

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ DÖKÜM SLAB ÜRETİMİNDEKİ TANDIŞLERDE ÇARPMA
HAVUZUNUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Memduh KIRCAN

Metalurji ve Malzeme Ana Bilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

EYLÜL 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ DÖKÜM SLAB ÜRETİMİNDEKİ TANDIŞLERDE ÇARPMA
HAVUZUNUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Memduh KIRCAN
(506121433)**

Metalurji ve Malzeme Ana Bilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

EYLÜL 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121433 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Memduh KIRCAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Sürekli Döküm Slab Üretimindeki Tandırlarda Çarpma Havuzunun Etkisinin İncelenmesi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ATAR
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Ağustos 2015**

Savunma Tarihi : **11 Eylül 2015**

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın tamamlanmasında katkısı olan kişilere içten minnet duygularımı belirtmek isterim.

Öncelikle, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve sürekli destekleyen danışmanım Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya ve çalışmalarımda yardımcı olan tüm İSDEMİR çalışanlarına, benim bu günlere gelmemde maddi manevi her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Eylül 2015

Memduh KIRCAN
(Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. SÜREKLİ DÖKÜM.....	3
2.1 Sürekli Döküm Makinesi	4
2.2 Tandış.....	5
3. İNKLÜZYON	9
3.1 Metalik Olmayan İnküzyonların Sınıflandırılması	10
3.1.1 Dış inküzyonlar	10
3.1.1.1 Reoksidasyondan kaynaklanan dış inküzyonlar	12
3.1.1.2 Cüruftan kaynaklanan dış inküzyonlar	13
3.1.1.3 Refrakter astar erozyonundan kaynaklanan dış İnküzyonlar	14
3.1.1.4 Kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan dış inküzyonlar.....	15
3.1.2 İç inküzyonlar	15
3.1.2.1 Deoksidasyon ürünleri	16
3.1.2.2 Çökelmiş inküzyonlar	17
3.1.3 İnküzyonların sınıflandırılması	18
3.1.4 İnküzyon tespit etme yöntemleri.....	19
3.1.4.1 Toplam oksijen metodu.....	19
3.1.4.2 Azot kapma	19
3.1.4.3 Resim analizi.....	20
3.1.5 İnküzyon giderme	20
3.1.5.1 Tandış tasarımı ve inküzyon giderilmesi	20
4. SIVI AKIŞIN MODELLENMESİ.....	23
4.1 Fiziksel Modelleme	23
4.1.1 Benzerlik halleri	24
4.1.1.1 Geometrik benzerlik.....	24
4.1.1.2 Kinematik benzerlik.....	24
4.1.1.3 Dinamik benzerlik.....	24
4.1.1.4 Termal benzerlik	25
4.2 Su Modelleme Prosedürü	25
4.2.1 Tasarlanan su modeli.....	26
4.2.1.1 Potanın ilk açılması veya döküm bitimindeki çeliğin boşaltılması....	27
4.2.1.2 Bindirme döküm (pota değişimi)	27
4.2.1.3 Cüruf yüzey hareketleri.....	28

4.2.1.4 Pulse akış testi (kararlı döküm koşulları)	28
4.2.1.5 Step giriş testi (pota değişim)	29
4.2.1.6 Yağ testi- pota değişim simülasyonu	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
5.1 Tandış Çarpma Havuzu Malzemesi	31
5.2 Tandışın Döküme Hazırlanması	31
5.3 Slab Döküm Makinesi	32
5.4 Tandıştan Numune Alınması	32
5.5 Bobin Makro İnküzyon İncelemesi	33
5.6 Makro İnküzyon Numunelerinin İncelemesi	34
5.7 Numunelerin SEM İncelemesi	34
5.8 Tandış Azot Kapma Analizi	35
6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	37
6.1 Tandış Çarpma Havuz Aşınmaları	37
6.2 Tandıştan Kalıba Azot Kapma İncelemesi	38
6.3 Bobinden Makro İnküzyon İncelemesi	39
6.3.1 Tandış çarpma havuzu Kullanılmış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi makro inküzyon sonuçları	40
6.3.2 Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi makro inküzyon sonuçları	41
6.4 SEM Analizi ile Mikro İnküzyon Dağılımı	42
6.4.1 Tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi SEM analizi	43
6.4.2 Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi SEM analizi	44
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

RTD	: Bekleme Zaman Dağılımı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağıtım Spektrometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Tandış çarpma havuzu kimyasal kompozisyon.....	31
Çizelge 6.1 : Tandış çarpma havuzu aşınmaları.	38
Çizelge 6.2 : Pota metalurji ve kalıpta ölçülen azot değerleri.	39
Çizelge 6.3 : Denemesi yapılan çelik kalitelerinin inklüzyon çeşitleri ve miktarları.....	40
Çizelge 6.4 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	41
Çizelge 6.5 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	41
Çizelge 6.6 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	42
Çizelge 6.7 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	42
Çizelge A.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	55
Çizelge A.2 : EN 10025-2 S355J2 ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.	56
Çizelge B.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	57
Çizelge B.2 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	57
Çizelge C.1 : DIN1614-1 St22 çelik kalitesi kalite kimyasal kompozisyon.	61
Çizelge C.2 : DIN1614-1 St22 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	61
Çizelge D.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	62
Çizelge D.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	62
Çizelge E.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	63
Çizelge E.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	63
Çizelge F.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	64
Çizelge F.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	64
Çizelge G.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	65
Çizelge G.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	65
Çizelge H.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	66
Çizelge H.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	66
Çizelge I.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	67
Çizelge I.2 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	67
Çizelge J.1 : ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.....	69
Çizelge J.2 : ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	69

Çizelge K.1 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	73
Çizelge K.2 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	73
Çizelge L.1 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	74
Çizelge L.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	74
Çizelge M.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.	75
Çizelge M.2 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Slab döküm süreci	4
Şekil 2.2 : Slab döküm makinesi.	5
Şekil 2.3 : Tandış ve aksesuarları	5
Şekil 2.4 : Slab tandış yerleşimi	7
Şekil 2.5 : Tandışte cüruf ve alümina inklüzyonları.....	8
Şekil 3.1 : Sürekli döküm prosesindeki inklüzyonların boyut dağılımları	11
Şekil 3.2: a) Camsı inklüzyon (alümina silikat veya kalsiyum alümina silikat) b) Opak inklüzyon(alümina silikat veya karışık oksit fazı) c) Yüzeyde küresel inklüzyondaki alümina kristali	12
Şekil 3.3 : Cüruf inklüzyonları	14
Şekil 3.4 : Refrakter inklüzyonları	14
Şekil 3.5 : Çeşitli deoksidasyon elementlerin denge yapıları	15
Şekil 3.6 : Dendritik ve grup alümina inklüzyonlar ile saf demirin deoksidasyonu sırasında şekillenen mercan gibi görünen alümina inklüzyonlar	16
Şekil 3.7 : Çiçek yaprağı ve çok yüzlü inklüzyon	16
Şekil 3.8 : Kümelenmiş alümina inklüzyonlar	16
Şekil 3.9 : Inklüzyonlarda sıvı akışı ve katılma etkileri	17
Şekil 3.10 : Inklüzyon çeşitleri	19
Şekil 4.1 : Inklüzyonlarda sıvı akışı ve katılma etkileri.	24
Şekil 4.2 : Tandış su modeli araçlarının şematik gösterimi.....	25
Şekil 4.3 : Tandış çarpma havuzu yerleşimi.	26
Şekil 4.4 : Tandış su modellemesi deney düzeneği.	27
Şekil 4.5 : Sıvı çelik ilk çarpma.	27
Şekil 4.6 : a) Kararlı döküm koşulları simülasyonu. b) Konsantrasyon-zaman grafiği.	29
Şekil 4.7 : a) Pota değişim simülasyonu. b) Konsantrasyon-zaman grafiği.	29
Şekil 4.8 : Halen kullanılan tandış çarpma havuzu.....	30
Şekil 4.9 : Tandış döküm grafiği.	30
Şekil 5.1 : Tandışın döküme hazırlanması.....	32
Şekil 5.2 : Numune örneği.	32
Şekil 5.3 : OES 4460 optik emisyon cihazı	33
Şekil 5.4 : Parystec makro inklüzyon cihazı.....	33
Şekil 5.5 : Bobinlerdeki makro inklüzyon görüntüleri.	33
Şekil 5.6 : a) Clemex CIR cihazı b) Clemex CIR analiz ekranı	34
Şekil 5.7 : a) Clemex CIR makro inklüzyon alan taraması b) Clemex CIR sonuç ekranı.	34
Şekil 5.8 : a) JEOL JSM-6510 SEM cihazı b) JEOL JSM-6510 SEM analiz ekranı.	35

Şekil 5.9 : a) LECO TC500 analiz cihazı b) LECO TC500 analiz ekranı	35
Şekil 6.1 : a) Döküm sırasında tandiş çarpma havuzu b) Döküm sonrası tandiş çarpma havuzu.....	37
Şekil 7.2 : Kullanılan tandişlerdeki azot miktarları.	39
Şekil 6.3 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	41
Şekil 6.4 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	42
Şekil 6.5 : 10µm büyüklüğündeki 23 ve 24 nolu inklüzyonların SEM görüntüsü. ...	43
Şekil 6.6 : a) 23 nolu Al ₂ O ₃ inklüzyonunun EDS analizi. b) 24 nolu MnS inklüzyonunun EDS analizi.....	43
Şekil 6.7 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun SEM görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun SEM haritalandırma görüntüsü.	43
Şekil 6.8 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	44
Şekil 6.9 : 10µm büyüklüğündeki 14 ve 15 nolu inklüzyonların SEM görüntüsü ...	45
Şekil 6.10 : a) 14 nolu CaS inklüzyonunun EDS analizi. b) 15 nolu CaS inklüzyonunun EDS analizi.....	45
Şekil 6.11 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun SEM görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun SEM haritalandırma görüntüsü.	45
Şekil 6.12 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	46
Şekil 6.13 : a) 5µm büyüklüğündeki 16 nolu MnS inklüzyonunun SEM görüntüsü. b) 16 nolu MnS inklüzyonunun EDS analizi.	46
Şekil 6.14 : a) 10µm büyüklüğündeki 19 nolu Al ₂ O ₃ inklüzyonunun SEM görüntüsü. B) 19 nolu Al ₂ O ₃ inklüzyonunun EDS analizi.	47
Şekil 6.15 : a) 5µm büyüklüğündeki CaS, Al ₂ O ₃ inklüzyonunun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki CaS, Al ₂ O ₃ inklüzyonunun SEM haritalandırma görüntüsü.	47
Şekil 6.16 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonunun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	48
Şekil A.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	55
Şekil B.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	57

Şekil B.2 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü	58
Şekil B.3 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	58
Şekil B.4 :	a) 25µm büyüklüğündeki 6 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. b) 6 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.....	59
Şekil B.5 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.	59
Şekil B.6 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.	59
Şekil B.7 :	a) 10µm büyüklüğündeki 9 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. b) 9 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.....	60
Şekil C.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	61
Şekil D.1:	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	62
Şekil E.1:	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	63
Şekil F.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	64
Şekil G.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	65
Şekil H.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	66
Şekil I.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	67
Şekil I.2 :	a) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.	68
Şekil I.3 :	a) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	68
Şekil J.1 :	100x makro inklüzyon görüntüsü.....	69
Şekil J.2 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.	70
Şekil J.3 :	a) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.	70
Şekil J.4 :	a) 10µm büyüklüğündeki 10 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. b) 9 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.....	70
Şekil J.5 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.	71
Şekil J.6 :	a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma	

görüntüsü f) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	71
Şekil J.7 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.	71
Şekil J.8 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.....	72
Şekil K.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.....	73
Şekil L.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	74
Şekil M.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.	75

SÜREKLİ DÖKÜM SLAB ÜRETİMİNDEKİ TANDİŞLERDE ÇARPMA HAVUZUNUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Tandiş, çelik üretimde kullanılan çelik potaları ile slab kalıbı arasında bulunan ve sıvı çeliğin kalıba dökülmesinde kullanılan hazne olup aynı zamanda kalıp içerisine sıvı çeliğin dağıtımını sağlar. Tandış, çeliğin mikro ve makro inklüzyonlardan arındırılması, sıcaklık ve kompozisyon kontrolünün artırılması ile temiz çelik üretmek amacıyla kullanılır. Bunun için de tandışte, sıvı çeliğin homojen dağılmasına yarayan ve ayrıca inklüzyonların yüzdürülmesini sağlayarak temiz çelik üretimine katkı sağlayan refrakter çarpma havuzları kullanılmaktadır. Bu amaçla Vesuvius firmasından temin edilen Turbostop adıyla da anılan hazır tandış çarpma havuzları İsdemir slab tandışlerde kullanılmaktadır. Tandış çarpma havuzu kullanımıyla tandışteki sıvı çeliğin akışının düzenlenip sıvı çeliğin homojen hale getirilmesi, havadan azot kapmalarının azaltılması ve böylece tandışteki inklüzyon sayısını azaltarak temiz çelik üretimine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Dünyada da tandış tasarımlarında yaygın şekilde kullanılan, fiilen çalışan tandışlerin ölçeklendirilip laboratuvar koşullarında şeffaf tanklarda sıvı çelik su ile cürufun ise boyar madde ile simülasyon analizleri yapılmaktadır. İsdemir’de kullanılan slab tandışlere göre ölçeklendirilen tandış çarpma havuzların, tandış su modelleme başarılı sonuçlanmıştır. Tandış su modelleme uygulaması sonucunda fiili ortamda incelenmesi amacıyla tandış çarpma havuzu denemeleri yapılmıştır. Deneme süresince ilk olarak sıvı çeliğin pota metalurji istasyonundan kalıba dökülmesine kadar olan sürede havadan azot kapmaları incelenmiştir. İnceleme sonucuna göre azot kapmaların azalması ile ilişkilendirilebilecek veri elde edilememiştir. İkinci olarak tandış çarpma havuzunun 35 ara vermeksizin ard arda dökümlerde yapısını koruyarak tandışteki homojen yapıya etkisi incelenmiştir. Döküm sonrası incelemelerde yapısını koruduğu gözlenmiştir. Üçüncü olarak üretilen çeşitli kalitelerdeki slabların sıcak haddeleme sonrasındaki bobinlerde makro inklüzyon sayısı analizi yapılmıştır. Devam eden süreçte ve aynı koşullarda analizde kıyaslama yapılabilmesi için tandış çarpma havuzu kullanılmayan tandışlerde dökümler de değerlendirilmeye alınmıştır. ASTM E45 standardına göre bobinlerden makro inklüzyon numuneleri alınarak analizleri yapılmıştır. Analizlerin sonucunda bobin numunelerindeki makro inklüzyon çeşidi ve sayısına bakıldığında tandış çarpma havuzu kullanılan ve kullanılmayan slab tandışlerde makro inklüzyonların azaldığına dair herhangi bir veriye ulaşılamamıştır. Ayrıca makro inklüzyon incelemesi sonrasında seçilen numunelerde elektron mikroskobu ile yapılan EDS analizinde inklüzyonların sülfür ve alumina oranlarının yüksek olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak 12 adet denemesi yapılan tandiş çarpma havuzu ile üretilen slablarda havadan azot kapma sayısında azalma ve haddelenen bobinlerde makro inklüzyon sayısında azalma ile ilgili olarak kıyaslanabilir bir fark görölmemiştir.

THE INVESTIGATION OF IMPACT PAD AFFECT IN THE TUNDISH DURING CONTINUOUS CASTING OF SLAB PROCESS

SUMMARY

Steel cleanliness is an important factor of steel quality and the demand for cleaner steels increases every year. The so-called clean steel generally is the steel in which the content of impurity elements, such as phosphorus, sulphur, total oxygen, nitrogen, hydrogen (including carbon sometimes) and inclusions are very low. The improvement of steel cleanliness has therefore become a more and more important subject in the development of ferrous metallurgical technology, and also an important task for the iron and steel producers. The demand for better mechanical properties of steels was urging steel producers to improve cleanliness of their final products. In order to obtain the satisfactory cleanliness of steel it is necessary to control and improve a wide range of operating practices throughout the steelmaking processes like deoxidant and alloy additions, secondary metallurgy treatments, shrouding systems and casting practice.

Continuous casting transforms molten metal into solid on a continuous basis and includes a variety of important commercial processes. These processes are the most efficient way to solidify large volumes of metal into simple shapes for subsequent processing.

Continuous casting is distinguished from other solidification processes by its steady state nature, relative to an outside observer in a laboratory frame of reference. The molten metal solidifies against the mold walls while it is simultaneously withdrawn from the bottom of the mold at a rate which maintains the solid / liquid interface at a constant position with time. The process works best when all of its aspects operate in this steady-state manner.

Molten metal, from some nearby source, is poured into a tundish. Tundish is a reservuar at steelmaking process that located between ladle and slab mold and keeps pouring molten steel to mold as well deliver molten steel into mold. This particular casting operation uses the force of gravity to fill the mold and to help move along the continuous metal casting. It is the job of the tundish to keep the mold filled to the right level throughout the manufacturing operation. Since the metal casting is constantly moving through the mold, the tundish must always be supplying the mold with more molten metal to compensate. During the transfer of metal through the tundish, molten steel interacts with refractories, slag, and atmosphere. Thus, proper design and operation of a tundish are important for delivering steel of correct composition, quality, and temperature. Tundish is used for producing clean steel with

decontaminating macro and micro inclusions in steel and improving control of temperature and composition. The main causes for inclusion formation and contamination of the melt include reoxidation of the melt by air and carried over oxidizing ladle slag, any metal splash are heavily reoxidized by the ambient air, entrainment of tundish and ladle slag, and emulsification of these slags into the melt. These inclusions should be floated out of the melt during its flow through the tundish before being teemed into the mold. the mold entrance may be filled with an inert gas such as argon.

Both the reoxidation and the slag entrainment generate harmful macro oxide inclusions. Deoxidized melt is commonly refined in the ladle to trim temperature and chemical composition and to remove deoxidation products. Ladle refining usually removes most of the large indigenous inclusions, leaving only a small amount of inclusions of up to 20-50 μm in diameter suspended in the melt. Inclusions greater than about 50 μm , often of exogenous origin, may be called macro inclusions. Inclusions smaller than about 50 μm , mostly of indigenous origin, and small agglomerates of the indigenous inclusions may be called micro inclusions.

In tundishes, refractory impact pads are used to produce clean steel with dispersing molten steel homogeneously and float inclusions. Ready to use tundish impact pads are also known as Turbostops. Designed to redirect steel upward and outward for enhanced steel residence time in the tundish and prevent short circuiting to the closest strand. Also used for optimized drainage and yield enhancement for multiple radical grade change sequences. The tundish impact pad includes a base having a base surface with a conical impact surface area establishing an apex, a sidewall, and a top wall extending inwardly relative to the sidewall to terminate at an inner edge establishing a mouth opening spaced above and centered relative to the apex. The top wall includes a lip sloping radially inwardly and downwardly towards the conical impact surface. The top wall of the tundish impact pad features a lower surface that, collectively with the base surface and a continuous inner surface of the sidewall, establish a continuous annular chamber configured to reduce turbulence of an incoming ladle stream of molten liquid steel. The tundish impact pad is made of a high alumina material suitable for the intended use in a caster tundish for molten steel processing. High alumina material have high impact and abrasion resistance, high hot strength and refractoriness, and good castability.

It has simulated melt flow and inclusion removal aspects by physical models before actually using the design in industrial production. In physical modeling, a low temperature aqueous analog, generally water, is used to represent molten metal in a tundish. Water flow in a transparent model tundish can be used to observe melt flow physically taking place in an actual tundish. In physical modeling, 1/3 reduced scale tundish model may be designed based on appropriate Froude similarity criteria in which the flow of molten metal is simulated by the flow of water. Isdemir supplies slab turbostops from Vesuvius Refractory Company. The supplied tundish impact pads are used for controlling molten steel flow and homogeneous liquid steel formation in order to produce clean steel. By controlling the molten steel flow the vortex formation can be decreased and these will cause decreased nitrogen pick up from air and reduced inclusions. For demonstrating molten steel behaviour at tundishes water modelling is used. At this model in a transparent vessel molten steel is simulated with water and slag is simulated with dye. By scaling actual tundish at laboratory condition we can predict slag and steel behaviour in a tundish. According to water modelling test result, fastest transition at ladle change, less surface

turbulences at ladle change and suppresses splashing at start of casting has occurred. Water modelling test results at tundishes that were using turbostops for İsdemir was resulted successfully. After successful results, it has been decided to use tundish impact pad at actual condition.

