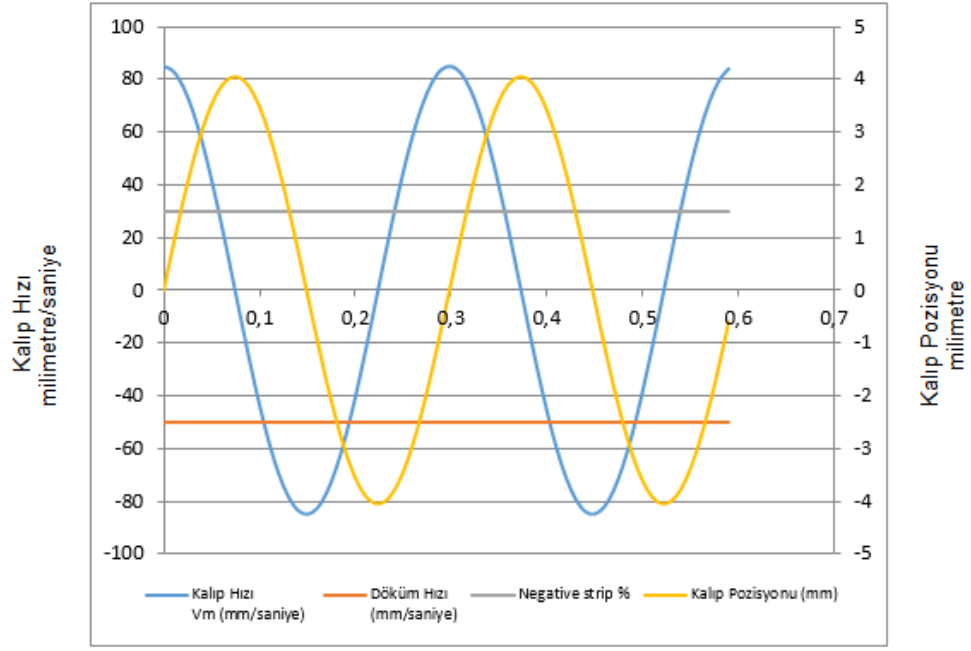
İkinci grupta yer alan Deney 6, ikinci dökümde yapılan çalışmadır. Deney 6' da M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 6

Döküm No	: 2	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1513	°C
Döküm Hızı	: 3,0	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 201	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,09	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,30	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,11	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

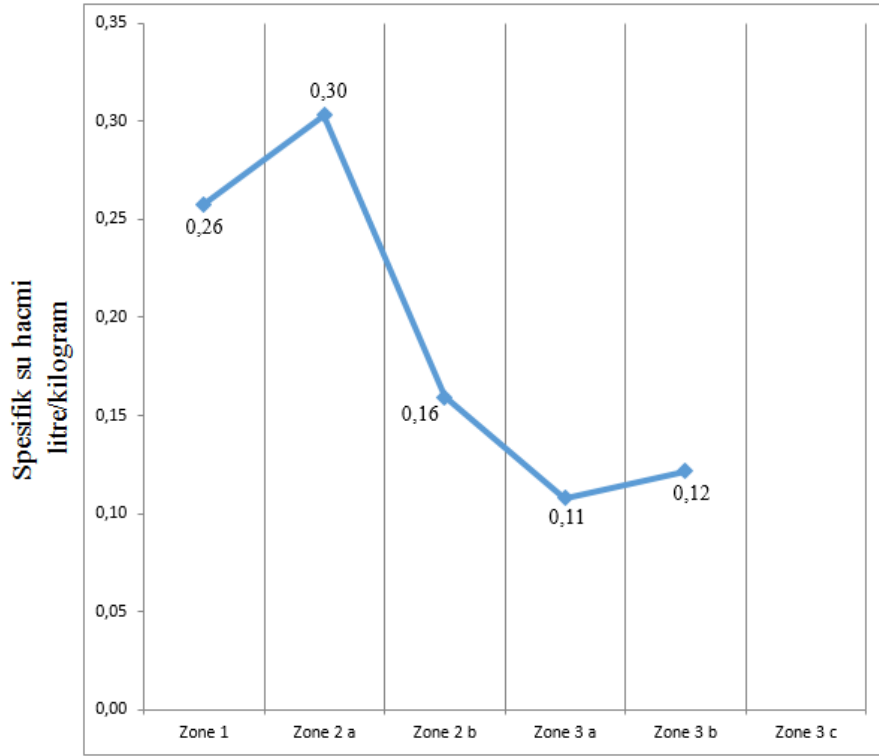
Çizelge 4.7. Deney 6' nın kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,633	0,604	0,0110	0,0070	0,204	0,0032	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,037	0,049	0,022	0,0088	0,003	0,0041	0,0001	86	0,745	0,0014



Şekil 4.16. Deney 6' nın kalıp salınım grafiği

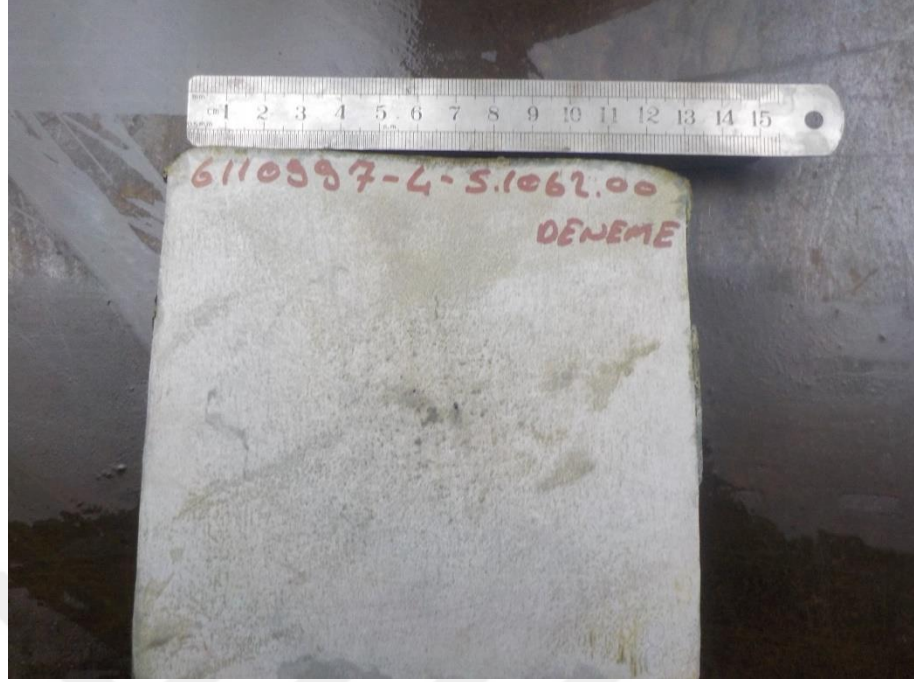
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.16.' da görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,11 metre/dakika (85,2 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,11 metre/dakika (85,2 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,30 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,30 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 6 için döküm hızı 3,0 metre/dakika (50 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.16' daki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.17. Deney 6' nın spesifik su hacmi

Şekil 4.17.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.18. Deney 6' nın makro numune resmi

Şekil 4.18. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 6' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlağı, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlağı, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Köşede gözlenen kılcal çatlak kabul edilebilir seviyede olduğu için uygunsuzluk belirtilmemiştir, yüksek karbonlu mikro alaşımlı çeliklerde kütüğün genelini temsil etmeyen kısmen görülen bir durumdur. Deney 6 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 7 gerçekleştirilmiştir.

4.2.7 Deney 7

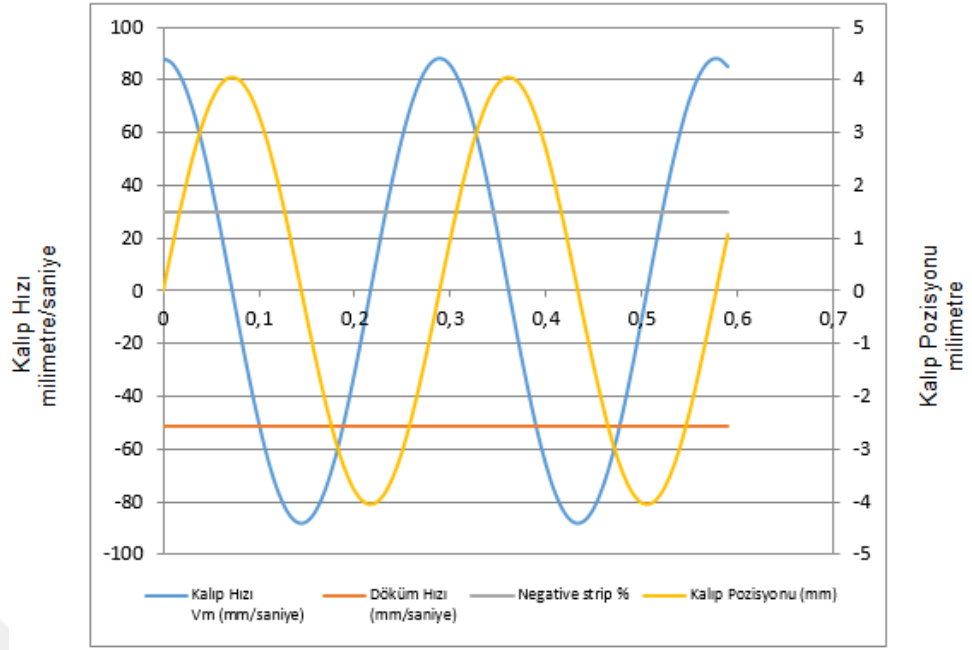
İkinci grupta yer alan Deney 7, ikinci dökümde yapılan çalışmadır. Deney 7' te M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,1 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 7

Döküm No	: 2	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1513	°C
Döküm Hızı	: 3,1	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 207,7	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,09	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,29	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,29	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

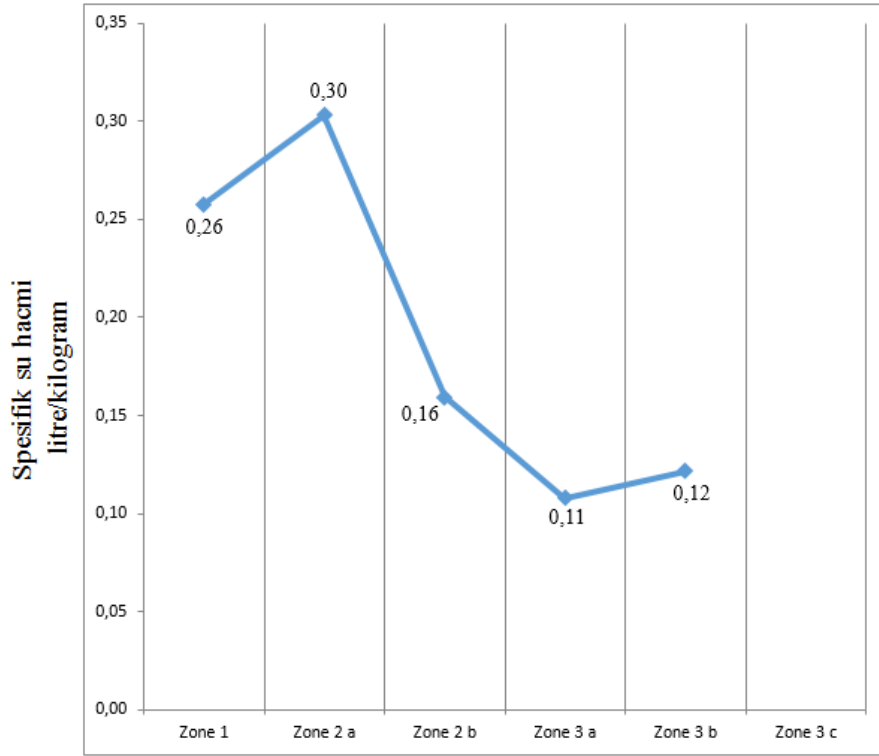
Çizelge 4.8. Deney 7' nin kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,633	0,604	0,0110	0,0070	0,204	0,0032	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,037	0,049	0,022	0,0088	0,003	0,0041	0,0001	86	0,745	0,0014