12 tundish impact pad was ordered for trial. Measurement was made with OES 4460 optical emission spectrum which measure spectrum of frequencies of electromagnetic radiation emitted due to an atom or molecule making a transition from a high energy state to a lower energy state. They were measured from ladle furnace and tundish mold chemical compositions. 15 tundish impact pad specimens were aligned ASTM A53 10 Grade A steel chemical composition and they all were in range of chemical composition.

At first trial in elapsed time between ladle furnace station until the pouring period nitrogen pick up of molten steel is analysed. 12 tundish impact pad was used for trial. But one of them couldn't be used because of operational condition. Measurement was made LECO TC500 which measure oxygen and nitrogen pick up amount in tundish using infrared light. Nitrogen pick up measurement was taken from ladle furnace and tundish mold. As a result of nitrogen pick up measurement there wasn't any difference between mold nitrogen pick up amount and ladle furnace nitrogen amount. The nitrogen pick up analyse result did not show any significant change associated with tundish impact pad useage.

At second trial the durability of tundish impact pads is examined after 35 heats. 12 tundish impact pad was used for trial. But one of them couldn't be used because of operational condition and one of them couldn't be used due to tundish impact pad was worn off by calcium added steel melt rapidly. After 35 heats it has been monitored that tundish impact pad is still preserved its' original form and there is no significant wearage. After 35 heats traditional tundish impact pad was floating on melting steel at tundish and for this reason wasn't preserved its' original form.

At third trial, macro inclusion severity is investigated for different quality slabs after coil production. Along trial ASTM A53 10 Grade A steel was used due to its quality steel rather than the appearance of the mechanical properties is important because it is used in tinned sheet production. Macro inclusions after acid lowers product quality and galvanizing processes become visible and in some cases for examination was made of the steel due to be scrapped. Measurement was made Parysetc which measure defecting images by image merging and by using the extended dynamic range based on the superior image quality captured from the sensor hardware. When macro inclusion on coil was observed they was left off and sent to laboratory. They were measured with optical microscope which analyze area via Clemex Cir software. They were analysed 4 tundishes without impact pad and 11 tundishes with impact pad. As a result of analyse most of macro inclusions were D type globular inclusion like calcium alumina silicate they weren't observed any decreasing amount of macro inclusion. Tundishes without impact pads compared with used ones at continuing process in same condition. Macro inclusion samples taken from coils were analysed according to ASTM E45 standards. Analyse results showed similar inclusion content results between tundish impact pads used tundishes and unused ones.

In addition, after macro inclusion test sulfide and alumina substance in inclusion severity is measured with SEM EDS analysis. Measurement was made JEOL JSM 6510 scanning electron microscope which produces images of a sample by scanning it with a focused beam of electrons and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)

that a method used to determine the energy spectrum of X-ray radiation. High level of sulfide and alumina is detected. After different trials no substantial data was achieved that showing decreasing nitrogen pick up from air and macro inclusion severity.

As a result they were used 12 tundish impact pad for trial. Firstly there was no any substantial data was achieved that showing decreasing nitrogen pick up from air. Secondly After 35 heats tundish impact pad is still preserved its' original form and there is no significant wearage. Thirdly there was no any substantial data was achieved that showing decreasing amount of macro inclusion on coils. At last they were observed that most of inclusion were D type globular inclusions.

1. GİRİŞ

Son yıllarda çelik üretim teknolojisinde, üretim araçlarında, kalite güvence sistemlerinde ve proses modellemelerindeki ilerlemelerin sonucunda, çelik üretim ve kontrol sistemleri artık en son teknolojik gelişmelerden payını almaktadır. Böylesine gelişmelere paralel olarak çelik kalitesindeki tanımlamalarda radikal değişimlere uğramıştır. “Temiz çelik” kavramı da bu değişimlerden payını almıştır. Çelik temizliğini etkileyen faktörlerin araştırılması, kirliliği artıran kaynakların azaltılması ve bunun gerekiyor ise proses yöntemleri veya refrakterde olduğu gibi kullanılan malzemenin seçimi yolu ile gerçekleştirilmesi, çelik dünyasının tartıştığı temel konulardan olmuştur.

Temiz çelik öncelikle çeliğin oksit ve sülfür olarak düşük düzeyde safsızlıklar içermesi, yani yüksek oksit ve sülfür temizliğine sahip olmasıdır. Temiz çelik kavramı son zamanlarda daha da genişletilerek, çok düşük azot, hidrojen ve bazı durumlarda düşük karbon içeriğini de tanımlar hale gelmiştir. Göreceli bir söylem olan çok düşük, kullanım yerinin gerektirdiği kadar düşük veya genel olarak öncekilerden daha düşük olarak anlaşılabilir .

Kiessling’ in temiz çelik tanımı da aynı doğrultudadır. “Temiz çelik güzellik gibidir , ona sahip olanın gözünde bir değer ifade eder” Yani temiz çelik tanımı, çeliğin kullanım amacına göre değişir. Kullanımdaki değişimler ile birlikte dünyanın temiz çeliği, bugünün kirliliği haline gelmiştir. Temiz çeliğin başka bir tanımlaması da; kritik inklüzyon boyutundan daha büyük inklüzyonun bulunma olasılığının çok düşük olduğu çelik şeklindedir [1].

Çelik üretim sürecinde temiz çelik daha çok sekonder yada pota metalurjisi işlemleri ile şekillenir, daha sonraki sürekli döküm aşamasında ise elde edilmiş olan yüksek temizlik düzeyi korunmaya çalışılır. Çok düşük oksijen düzeyleri elde edilebilmesine rağmen pota metalurjisi ve döküm aşamasında çelik çeşitli etkiler ile yeniden oksijen alabilmektedir. Sıvı çelik transfer süreçlerinde sadece oksijen almaz, aynı zamanda azot ve bazı durumlarda hidrojen de kapar. Metalik olmayan inklüzyonların nihai miktarı bir çok faktör tarafından belirlenir. Bu faktörlerden bazıları, çeliğe inklüzyon

katkısı yaparak etkili olur, bazıları da çeliğin inklüzyonlardan arındırılması aşamasında rol alırlar.

- Yeniden oksitlenme veya deoksidasyon prosesleri sonucunda,
- Refrakterden veya cüruftan aşınma ve mekanik karışma sonucunda
- Kalıpta katılaşma sürecinde oluşmuş

inklüzyonlar nedeni ile kirlenmiş olan bir çelik, kirliliğe neden olan prosesler öncesinde yapılmış olan tüm çalışmalar ne kadar mükemmel olur ise olsun kalite açısından uygun olmayan bir çeliktir. Bu nedenle, transfer süreçlerinin çeliği kirletmeyecek bir şekilde gerçekleştirilmesi, çelik üretim proseslerinde büyük öneme sahiptir. [2].

2. SÜREKLİ DÖKÜM

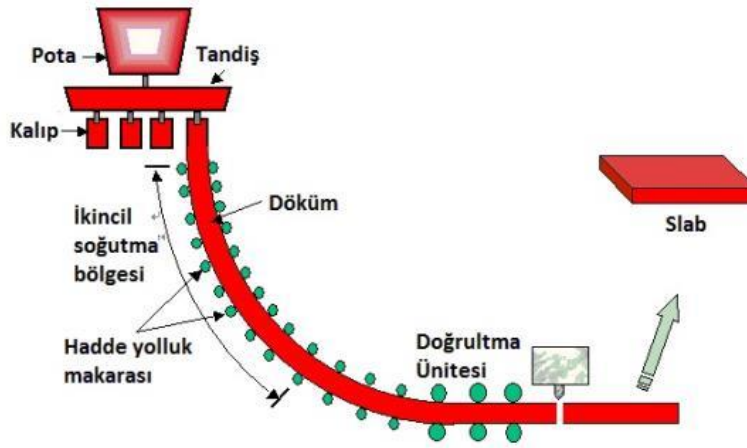
Süreklî döküm, çelik üretim ve haddeleme arasındaki önemli bir prosestir. 1856 yıllarında Henry Bessemer süreklî döküm prosesini önermiş fakat 1930-1940 yıllarında demir dışı metallerde, 1960 yıllarında ise çelik için yaygın bir döküm yöntemi olmuştur. Nispeten çözülmüş çeliğin düşük ısı iletkenliği ve yüksek döküm sıcaklıkları gibi sorunlara demir dışı metallere göre kıyaslandı. 1980 li yılların ortasında süreklî döküm geleneksel ingot dökümü aşarak en büyük döküm yöntemi oldu. İngot dökümde çelik ingotlar üretebilmek için ayrı kalıplar ergimiş çelikle doldurulur. Süreklî döküm yönteminin ingot döküme kıyasla çok avantajları bulunmaktadır. En büyük avantajı çelik kalitesi artırması, akma dayanımı artırması ve enerji ve insan gücü tasarrufudur. Bugün dünya çelik üreticilerinin %95'i süreklî dökümle çelik üretiyor ve büyük miktardaki çelik kaliteleri istenen boyutta üretilir.

Süreklî döküm çalışma prensibi, potadaki sıvı çelik döküm makinesine aktarılır. Döküm başladığında pota altındaki nozul açılır ve çelik kontrollü hızda tandişe akar daha sonra daldırma giriş nozulunda kalıp veya kalıplara dökülür. Kalıplar genellikle su soğutma bakır plakalardan imal edilir. İlk katılaşma metal/kalıp arayüzeyinde başlar. Katılaşan kabuğun kalınlığı makine aldıkça artar. Kalıp çıkışında sıvı havuzu destekleyecek kadar kalınlaşır. Kalıbın altında kabuk püskürtme suyla soğutulur. Kalıp soğutması birincil soğutma ve püskürtme su ikincil soğutma olarak adlandırılır. Makine bittiğinde parça kesilir ve haddelemeye transfer edilir.

Süreklî dökümde büyük zorluk çeliği hatasız ve kesintisiz olarak dökmektir. Katılaşma kontrolü yüzey ve iç kalite için önemlidir. Çelik temizliği pota ve tandişte önde gelen operasyonlara bağlıdır. Katılaşmadaki önemli kontrol parametreleri çelik kimyası, döküm hızı, kalıp düzeyi, sıvı çelik sıcaklığı, ikincil soğutma koşulları ve kalıptaki akışı etkileyen parametrelerdir. Süreklî döküm alanında araştırma ve geliştirme yoğun bir şekilde devam etmektedir ve ana amaç döküm ürünlerin daha kaliteli olması ve özel sorun ve gerekliliklerle zor çelik kalitelerini dökme yollarının

geliştirilmesidir. Ayrıca bugünlerde enerji verimliliği ve çevre özel bir öneme sahiptir.

Pota metalürjisi ve sürekli döküm çelik ürünlerin son kalitelerinde merkezde yer alan proseslerdir. Potada sıvı çelik prosesi, tandiş, kalıp ve son katılaşma birbirini izleyen karmaşık kimyasal fiziksel ve termal prosesleri içerir. Dikkatli kontrol ve düzgün operasyon çok önemlidir fakat çelik kimyası, sıcaklık, akış koşullarının dinamik değişimleri ve cüruf, refrakter ve kalıp duvarının etkileşimleri tanımlayan direkt ölçümlerideki zorluklardır. Reaksiyonların modellenmesi, akış dinamikleri ve ısı transferi çeşitli durumları ve çeşitli proses parametreleri arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamayı sağlar [3]. Şekil 2.1’ de slab döküm süreci gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Slab döküm süreci [4].

2.1 Sürekli Döküm Makinesi

Şekil 2.2’de pota ocağında metalürjik olarak uygun hale getirilmiş sıvı çelik taret kısmına getirilir. Taret iki kısımlı olup bir taraf şarj amaçlı diğer taraf deşarj olarak kullanılmaktadır. Sıvı çelik tandiş mekanizmasının içi $\frac{3}{4}$ kadar doldurulur. İçinde sıvının sürekli yüksekliği ölçülen tandiş sisteminden dış tarafı sürekli soğutulan bakır kalıplara dökülür.

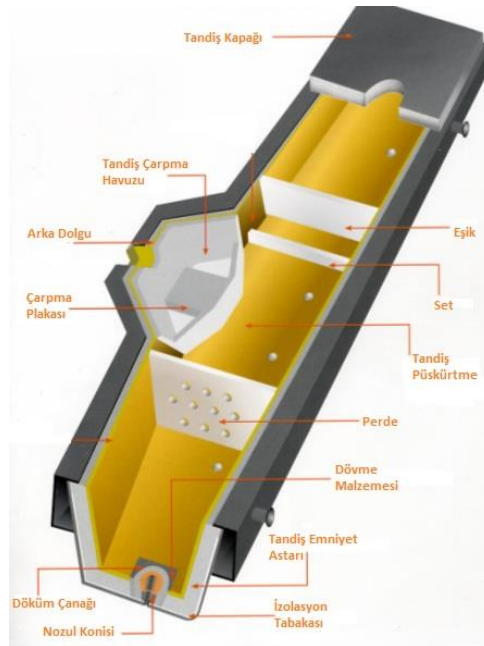
Dış tarafı soğutulan kalıplar içine dökülen çeliğin dış kısmı çok hızlı katılaşır. Aynı zamanda sıvı halden katı hale geçerken çeliğin hacmi azalır. Hacim azalmasının sürekli döküm esnasında slab içinde boşluklar oluşturmaması için kalıp sürekli döküm hızına göre hareketlendirilir. İstenilen ölçülerde kullanılan kılavuz ile sürekli döküm işlemi başlar. Hidrolik oransal basınç düşürücüler ile kontrol edilen çekme ve doğruğultma işleminden sonra plazma ile slab kesilir [5].



Şekil 2.2 : Slab döküm makinesi.

2.2 Tandış

Sürekli döküm işlemlerinde slab ve kütük potadan direkt olarak dökülememektedir. Şekil 2.3’ de gösterilen tandış metalürjik olarak çelik temizliği, sıcaklık ve kompozisyon kontrolünün artırılması için kullanılan haznedir ve aynı zamanda kalıp içerisine sıvı çeliği dağıtmak için kullanılır. Çeliğin mikro ve makro inklüzyonlardan arındırılması ve kalıplara homojen dağılmasını sağlar. Makro inklüzyon karakteristik olarak reoksidasyon, pota cürufunun taşınması, cüruf çökeltileri ve refrakter aşınmalarından oluşur. Mikro inklüzyonlar ise karakteristik olarak deoksidasyon ürünleridir.



Şekil 2.3 : Tandış ve aksesuarları [7].

Tandişler dikdörtgen yapıdadır ve refrakter ile örülmüştür. Nozullar pota tandişi ve tandişi kalıp arasındaki dökümde reoksidasyona karşı koruma sağlar. Stopper kontrollü nozul ve geçiş kapısı pota tandişi ve tandişi kalıp arasındaki dökümde çelik akışına kontrol etmek için kullanılır. Tandişteki eriyik yüzey cüruf tarafından kaplanmıştır. Cüruf ergimiş çeliğin oksitlenmesi ve ısı kaybını önler. Diğer önemli özelliği ise inklüzyonların cüruf tarafından alınarak çeliğin temizlenmesidir.

Tandiş tasarımında akışı modellemek için su modelleri sıkça kullanılır. Buna rağmen su modelleri ısı değişimlerinin sebep olduğu izotermal ve doğal konveksiyonu modelleyemez. Doğal konveksiyon döküm başlaması sırasında ve pota değişim işlemlerinde çok önemlidir. Genelde yeni potadaki ergimiş çelik önceki potadan kalan tandişteki sıvı çelikten daha sıcaktır. Pota değişim sırasında yeni potadaki çelik soğuyabilir. Bu sıcaklık farkı tandişteki akışı güçlü bir şekilde etkiler. Potadaki sıcak çelik tandişte yukarıya gitme eğilimi gösterirken soğuk çelik tabana gitme eğilimi gösterir. Ayrıca sadece tam ölçekli su modeli su modelleme dizaynında kullanılan birimsiz Froude ve Reynold sayısını karşılar. Küçük ölçekli modeller Froude sayı benzerliğini baz almaktadır. Eğer su modeli ve gerçek tandişi tamamen türbülanslı ise uygun olabilir. Örneğin inklüzyon ayrımı konusunda tam bilgi sahibi olunması da zordur. Çok çeşitli teknikler kullanılıp ölçümlerden bekleme süresi dağılım profili oluşturulabilir. Örnek olarak, minimum bekleme süresi, ortalama bekleme süresi maksimum pikteki zaman tıpa hacim hızı ve ölü hacim hızı [8].

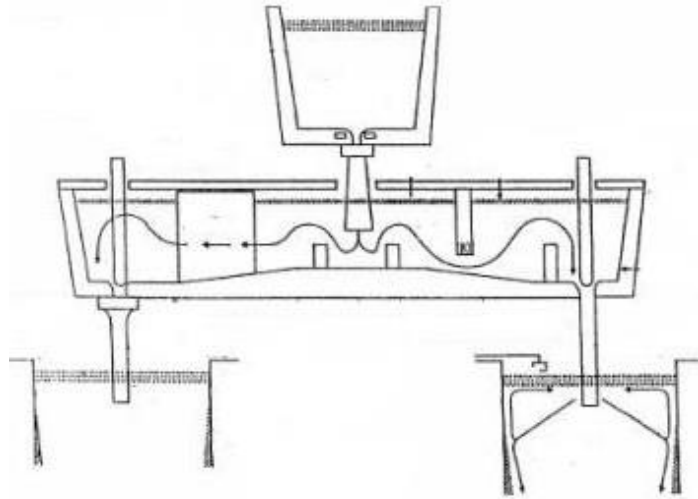
Çok çeşitli tandişi tasarımları ve akış değiştiriciler (havuzlar, tandişi barajları...) çalışmaları başarı ile sonuçlanıp literatüre girmişlerdir. Tandişi metalurji gelişim ve işletmede uzun bekleme süresi, akış yönlendirme ve argon üfleme ile inklüzyon yüzdürme ve hava, cüruf ve refrakter malzelerden korumak için daha büyük tandişi tasarımına gidilmiştir. Kontrol parametreleri olarak şekil ve tandişi hacmi, akış kontrol sistemleri, refrakter malzemeler, termal kontrol teknolojileri, sıvı metal dağılım sistemleri kullanılır. Ortalama pota değişim süresi 40-60 dk olması nedeniyle tandişteki kararlı hal kısa sürmektedir. Pota değişimlerinde reoksidasyon potadan tandişe cüruf kaçması, cüruf emülsiyonu nedeniyle tandişte kirlilik görülmektedir.

Genelde yüksek bekleme süreleri, kısa çevrimden kaçınmak ve sıvı çeliğin soğuk bölgeleri tandişi akışı hedefi ile değerlendirilir ve sayısal olarak kolayca hesaplanabilir. Ayrıca tıpa, karışım ve ölü hacimler bekleme süre eğrisinden hesaplanabilir. Modelde metalik olmayan parçacıklar tandişi örtüsü içine girebilir ve

inklüzyon parçaları hesaplanabilir. Daha kesin sınır durumlarında ise tandiş duvarı veya cüruf tarafından alınan parçacıklara ihtiyaç vardır.

Tandişi saran cürufun ideal bileşimi, reaksiyon termodinamiği, cüruf yapısı, yüzey gerilim ve viskozite gibi fiziksel özellikler, matematiksel tasarımı gibi konular araştırmalar artmıştır. Cüruf iyi bir termal yalıtkan olmalı ve emilsüyon minimum olmalıdır. Fakat daha da önemlisi cürufun eręimiř çelikten inklüzyon kapabilme serbest kapasitesi olmalıdır. Bu serbest kapasite, termodinamik olarak yazılım üzerinden hesaplanabilir. Cüruftaki inklüzyon oksit içeriği dotam değerine yükseldiğinde inklüzyonların ayrılması imkansız hale gelir. Bu yüzden döküm başlarında cüruftaki inklüzyonların yakalama kapasitesi iyi durumda iken, döküm sırasında gittikçe kötüleşir.

Sürekli dökümde sıvı çeliğin tandişten kalıplara aktarılmasında kullanılan nozullar tıkanmaktadır. Bu tıkanmaların sebebi genelde elik kaliteleri, nozuldaki ısı transferi ve elik sıcaklığı olmaktadır. Katı inklüzyonlar diğer inklüzyonlarla birleştiğinde nozul tıkanmakta ve bunu engellemek için inklüzyon sıvı halde tutmak gerekmektedir. Tandişe kalsiyum ile işlem yapıldığında katı alumina inklüzyonlar sıvı kalsiyum-aluminata dönüşür. Ayrıca tandiş nozulun argon üflenmesi de tıkanmanın önüne geçmektedir [9]. şekil 2.4' de slab tandiş yerleşimi gösterilmektedir.

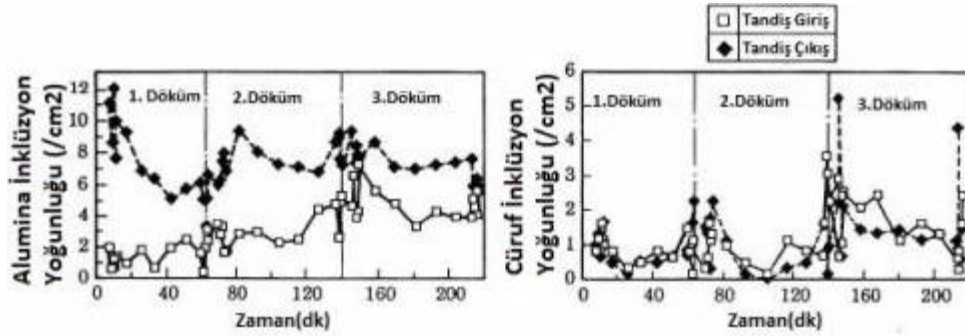


şekil 2.4 : Slab tandiş yerleşimi [10].

Geçmişte pota metalürjisi gelişmeden önce tandişler potadan gelen deoksidasyon ürünleri için temizleyici görevinde bulunmaktaydı. Makro inklüzyonlar ve mikro inklüzyonlar potadan transferlerde birleşebilirdi. Tandiş de eriyikten gelen makro

inklüzyon sayısını azaltmak, kimyasal kompozisyonları ayarlamak, kalıbı besleyebilmek için gerekli olan eriyik sıcaklığını kontrol etmek için kullanılıyordu.

Şekil 2.5' de gösterilen grafikte pota değişim zamanlarında sıvı çelik dökülürken ortamdaki havadan ve pota cürufundan oksitlenebilir. Pota cürufu ve tandiştir eriyik üzerinde yüzerken birleşip eriyiğe geçip makro inklüzyonları oluşturur. Alüminyumla deokside olmuş çelik pota metalurjisinden deoksidasyon ürünlerini temizlendikten sonra bile tandiştir alümina partikülleri görülebilir. Bu partiküller birleşerek tandiştirten kalıba geçip son mamülde alümina kümelerine sebep olur.



Şekil 2.5 : Tandiştirde cüruf ve alümina inklüzyonları [11].

Makro inklüzyonlar ve alümina kümeleri proseste sorunlara sebep olur ve yolluk ve son üründe hatalara neden olur. Bu yüzden tandiştirin dizaynı ve işletmesi makro inklüzyonların ve alümina kümelerinin oluşmasını minimize etmek üzere oluşturulmalıdır [12].

3. İNKLÜZYON

Müşterilerin artan talepleri ile beraber çelik üretiminin ana bakış açısı çelik temizliği olmuştur. Temizlik çelik ürünlerinin yorulma, tokluk, şekil alabilirlik ve süneklik gibi mekanik özellikleri için önemli olmuştur. Çelik temizliği çelikteki inklüzyon karakteristikleriyle yakından ilgilidir. Temizlik derecesi çelik kalitesine göre değişkenlik gösterir. Ayrıca çelik temizlik talebi uygulama ve kullanım alanına göre çeşitlilik gösterir. Bununla beraber metalik olmayan inklüzyonlarda şekil, morfoloji, dağılım ve kompozisyon çelik üretiminde önemli rol oynar. Inklüzyon oluşumu çelik üretiminde kaçınılmazdır fakat miktarı ve şekli istenen çelik kalitesine göre azaltılmaya çalışılır. Çizelge 3.1’de ürünlerdeki maksimum empürite oranı ve maksimum inklüzyon boyutları verilmekte olup inklüzyon bilgisi müşteri spesifikasyonlarını karşılayan ve üretim kaybını azaltmak için gereklidir. Inklüzyon hakkında bilgiler inklüzyon kaynağı ve türü, oluşumu değişimi ve yok etme mekanizmaları ve de inklüzyon karakterlerini optimize etmek için gerekli önlemleri kapsar [13].

Çizelge 3.1 : Çelik ürünlerdeki maksimum inklüzyon boyutları [13].

Ürün	Maksimum Empürite Oranı	Maksimum Inklüzyon Boyutu
Otomotiv ve Derin Çekilmiş Sac	$C \leq 30 \text{ ppm}$ $N \leq 30 \text{ ppm}$	100 μm
İşlenmiş Teneke	$C \leq 30 \text{ ppm}$ $N \leq 30 \text{ ppm}$ $T.O \leq 20 \text{ ppm}$	20 μm
Hat Borusu	$S \leq 30 \text{ ppm}$ $N \leq 35 \text{ ppm}$ $T.O \leq 20 \text{ ppm}$	100 μm
Rulmanlı Yatak	$T.O \leq 10 \text{ ppm}$	15 μm
Lastik Teli	$H \leq 2 \text{ ppm}$ $N \leq 40 \text{ ppm}$ $T.O \leq 15 \text{ ppm}$	10 μm , 20 μm
Levha Sac	$H \leq 2 \text{ ppm}$ N 30-40 ppm, $T.O \leq 20 \text{ ppm}$	Tek inklüzyon 13 μm , küme 200 μm
Tel	$N \leq 60 \text{ ppm}$ $T.O \leq 30 \text{ ppm}$	20 μm

3.1 Metalik Olmayan İnküzyonların Sınıflandırılması

Metalik olmayan inküzyonların miktarı ve türünün çelikte çeşitli özelliklerdeki etkileri;

- Dayanım ve yorulma gibi mekanik özellikler
- Sünek ve gevrek kırılma
- Sıcak gevreklik ve yırtılma
- Kaynak özellikleri
- İşlenebilirlik
- Yüzey kalitesi
- Korozyon

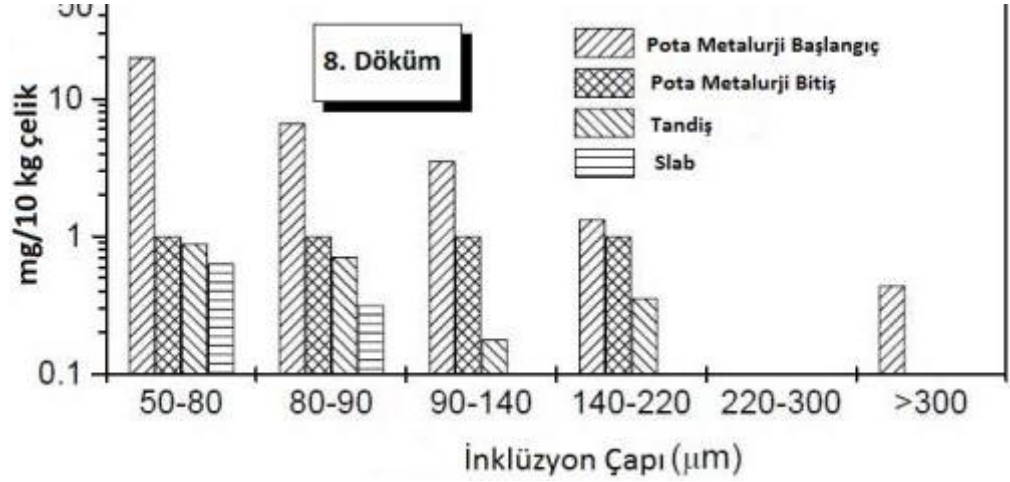
İnküzyonlardaki 4 çeşit deformasyon çeşidi sıcak haddelenmiş çelikte görülebilir.

- Deformasyon çelik matriste benzer yöndedir. Bu inküzyonlar yumuşak ve haddeleme yönünde uzamıştır. Deforme edilebilen silikat ve mangan sülfidler
- Gevrek inküzyonlar boylamasına kırılır veya parçalarına ayrılır. Örneğin alümina inküzyon
- Deforme edilen fazlar tarafından sert hücre içeren sarılmış inküzyonlar genellikle düşük deformasyon derecelerinde sünek davranış gösterirler ve yüksek deformasyon yönüne uzarlar. Örneğin kompleks çok fazlı inküzyonlar
- Çok sınırlı veya hiç deforme olmayan inküzyonlar hadde yönünde yüksek haddeleme oranlarında metal matriste bazı oyuklar görülebilir. Örneğin kalsiyum aluminat inküzyonlar [14].

Metalik olmayan inküzyonlar birçok bakış açılarını göre çok çeşitli sınıflandırılır. Kimyasal kompozisyonlarına göre oksitler sülfidler ve nitritler olmak üzere 3 gruba ayrılır. Ayrıca inküzyonlar kaynaklarına göre iç ve dış olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.1 Dış inküzyonlar

Çelik-cüruf reaksiyonları, atmosfere bağlantısı, refrakter aşınmalarından kaynaklanır. Bu tür inküzyonlar proses şartları değiştirilerek engellenebilir. Çelik şekillendirilmesinde şekillendirme yönünde çukur ve oyuklara sebep olur ve sık sık kırılır. Şekil 3.1' de pota metalurji istasyonundan slab üretimine kadar olan prosesteki inküzyon boyut dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Sürekli döküm prosesindeki inklüzyonların boyut dağılımları [15].

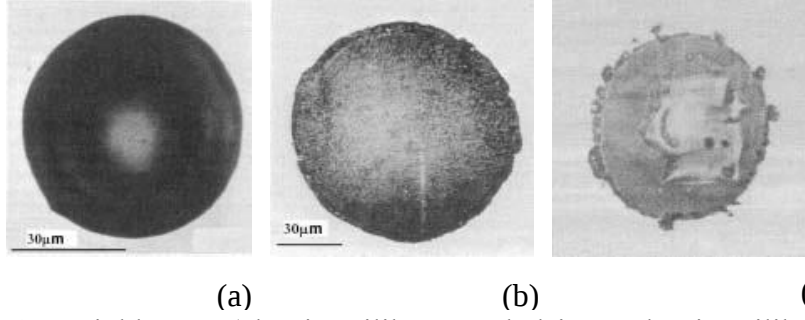
Dış inklüzyonların genel karakteristikleri aşağıdadır;

a) Boyut: refrakterden gelen inklüzyon genellikle cüruftan gelen inklüzyondan büyüktür.

b) Birleşim kompozisyonu;

- Ergimiş metal ve cüruftaki SiO_2 FeO ve MnO arasındaki reaksiyon ve refrakter astarından dolayı oluşan Al_2O_3 yüzeyde kalabilir.
- Dış inklüzyon hareket ettiğinde Al_2O_3 gibi deoksidasyon inklüzyonları tarafından yakalanabilir.
- Dış inklüzyon sıcak metalde hareket halindeyken yeni inklüzyonun çökmesi için heterojen hücre gibi davranır.
- Cüruf ya da reoksidasyon inklüzyonları refrakter astarıyla reaksiyona girebilir veya çelik içerisindeki malzemeye yerinden çıkarabilir.

Şekil 3.2' de alümina inklüzyonlarının şekil ve fazlarına göre çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : **a)** Camsı inklüzyon (alümina silikat veya kalsiyum alümina silikat) [16].
b) Opak inklüzyon(alümina silikat veya karışık oksit fazı) [16].
c) Yüzeyde küresel inklüzyondaki alümina kristali [16].

c) Düzgün olmayan şekil: küresel dış inklüzyonlar genelde 50 mikrondan büyük olur ve çoğunlukla çok fazlıdır fakat küresel deoksidasyon inklüzyonları genelde küçük ve tek fazlıdır.

d) Döküm alırken veya katılaşmada nadiren çelikte tam karışmış olmadan küçük inklüzyonlar oluşabilir. Yüzeye çıkmasına izin verilerek çok rahat ayrılabilirler. Genelde yüzey yakınlarında bulunurlar [17].

3.1.1.1 Reoksidasyondan kaynaklanan dış inklüzyonlar

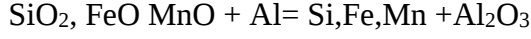
Hava reoksidasyonun başlıca sebeplerindendir ve genellikle şu yollardan oluşur;

- Tandişteki ergimiş metal yoğun türbülans nedeniyle döküm başlangıcında üst yüzeyden havayla karışır.
- Pota ile tandiş veya tandiş ile kalıp arasındaki açıklıklardan ergimiş çeliği hava girer.
- Döküm sırasında pota, tandiş veya kalıba hava girişi olur.

Bu tür reoksidasyonlarda Al, Ca, Si gibi deoksidasyon elementleri tercihli oksitlenir ve metalik olmayan inklüzyonları oluşturup deoksidasyon inklüzyonlarından 2 kat büyüklüğe sahip olurlar. Bu tür reoksidasyona engel olmak için döküm prosesinin havayla temasını azaltmak gerekmektedir. Bunun için;

- Soygaz perdesiyle korumaya almak veya pota ile tandiş veya tandiş ile kalıp arasında poroz refrakter kullanmak
- Tandişte döküm öncesi gazla havadan arındırmak
- Kontrollü gaz kullanmak

Diğer reoksidasyon kaynağı cüruftaki SiO₂, FeO ve MnO ve refrakter astarıdır. Bu reaksiyon mekanizması ile inklüzyonlar çelik içerisinde cüruf veya refrakter yakınlarında büyür.



Çeşitli kompozisyonlarda daha büyük alümina oluşumunu sağlar. Bu fenomen aşağıdaki yollarla etkiler;

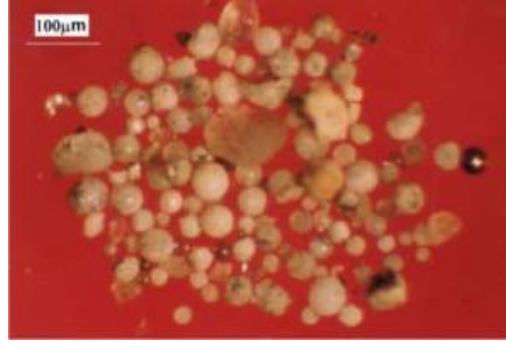
- Bu reaksiyon refrakter yüzeyini aşındırabilir ve bu da astardaki kopmaları hızlandırabilir.
- Kopmuş astardaki veya cüruftaki büyük dış inklüzyonlar küçük inklüzyonlarla birleşebilir.

Cüruf ve refrakter astarlarını reoksidasyondan korumak için SiO₂, FeO ve MnO miktarlarının düşük tutulması çok önemlidir. Serbest SiO₂ miktarını az olan yüksek alüminalı ve zirkonyalı tuğlaların kullanımı daha uygundur [18].

3.1.1.2 Cüruftan kaynaklanan dış inklüzyonlar

Çelik üretimi veya transferde cüruf ve metal karışımları çelik içerisinde cüruf partikülleri askıda kalır. Şekil 3.3’de gösterilen 10-300 mikron boyutundaki cüruf inklüzyonları büyük miktarda CaO ve MgO içerir ve genellikle ergimiş metal sıcaklığında sıvı halde bulunur. Çelik sürekli döküm prosesinde aşağıdaki faktörler çelikteki cüruf inklüzyonlarını oluşturur;

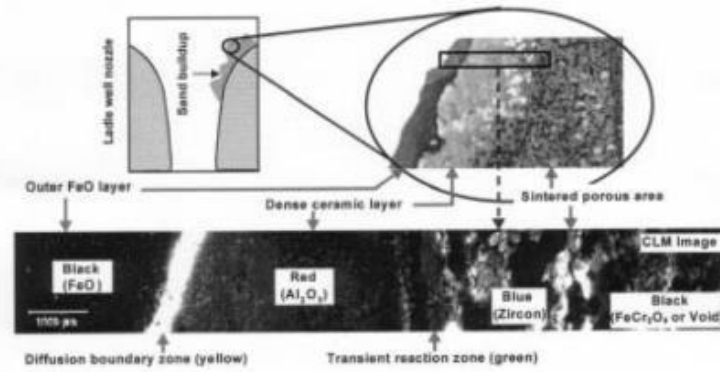
- Açık döküm için potadan tandişe ya da tandişten kalına transfer operasyonları
- Ergimiş çelik üst yüzeyinde girdap. Ergimiş metal seviyesi düşük olduğunda girdap döküm yollarının kapanmasına neden olur.
- Kritik gaz akış hızı üzerindeki karıştırmada yüzeydeki cüruf inklüzyon oluşumu
- Kalıptaki türbülans
- Cüruf viskozitesi ve arayüzey gerilimi gibi cüruf özellikleri [19].



Şekil 3.3 : Cüruf inklüzyonları [15].

3.1.1.3 Refrakter astar erozyonundan kaynaklanan dış Inklüzyonlar

Şekil 3.4’ de gösterilen döküm deliği kumu, kırılmış refrakter tuğlası, seramik astar partikülleri gibi refrakter aşınmaları genellikle büyük dış inklüzyonların kaynağıdır. Genellikle büyük boyutlu ve düzenli olmayan şekle sahiptir. Bazı araştırmacılar erozyon prosesini anlamak için eriyik içerisine astar örnekleri daldırdılar. Camı refrakterler ve tuğla yüzeyindeki reaksiyon tabakaları 1550-1600°C ergimiş metalde şekillendi. Astar yüzeyindeki büyük inklüzyon parçaları ergimiş metal içerisinde serbest kaldı.



Şekil 3.4 : Refrakter inklüzyonları [20].

Astar erozyonu genellikle türbülans akışının olduğu yerlerde özellikle reoksidasyon kimyasal reaksiyon ve yüksek döküm sıcaklıklarında meydana gelir.

- Yüksek manganlı gibi bazı çelik kaliteleri çok koroziftir ve astarı aşındırır.
- Çözülmüş alüminyum, ergimiş çelikte refrakter astarındaki SiO_2 oranını düşürmesi gibi reoksidasyon reaksiyonları astar malzemesi ısıtılan ve çok reaktif olan FeO bazlı inklüzyonları oluşturur ve yüksek sıvı türbülansı olan yerlerde aşınma yapar. Reaksiyonun kapsamı sıvı çelikteki silisyum içeriğiyle izlenir.

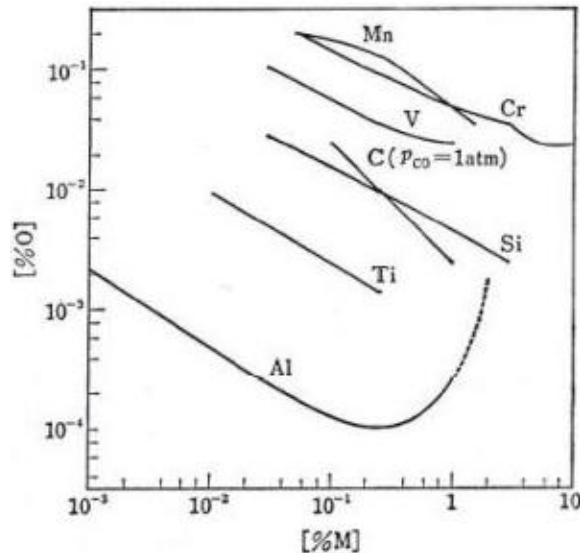
- Oksijen karbon monoksitten de gelebilir. Bu durumda refrakterdeki karbon bağlayıcı ve empüritelerle reaksiyona girer.
- Refrakter kalitesi çelik kalitesi üzerinde önemli bir etkindir.
- Tandışteki duvarlar boyunca aşırı ergimiş metal hızı refrakter aşınmasını hızlandıracaktır. Hızı 1m/s den çok sıcak çeliğin aşınmayı hızlandırdığı için tehlikeli olduğu söylenmektedir.
- Tandışte aşırı bekleme refrakter aşınmasını hızlandırır ve büyük inklüzyonlar cürufta yüzebilir [20].

3.1.1.4 Kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan dış inklüzyonlar

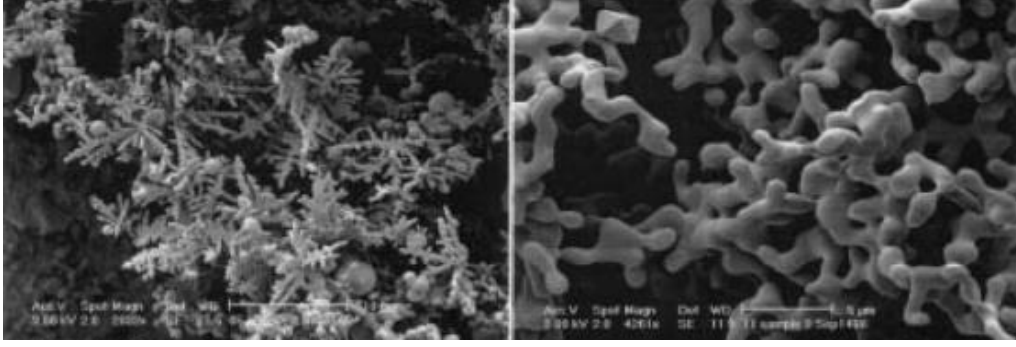
Kalsiyum ile işlem uygun yapılmazsa kimyasal reaksiyonlar oksit üretebilir. Kaynağı saptamak kolay değildir. Örneğin CaO içeren inklüzyon cürufta beraber gelmiş de olabilir.