Şekil 4.19. Deney 7' nin kalıp salınım grafiği

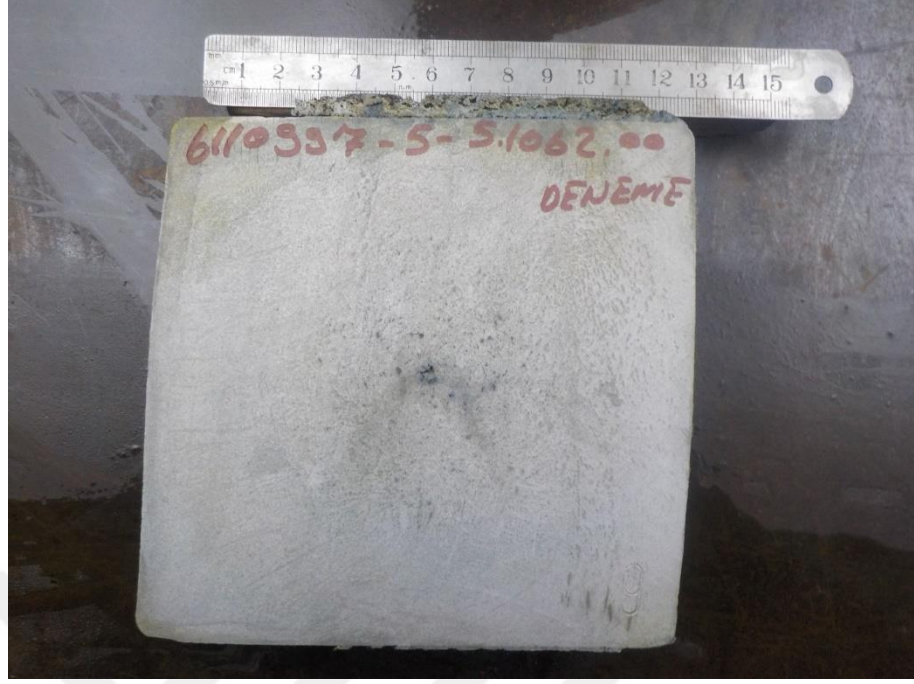
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,1 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.19.' da görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,29 metre/dakika (88,2 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,29 metre/dakika (88,2 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,29 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,29 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 7 için döküm hızı 3,1 metre/dakika (51,6 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.19' daki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.20 Deney 7' nin spesifik su hacmi

Şekil 4.20.' de görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.21. Deney 7' nin makro numune resmi

Şekil 4.21. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 7' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlak, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlak, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Bir köşede gözlenen kılcal çatlak kabul edilebilir seviyede olduğu için uygunsuzluk belirtilmemiştir, yüksek karbonlu mikro alaşımlı çeliklerde kütüğün genelini temsil etmeyen kısmen görülen bir durumdur. Deney 7 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 8 gerçekleştirilmiştir.

4.2.8 Deney 8

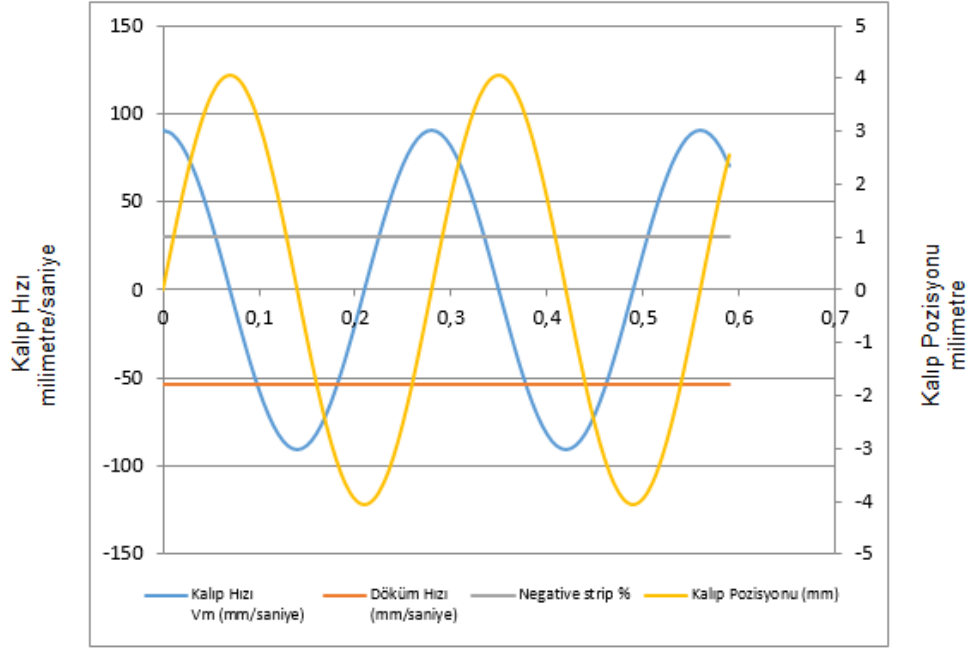
İkinci grupta yer alan Deney 8, ikinci dökümde yapılan çalışmadır. Deney 8' te M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 8

Döküm No	: 2	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1513	°C
Döküm Hızı	: 3,2	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 214,4	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,08	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,28	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,46	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

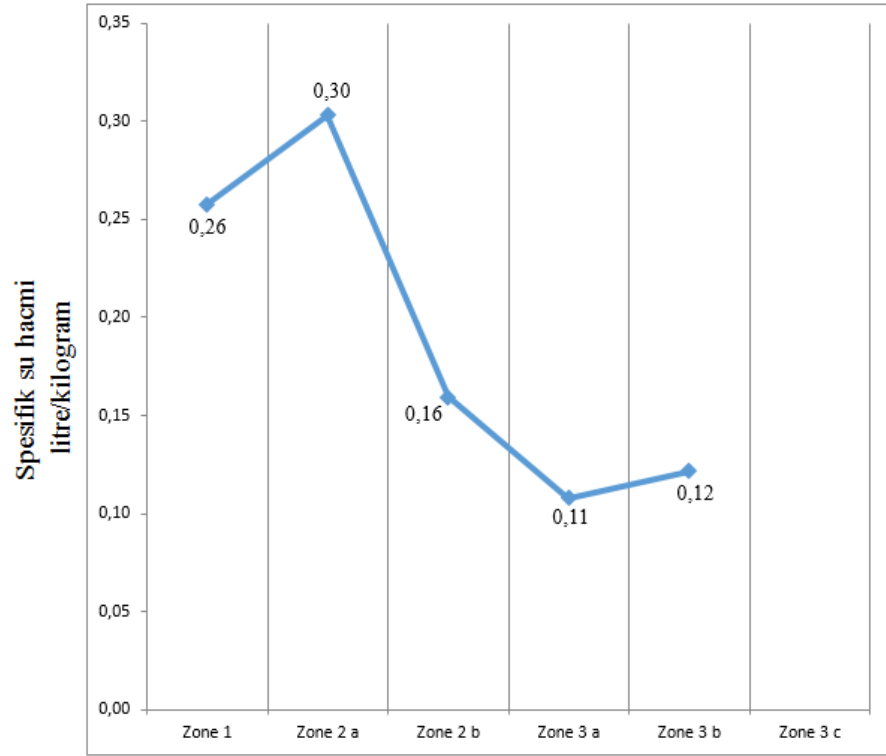
Çizelge 4.9. Deney 8' in kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,633	0,604	0,0110	0,0070	0,204	0,0032	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,037	0,049	0,022	0,0088	0,003	0,0041	0,0001	86	0,745	0,0014



Şekil 4.22. Deney 8' in kalıp salınım grafiği

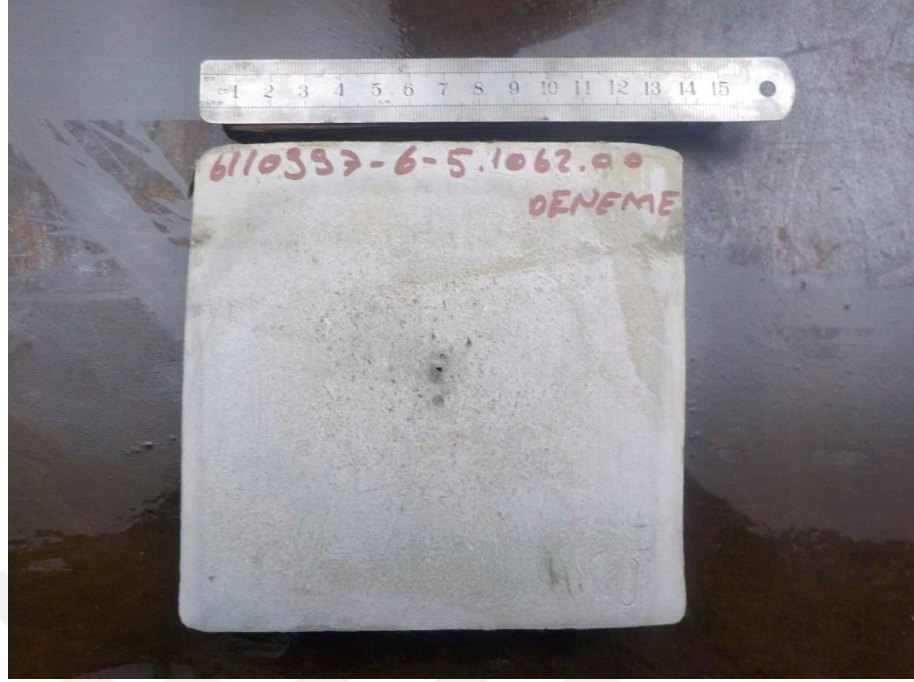
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.22.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,28 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,28 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 8 için döküm hızı 3,2 metre/dakika (53,3 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.22' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.23. Deney 8' in spesifik su hacmi

Şekil 4.23.' te görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.24. Deney 8' in makro numune resmi

Şekil 4.24. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 8' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlak, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlak, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Deney 8 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 9 gerçekleştirilmiştir.

4.2.9 Deney 9

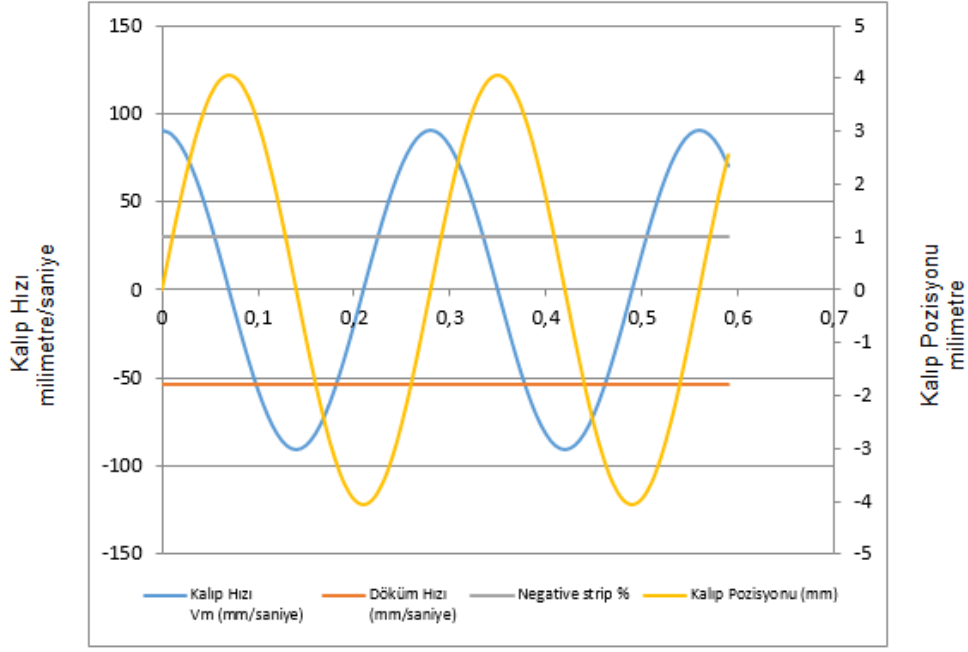
Üçüncü grupta yer alan Deney 9, üçüncü dökümde yapılan çalışmadır. Deney 9’ da M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram sabit tutularak döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Deney 9

Döküm No	: 3	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1515	°C
Döküm Hızı	: 3,2	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 214	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,08	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,28	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,46	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 0,95	litre/kilogram

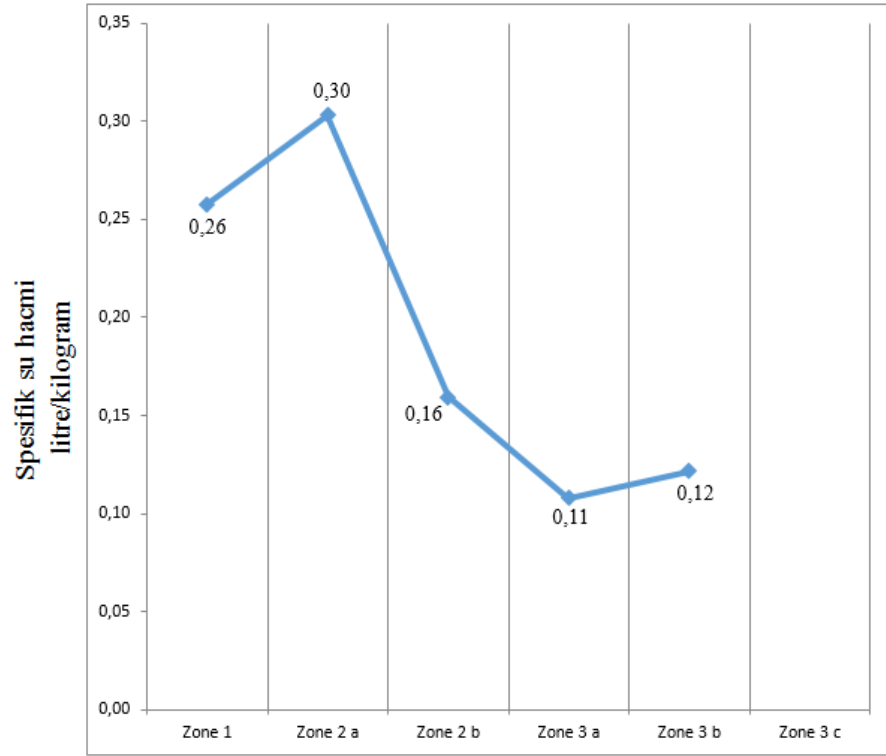
Çizelge 4.10. Deney 9’ un kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,636	0,588	0,0129	0,0055	0,213	0,0036	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,035	0,050	0,031	0,0080	0,003	0,0033	0,0001	107	0,746	0,0013



Şekil 4.25 Deney 9' un kalıp salınım grafiği

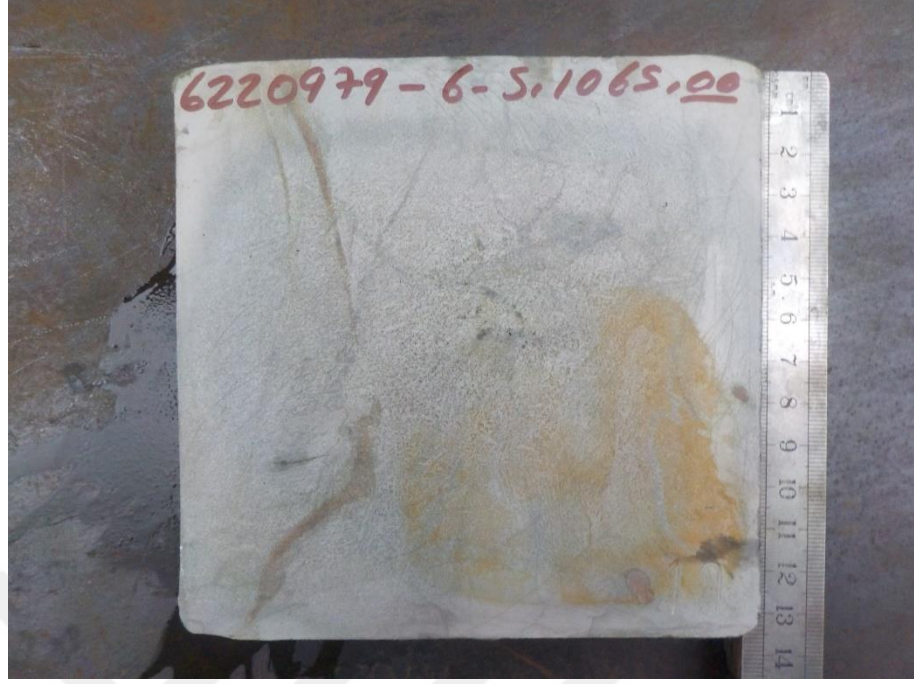
Kalıp strok boyu (duble), birincil soğutma ve spesifik su hacmi parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram sabit tutularak döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır. Şekil 4.25.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,28 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,28 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 9 için döküm hızı 3,2 metre/dakika (53,3 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.25' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



İkincil soğutma bölgeleri

Şekil 4.26 Deney 9' un spesifik su hacmi

Şekil 4.26.' da görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.27 Deney 9' un makro numune resmi

Şekil 4.27. makro numune resminde görüleceği üzere Deney 9' de kalite ihtiyaçları da karşılanmış, EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlak, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlak, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Yapıda görülen kılcal çatlaklar ihtiyaçları karşıladığından uygunsuzluk belirtilmemiştir. Deney 9 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası Deney 10 gerçekleştirilmiştir.

4.2.10 Deney 10

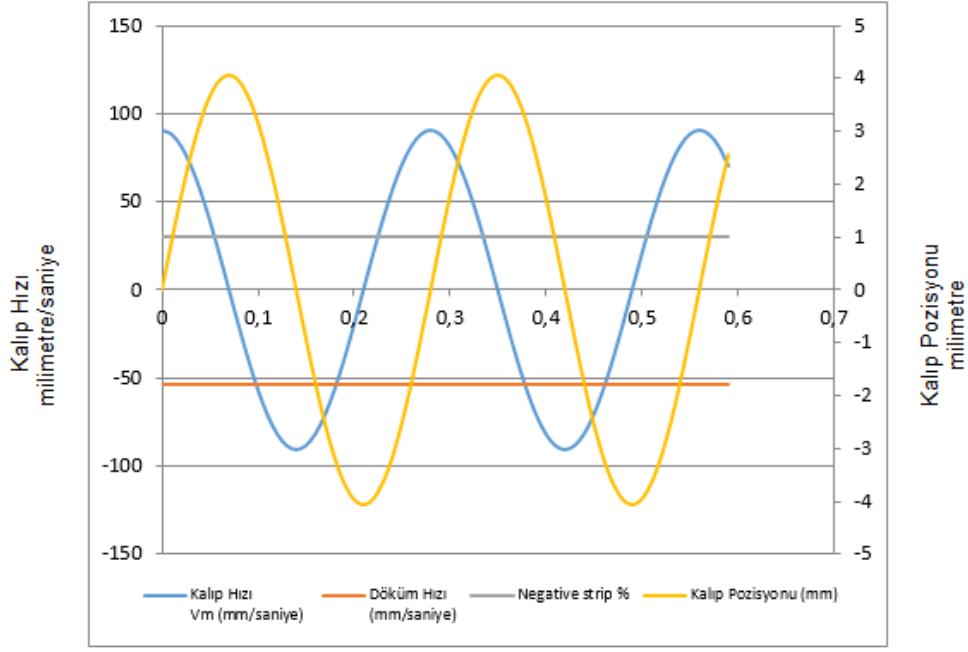
Üçüncü grupta yer alan Deney 10, üçüncü dökümde yapılan çalışmadır. Deney 10' da M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram olan değer 1,27 litre/kilograma artırılmıştır.