3.1.2 İç inklüzyonlar

Sıvı metalde veya katılaştan çelikteki reaksiyonlar sonucunda oluşur. Potada başlayan deoksidasyon prosesi çelik katılaşması da dahil oluşur. İç inklüzyon oluşumu kaçınılmaz fakat temiz çelik üretimi için gerekli seviye çekilebilir. Şekil 3.5' de sıvı çelik içerisindeki çeşitli deoksidasyon elementlerinin denge yapıları gösterilmektedir.



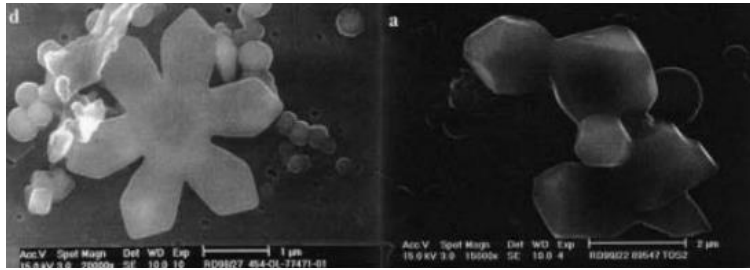
Şekil 3.5 : Çeşitli deoksidasyon elementlerinin denge yapıları [21].



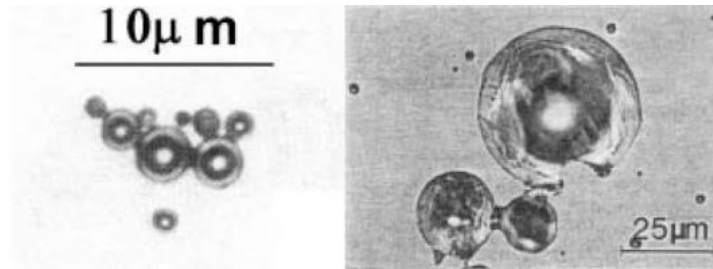
Şekil 3.6 : Dendritik ve grup alümina inklüzyonlar ile saf demirin deoksidasyonu sırasında şekillenen mercan gibi görünen alümina inklüzyonlar [22].

3.1.2.1 Deoksidasyon ürünleri

Düşük karbonlu alüminyum sönmüş çelikte alümina inklüzyonları ve silisyum sönmüş çelikte silika inklüzyonları çözünmüş oksijen ve eklenen alümina veya silisyum arasındaki reaksiyonlar nedeniyle oluşur. Şekil 3.6’da gösterilen alümina inklüzyonlar yüksek oksijenli ortamda şekillendiğinde dendritik yapıda olur. Şekil 3.7’de gösterildiği üzere diğer partiküllerle çarpışma ayrılma veya birleşim öncesi, çiçek yaprağı ya da birleşmiş çok yüzlü inklüzyon olabilir. Şekil 3.8’de deoksidasyon veya reoksidasyon sonucu oluşan küme tipi alümina inklüzyonlar yüksek arayüzey enerjilerinden dolayı kolayca çarpışma veya birleşmeyle 3 boyutlu küme haline gelir. Kümedeki bireysel inklüzyonlar 1-5 mikron çapında olabilir. [23].



Şekil 3.7 : Çiçek yaprağı ve çok yüzlü inklüzyon [24].



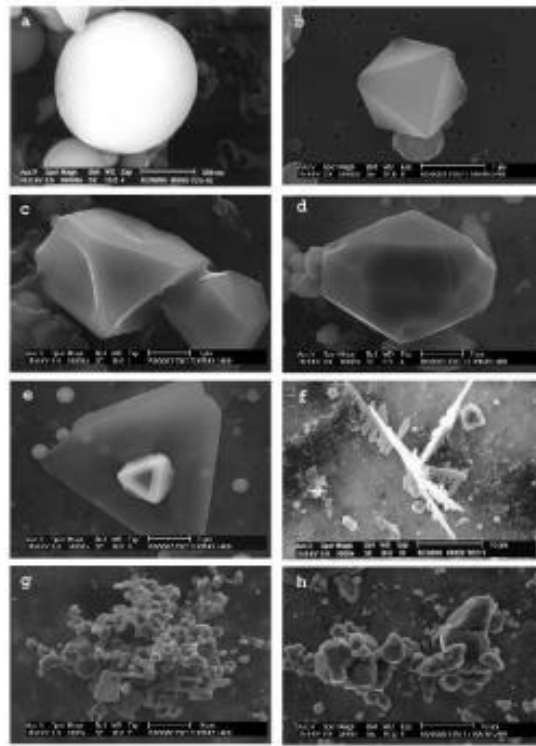
Şekil 3.8 : Kümelenmiş alümina inklüzyonlar [25].

Silika inklüzyonlar sıvı çelikte genellikle sıvı veya camsı faz halinde küresel bulunur. Ayrıca silika inklüzyonlar birleşerek kümelenebilir.

3.1.2.2 Çökelmiş inklüzyonlar

Soğuma veya katılaşma sırasında oluşur.

Soğuma sırasında oksijen, azot ve sülfür elementlerinin çözünürlüğü azalırken, sıvı halde bu elementlerin çözünmüş konsantrasyonları büyür. Bu sayede alümina silika ve alümina nitrür inklüzyonları çökelir. Bu inklüzyonlar genelde 10 mikrondan küçük olur.



Şekil 3.9 : Inklüzyonlarda sıvı akışı ve katılaşma etkileri [26].

Şekil 3.9’ da gösterilen sürekli döküm çeliklerinde inklüzyon dağılımını sıvı akışı, ısı transferi ve çeliğin katılaşması etkiler. Inklüzyon oluşumu, inklüzyon yapısı, yoğunluğu, yüzey enerjisi, ısıl iletkenlik, soğuma hızı tarafından etkilenen katılaşma hızı kritik öneme sahiptir. Inklüzyon oluşum ihtimali daha az segregasyon ve artan katılaşma hızıyla düşer [27].

3.1.3 İnküzyonların sınıflandırılması

İnküzyonların çeliklerin soğuk veya sıcak çekilmesi sonucu deformasyona uğrar. İnküzyonların sınıflandırılması ise deformasyondan sonra şekillere göre yapılır. İnküzyon sınıflandırmalarında;

A tipi inküzyonlar, kimyasal olarak büyük oranda homojen, sıcak hadde öncesinde veya sırasında büyük hacimli sert kristalin fazlara karışmamış camsı yapıdadırlar. Ayrıca camsı matrikste uzamış küçül, sert kristaller de A tipi olarak adlandırılır. Örnek olarak MnS ve silikatlar verilebilir.

B tipi inküzyonlar, sıcak hadde sıcaklıklarında sert ve plastik fazlar içeren, haddede parçalanmış ve devam etmeyen izler şeklinde kendini gösterir. İnküzyonlardaki sert fazlar;

1. Sıvı inküzyonların ayrılması sırasında faz ayrımı
2. Sert ve plastik parçacıkların birleşimi ile oluşan kompozit yapılar
3. Tufaldeki sert inküzyon parçacıklarının dönüşümü

Sonucunda oluşur. Örneğin yumuşama sıcaklığındaki alümina ve silikalar sıcak hadde sıcaklıklarına yakın veya üzerinde bu sınıfa aittir.

C tipi inküzyonlar, ergimiş çelik birleşmiş sert parçacıklar soğuma sırasında da birleşmiş olarak kalırlar. Örnek olarak alümina kümeleri bu sınıfa aittir. Sıcak haddeleme sırasında kümeler dağılır, küçük parçalar ise haddeleme yönünde birleşebilir. Düzenli olmayan Al_2O_3 parçacıkları veya küresel SiO_2 parçacıkları gibi başından beri izole olarak birleşmiş katı deforme edilmemiş inküzyonlar tipik örneklerdir.

Ergimiş çelikte A tipi inküzyonlar ve B tipi inküzyonların çoğu küresel şekildedir, B tipi inküzyonların bir kısmı ve C tipi inküzyonların büyük bir çoğunluk düzenli olmayan ve kümelenme şeklindedir. Ayrıca 2 veya 3 tür inküzyon birleşerek kompozit yapı oluşturabilir.

D tipi inküzyonlar küresel yapıda olup genellikle oksit bileşiklerinden oluşmaktadır [28].

Şekil 3.10' da ASTM E45 standardına göre inküzyon boyut ve çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : İnküzyon çeşitleri [29].

3.1.4 İnküzyon tespit etme yöntemleri

Çeliğin temizliğini direk yada endirek tespit etmek için çok çeşitli yollar bulunmaktadır. İnküzyonları engellemek ve çelik temizliği artırmak için uygun yöntem bulmak çok önemlidir. Bazı direk yöntemler içerisinde metalografik mikroskop gözlemi, taramalı elektron mikroskobu, optik emisyon spektrometresi ve geleneksel ultrasonik tarama bulunmaktadır. Bu yöntemler inklüzyonlar hakkında güvenilir sonuçlar verirler fakat maliyet, zaman ve örnek zorluğundan dolayı toplam oksijen metodu ve azot pick up metodu çelik endüstrisinde yaygın kullanılır.

3.1.4.1 Toplam oksijen metodu

Çelikteki toplam oksijen çözünmüş (serbest) oksijen ve metalik olmayan inklüzyonlarla birleşmiş oksijenin toplamıdır. Serbest oksijen kolayca kullanılabilen oksijen sensörleriyle ölçülebilir. Alüminyum gibi deoksidasyon elementleri ile denge termodinamiği ile ölçülür. Serbest oksijen çelikte fazla olmaz, çelikte oksit inklüzyonlarının sayısı ile direkt olmayan şekilde ölçülür. Sıvı örnekten ölçülen toplam oksijen üründeki çapak yırtığı sıklığıyla orantılıdır. Özellikle slab üretimi için alınan tundiş örneği temizliği belirtir [30].

3.1.4.2 Azot kapma

Çelik üretim potalarında azot içerikleri farkı transfer operasyonları sırasındaki katılmış havayı belirler. Ayrıca azot kapma toplam oksijen, çelik temizliği ve reoksidasyon inklüzyonlarından gelen kalite sorunlarını direk olmayan ölçüm metodudur. Hava çelik arayüzeyinde daha hızlı emilim kinetiğinden dolayı her zaman oksijen kapma azot kapmadan çok kez daha büyüktür. Ayrıca azot kapma

oksijen ve sülfür içerikleri az olduğunda çok hızlıdır. Azot kapmasını azaltmak için dökümden sonra deoksidasyon yapmak en iyi çözümdür [31].

3.1.4.3 Resim analizi

Video şeklinde geçen resimleri tarayarak siyah ve beyaz bölgelere ayırma mantığına dayalı bilgisayar yazılımı ile çalışan optik mikroskop incelemesidir .

3.1.5 İnküzyon giderme

İnküzyonları yüzdürme çelik üretim endüstrisinde başlıca sorunlardandır. Oksit inklüzyonları çelikten daha düşük yoğunluğa sahiptir. Bu yüzden ergimiş çelik üzerinde yüzme eğilimi vardır. Stoke's kanununa göre küresel partiküllerin artan hacmi yarıçap karesiyle orantılıdır. Ayrıca deoksidasyon ürünleri büyüdükçe küçük olanlara göre daha hızlı hareket eder. İnküzyonlar çeşitli büyüklük ve hacimde birbirleriyle çarpışabilir. Bu mekanizmalar yüzdürmeye olanak sağlar. Deoksidasyon ürünlerinin bireysel hareketleri ekleyince karıştırma yüzdürmeyi kolaylaştırır.

Endüstriyel şartlarda indüksiyon ve gaz karıştırma adında 2 çeşit karıştırma yaygın kullanılır. Karıştırma ergimiş çeliğin sıcaklığını ve kompozisyonunu homojen hale getirir.

Soygaz olan argon büyük ölçüde karıştırma amacıyla kullanılır. Üstten lans kullanılarak banyo içerisine yada pota altına kurulan poroz yapıyla kullanılır. Bunun yanı sıra karıştırma çelik temizliğinde önemlidir. Döküm deliği girişinden karıştırma etkisi dinamik bir şekilde potadaki sıvı çeliğin karıştırılmasına neden olur ve bu da deoksidasyon ürünlerin oluşumunu hızlandırır. [32].

3.1.5.1 Tandış tasarımı ve inklüzyon giderilmesi

Tandış slab kalıbının hemen üzerinde yer alır. Herhangi bir düzensizlik reoksidasyona ve sıvı çeliğe cüruf karışımına sebep olur ve bunun sonucunda sonucunda makro inklüzyon oluşur. Eğer kalıba taşınırsa döküm hatalarına oluşturur. Tandış mikro alaşım elementleri eklenmesi veya nozulun tıkanması önlemesi için Ca ilavesi dışında temizleme ve alaşımlandırmaya uygun değildir. Tandışteki amaç ısı kayıplarını azaltmak, ergimiş metali kalıplara dağıtmak, makro inklüzyon oluşumunun minimum ve maksimum giderilmesidir. Tandışın sıcak çevrimde kullanılması refrakter maliyetlerini azaltır. Fakat tandış akış kontrol malzemelerinin

karişık yapısı sıcak çevrimine uygun değildir. Refrakter dayanıklılığı çok önemlidir ve tandiş zırhının deformasyona uğramadan dayanıklı kalması gerekmektedir. Aksi takdirde ufak bir deformasyon bile nozulun merkezinin bozulmasına ve sonucunda simetrik olmayan akışın inklüzyon giderilmesini etkileyip kalıba cüruf gelmesine neden olur. Makro inklüzyon sayısı azaltmak için tandişte yapılması gereken:

Döküm kararlı halde şunlara ihtiyaç duyar;

1. Tandişteki yeterince sığ ve geniş alan stokes yüzdürmesini teşvik eder.
2. İçeriden dışarıya doğru batmaya ergimiş çelik akışı yüzdürmeye yardımcı olur.
3. Batmayan büyük hacim tandiş uzunluğunun ilk yarısında akar.
4. Sıvı çelik tandişteki cüruf-ergiyik arayüzeyi boyunca daha az türbülansla akar.
5. Sıvı çelik girişten tandiş nozuluna kısa yoldan akış yapmaz.
6. Tandişteki en az ölü bölge sahip olmalıdır.
7. Yüzdürme için yeterli bekleme süresi olmalıdır.
8. Argon gazı dökümde nozulu korur.
9. Termal yalıtım ve koruma argon gazı sonrası reoksidasyona karşı koruma sağlar.

Kararlı olmayan dökümde ise;

10. Cürufun potadan tandişe geçişini ve tandişte kalıba geçişini engeller.
11. Pota açıldığında ergimiş çeliğin tandişe ilk vurduğundaki türbülansı bastırır.
12. Pota açılış ve pota değişiminde inert atmosferi korur.
13. Sıcaklık düşmesini engeller [33].

4. SIVI AKIŞIN MODELLENMESİ

Arzu edilen akış karakteristiğini başarmak için iyi bir tandış dizaynı, sıvı metalin optimum hacimsel akış hızı önkoşuldur. Endüstriyel üretim dizaynı öncesinde tandışların verimliliğini artırabilmek için fiziksel ve/veya matematiksel modelleme yapılmaktadır. Nihai dizaynın amacı olabildiğince inklüzyon sayısını azaltmak ve çelik potadan tandışe ve tandışten kalıplara akışta yeni inklüzyonlar oluşturmamaktır.

Fiziksel modelde düşük sıcaklıktaki sıvı, genellikle su, tandışteki ergimiş metali temsil eder. Saydam tandış modelindeki su akışı fiili tandışteki sıvı akışını fiziksel değişimini gösterir. Diğer metot olan matematiksel metot ise türbülans Navier Stokes denklemi ile temsil edilir. Uygun sınır durumları ile bu denklemin çözümü, sistemdeki türbülans ve hız hakkında detaylı bilgileri sağlar [34].

4.1 Fiziksel Modelleme

Fiziksel modelde ölçekli küçültülmüş tandışlar kullanılır. Fiili tandışteki metal akışı fiziksel modelde uygulanabilirse tandışteki akışın aşağıdaki gibi çeşitli açılardan incelenebilir;

- Tandış dolumundaki erken aşamalarda daldırma borusundan sıvı sıçraması
- Hava veya gazdaki açık dökümdeki karışım etkileri, cüruf emülsiyonu ve karışması ve sıvı akıştaki etkileri.
- Serbest yüzey dalga oluşumu ve yüzey türbülansı
- İşaretli malzeme ile tandışteki farklı alanlardaki akışın görselleştirilmesi
- Sıvıdaki hız ve türbülansın detaylı ölçümleri.
- Akıştaki RTD çalışması.
- Inklüzyon geçiş ve yüzme simülasyonu.
- Vorteks oluşumu ve sıvının tandışten akışı sırasında tandış cürufunun karışması [35].

4.1.1 Benzerlik halleri

Model tandişteki akışın güvenilirliği için fiilen kullanılan tandiş ile model tandiş arasında sabit oran bulunmalıdır. Tandişteki sıvı akışı için geometrik, kinematik, dinamik ve termal hallerin benzerliği içermelidir.

4.1.1.1 Geometrik benzerlik

Model tandişin bütün ölçüleri fiilen kullanılan tandişin bütün ölçülerini sabit oranda karşılamalıdır.

$$L_m = \lambda * L_p \quad (4.1)$$

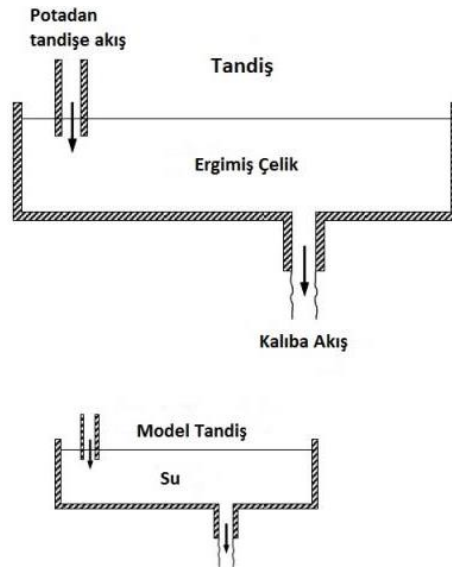
m= model tandiş

p= fiilen çalışan tandiş

λ = lek faktörü

4.1.1.2 Kinematik benzerlik

şekil 4.1' de gösterilen 2 sistemdeki her denk sıvı element, geometrik olarak benzer bir yolu takip edebilir, denk olaylar arasındaki zaman aralığı sabit oranı karşılayabilir. Bu oran zaman-lek faktörü olarak da bilinir [35].



şekil 4.1 : İnkzyonlarda sıvı akışı ve katılaşma etkileri.[35]

4.1.1.3 Dinamik benzerlik

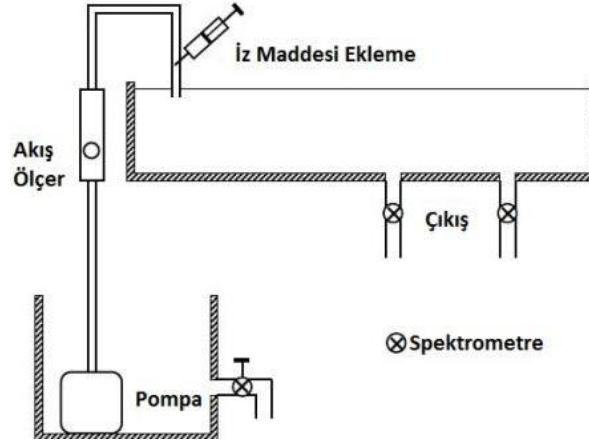
Sistemdeki hızlanan veya yavaşlayan elementlerin kuvvet tepkilerinin benzerliğine dayanır. Bu benzerliğe göre model tandişteki uygun zaman ve yerde fiili tandişteki kuvveti sabit oranda sağlamalıdır.

4.1.1.4 Termal benzerlik

Tandiş su modelindeki ısı kaybı termal benzerlik göz önüne alındığında önemli olacaktır. Bu benzerlik uygun sıcaklık farkları model ve gerçek tandişteki aynı oranı sağlamayı gerektirmektedir. Ayrıca termal benzerlik kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile ısı transfer hızlarını da gerektirir. [35]

4.2 Su Modelleme Prosedürü

Gerçek tandişin tam veya ölçekli küçültülmüş saydam akrilikten dizayn edilip inşa edilmesi gerekmektedir. Önceki bölümde belirtildiği üzere gerçek ve model tandiş arasındaki geometrik benzerlik olması önemlidir. Şekil 4.2 de gösterilen tandişe su girişi, model tandişin üzerinde duran model potadan ya da istenilen hacimsel akış hızına sahip borudan yapılmalıdır. Tandiş çıkışındaki su bekleme tankından devirdaim yaparak tandiş girişine ya da akış sonrası yeniden tandiş girişine gelmelidir. Dinamik benzerliği oluşturmak için tandiş Richardson sayısı izotermal olmayan sistemde devamlılığı sağlanmalı ve Froude sayı benzerliği izotermal sistem için uygun bağıntıyı sağlamalıdır.