Deney 10

Döküm No	: 3	
Tandış İçi Sıvı Çelik Sıcaklığı	: 1515	°C
Döküm Hızı	: 3,2	metre/dakika
Kalıp Salınım Frekansı	: 214,4	çevrim sayısı/dakika
Kalıp Strok Boyu (duble)	: 8,1	mm
Negatif Sıyırma Süresi	: 0,08	saniye
Negatif Sıyırma Oranı	: 30,05	%
Kalıbın Toplam Çevrim Süresi	: 0,28	saniye
Kalıbın maksimum hızı	: 5,46	metre/dakika
M-EMS	: 400 / 5	amper akım / hertz frekans
Birincil Soğutma (kalıp)	: 1750	litre/dakika
Spesifik Su Hacmi	: 1,27	litre/kilogram

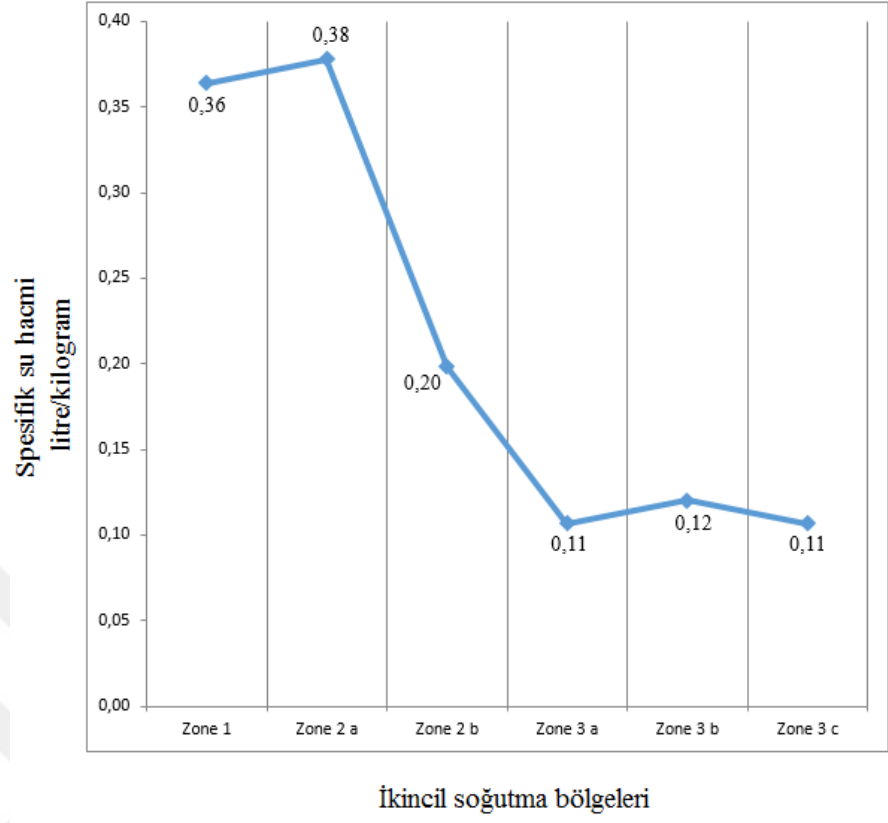
Çizelge 4.11. Deney 10' un kimyasal analiz değerleri

ANALİZ BİLGİLERİ									
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Ti	%Nb	%V	%B
0,636	0,588	0,0129	0,0055	0,213	0,0036	0,0017	0,0001	0,001	0,0039
%Ni	%Cu	%Cr	%N	%Mo	%Sn	%Pb	Mn/S	%Ceş	Ca
0,035	0,050	0,031	0,0080	0,003	0,0033	0,0001	107	0,746	0,0013



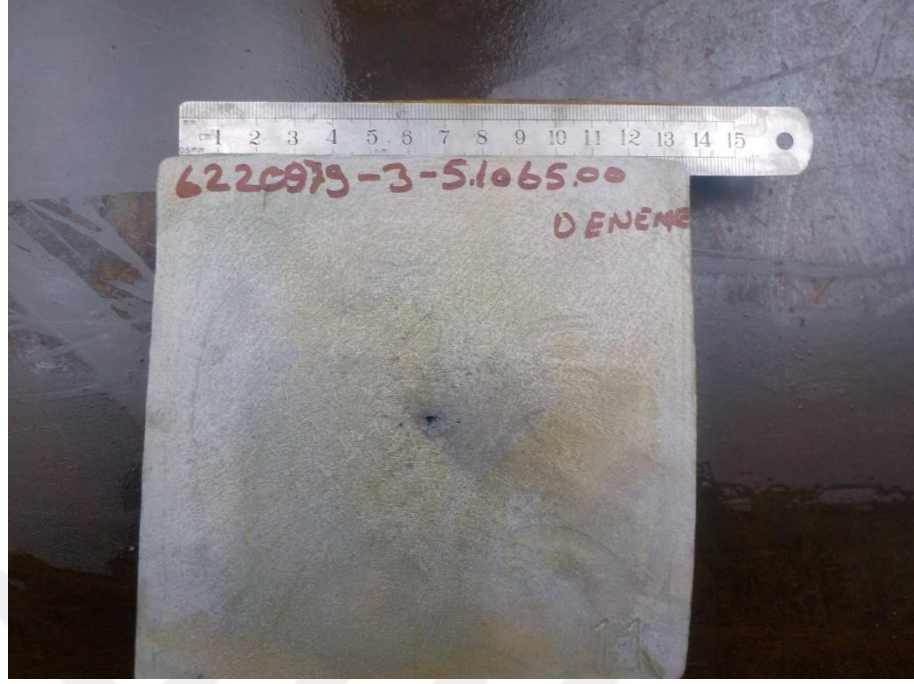
Şekil 4.28 Deney 10' un kalıp salınım grafiği

Kalıp strok boyu (duble) ve birincil soğutma parametreleri mevcut durum değerleri olacak şekilde esas alınmış olup M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram olan değer 1,27 litre/kilograma artırılmıştır. Şekil 4.28.' de görüleceği üzere bakır kalıbın salınım hareketi yukarı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve +4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanır. Aynı hareket aşağı doğru maksimum 5,46 metre/dakika (91 mm/saniye) hıza ve -4,05 mm seviyeye ulaşacak şekilde tamamlanarak sıvı çeliğin dökümünün devamlılığı sağlanmaktadır. Toplamda 8,1 mm (aşağı-yukarı) olan hareketin tamamlanması (1 tur) 0,28 saniye sürmektedir. Bu toplam çevrim süresinin (0,28 saniye) % 30,05' lik dilimi kütüğün aşağı yönde sıyrılmasına harcanmaktadır. Deney 10 için döküm hızı 3,2 metre/dakika (53,3 mm/saniye) olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.28' deki grafikte bakır kalıp içerisindeki sıvı çeliğin maruz kaldığı hız, pozisyon değişimi (salınım) gibi parametrelerin temel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.29. Deney 10' un spesifik su hacmi

Şekil 4.29.' da görüleceği üzere ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,36 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,38 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,20 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika, zone 3c bölgesinde 0,11 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.30. Deney 10' un makro numune resmi

M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram olan değer 1,27 litre/kilograma artırılmasıyla 2,8 metre/dakika olan döküm hızı 3,2 metre/dakikaya çıkarılmıştır. Deney 10 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası işletmede rutin uygulamaya geçilmiştir. Şekil 4.30. ' da görüleceği M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram olan değer 1,27 litre/kilograma artırılmasıyla 2,8 metre/dakika olan döküm hızı 3,2 metre/dakikaya çıkarılmıştır. EK 1' deki kusurlar dikkate alınarak merkez segregasyon, merkez çekilme boşluğu, merkez yıldız çatlak, gaz boşluğu, inklüzyon bandı, yarıyol çatlak, diagonal çatlak kusurları kabul edilebilir seviyede gerçekleşmiştir. Merkez yapının dışında da gözlenen segregasyon yapısı çelik temizliği ilgili olabilmektedir ve kabul edilebilir seviyededir. Merkez çekme boşluğu ihtiyaçları karşıladığından uygunsuzluk belirtilmemiştir. Deney 10 sonuçlarının kabul edilebilir olması sonrası işletmede rutin uygulamaya geçilmiştir.

4.2.11. Kütük Numunesi Üzerinde Optik Mikroskop İncelemeleri

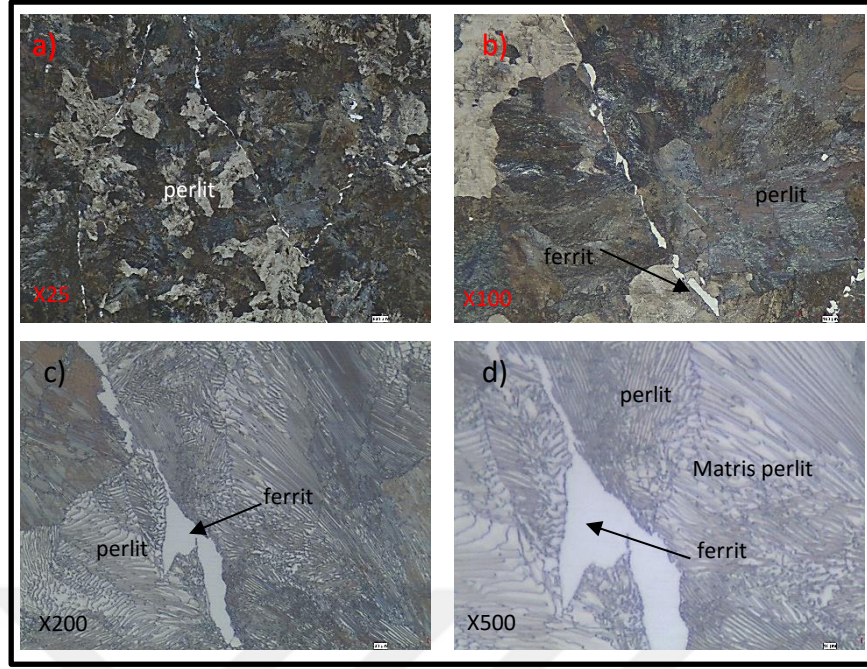
Metalurjik çalışmalarda malzemenin içyapısının incelenmesi gerekebilir. Malzemelerin içyapısını incelemeye amaç; malzemede mevcut fazların miktarını ve dağılımını; tane boyut, şekli ve dağılımı ve genel olarak yapı kusurlarının cinsini ve miktarını saptamaktır. Normal yapısal incelemeler için optik mikroskoplar kullanılmaktadır. Metal ve alaşımların içyapılarının 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 (Anonim, 2017).

Optik mikroskop incelemelerinde çeliğin kütük dökümünde analiz ve soğutma şartları da dikkate alınmak koşulu ile beklenen fazlar, Ferrit (α) ve Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)' tir.

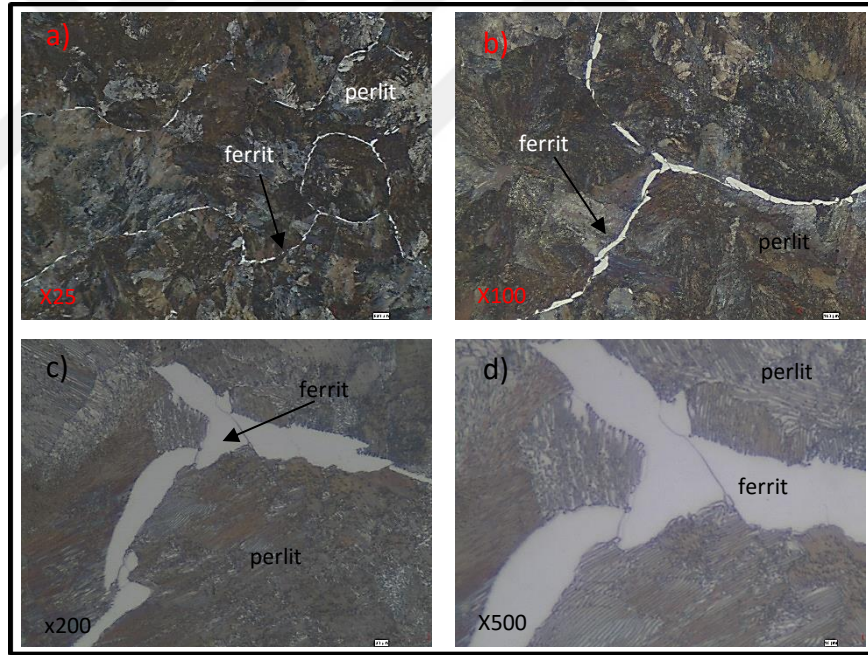
Ferrit(α) hacim merkezli kübik yapıya sahip demir içerisinde çok az orandaki karbonun çözünmesiyle oluşan bir arayer katı çözüntüsüdür. Bu faz içerisinde, 723 °C sıcaklıkta % 0.025 oranında karbon çözünürken, bu oran oda sıcaklığında % 0.008 değerine düşmektedir. Ferrit, Fe-C sistemindeki en yumuşak fazdır.

Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) : % 0.8 C içeren çeliğin, östenit bölgesinden yavaş soğutulması sırasında 723 °C sıcaklıkta meydana gelen ötektoid dönüşüm sonucunda oluşan bir yapıdır. Perlit, ferrit ve sementit lamellerinden oluşur. Yapıda, beyaz renkli kısım ferrit matrisi, koyu renkli lameller ise sementit fazını gösterir (Anonim, 2017).

Yapılan çalışmada X25, X100, X200, x500 büyütme kullanılarak sürekli dökümlerde üretilen kütük numuneleri üzerinde optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan optik mikroskop' un marka ve modeli Nikon Epiphot 200' dür. X25, X50, X100, X200, X500, X1000 büyütme aralıklarına sahiptir. Metalik malzemelerin mikro yapılarını görüntülemek için kullanılmaktadır. Otomatik numune tablasına sahip olup Clemex PE V8.0 ve CIR V8.0 yazılımları kullanılmaktadır.



Şekil 4.31. 2,8 m/dk döküm hızı için optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.32. 3,2 m/dk döküm hızı için optik mikroskop görüntüsü

Sürekli döküm tesisindeki çalışmada 2,8 m/dk hız ile üretilen çelik kütükler şekil 4.31. a' da görüleceği üzere optik mikroskop ile X25 büyütmede kenardan merkeze doğru uzamış taneler görülmüştür. Tane sınırında oluşan ferrit yapılar tespit edilmiştir. Yapının neredeyse tamamının perlit olduğu görülmüştür. Yapı genelinde nadir olarak ferrit tanelerine rastlanmıştır. Matris perlitten oluşmaktadır denilebilir. Şekil 4.31 b' de X100

büyütmede perlit taneleri ortaya çıkmıştır. Şekil 4.31. c' de X200 büyütmede perlit tanelerinin daha iri boyutta olduğu görülmüştür. Perlit taneleri içindeki lameller görünmeye başlanmıştır. Şekil 4.31. d' de X500 büyütmede perlit taneleri daha da belirginleşmiştir. Perlit taneleri ve lamelleri daha iri boyutta olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.32' te görüleceği üzere çelik kütük matrisinin ana yapısının perlitten oluştuğu ve tane sınırları arasında ferrit fazının bulunduğu tespiti yapılmıştır. Şekil 4.32. a' da görüleceği üzere X25 büyütmede uzunlamasına katılmış taneler görülmüştür. Tane sınırında arasında ferrit yapılar tespit edilmiştir. Çelik kütük numunesi matris dokusunun perlit fazından oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.32 b' de X100 büyütme ile yapılan incelemelerde perlit faz tanelerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Şekil 4.32.' de c' de X200 büyütmede perlit taneleri daha iyi görünmektedir. Perlit taneleri içindeki lameller daha net görünmeye başlanmıştır. Şekil 4.32. d' de X500 büyütmede iç içe geçmiş perlit taneleri görülmektedir. Perlit taneleri ve lamelleri daha da belirginleşmiştir.

Sürekli döküm kütük üretimi deneme çalışmalarında 2,8 metre/dakika döküm hızı ile 3.2 metre/dakika döküm hızı arasında çelik bünyesinde oluşan faz yapılarında kütük kalitesini olumsuz etkileyecek önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Üretim sırasında meydana gelen faz yapıları sonraki haddeleme üretim prosesinde çalışma şartlarına ve müşterinin kalite taleplerine göre farklılık gösterebilecektir.

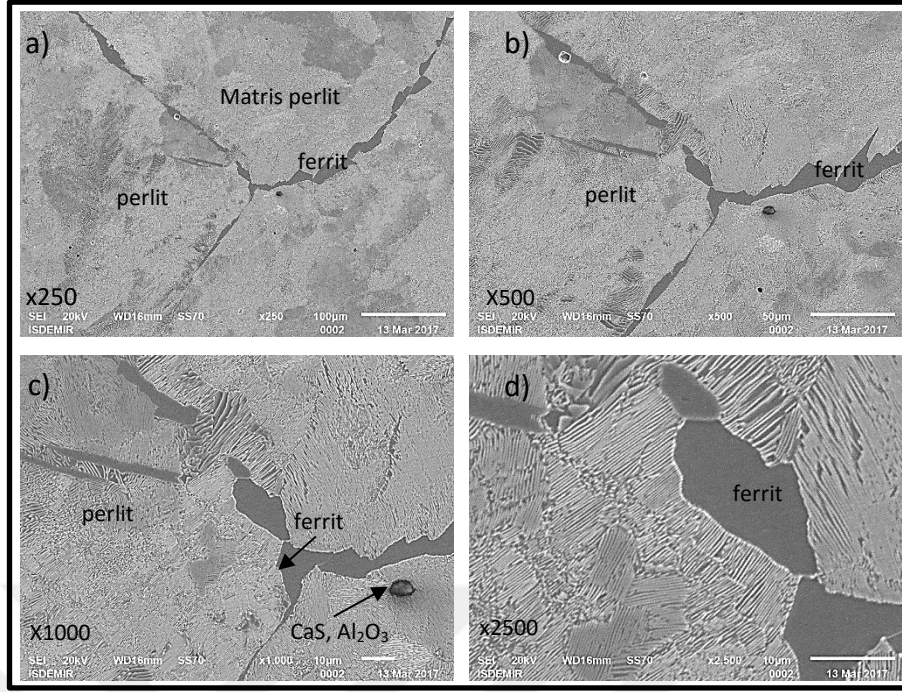
4.2.12. Kütük Numunesi Üzerinde SEM ve EDS İncelemeleri

Metalurjik çalışmalarda malzemenin içyapıları SEM ve EDS ile incelenebilmektedir. Taramalı Elektron Mikroskobu' nda (SEM) yapılan görüntü analizleri, incelenen örneğin genel morfolojik özellikleri ile iç yapısını oluşturan bileşenlerin yapısal ve dokusal özellikleri hakkında detaylı bilgiyi sağlarken, bu görüntü analizleriyle eş zamanlı olarak elementel analizler de yapılabilmektedir. Taramalı elektron mikroskobundaki elementel analizler, elektron demetinin numune üzerindeki bombardımanı sırasında numuneyi oluşturan elementlerden yayılan karakteristik X-ışınlarının elektron mikroskobuna bağlı EDS (enerji saçınım spektrometresi) dedektörleri ile algılanıp analiz edilmeleri yoluyla gerçekleştirilir. Bu sayede, morfolojik görüntü analizleri sırasında incelenen örnek üzerindeki bir noktanın, bir hattın ve/veya belirli bir

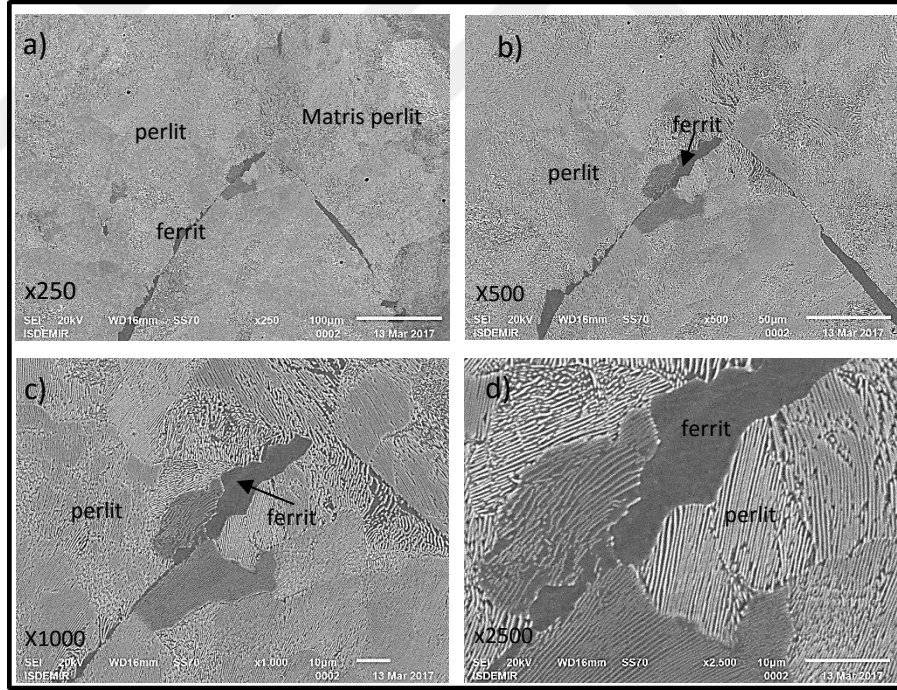
alanın elementel mikro analizi yapılabilmekte, örnek üzerinde istenen bir alandaki elementlerin dağılım haritaları çıkarılabilmektedir. (Anonim, 2017)

SEM incelemelerinde çeliğin kütük dökümünde analiz ve soğutma şartları da dikkate alınmak koşulu ile beklenen fazlar, Ferrit (α) ve Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)' tir. EDS yeterliliğine göre Fe ve C beklenmektedir.