Şekil 4.2 : Tandiş su modeli araçlarının şematik gösterimi [36].

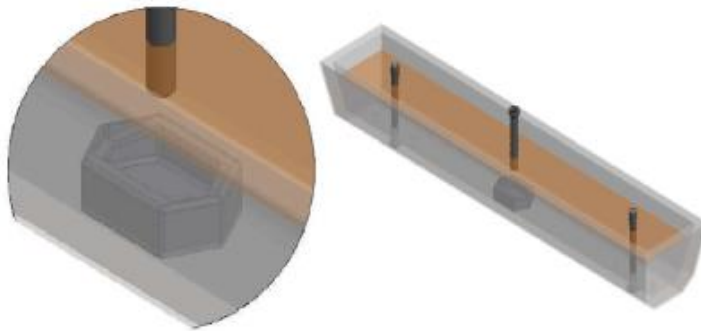
Model kurulumu deney için hazır olduğunda ve istenilen akış hızındaki su sistemde dolaşmaya başladığında, gerçek tandişteki kararlı ve kararsız sıvı akış karakteristiğinin kolayca denemesi yapılabilir. Tandişteki akışın RTD üzerinde en çok çalışma yapılan alandır ve tandişteki ortalama akış dağılım davranışının göstergesidir. RTD çalışmalarından batmayan iz çözeltisi, girişin yanından akışa eklenir. Kararlı sıvı akışları için, iz eklenmeden önce kararlı hal akış profili oluşturulup suyun yeterli süreli akışı sağlanmalıdır. RTD çalışmalarından

araştırmacılar tarafından çeşitli iz malzemeleri kullanılır. Örneğin asit, tuz çözeltileri, boya çözeltileri, potasyum permanganant ve gıda boyaları... Çıkıştaki iz konsantrasyonu, konsantrasyon probu ile ölçümü yapılır. Ph ölçüm cihazı, iletkenlik ölçer ve kalorimetre asitler, tuzlar ve boya konsantrasyon ölçümünde kullanılabilir. Ayrıca iz solüsyonu su ile aynı konsantrasyonda olmalıdır. Aksi takdirde ölçüm sonucu bozuk ve yanlış yönde çıkabilir.

İz girişi pulse eklemesi ise zaman-konsantrasyon sonucundaki eğri birimsiz çizilirse bu eğrinin ismi C eğrisidir. Böylece alternatif ve daha kesin metot, C eğrisi altındaki alandan iz miktarı hesaplanır. Birimsiz ölçekli çizimde C eğrisi altında kalan bölge her zaman tektir. Eğer deney yeterince uzun sürerse ve bütün izler tandışten çıkarsa eğri altındaki alan dikleşir. Çünkü birimsiz zamanda belirsizlik olmaz, birimsiz konsantrasyon ortalama konsantrasyon değişimi tarafından ayarlanır. Böylece eklenmiş izin kesin miktarı geri hesaplanır [36].

4.2.1 Tasarlanan su modeli

Vesivius firması tarafından İsdemir’de kullanılan tandışin 1/3 oranında küçüğü camdan imal edilmiştir. Deneyler esnasında çelik yerine su ve cüruf yerine de yağ kullanılmıştır. Böylece potadan tandışe boşalan çeliğin akışı veya cürufun hareketleri kolayca gözlenebilmektedir. Vesivius firması İsdemir’de kullanılan tandış içerisindeki tuğladan yapılan doldurma havuzunu köpükten yapmıştır. Ayrıca deneyler esnasında baffle diye tabir edilen akış kontrol duvarları ve Şekil 4.3’ de gösterilen Vesuvius firmasının tasarladığı Turbostop 10 diye adlandırılan doldurma havuzu kullanılmıştır. Turbostop 10 ve akış kontrol duvarları 1/3 oranda köpükten imal edilmiştir. Deneyler 3 ana temel prensip üzerine kurulmuştur.



Şekil 4.3 : Tandış çarpma havuzu yerleşimi.

4.2.1.1 Potanın ilk açılması veya döküm bitimindeki çeliğin boşaltılması

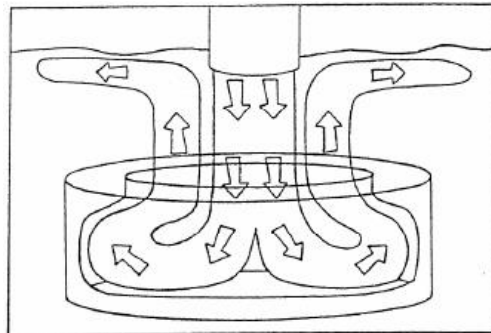
Şekil 4.4’ de gösterilen testin ana amacı ilk döküm başlarken çeliğin akışını gözlemektir. Böylece tandış içerisinde yapılacak işlemlerin sonuçları daha iyi gözlenebilmektedir. Bu deneyler 3 ayrı doldurma havuzu kullanılarak yapılmış ve akışları karşılaştırılmıştır. Vesuvius firmasının yaptığı deneyler sonucunda Turbostop 10 doldurma havuzu kullanıldığı zaman akışın daha yavaş olmasına rağmen akış tandış içerisinde daha homojen dağılmaktadır. Böylece tandış içerisinde ki kör noktalar azaltılmaktadır.



Şekil 4.4 : Tandiş su modellemesi deney düzeneği.

4.2.1.2 Bindirme döküm (pota değişimi)

Bu testin amacı aynı doldurma havuzları ve akış kontrol duvarları kullanılarak bindirme dökümü gözlenmektir. Bu deneyler sonucunda tandış içerisindeki çelik kompozisyonun nasıl ne kadar sürede gözlenmiştir. Şekil 4.5’ de gösterilen Vesuvius firmasının geliştirdiği Turbostop 10 havuz kullanıldığı zaman tandış içerisindeki kompozisyonun pota ilk açıldığı zaman daha uzun sürede olmasına rağmen ilerleyen dakikalarda daha kısa zamanda daha homojen bir yapının olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5 : Sıvı çelik ilk çarpma.

4.2.1.3 Cüruf yüzey hareketleri

Bu testin diğerlerinden artısı tandiş içerisinde cüruf bölgesini gözlemleyebilmek için yağ kullanılmasıdır. Bu sayede ara tüpten akan çeliğin cüruf yüzeyinde oluşturduğu akıntılar görülebilmektedir. Bu deneyde aynı şekilde 3 farklı boşaltma havuzu kullanılarak gözlenmiştir. Deney sonucunda Vesuvius firmasının geliştirdiği Turbostop 10 doldurma havuzu ile daldırma nozulu çevresinde daha az miktarda çelik hava ile temas etmektedir. Bunun kalite yönünden bakıldığı zaman daha az miktarda inklüzyon olması ve tandişte azot kapmalarının azaltılmasıdır.

RTD Ölçümleri

- Pulse giriş testi (kararlı döküm koşulları)
- Step giriş testi (pota değişim)

Görselleştirme

- Boya ekleme (akış şekil görselleştirme)
- Yağ testi (cüruf katılma görselleştirme)

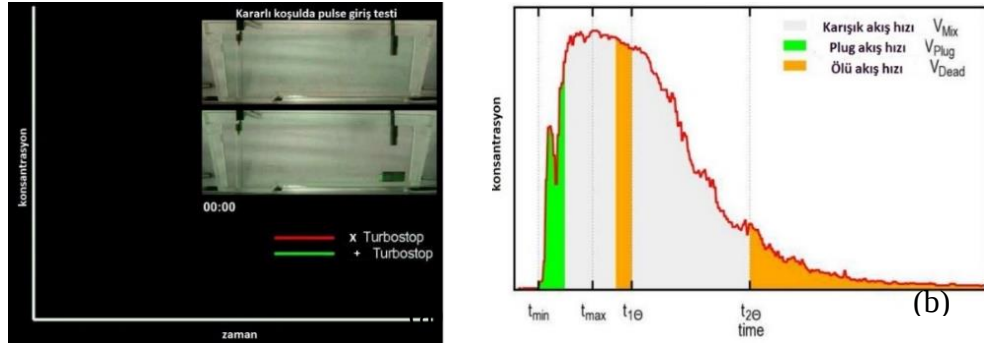
DeneySEL Koşullar

- İzotermal su model koşulları
- 1:3 ölçek
- Froude benzerlik kriteri ile akışın yavaşlatılması
- RTD sonuçlarının 3 tekrar sonrası ortalaması

4.2.1.4 Pulse akış testi (kararlı döküm koşulları)

- RTD ölçümü için iz malzemesi olarak boya kullanımı
- RTD eğrilerinin analizi tandiş akışını karıştırma karakteristiğini tasvir eden kilit değeri sağlar.
- Kararlı ortamda tandiş akışının rolü: uzun minimum bekleme süresi, tapa akış hacminin yüksek miktarı, ölü akış hacmin düşük miktarı

Şekil 4.6'da kararlı döküm koşullarında deney simülasyonu ve konsantrasyon zaman grafiği verilmektedir.

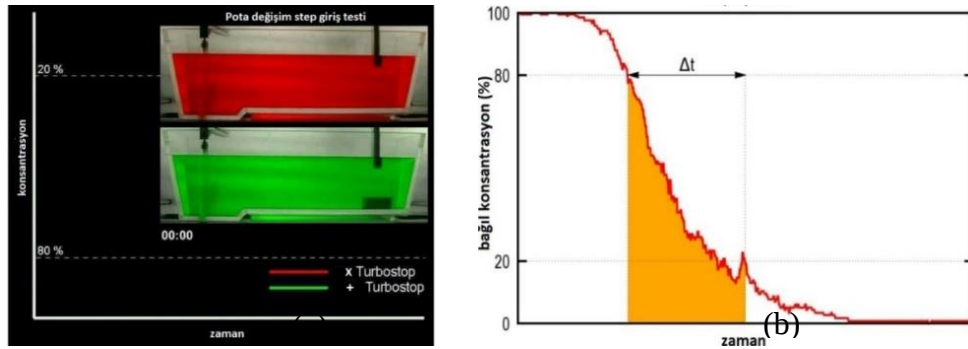


Şekil 4.6 : a) Kararlı döküm koşulları simülasyonu. b) Konsantrasyon-zaman grafiği.

4.2.1.5 Step giriş testi (pota değişim)

- RTD ölçümü için iz madde olarak boya kullanımı
- RTD eğrilerinin analizi pota değişimi tasvir eden kilit değeri sağlar.
- Tandiş akışının rolü: kısa geçiş zamanı

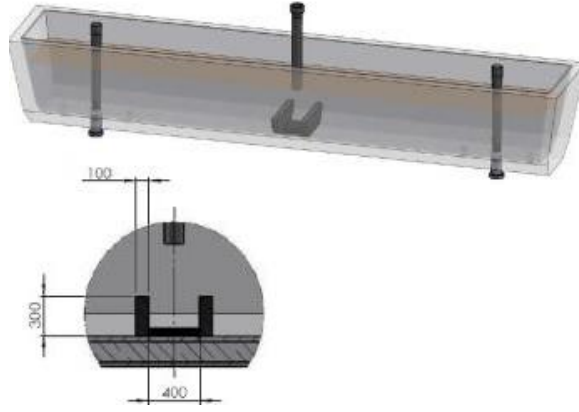
Şekil 4.7'da pota değişim deney simülasyonu ve konsantrasyon zaman grafiği verilmektedir.



Şekil 4.7 : a) Pota değişim simülasyonu. b) Konsantrasyon-zaman grafiği.

4.2.1.6 Yağ testi- pota değişim simülasyonu

- Tandişte renklendirilmiş yağ suyun üzerini kaplar.
- Yüksek yüzey akış hızlarından dolayı etkilen yüzey alanların boyutu açığa çıkar.
- Pota döküme başlamadan cüruf emülsiyon boyutu açığa çıkar.



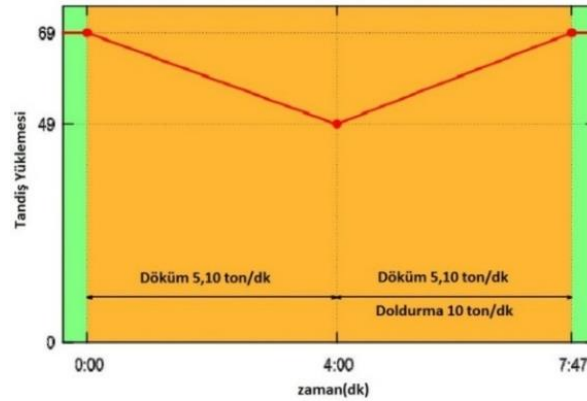
Şekil 4.8 : Halen kullanılan tandiş çarpma havuzu.

Şekil 4.8’de fiilen kullanılan tandiş çarpma havuzu ve Çizelge 4.1’de çalışma parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Tandiş çalışma parametreleri

Parametre	Ayar
Döküm Hızı	5,10 ton/dk
Banyo Seviyesi	1000 mm 69 ton
Pota Nozul Batma	300mm
Pota Kapı Türü	Kayan Kapı
Pota Kapı Genişliği	75 mm

Şekil 4.9’ da gösterildiği üzere döküm, 69 tondan 49 tona 5,10 ton/dk döküm hızıyla 4 dk ve 49 tondan 69 tına 10 ton/dk döküm hızıyla 3,47 dk sürmektedir.



Şekil 4.9 : Tandiş döküm grafiği.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, tandiş çarpma havuzu malzemesinin servis süresince tandiştirteki ergimiş çelik akışını düzenleyerek azot kapma miktarının azaltılması ve bobindeki inklüzyon sayısının azalması araştırılmıştır. Öncelikle İsdemir tarafından halen kullanılmakta olan çarpma havuzu ile üretilmiş bobindeki inklüzyon sayısı araştırılmıştır. Vesuvius firmasından temin edilen tandiş çarpma havuzu (turbostop) kullanılarak üretilmiş olan bobindeki inklüzyon sayısı da incelenerek tandiştirte çarpma havuzu kullanımının etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

5.1 Tandiş Çarpma Havuzu Malzemesi

Vesuvius firmasından temin edilen tandiş çarpma havuzunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 : Tandiş çarpma havuzu kimyasal kompozisyon.

Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Alkali (%)	Tane Boyutu(μm)	Yoğunluk(g/cm ³)
81	13,50	2	1,2	1	0,2	6	2,93

5.2 Tandişin Döküme Hazırlanması

Emniyet astarı dökülmüş tandişin merkezinde bulunan MgO oranı yüksek çarpma plakası üzerine çarpma havuzu yerleştirilip MgO oranı yüksek refrakter püskürtme malzemesi ile püskürtmesi yapıldıktan sonra havada kurutulup döküm öncesi ısıtmaya alınır. Tandişin döküme hazırlanması ait fotoğraflar Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1 : Tandişin döküme hazırlanması.

5.3 Slab Döküm Makinesi

İsdemir’ de 2 adet 200 tonluk çelik pota kapasitesi ve 69 tonluk tandiştir kapasitesi bulunan dikey eğimli, 900 mm kalıp genişliğine sahip 2 yolluklu bakır plakalı su soğutmalı slab döküm makinesi bulunmaktadır.

5.4 Tandişten Numune Alınması

Şekil 5.2’de gösterildiği üzere deney boyunca dökümlerde numune alınıp analize gönderilmiştir. Ayrıca konverterden başlayarak slab döküme kadar alınan numunelerin analizleri alınmıştır. Bununla beraber üretimi yapılan farklı çelik kalitelerinde tandiştir çarpma havuzlu ve tandiştir çarpma havuzsuz üretimde farklı kompozisyonlar incelenmiştir.



Şekil 5.2 : Numune örneği.

Alınan numunelerin Şekil 5.3’de gösterilen OES 4460 optik emisyon spektrometre cihazında analizleri yapılmaktadır. Analiz sonucuna göre proses devam etmektedir. Bu çalışmada pota metalurji ve kalıptaki sıvı çeliğin kimyasal kompozisyonları incelenmiştir.



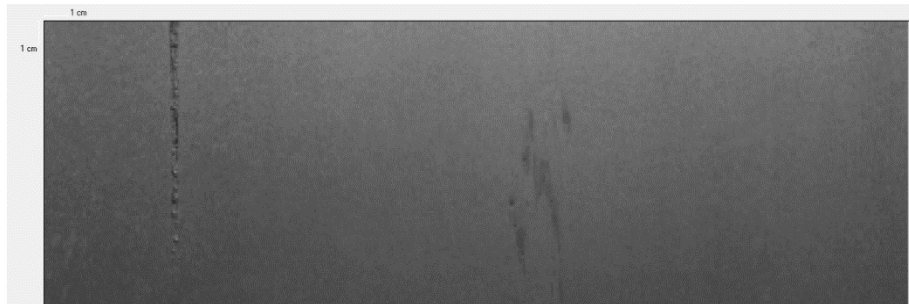
Şekil 5.3 : OES 4460 optik emisyon cihazı [37].

5.5 Bobin Makro İnküzyon İncelemesi

Üretilen slablar, üretim planına göre sıcak haddehanede tavlansak bobin haline getirilmektedir. Haddeleme esnasında Şekil 5.4’ de gösterilen Parystec cihazı ile makro inküzyon tespiti yapılmaktadır. Makro inküzyon tespit edilen bobinleri işaretlenerek ayrıntılı analiz yapılmak üzere numune alınarak analize gönderilmektedir. (Şekil 5.5)



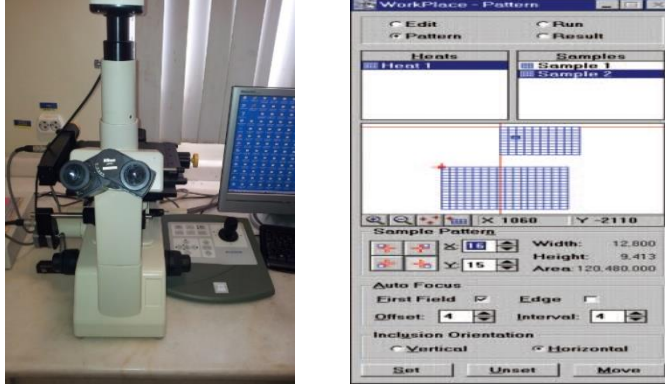
Şekil 5.4 : Parystec makro inküzyon cihazı [38].



Şekil 5.5 : Bobinlerdeki makro inküzyon görüntüleri.

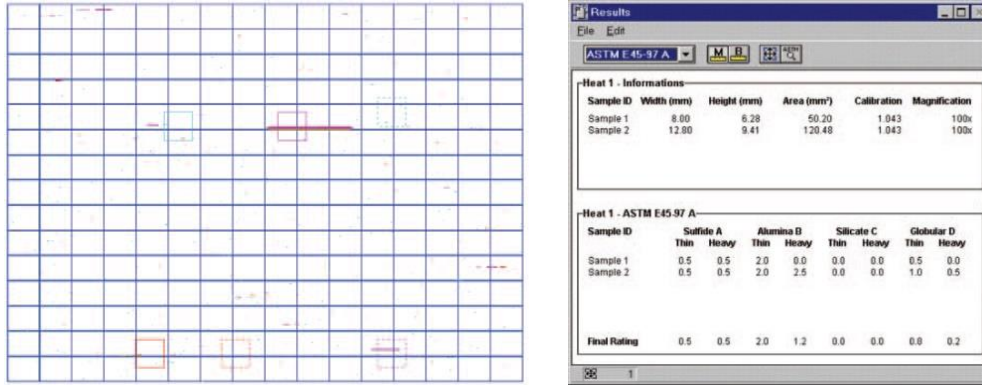
5.6 Makro İnküzyon Numunelerinin İncelemesi

İnküzyon tespit edilmiş bobinlerden numuneler metalografik olarak hazırlanıp optik mikroskopta Clemex CIR JS-2000 inküzyon analiz programı ile ASTM E45 standardına göre analizi yapılmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : a) Clemex CIR cihazı b) Clemex CIR analiz ekranı [39].