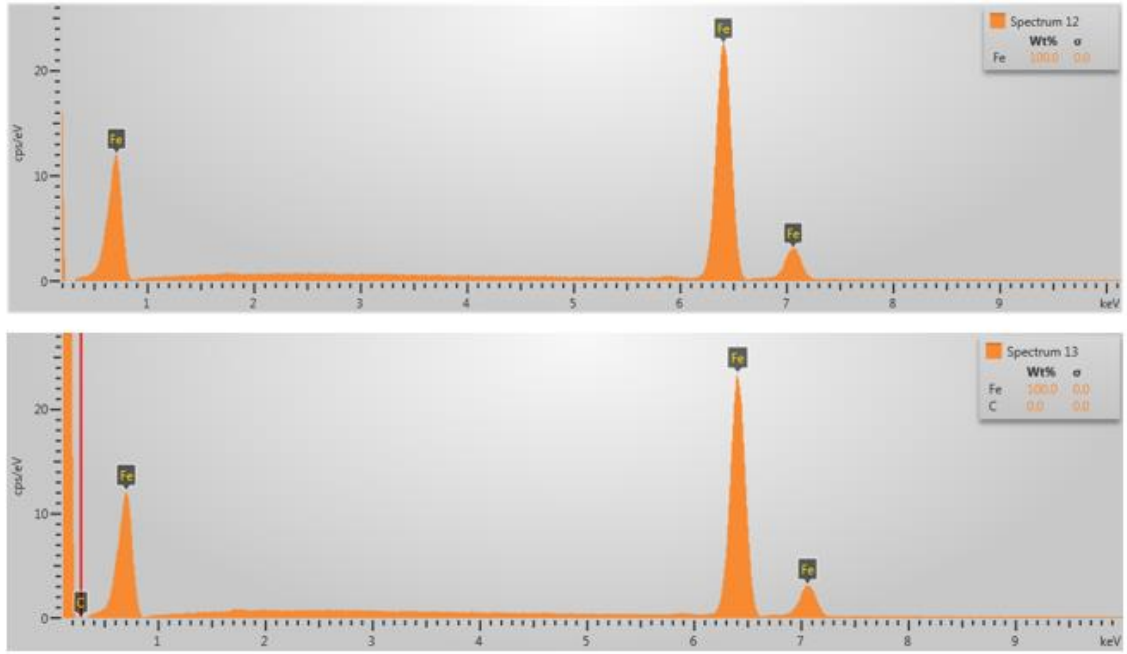
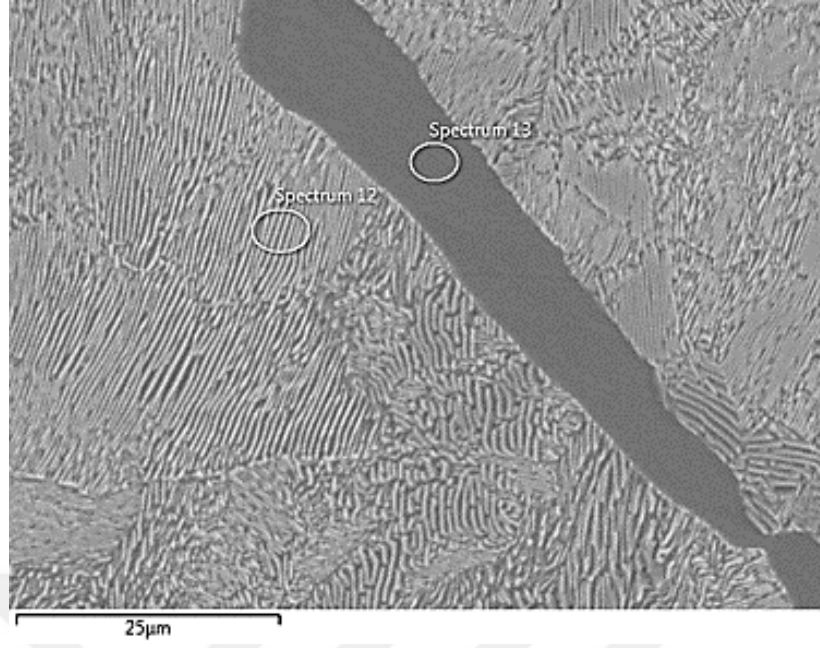
Yapılan çalışmada X250, X500, X750, X1000 büyütme kullanılarak sürekli dökümlerde üretilen kütük numuneleri üzerinde SEM elektronik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan taramalı elektron mikroskop' un marka ve modeli Jeol JSM-6510' dir. X20-X300.000 arası büyütme yapabilmektedir. 30 kV 3.0 nm çözünürlüğe sahiptir. EDS ünitesi olarak 124 eV çözünürlüğe sahip Oxford X MaxN50 dedektörü kullanılmaktadır. İnce ve Aztec yazılımları kullanılmaktadır.



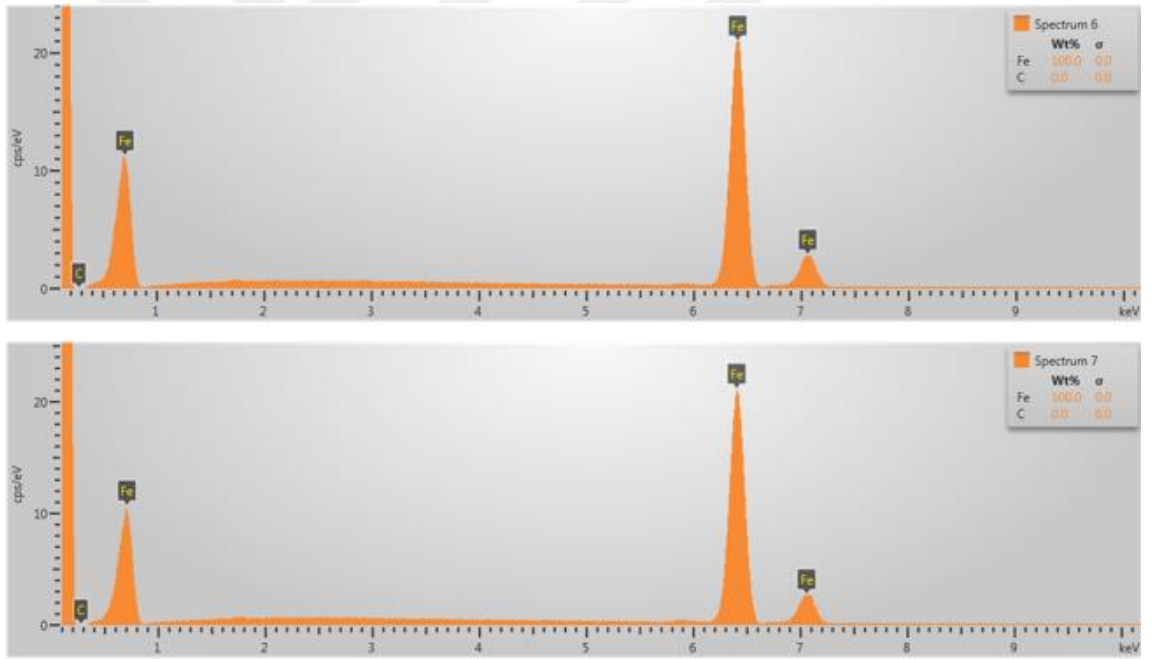
Şekil 4.33. 2,8 m/dk döküm hızı için SEM görüntüsü



Şekil 4.34. 3,2 m/dk döküm hızı için SEM görüntüsü



Şekil 4.35. 2,8 m/dk döküm hızı için EDS görüntüsü



Şekil 4.36. 3,2 m/dk döküm hızı için EDS görüntüsü

Çelik kütük malzemesinin 2,8 m/dk hız ile üretiminde alınan numuneler üzerinde şekil 4.33' de görüleceği üzere SEM görüntüsünde de optik mikroskop görüntülerine benzer yapılar tespit edilmiştir. Şekil 4.33 a' da yapının neredeyse tamamının perlit olduğu, tane sınırında ferrit yapılar bulunduğu tespit edilmiştir. Optik mikroskop görüntüsünde incelendiği gibi kütük faz morfolojisinin büyük kısmının perlit yapısında olduğu görülmüştür. Büyütme oranı arttıkça Şekil 4.33 b, c ve d ' de perlit tanelerinin daha net ortaya çıktığı ve lamellerin daha da belirgin olduğu görülmüştür.

Çelik kütük malzemesinin 3,2 m/dk hız ile üretiminde alınan numuneler üzerinde şekil 4.34' te görüleceği üzere beklenen şekilde matrisin perlitten olduğu tane sınırları arasında ferrit yapılarının bulunduğu tespit edilmiştir.

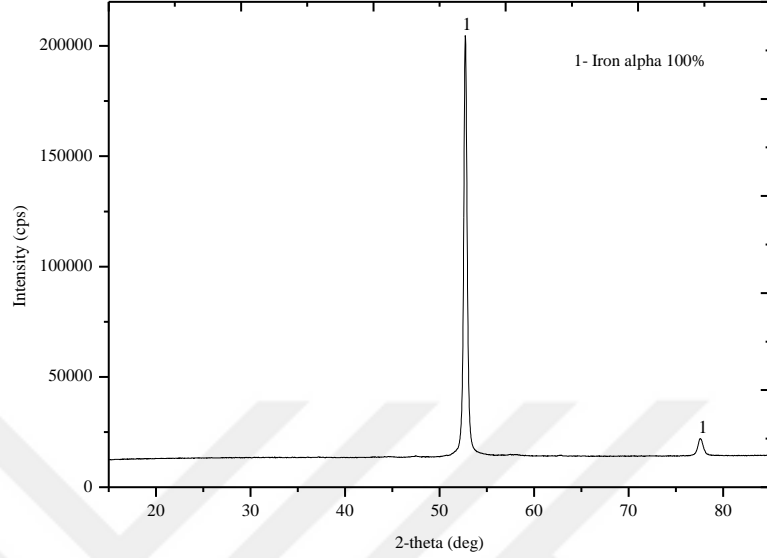
Yüksek karbonlu, mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliklerin birincil ve ikincil soğutmaları ile birlikte döküm hızının optimize edilmesi yapıda martenzit benzeri oluşumların minimumda tutulmasını sağlamıştır.

SEM incelemesinde çelik kirliliği sebebiyle görülen yapıların curuf, refrakter malzeme ve döküm tozu vb. kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Döküm hızındaki artışın mikro yapıda olumsuz bir durum oluşturmaması yapılan çalışmanın sonuçlarının uygunluğunu göstermiştir.

Çelik kütük numuneleri üzerinde yapılan EDS incelemelerinde Şekil 4.35. de görüleceği üzere 2,8 m/dk döküm hızı için Fe ve C yapılar tespit edilmiş olup aynı şekilde Şekil 4.36. da görüleceği üzere 3,2 m/dk döküm hızı içinde Fe ve C yapılar tespit edilmiştir. EDS incelemesiyle çelik kirliliği sonucunda tespit edilebilecek yapılara da gözlenmiştir. Ancak bu çalışma kapsamında bu yapıların incelemesinde bulunulmamıştır.

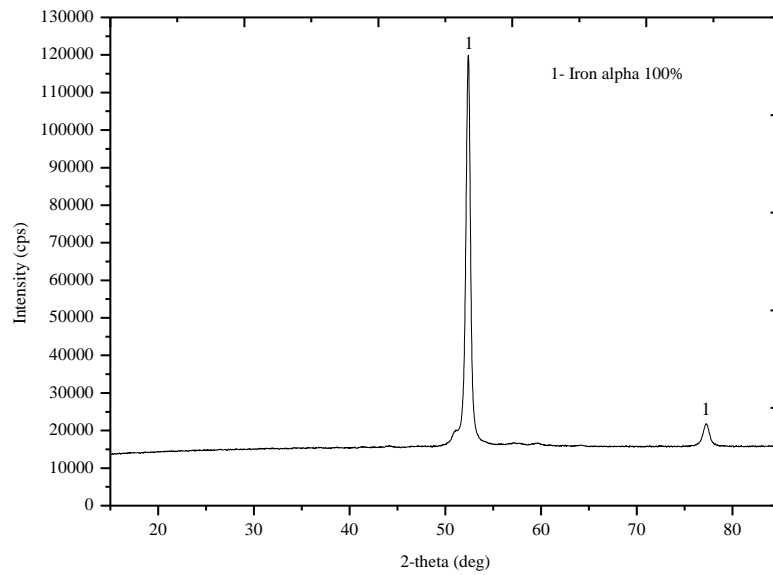
4.2.13. Kütük Numunesi Üzerinde XRD ve Autoquan Analiz İncelemeleri

Bu çalışma kapsamında RIGAKU marka XRD cihazı, Thermo-ARL marka XRF cihazı ve Nikon marka Optik Mikroskop cihazı kullanılmıştır.



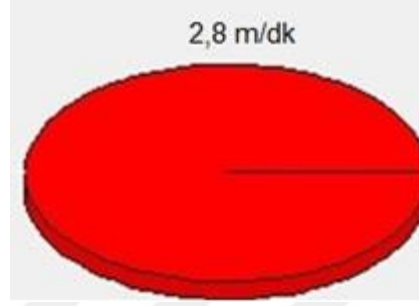
Şekil 4.37. 2,8 m/dk döküm hızı için XRD görüntüsü

Şekil 4.37' de görüleceği üzere XRD cihazı ile faz yapısına baktığımızda; 2,8 m/dk hız ile üretilen çeliklerde 2 theta (θ) açıda 53° de 204.721 olarak yüksek bir intensity (peak) değeri elde edilmiştir. Bu durum üretilen kütüğün daha yavaş soğuması ile kristal yapılarının daha uygun şartlarda oluşması şeklinde açıklanabilir.



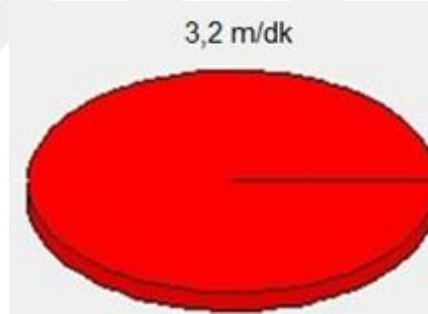
Şekil 4.38. 3,2 m/dk döküm hızı için XRD görüntüsü

Şekil 4.38’ de görüleceği üzere XRD cihazı ile faz yapısına baktığımızda; 3,2 m/dk hız ile üretilen çeliklerde, 2 theta (θ) açıda 53° ’de 119.989 olarak daha düşük bir intensity (peak) değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi kütüğün, daha hızlı soğumuş olması ve kristal yapılarının iyi oluşmaması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.39. 2,8 m/dk döküm hızı için Autoquan programı sonucu

Şekil 4.39’ da görüleceği üzere Rietveld yöntemi yardımı ile Autoquan programı ile numune üzerinde yaptığımız incelemede bu faz yapısının %100 perlit faz yapısı olduğu görülmüştür.

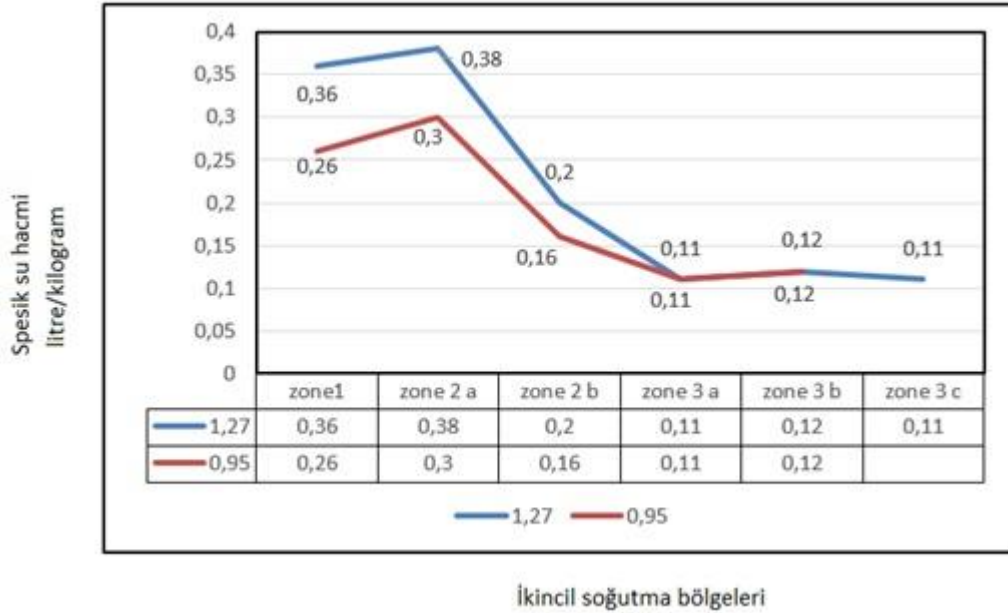


Şekil 4.40. 3,2 m/dk döküm hızı için Autoquan programı sonucu

Şekil 4.40’ da görüleceği üzere Rietveld yöntemi yardımı ile Autoquan programı ile numune üzerinde yaptığımız incelemede bu faz yapısında %100 perlit faz yapısı olduğu görülmüştür.

4.3. Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Deney 1' den deney 9' a kadar ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,26 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,30 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,16 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir. Ancak deney 10' da ikincil soğutma bölgesi kısımları olan zone 1, zone 2a, zone 2b, zone 3a, zone 3b bölgelerinde spesifik su hacmi; zone 1 bölgesinde 0,36 litre/dakika, zone 2a bölgesinde 0,38 litre/dakika, zone 2b bölgesinde 0,20 litre/dakika, zone 3a bölgesinde 0,11 litre/dakika, zone 3b bölgesinde 0,12 litre/dakika, zone 3c bölgesinde 0,11 litre/dakika olacak şekilde dağılım göstermiştir.



Şekil 4.41. Denemelerdeki ikincil soğutma bölgesi spesifik su hacmi dağılımı

Şekil 4.41' de denemelerde kullanılan ikincil soğutma pratiğindeki spesifik su hacminin bölgelere göre dağılımını bir arada göstermektedir. İkincil soğutma spesifik su hacmi artışı ile sıvı çelik içerisinde ferrostatik basınç sebebiyle oluşabilecek kabuk yırtılmaların önüne geçilmesi amacıyla katılaştıran kabuk yeterliliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Gazlı kesme işlemi yapılırken katılaştırmasının tamamlanmış olması beklenen kütüğün içerisinde hala sıvı çelik bulunması çok ciddi İSG risklerinin yanı sıra yine çok ciddi ekipman hasarlanmalarına da sebebiyet verebilecektir. Bu amaçla ikincil

soğutma proses parametrelerinin uygun katılaşmayı sağlayacak şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir.

Yapılan deneylerin değerlendirmesi yapılırken kalite ihtiyaçları dikkate alınarak farklı operasyonel parametrelerinin verilerinden yararlanılmıştır. Üç farklı dökümde yapılan deneysel çalışma üç grupta değerlendirilmiştir.

Birinci grup birinci döküm deneme çalışmasında (1,2 ve 3. denemeler);

1. denemede mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan M-EMS 360 amper akım/5 hertz frekans değeri 400 amper akım/5 hertz frekans olarak değiştirilmiştir. Döküm hızı 2,8 metre/dakika sabit tutulmuştur.

2. denemede öncelikle mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan 400 amper akım/5 hertz frekans ile 2,8 metre/dakika olan hız 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır.

3. denemede mevcut işletme parametrelerinde değişiklik yapılmadan 400 amper akım/5 hertz frekans 2,8 metre/dakika olan hız 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Özetle; birinci grup birinci döküm deneme çalışmasında hızın artırılabilceği ve M-EMS değeri optimizasyonu esas alınmıştır.

Birinci grup deneysel çalışmada 2,8 metre/dakika döküm hızının 2,9 metre/dakika ve 3,0 metre/dakikaya artırılması sağlanmıştır. 2,8 metre/dakika döküm hızında M-EMS değerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Türbülanslı hareket ile önemli miktarda kararsız dendritik kol, katılan ön bölgeden koparak sıvı çeliğe doğru gider ve küresel tane büyümeleri için çekirdek gibi davranışa sebep olur, daha fazla eş eksenli bölge oluşturmaya sebep olur. Böylece sürekli döküm makinesi çelik kalitelerinde uygun merkez yapıyı, çelik temizliğini, gaz giderme ve merkez segregasyonunu azaltmaya yardımcı olur. Bu sebeple M-EMS değeri optimize edilmiştir.

İlk grup deneme çalışması kalite sonuçlarındaki uygunluğa bağlı olarak bir başka dökümde (2) ikinci grup deneme çalışması yapılmıştır.

İkinci grup farklı bir dökümde deneme çalışmasında (4,5,6,7,8.9. denemeler);

4. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 2,8 metre/dakika hızında farklı bir döküm olan bu denemede sabit tutulmuştur.

5. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 2,9 metre/dakika hıza artırılmıştır.

6. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,0 metre/dakika hıza artırılmıştır.

7. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,1 metre/dakika hıza artırılmıştır.

8. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans sabit tutularak işletme rutini 2,8 metre/dakika döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Özetle; ikinci grup ikinci döküm deneme çalışmasında M-EMS değeri optimizasyonu sonrası hızın 3,2 metre/dakika hıza artırılacağı ve ayrıca farklı bir dökümde de hızın artırılacağı esas alınmıştır.

İkinci grup deneme çalışması kalite sonuçlarındaki uygunluğa bağlı olarak bir başka dökümde (3) üçüncü grup deneme çalışması yapılmıştır.

Üçüncü grup farklı bir dökümde deneme çalışmasında (9,10. denemeler);

9. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram sabit tutularak döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır.

10. denemede M-EMS 400 amper akım/5 hertz frekans ve mevcut işletme parametrelerindeki ikincil soğutma, spesifik su hacmi 0,95 litre/kilogram olan değer 1,27 litre/kilograma ve döküm hızı 3,2 metre/dakika hıza artırılmıştır.

Özetle; üçüncü grup deneme çalışmasında M-EMS değeri optimizasyonu ve hızın 3,2 metre/dakikaya çıkarılması sonrası ikincil soğutma spesifik su hacmi artışı ile sıvı çelik içerisinde ferromagnetik basınç sebebiyle oluşabilecek kabuk yırtılmaların önüne geçilmesi amacıyla katılan kabuk yeterliliğinin sağlanması ve ayrıca farklı bir dökümde de hızın artırılacağı esas alınmıştır.

Gerek optik gerekse SEM incelemelerinde Şekil 4.31-32-33 ve 34' te görüleceği üzere döküm yapısından beklenen şekilde kenardan merkeze doğru uzamış taneler görülmüştür. Kütük numunesinin tane sınırlarında ferrit yapı oluşumları ve yüzey morfolojisinin neredeyse tamamının perlit olduğu görülmüştür. Yüzey matrisi ana yapı olarak perlit' ten oluşmaktadır, perlit tanelerinin içerisinde lamellerde net olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.35 ve 4.36.' da görüleceği üzere EDS incelemelerinde de her iki döküm hızında da öngörüleceği üzere Fe ve C yapılar tespit edilmiştir.

XRD cihazı ile incelemede Şekil 4.37 ve 4.38.' de görüleceği üzere ile faz yapısı daha yavaş soğuyan düşük hızlı üretimde kristal yapı daha iyi ortaya çıkmıştır. Şekil 4.39 ve 4.40.' da görüleceği üzere Rietveld yöntemi yardımı ile Autoquan programı ile numune üzerinde yaptığımız incelemede bu faz yapısında %100 perlit faz yapısı olduğu görülmüştür.