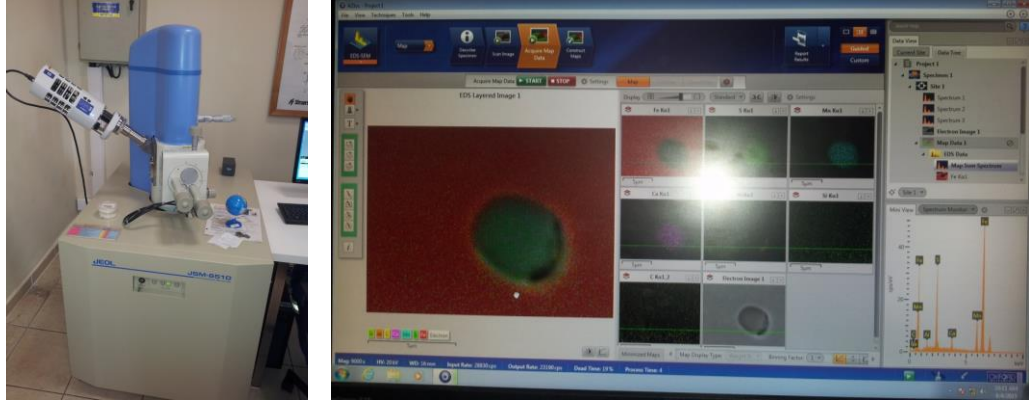
Clemex CIR JS-2000 inküzyon analiz programının çalışma prensibi ise Şekil 5.7' de gösterilen belirlenmiş alan parçalara bölünerek optik olarak tarama yapılmaktadır.



Şekil 5.7 : a) Clemex CIR makro inküzyon alan taraması b) Clemex CIR sonuç ekranı.

5.7 Numunelerin SEM İncelemesi

Seçilen numunelerden 4 adetindeki inküzyonların kimyasal kompozisyonlarının incelenmesi Şekil 5.8'de gösterilen JEOL JSM-6510 model taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır.



Şekil 5.8 : a) JEOL JSM-6510 SEM cihazı b) JEOL JSM-6510 SEM analiz ekranı.

5.8 Tandış Azot Kapma Analizi

Tandışteki azot kapmalarının analizi kızıl ötesi ışık kullanarak termal iletlenliği ölçen azot ve oksijen ölçümü için kullanılan Şekil 5.9’ da gösterilen LECO TC500 analiz cihazı ile yapılmıştır.

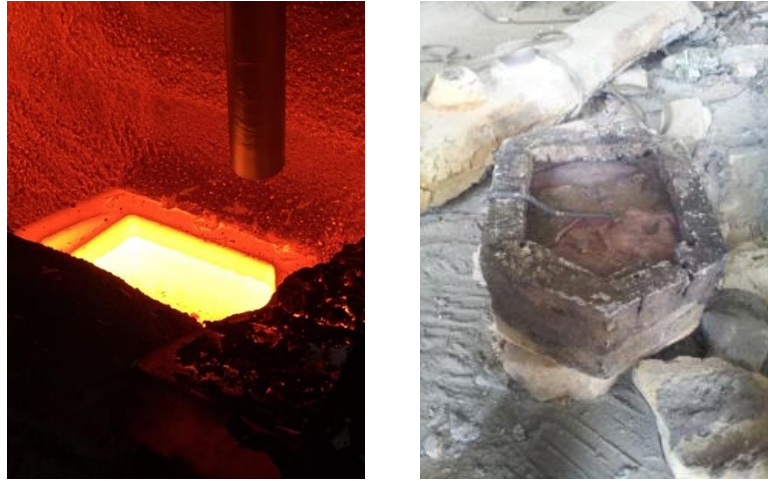


Şekil 5.9 : a) LECO TC500 analiz cihazı b) LECO TC500 analiz ekranı [40].

6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

6.1 Tandiş Çarpma Havuz Aşınmaları

İsdemir’de yüksek ara vermeksizin ard arda döküm sayılarında İsdemir tarafından oluşturulan havuz dağılmakta tandiş çarpma havuzundan kopan tuğla parçaları sıvı çelik yüzeyine çıkmaktaydı. Bu nedenle planlanan döküm sayısından önce döküm kesmeler yaşanmaktaydı. Slab tandişlerde 12 adet denemesi yapılan tandiş çarpma havuzlarının yüksek ara vermeksizin ard arda döküm yerinde kaldığı ve şeklini koruduğu gözlenmiştir. Geleneksel yöntemle yapılan tandiş çarpma havuzunda tuğla ile yapılmakta bu nedenle düzensiz aşınmalar ve kopmalar meydana gelmektedir. Bazı durumlarda ise sıvı çelik üzerinde tandiş çarpma havuzundan kopan bir tuğlanın yüzmesi nedeniyle planlanan döküm sayısından önce dökümün durdurulması gerekiyordu. Şekil 6.1’de tandiş çarpma havuzunun döküm sırasındaki ve sonrasındaki fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6.1 : a) Döküm sırasında tandiş çarpma havuzu b) Döküm sonrası tandiş çarpma havuzu.

Çizelge 6.1 : Tandiş çarpma havuzu aşınmaları.

Malzeme No	Döküm Sayısı	Orijinal Kalınlık (mm)	Taban Kalınlığı (mm)	Yan Duvar Kalınlığı (mm)	Taban Aşınma Hızı (mm/döküm sayısı)	Açıklamalar
1	14	80	70	75	0,71	
2	25	80	25	30	2,20	
3	26	80	50	65	1,15	
4	8	80	77	78	0,38	
5	33	80	20	55	1,82	
6	17	80	70	75	0,59	
7	20	80	70	75	0,50	
8	16	80	70	77	0,63	
9	35	80	0	0	2,29	Ca katkılı çelik kalitesi kullanılması nedeniyle çok hızlı aşınmıştır.
10	35	80	30	48	1,43	
11	1	80	80	80	0,00	İşletme şartları nedeniyle 1 dökümde ayrılmıştır.
12	22	80	35	50	2,05	

Çizelge 6.1’ de verilen tandiştirme havuzundaki aşınma değerlerinde 9 nolu tandiştirme havuzunda Ca katkılı çelik kalitesi kullanılması nedeniyle aşınma hızı 2,29 ile en yüksek değere ulaşmış olup tandiştirme havuzu şeklini koruyamamıştır. 11 nolu tandiştirme havuzunda sahip tandiştirme ise işletme şartları nedeniyle denemesi yapılamamıştır. Taban aşınma hızları döküm sayısına bağlı değişken olmakla beraber fiilen kullanılan tandiştirme havuzuna göre şeklini koruması nedeniyle 35 ara vermeksizin ard arda döküm sayısında şeklini korumuştur.

6.2 Tandiştirme Kalıba Azot Kapma İncelemesi

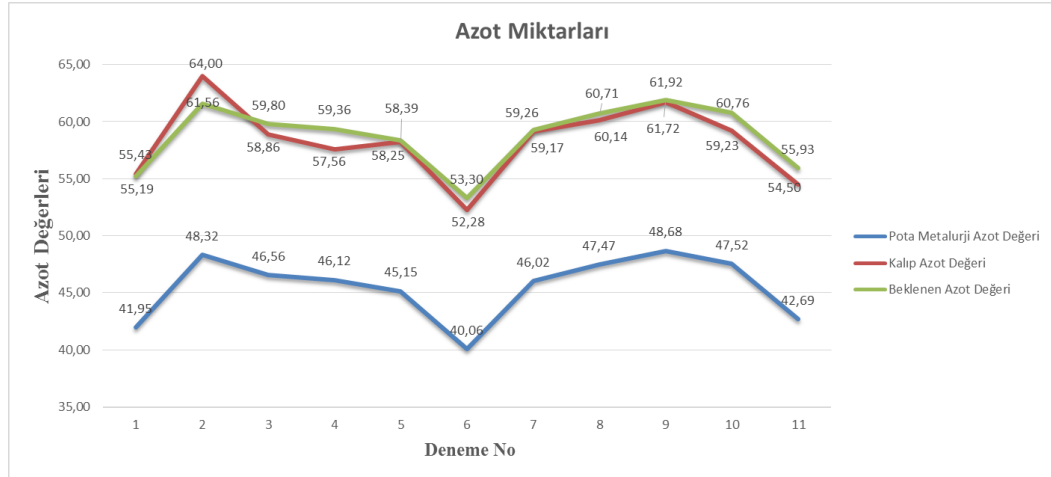
İsdemir’ de slab tandiştirme daldırılan nozul etrafındaki türbülans nedeniyle havadan azot kapması olmaktadır. Denemesi yapılan tandiştirme havuzlarında daldırma nozulu etrafında türbülans oluşumunun azaltılması hedeflenmekteydi.

11 adet deneme tandiştirme havuzu dökümde pota metalurji azot değerleri ile kalıptaki azot değerleri Leco marka azot ölçüm cihazı ile ölçülmüş olup Çizelge 6.2’ de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Pota metalurji ve kalıpta ölçülen azot değerleri.

Deneme No	Pota Metalurji Azot Değeri	Kalıp Azot Değeri	Beklenen Azot Değeri
1	41,95	55,43	55,19
2	48,32	64,00	61,56
3	46,56	58,86	59,80
4	46,12	57,56	59,36
5	45,15	58,25	58,39
6	40,06	52,28	53,30
7	46,02	59,17	59,26
8	47,47	60,14	60,71
9	48,68	61,72	61,92
10	47,52	59,23	60,76
11	42,69	54,50	55,93

İsdemir’ de pota metalurji istasyon sonrasında kalıpta beklenen azot miktarı ortalama 13,24 ppm’dir. Buna göre tandiş çarpma havuzuyla yapılan denemelerde İsdemir’de belenen azot miktarlarının benzer olduğu görülmektedir. Bu nedenle tandiş çarpma havuzu kullanımı ile azot kapma miktarının azaldığına ait sonuca ulaşılmamıştır. Şekil 6.2’ de kullanılan tandişlerdeki azot miktarları gösterilmektedir. Mavi çizgi LF istasyonu çıkışı, kırmızı çizgi kalıp içerisinden alınan numunenin ölçüm değeri ve yeşil çizgi de İsdemir ortalama azot kapma miktarını göstermektedir.



Şekil 6.2 : Kullanılan tandişlerdeki azot miktarları.

6.3 Bobinden Makro İnküzyon İncelemesi

Çizelge 6.3’ de deneme tandiş çarpma havuzunda döküm alınıp sıcak haddeleme yapılan 15 adet bobinden 4 farklı çelik kalitesi Parystec cihazı ile makro inklüzyon görüntüleri alınmış olup labaratuvarında ASTM E45 standartına göre Clemex Cir32 cihazı ile makro inklüzyon taraması yapılmıştır. Kıyaslama amacıyla 4 adet deneme

tandış çarpma havuzu kullanılmayan dökümler de alınıp incelemeleri yapılmıştır. Bu inceleme ile tandış çarpma havuzu kullanımının sıcak haddelenmiş ürünlerdeki makro inklüzyon sayısını etkisinin tespiti amaçlanmıştır.

Çizelge 6.3 : Denemesi yapılan çelik kalitelerinin inklüzyon çeşitleri ve miktarları.

	Deneme No	Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D		Çelik Kalitesi
		Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	
Tandış Çarpma Havuzu Kullanılmış	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	2	2,00	0,50	0,25	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	EN 10025-2 S355J2
	3	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	DIN1614-1 St22
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	10	2,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	EN 10025-2 S355J2
	11	1,75	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	ASTM A283-03 Grade C
Tandış Çarpma Havuzu Kullanılmamış	12	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	13	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	14	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	ASTM A53-10 Grade A
	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	ASTM A53-10 Grade A

Çizelge 6.3' de 4 farklı çelik kaliteleri incelenmiş olup ASTM A53-10 Grade A kalite çeliği teneke yapımında kullanıldığı için mekanik özelliklerden ziyade dış görünüş önem arz etmektedir. Asit ve galvanizleme prosesleri sonrasında makro inklüzyonlar görünür hale geldiği için ürün kalitesi düşürmekte ve bazı durumlarda da hurdaya ayrılması sebebiyle bu çeliğin incelemesi yapılmıştır. Bu nedenle 4 adet tandış çarpma havuzu kullanılmamış ve 7 adet tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi karşılaştırılmıştır. Sülfür A ve Küresel D inklüzyon çeşitleri incelemesinde fark gözlenmemiştir. ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi dışında incelenen 3 çeşit çelik kalitesinde ise inklüzyon miktarlarını görülmesi amacıyla birer döküm deneme yapılmıştır.

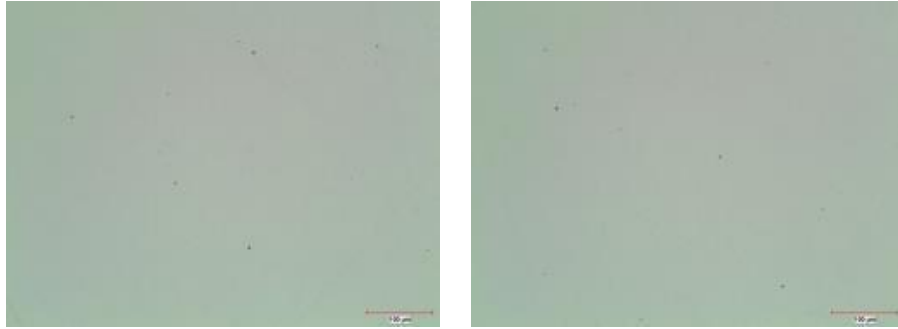
6.3.1 Tandış çarpma havuzu Kullanılmış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi makro inklüzyon sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge 6.4' de verilmektedir.

Çizelge 6.4 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.044	0.316	0.013	0.0047	0.0778	0.0046	0.0016	0.0116
Kalıp	0.054	0.307	0.021	0.0035	0.0516	0.0061	0.0023	0.0111
	0.051	0.312	0.020	0.0028	0.0528	0.0059	0.0015	0.0114

Şekil 6.3’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inklüzyon taramaları 100x büyütmeli optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge 6.5’ de ölçüm parametreleri ve inklüzyon türü verilmektedir. Buna göre inklüzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde olup değeri 0,50’ dir.



Şekil 6.3 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.

Çizelge 6.5 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
8,65		2,00		17,27		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

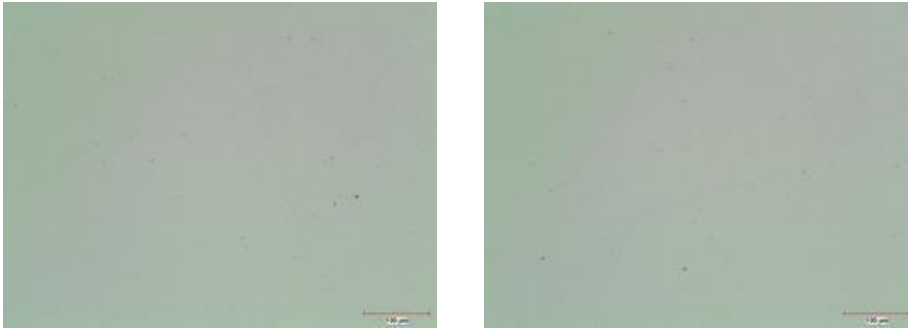
6.3.2 Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi makro inklüzyon sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge 6.6 de verilmektedir.

Çizelge 6.6 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.046	0.316	0.030	0.0034	0.0546	0.0041	0.0008	0.0140
Kalıp	0.054	0.321	0.038	0.0030	0.0533	0.0053	0.0000	0.0145
	0.052	0.318	0.038	0.0022	0.0531	0.0056	0.0001	0.0140

Şekil 6.4’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inklüzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge 6.7’ de ölçüm parametreleri ve inklüzyon türü verilmektedir. Buna göre inklüzyon ASTM E45 standardına göre Sülfür A türünde hafif kategorisinde değeri 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde olup değeri 0,50’ dir.



Şekil 6.4 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.

Çizelge 6.7 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.

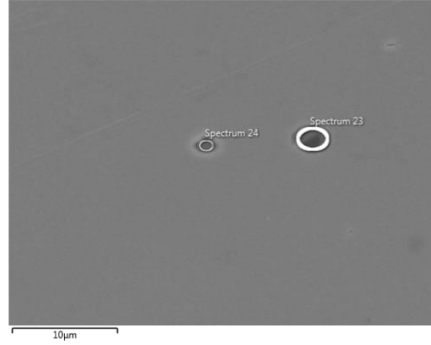
Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
9,32		2,00		18,59		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

6.4 SEM Analizi ile Mikro İnküzyon Dağılımı

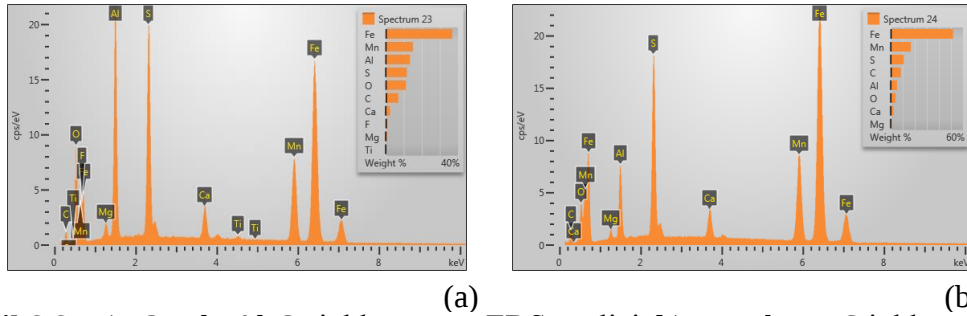
İncelemeler sonucunda makro inklüzyon tespit edilen rastgele seçilen 3 adet deneme tandış çarpma havuzu kullanılan tandışten döküm alan bobin ile 1 adet de deneme tandış çarpma havuzu kullanılmayan tandışten döküm alınan bobinin inklüzyonları JEOL JSM-6510 marka SEM mikroskobunda incelenmiş ve EDS cihazı ile analizleri yapılmıştır.

6.4.1 Tandiş çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi SEM analizi

Şekil 6.5’ de tandiş çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelikte taramalı elektron mikroskopi analizinde 23 ve 24 nolu inklüzyonlar gösterilmektedir.

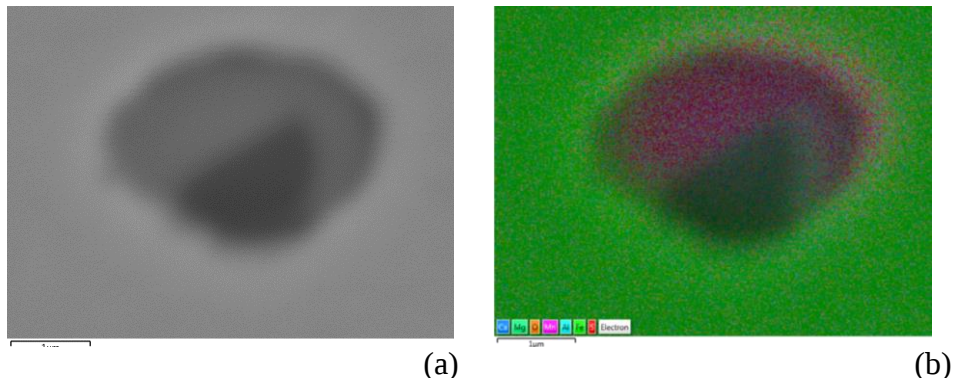


Şekil 6.5 : 10µm büyüklüğündeki 23 ve 24 nolu inklüzyonların SEM görüntüsü.



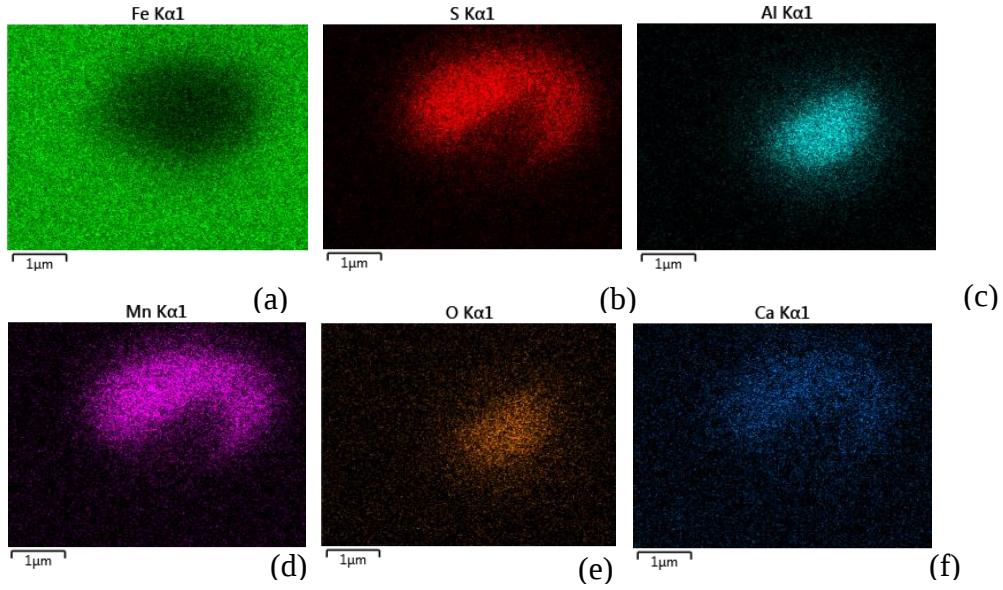
Şekil 6.6 : a) 23 nolu Al_2O_3 inklüzyonun EDS analizi. b) 24 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.