Kalite ihtiyaçları ve üretim sürekliliği de dikkate alınarak 200 ton sıvı çeliğin 130x130 mm ebat ve 6 kanal dökümde olan sürekli döküm makinesinde 2,8 metre/dakika döküm hızındaki üretimi teorik olarak 133 ton/saat hesaplanmıştır. Aynı proses şartlarında 3,2 metre/dakika döküm hızına çıkılabilmesiyle 152 ton/saat' lik üretim miktarına ulaşılmıştır. Sürekli kütük döküm üretiminde saatlik üretim artışının %14' lere ulaşması piyasa koşulları ve maliyet odaklı yaklaşımlarda önemli bir katma değer sağlamaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı hızlarda çelik kütük üretimi için yapılan deneylerden elde edilen verilere ve bu sonuçların kendi içerisindeki mukayeseleri incelendiğinde 2,8 m/dk' dan 3,2 m/dk kütük döküm hız artışının başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Bu çalışmada sürekli kütük döküm işletme parametrelerinin optimizasyonu kütük döküm hızının artışında etkili olmuştur.

Özellikle; döküm hızı, M-EMS ve ikincil soğutma parametrelerinin kalite beklentileri de dikkate alınarak belirlenmesi ile üretim artışının sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca sürekli kütük döküm üretimi sırasında aşağıdaki üç durumun farklı şartlarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kimyasal analiz; çelik kütük üretimi aşamasında potadan tanış içine dökülen sıvı çelik analizinin hedef sıvı çelik analiz değerinden sapması halinde sürekli döküm işletme pratiklerinin mevcut durum dikkate alınarak tekrar gözden geçirilmesi uygun olacaktır.

Sıvı çelik sıcaklığı; tandiş içi sıvı çelik sıcaklığının hedef sıvı çelik sıcaklık değerinden sapması halinde döküm hızında değişiklik yapılması gerekebilir.

Proses parametresi, çelik kütük döküm üretimi sırasında gelebilecek ekipman arızaları, işletme parametre değişiklikleri vb. durumlarda parametrelerinin tekrar gözden geçirilmesi ve optimize edilmesi gerekeceği öngörülmektedir.

Araştırma bulguları ve tartışma sonuçlarına göre: sıvı çelik analiz ve sıcaklık değerleri, ekipman ve işletme parametreleri ile operasyonel işletme koşulları da dikkate alınarak değerlendirilmesi halinde kalite ihtiyaçlarının karşılanması ön koşulu ile kütük üretimi hız artışının mümkün olduğu görülmüştür.

Yapılan makro ve mikro incelemelerle birlikte yüksek karbonlu, mikro alaşımlı DIN EN ISO 16120-2:2011-C66D kalite çeliklerde yüksek hızda yapılan üretimin metalurjik olarak mümkün olabileceği ve çelik üretim tesislerinde görülebilecek çelik kirliliğinin buna bir kısıt olmadığı, kütüğün fiziksel uygunluğunun da proses optimizasyonu ile mümkün olabileceği tespitleri yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_casting
- Anonymous, 2015. <http://www.vecasteel.com/default.asp?hareket=prdgrp3-6>
- Anonymous, 2015. <http://www.tradeindia.com/fp2083478/Copper-Mould-Tube.html>
- Anonim, 2017. <https://www.isdemir.com.tr/kurumsal/celigin-hikayesi/>
- Anonim, 2017. <http://www.demircelikstore.com/-1-9189-ocakaralik-doneminde-turkiyenin-ham-celik-uretimi-332-milyon-ton-seviyesinde-gerceklesti.html>
- Anonim, 2017.
http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78368/31390/malzeme_laboratuar%C4%B1_ders_notu.pdf
- Anonim, 2017. <http://makine2.kocaeli.edu.tr/malzeme/Demir.pdf>
- Anonim, 2017. <http://docplayer.biz.tr/6570666-1-elektron-taramali-mikroskop-sem.html>
<http://www.sedlab.com.tr/elementel-analiz-destekli-goruntu-inceleme-semeds.html>
- Anonim, 2017. Deneme yapılan işletmenin “Uzun Ürün Kusur Kataloğu”
- 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.
- C.Chow, 2001, “**The Effects of High Speed Casting On The Mould Heat Transfer, Billet Solidification, And Mould Taper Design Of Continuously Cast Steel Billets**” The University of British Columbia Vancouver, Canada, April 2001
- C. Li & B.G. Thomas, 2002, **Maximum Casting Speed for Continuous Cast Steel Billets Based on Sub-Mold Bulging Computation** 85th Steelmaking Conf. Proc., ISS, Warrendale, PA, (held in Nashville, TN, March 10-13, 2002), pp. 109-130
- C. Li, Brian G. Thomas, Claudio Ojeda, 2002, “**Ideal Taper Prediction for High Speed Billet Casting**”, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2002
- Concast, 2003, Continuous Casting Machine 6-Strand Billet Caster, “**Functional Description**”
- Concast, 2003, Continuous Casting Machine 6-Strand Billet Caster, “**Metallurgical, Operating and Safety Manual**”
- G. Atalay, 2008, “Sürekli Dökümde Katılaşma ve Soğutmanın İncelenmesi” Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

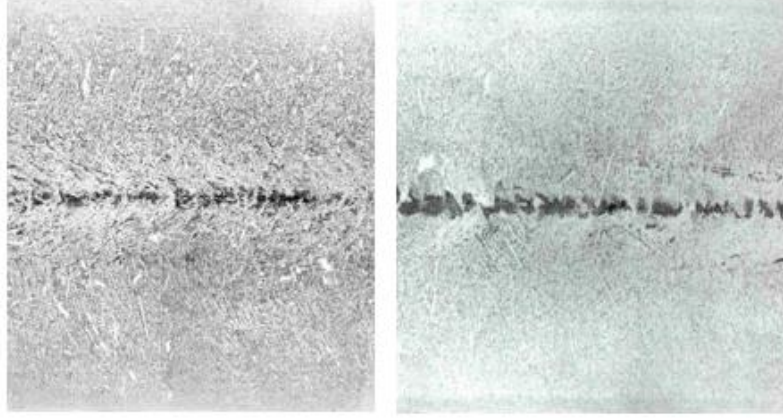
- H. Yu, M. Zhu, 2009, “**Effect of electromagnetic stirring in mold on the macroscopic quality of high carbon steel billet**” *Acta Metall. Sin.(Engl. Lett.)*Vol.22 No.6 pp461-467 December 2009
- J. Mortan, N. Kapaj, M.H. 2015, “**Next Steps in High-Speed Billet Casting at Ege Celik (Aliaga, Turkey)**” Metec 2nd Estad, Düsseldorf 15-19 June 2015
- P. Cobelli, A.N. Grundy, S. Feldhaus, Y.C. Hsu, C.H. Lo, C.H. Lin, 2015, “**Fast Casting of 150 sq billets-boost of productivity**” Metec 2nd Estad, Düsseldorf 15-19 June 2015
- R. Villoria, H. Stafforte, O. Sparapani, J. Madias, M. Dziuba, 1996, “**High Speed Continuous Casting of Low Carbon Steel Billets**” *Steelmaking Conference Proceedings* 315-319
- S. Kittaka, M. Uehara, T. Sato, H.Higashi, 2000, “**High Speed Casting Mould for Billet Caster (NS Hyper Mold)**” *Nippon Steel Technical Report* no:82 July 2000
- S. Sengupta, B.G. Thomas, M.A. Wells, 2004, “**Understanding the Role Water-cooling Plays During Continuous Casting of Steel and Aluminum Alloys**” *MS&T 2004 Conference Proceedings (New Orleans, LA), AIST, Warrendale, PA* , Department of of Mechanical&Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, Department of Materials Engineering, University of British Columbia, Canada 179-193
- S. Semplici, R. Karan, C. Mapelli, 2005, “**Diamold® design of corners in billet high speed continuous casting**”, *la metallurgia italiana*,
- S. Luo, F. Piao, D. Jiang, W. Waing, M. Zhu, 2014, “**Numerical Simulation and Experimental Study of F-EMS for Continuously Cast Billet of High Carbon Steel**” *School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China*
- 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, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083,China, School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083*

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

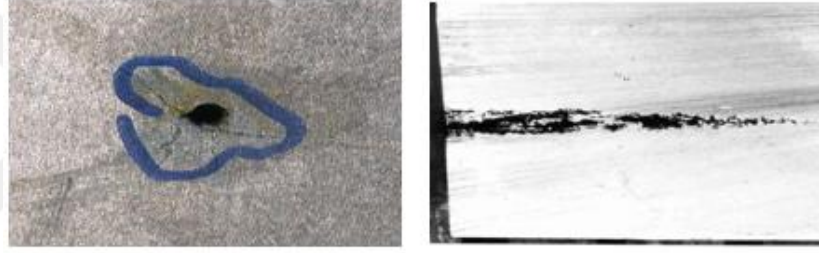


EK 1 UZUN ÜRÜN KUSUR KATALOĞU

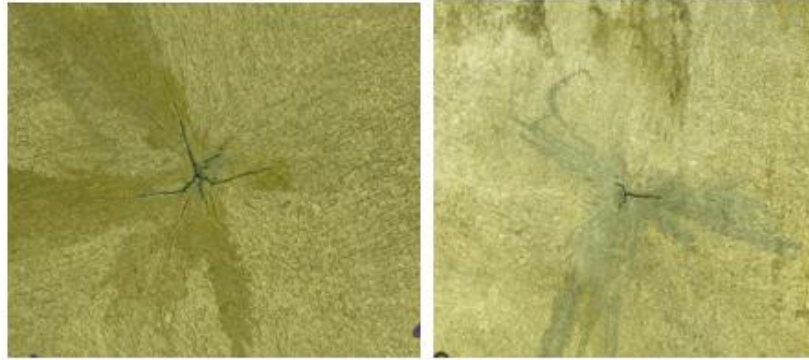
Merkez segregasyon



Merkez çekilme boşluğu



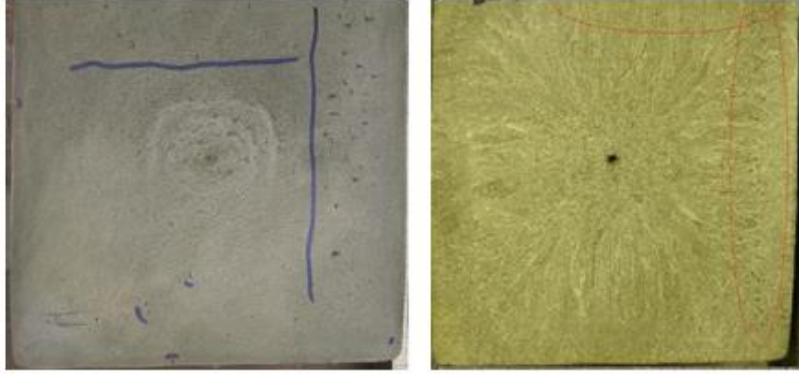
Merkez yıldız çatlağı



Gaz boşluğu



İnküzyon bandı



Yarıyol çatlağı



Diagonal çatlak



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1978 yılında Karabük' te doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi İskenderun'da bitirdi. 1996–2000 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Güvenliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans programını 2017 yılında bitirdi. 2014 yılında İleri Metalurji ve Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans öğrenimine başladı.

2003 – 2005 yılları arasında Kardemir, Karabük Demir ve Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.' nde Haddehaneler İşletme Mühendisi olarak çalıştı. 2003 Temmuz ayında İsdemir, İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.' nde Sürekli Dökümler İşletme Mühendisi olarak işe başladı, halen bu pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.