23 nolu inklüzyonun EDS cihazında incelemesinde Al_2O_3 ve 24 nolu inklüzyonun ise MnS olduğu Şekil 6.6’da gösterilmektedir.



Şekil 6.7 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil 6.7’ de görülen inklüzyonda tabanda MnS, üzerinde Al_2O_3 bulunmaktadır.

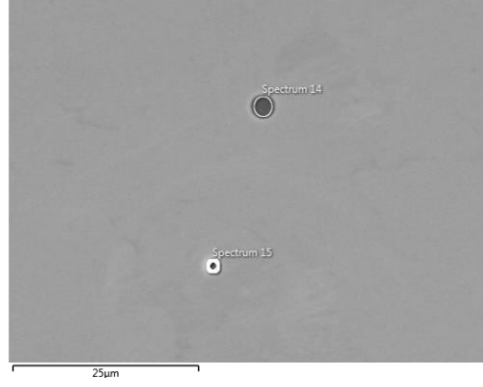


Şekil 6.8 : a) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

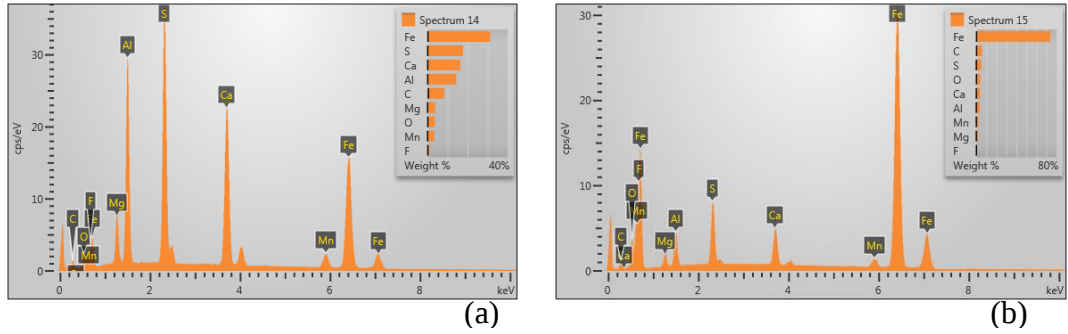
Şekil 6.8’ de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir. Katılaşma sırasında alümina, sülfürün çökmesi için düşük enerjili alanlar oluşturur. Sert oksitler sülfür tarafından sarıldığında oksitlerin yorulma dayanımları artar. Toplam inklüzyonların termal genleşme katsayısı, arayüzey gerilimini azaltmak için sınırlanabilir değere ulaşılmış olur.

6.4.2 Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 grade A çelik kalitesi SEM analizi

Şekil 6.9’ de tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 Grade A çelikte taramalı elektron mikroskobu analizinde 14 ve 15 nolu inklüzyonlar gösterilmektedir.

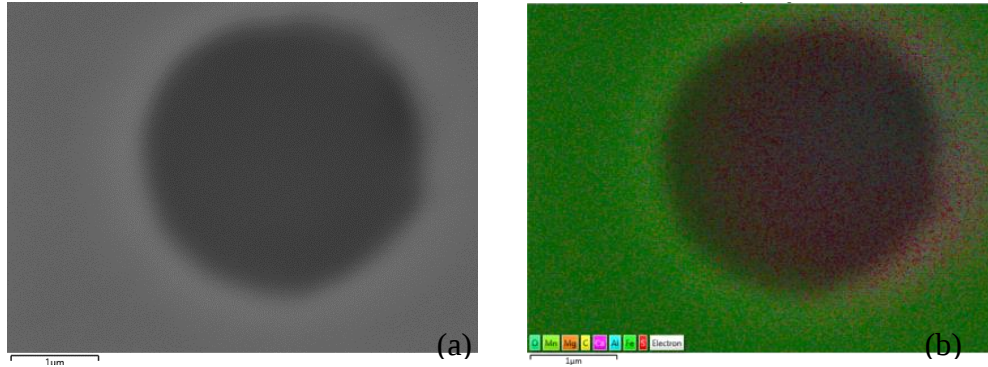


Şekil 6.9 : 10µm büyüklüğündeki 14 ve 15 nolu inklüzyonların SEM görüntüsü .



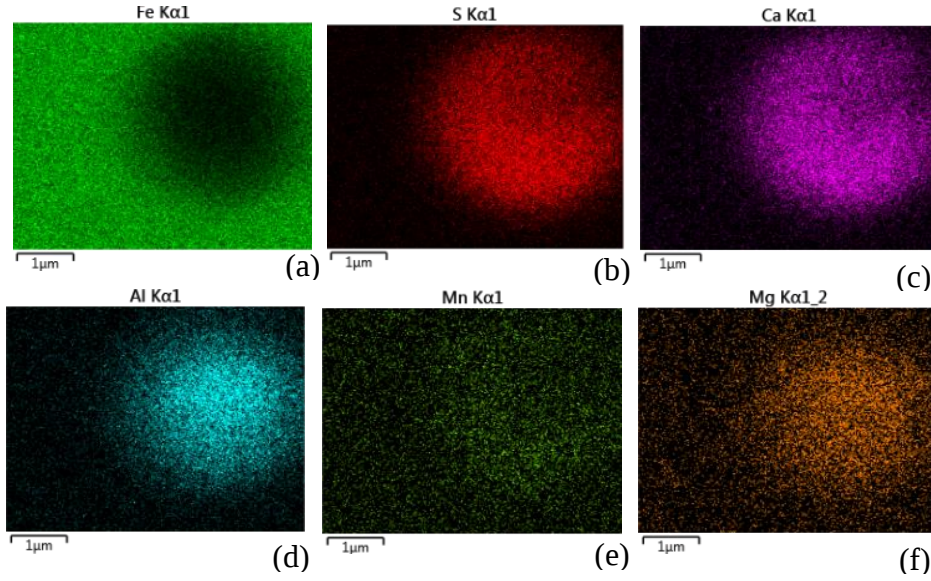
Şekil 6.10 : a) 14 nolu CaS inklüzyonunun EDS analizi. b) 15 nolu CaS inklüzyonunun EDS analizi.

14 ve 15 nolu inklüzyonların EDS cihazında analizinde CaS olduğu Şekil 6.10’ da gösterilmektedir.



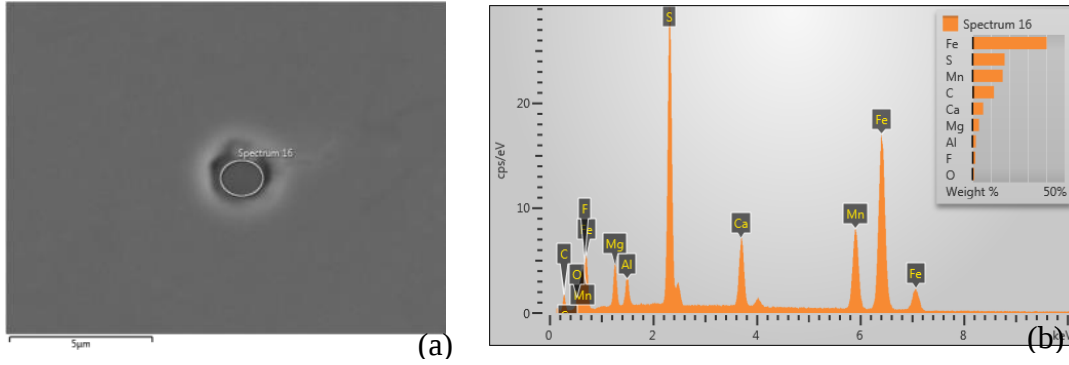
Şekil 6.11 : a) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 1µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil 6.11’ de görülen inklüzyonda CaS bulunmaktadır ve Şekil 6.12’ de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.

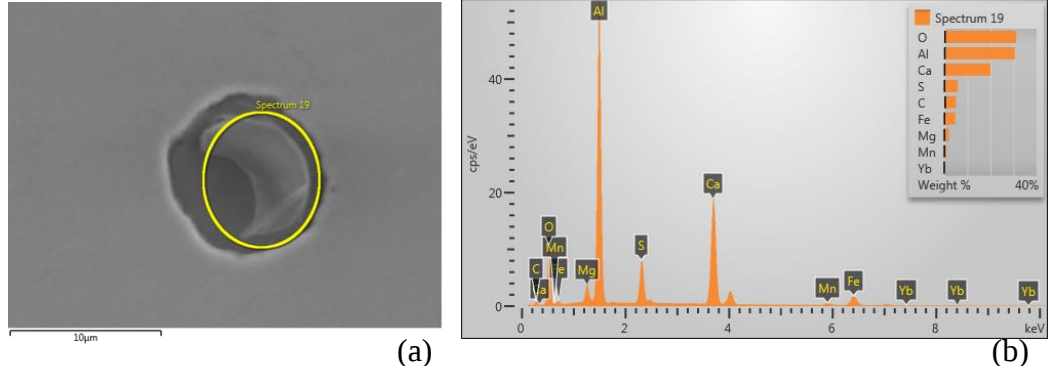


Şekil 6.12 : **a)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **d)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **e)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **f)** 1 µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil 6.13’ de tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 Grade A çelikte taramalı elektron mikroskobu analizinde 16 nolu inklüzyonun EDS cihazında analizinde MnS olduğu gösterilmektedir.

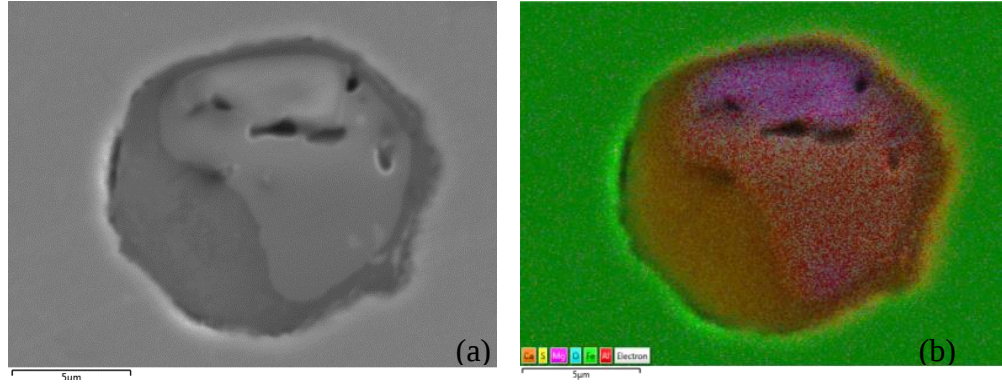


Şekil 6.13 : **a)** 5 µm büyüklüğündeki 16 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. **b)** 16 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.



Şekil 6.14 : a) 10µm büyüklüğündeki 19 nolu Al_2O_3 inklüzyonun SEM görüntüsü. b) 19 nolu Al_2O_3 inklüzyonun EDS analizi.

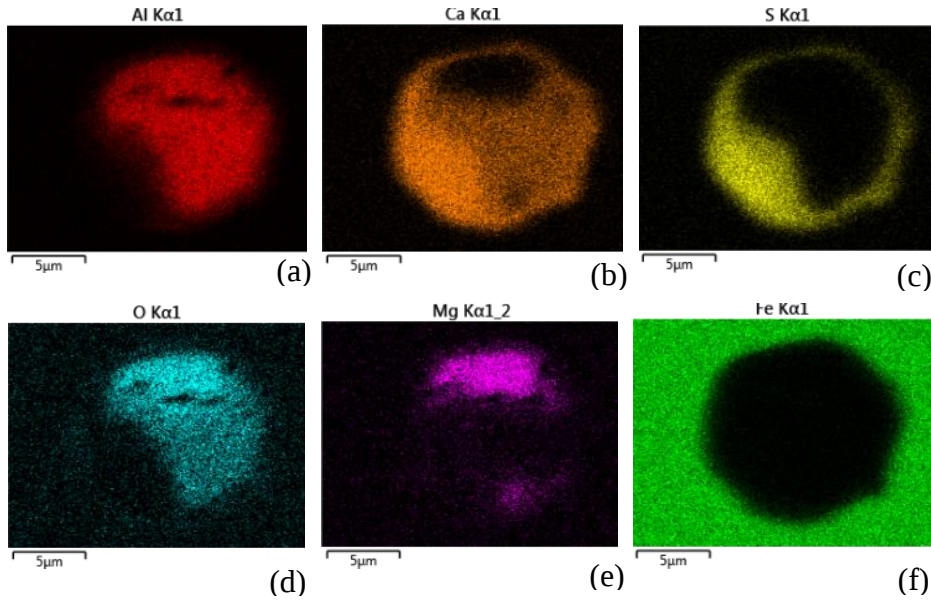
Şekil 6.14’ de tandış çarpma havuzu kullanılmış ASTM A53-10 Grade A çelikte taramalı elektron mikroskobu analizinde 16 nolu inklüzyonun EDS cihazında analizinde Al_2O_3 olduğu gösterilmektedir.



Şekil 6.15 : a) 5µm büyüklüğündeki CaS , Al_2O_3 inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5µm büyüklüğündeki CaS , Al_2O_3 inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil 6.15’ de görülen inklüzyonda tabanda CaS , üzerinde Al_2O_3 bulunmaktadır.

Şekil 6.16’ da inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir. Katılaşma sırasında alümina, sülfürün çökmesi için düşük enerjili alanlar oluşturur. Sert oksitler sülfürler tarafından sarıldığında oksitlerin yorulma dayanımları artar. Toplam inklüzyonların termal genleşme katsayısı, arayüzey gerilimini azaltmak için sarılarak kıyaslanabilir değere ulaşılmış olur.



Şekil 6.16 : **a)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **d)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **e)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **f)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İsdemir slab tandişlerde denemesi yapılmak üzere temin edilen 12 adet turbostop 2 adet tandişte kullanılmıştır. Tandişlerde çeşitli kalitelere üretilen slablarda havadan azot kapma, tandiş çarpma havuzu şekli ve makro inklüzyon incelemeleri yapılmıştır. İnceleme sonuçları aşağıda verilmektedir.

1. Sıvı çeliğin pota metalurji istasyonundan kalıba dökülme sürecinde alınan azot ölçümleri sonucunda tandiş çarpma havuzu kullanılan ve kullanılmayan tandişlerde kıyaslanabilir bir fark bulunmamıştır. Çarpma havuzu kullanımı ile tandiş içerisindeki oluşan türbülansın azaltılamadığı düşünülmektedir.
2. Tandiş çarpma havuzu 35 ara vermeksizin ard arda döküme kadar kullanıldığında taban ve yan duvar astarının döküm sayısına bağlı aşındığı fakat döküm sonu incelemelerde şeklini koruduğu gözlenmiştir.
3. Tandiş çarpma havuzu kullanılan ve kullanılmayan tandişlerden üretilen bobinlerdeki makro inklüzyon analizleri incelendiğinde sülfid ve alüminat inklüzyonlarının sayısında azalma gözlenmemiştir. Alümina inklüzyonlarının çoğunlukla D tipi inklüzyonlar olduğu görülmüştür. Inklüzyonlar ASTM E45 standardına göre hafif kategorisindedir.
4. İsdemir şartlarına uygun tasarlanan tandiş su modeli uygulamasının başarılı olması sonucunda, fiili ortamda yapılan denemelerde tandiş çarpma havuzu kullanılan ve kullanılmayan tandişlerde kıyaslanabilir bir fark gözlenmemiştir.
5. Ca katkılı çelik kalitelerinde aşınma hızı yüksek olması nedeniyle tandiş çarpma havuzlarında taban ve yan duvar astarı kalmamış olup şeklini kaybetmiştir. Bu nedenle Ca katkılı çelik kalitesinde tandiş çarpma havuzunun etkisi incelenememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kiessling, R.** (1983). Clean Steel a Debatable Concept *Second International Conference on Clean Steel* Balatonfured, Hungary.
- [2] **Bilgiç, M.** (2012). Temiz Çelik Üretiminde Bazik Refrakter Kullanımı. Alındığı tarih: 15.03.2015 Erişim adresi http://www.ecosid.com.tr/dosya/20120215_6299554705.pdf.
- [3] **Louhenkilpi, S. Laine, J. Raisanen, T. Hatönen, T.** (2004). 2. International Conference and Exhibition on New Devolepment in Metalurgical Process Technology Riva Del Garda Italy
- [4] **Url-1** <http://www.csc.com.tw/csc_e/pd/prs05.htm> Alındığı tarih: 01.07.2015
- [5] **Çelebi, İ.** (2014). Çelikhane Sürekli Döküm Makinası Kalıp Osilasyon Sisteminin Hidrolik Uygulaması 5. Ulusal Hidrolik-Pnömatik Kongresi S:129 İzmir Alındığı Tarih: 15.03.2015 http://www.mmo.org.tr/resimler/dosyaekler/4c5d774be10fb8d_ek.pdf
- [6] **Brimacombe, J. Sorimachi, K.** (1984). Continuous Casting of Steel Volume: 2
- [7] **Url-2** <[http://www.agcarbon.com/tundish\(promkovsh\)_massa_eng.html](http://www.agcarbon.com/tundish(promkovsh)_massa_eng.html) > Alındığı tarih: 05.04.2015
- [8] **Sadual, M.R. Swain, S.K. Kumar, M.** (2011). Recent Trend on Tundish Design *National Conference on Processing and Characterization of Materials* Rourkela India
- [9] **Louhenkilpi, S. Laine, J. Raisanen, T. Hatonen, T.** (2004). 2nd International Conference and Exhibition on New Developments in Metallurgical Process Technology Rourkela India
- [10] **Okimori, M.** (1996). Nippon Steel Technical Report No:61 P:68. Alındığı tarih: 01.04.2015 Erişim adresi <http://www.nssmc.com/en/tech/report/nsc/no69.html>
- [11] **Okimoro, M.** (1994). Innovative Technologies in Continuous Casting Tundish P:22-28 *Nippon Steel Technical Report* Alındığı tarih: 01.04.2015 Erişim adresi <http://www.nssmc.com/en/tech/report/nsc/pdf/6104.pdf>
- [12] **Rastogi, R. Cramb, A. W.** (2001). 2001 Steelmaking Conference Proceedings P:789-829 Baltimore USA.
- [13] **Zhang, L. Thomas, B.** (2003) Inclusions in Continous Casting of Steel P:1-2 14. *National Steelmaking Symposium* Morella Mexico
- [14] **Holappa, L. Wijck. O.** (2014) Inclusion Engineering P:348 Treatise On Process Metallurgy Volume:3 Elsevier Ltd.
- [15] **Zhang, L.** (2003) ISSTech 2003 P:141-156, ISS Warrandale USA

- [16] **Majeovski, Z. (1970)** International Conference on Production and Application of Clean Steel. P:68-74 *Iron and Steel Institute* Balatonfüred Hungary
- [17] **Pickering, F.B. (1970)** International Conference on Production and Application of Clean Steel. P:75-91 *Iron and Steel Institute* Balatonfüred Hungary.
- [18] **Sumitomo, K. (1985)** Iron and Steel Engineer. P:54 *The Making Shaping and Treating of Steel 10th Edition* Pittsburg USA
- [19] **Zhang, L. Retow, B. Thomas, B.G. Ealon, K. (t.y)** Large Inclusion in Plain Carbon Steel Ingt Cast by Bottom Teamimg *ISIS International* Erişim adresi Alındığı tarih: 15.04.2015 Erişim adresi <http://ccc.illinois.edu>
- [20] **Thomas, B.G. Bai, H. (2001)** 78. Steelmaking Conference P: 815-912 Warrandale USA
- [21] **Sakao, H. (1988)** Steelmaking Data Sourcebook Garden and Breach Publ. Newyork USA Alındığı tarih: 18.04.2015 Erişim adresi <http://trove.nla.gov.au/work/12384131?q&versionId=14621699>
- [22] **Rastogi, R. Cramb, A.W. (2001)** 78. Steelmaking Conference P: 789-829 Warrandale USA
- [23] **Holappa, L. (2014)** Secondary Steelmaking P:106 Treatise On Process Metallurgy Volume:2 Elsevier Ltd.
- [24] **Dekkers, R. (2003).** Metall. Mater. Trans. 34B P: 161. Springer Ltd.
- [25] **Majewski, Z. (1970).** in International Conference on Production and Application of Clean Steels P:68-74 *Iron and Steel Institute* Balatonfüred Hungary.
- [26] **Dekkers, R. (2002)** Non Metallic Inclusions in Liquid Steel (Ph.D Thesis) Katholieke Universiet Lauren Belgium. Alındığı tarih: 25.04.2015 Erişim adresi http://steelcast.ru/d/80122/d/ni_enal.pdf
- [27] **Fuchs, E. Jonsson, P. (2000).** Inclusion Characateristics in Bearing Steel and Ingot Casting P:333 *High Temperature Materials and Processes*
- [28] **Kiessling, R. Lange, N. (1978).** Non-Metallic Inclusions in Steel *The Institute of Material*
- [29] **ASTM E45, (2005).** Standart Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel
- [30] **Schade, J. (1993)** The Measurement of Steel Cleanliness P:149 *Steel Technology International*
- [31] **Melville, S. D. Brinkmeyer, L. (1995).** 78. Steelmaking Conference P: 563-569 *ISS International* Warrandale USA.
- [32] **Tozawa, H. Kato, Y. Sorimachi, K. Nakanishi, T. (1999).** Agglomeration and flotation of Alumina Clusters in Molten Steel P:426-434 *ISS International* Warrandale USA.
- [33] **Miki, Y. Thomas, B. G. (1999).** Metall. Mater. Trans.B, Volume 30 P:639-654.
- [34] **Patankar, S.V. (1980)** Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, P: 36 *Hemisphere Publ.*

- [35] **Sahai, Y. Emi, T.** (2008) Tundish Technology For Clean Steel Production
World Scientific
- [36] **Damle, C. Sahai, Y.**(1995) ISIJ International Volume 35 P:163-169. Alındığı
tarih:15.05.2015 Erişim adresi
<http://steelscienceportal.jp/journals/isijinternational/35>
- [37] **Url-3** <<http://www.thermoscientific.com/en/product/arl-4460-optical-emission-spectrometer.html> > Alındığı tarih: 15.06.2015
- [38] **Url-4** <<http://www.samuelsteelpickling.com/new%20sspc%20parsytec.htm> >
Alındığı tarih: 20.06.2015
- [39] **Url-5** <<http://www.clemex.com/en/Products/Specific-Image-Analysis/Clemex-CIR/Product-PDF> >Alındığı tarih: 24.06.2015
- [40] **Url-6** <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3805> > Alındığı tarih:
24.06.2015

EKLER

EK A: EN 10025-2 S355J2 Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmış EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge A.1’ de verilmektedir.

Çizelge A.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.140	1200	0.150	0.0000	0.0200	0.0000	0.0020	0.0000
Max	0.170	1450	0.250	0.0150	0.0350	0.0090	0.0060	0.0180
Pota Metalurji	0.130	1348	0.192	0.0057	0.0435	0.0045	0.0041	0.0149
Kalıp	0.125	1356	0.196	0.0049	0.0360	0.0050	0.0020	0.0151
	0.126	1344	0.193	0.0058	0.0355	0.0057	0.0021	0.0150

Şekil A.1’ de EN 10025-2 S355J2 çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge A.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Sülfid A türünde hafif kategorisinde değeri 2,00, ağır kategorisinde 0,50 Alümina B türünde hafif kategorisinde değeri 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 1,00’ dır.



Şekil A.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge A.2 : EN 10025-2 S355J2 ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
7,32		10,98		80,36		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
2,00	0,50	0,25	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00

EK B: EN 10025-2 S355J2 Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge B.1’ de verilmektedir.

Çizelge B.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.170	1350	0.000	0.0000	0.0200	0.0000	0.0030	0.0000
Max	0.190	1450	0.030	0.0080	0.0600	0.0090	0.0060	0.0150
Pota Metalurji	0.179	1557	0.011	0.0073	0.0489	0.0053	0.0028	0.0154
Kalıp	0.191	1591	0.014	0.0073	0.0462	0.0076	0.0025	0.0161
	0.190	1585	0.014	0.0075	0.0445	0.0076	0.0023	0.0158

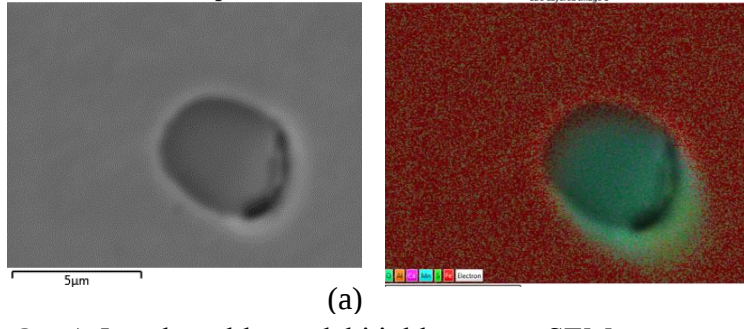
Şekil B.1’ de EN 10025-2 S355J2 çeliğinin yüzeyindeki makro inklüzyon taramaları 100x büyütmeli optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge B.2’ de ölçüm parametreleri ve inklüzyon türü verilmektedir. Buna göre inklüzyon ASTM E45 standardına göre Sülfid A türünde hafif kategorisinde değeri 2,00 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil B.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.

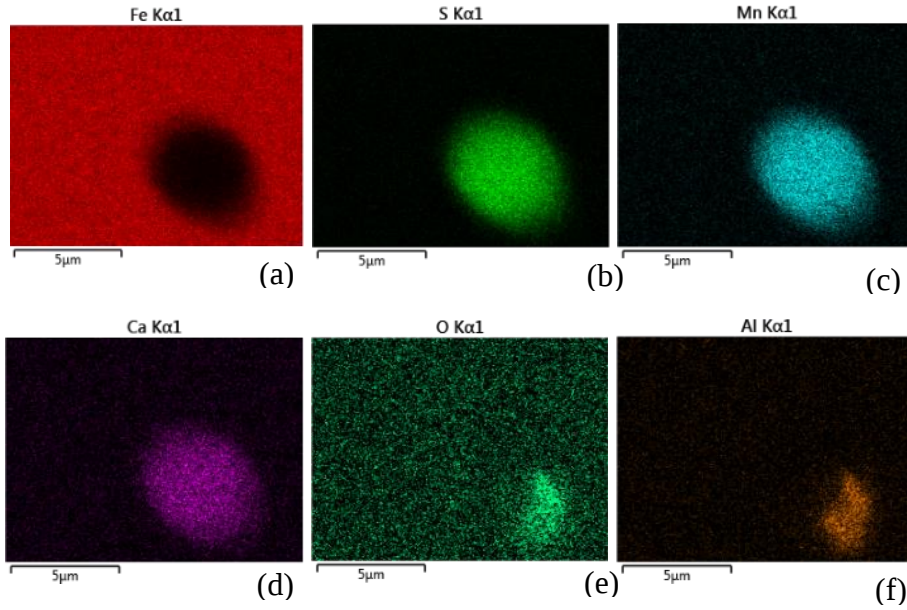
Çizelge B.2 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
7,99		7,98		63,76		0,325	
Sülfid A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00



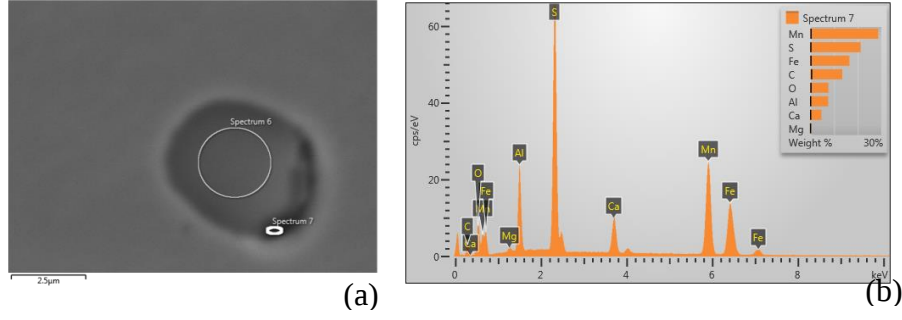
Şekil B.2 : a) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü **b)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü

Şekil B.2’ de görülen inklüzyonda tabanda MnS, CaS, üzerinde Al₂O₃ bulunmaktadır ve Şekil B.3’ de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.

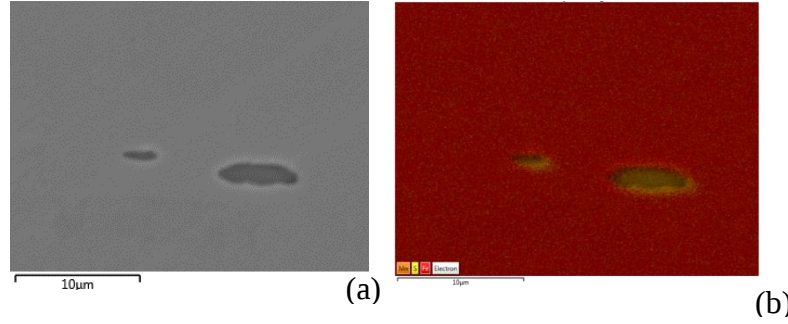


Şekil B.3 : a) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **d)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **e)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **f)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil B.4’ de tandış çarpma havuzu kullanılmamış EN 10025-2 S355J2 çelikte taramalı elektron mikroskopi analizinde 6 nolu inklüzyonun EDS cihazında incelemesinde MnS olduğu gösterilmektedir.

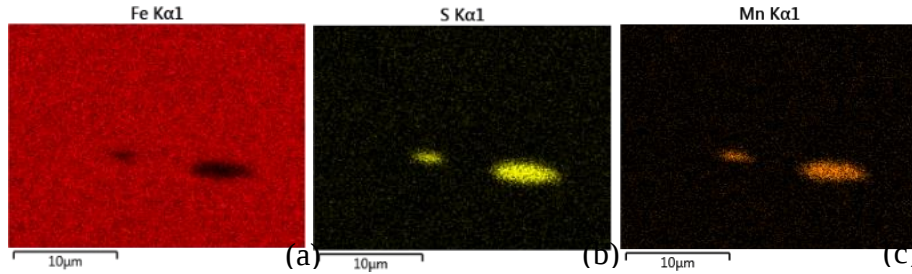


Şekil B.4 : a) 25µm büyüklüğündeki 6 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. **b)** 6 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.



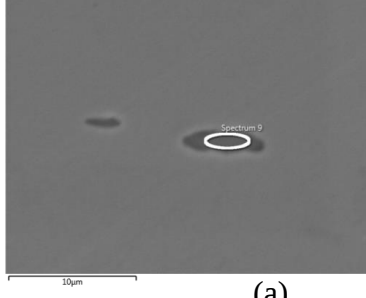
Şekil B.5 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü **b)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil B.5’ de görülen inklüzyonda MnS bulunmaktadır ve Şekil B.6’ da inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.

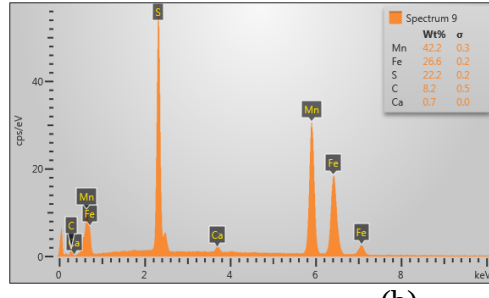


Şekil B.6 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil B.7’ de tandış çarpma havuzu kullanılmamış EN 10025-2 S355J2 çelikte taramalı elektron mikroskobu analizinde 9 nolu inklüzyonun EDS cihazında incelemesinde MnS olduğu gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil B.7 : a) 10µm büyüklüğündeki 9 nolu MnS inklüzyonunun SEM görüntüsü. b) 9 nolu MnS inklüzyonunun EDS analizi.

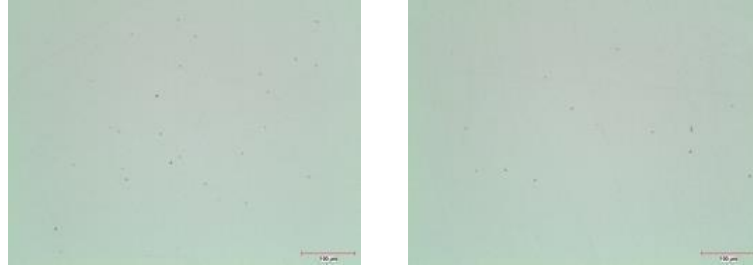
EK C: DIN1614-1 St22 Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış DIN1614-1 St22 çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge C.1’ de verilmektedir.

Çizelge C.1 : DIN1614-1 St22 çelik kalitesi kalite kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.020	0.150	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.054	0.250	0.030	0.0120	0.0450	0.0060	99.990	0.0150
Pota Metalurji	0.021	0.158	0.015	0.0154	0.0635	0.0035	0.0004	0.0095
Kalıp	0.030	0.201	0.017	0.0107	0.0437	0.0049	0.0015	0.0102
	0.029	0.200	0.018	0.0102	0.0439	0.0049	0.0037	0.0102

Şekil C.1’ de DIN1614-1 St22 çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge C.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil C.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge C.2 : DIN1614-1 St22 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
7,99		3,49		27,89		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

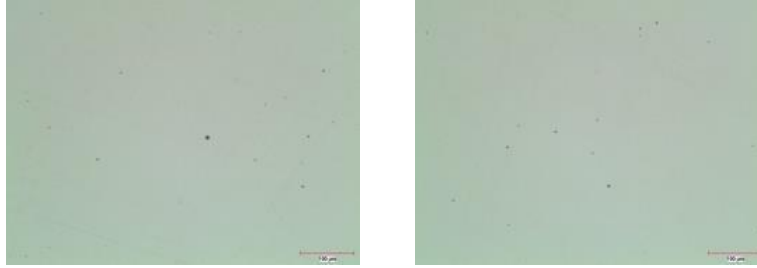
EK D: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge D.1’ de verilmektedir.

Çizelge D.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.046	0.291	0.019	0.0173	0.0538	0.0045	0.0016	0.0118
Kalıp	0.062	0.300	0.021	0.0184	0.0456	0.0057	0.0011	0.0127
	0.057	0.302	0.021	0.0185	0.0511	0.0055	0.0010	0.0125

Şekil D.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge D.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil D.1: 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge D.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
8,65		2,00		17,30		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

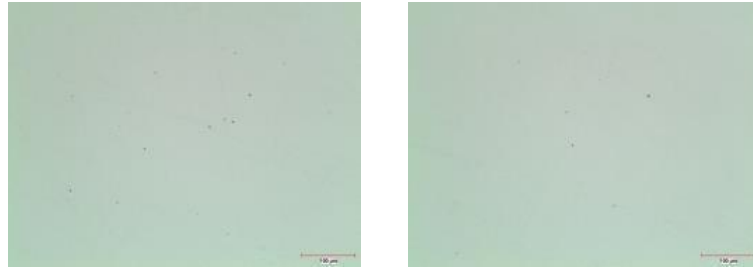
EK E: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge E.1’ de verilmektedir.

Çizelge E.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.033	0.326	0.019	0.0067	0.0517	0.0037	0.0176	0.0106
Kalıp	0.056	0.334	0.026	0.0042	0.0383	0.0052	0.0031	0.0116
	0.047	0.333	0.027	0.0042	0.0390	0.0055	0.0020	0.0114

Şekil E.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge E.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil E.1: 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge E.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
7,99		2,00		16,98		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

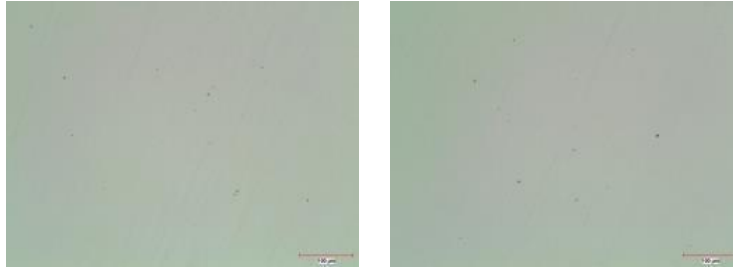
EK F: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge F.1’ de verilmektedir.

Çizelge F.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.041	0.330	0.009	0.0161	0.0719	0.0040	0.0001	0.0152
Kalıp	0.044	0.338	0.016	0.0074	0.0399	0.0052	0.0010	0.0152
	0.045	0.338	0.016	0.0074	0.0378	0.0055	0.0010	0.0158

Şekil F.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge F.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil F.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge F.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
8,65		2,99		25,86		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

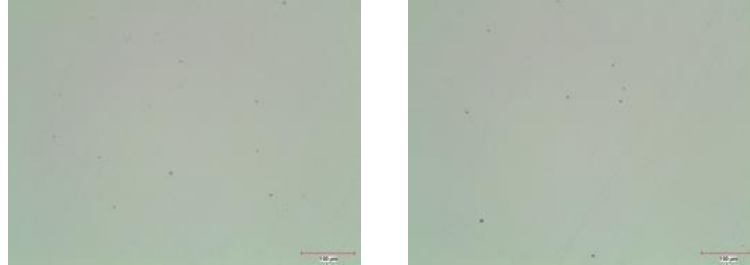
EK G: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge G.1’ de verilmektedir.

Çizelge G.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.042	0.309	0.022	0.0053	0.0764	0.0044	0.0005	0.0126
Kalıp	0.050	0.308	0.024	0.0040	0.0678	0.0047	0.0013	0.0124
	0.054	0.314	0.025	0.0039	0.0709	0.0052	0.0018	0.0131

Şekil G.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge G.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil G.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge G.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
8,65		1,50		12,98		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

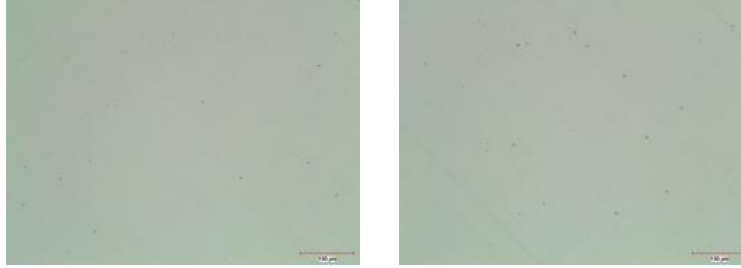
EK H: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge H.1’ de verilmektedir.

Çizelge H.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.046	0.293	0.020	0.0061	0.0643	0.0039	0.0002	0.0104
Kalıp	0.051	0.309	0.023	0.0064	0.0543	0.0054	0.0007	0.0122
	0.049	0.302	0.025	0.0054	0.0560	0.0050	0.0008	0.0112

Şekil H.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge H.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil H.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge H.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
8,65		2,99		25,86		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

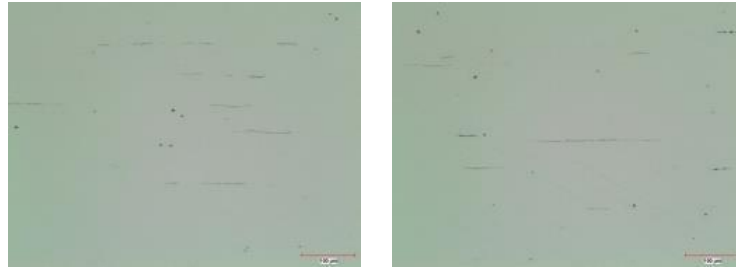
EK I: EN 10025-2 S355J2 Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge I.1’ de verilmektedir.

Çizelge I.1 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.170	1.350	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0020	0.0000
Max	0.190	1.500	0.030	0.0080	0.0450	0.0090	0.0045	0.0150
Pota Metalurji	0.175	1.459	0.020	0.0059	0.0563	0.0048	0.0035	0.0093
Kalıp	0.194	1.474	0.023	0.0066	0.0504	0.0057	0.0020	0.0105
	0.180	1.465	0.023	0.0063	0.0519	0.0063	0.0020	0.0099

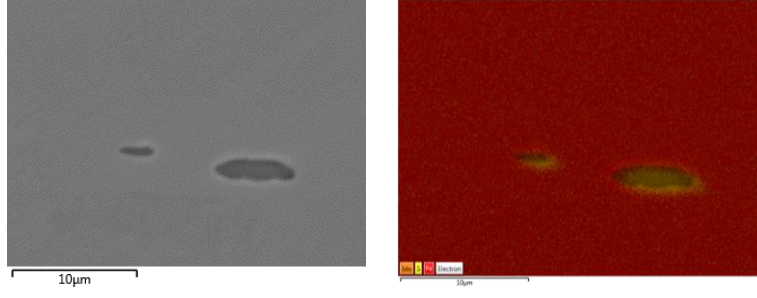
Şekil I.1’ de EN 10025-2 S355J2 çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge I.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Sülfid A türünde hafif kategorisinde değeri 2,25, ağır kategorisinde 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,75’ dir.



Şekil I.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

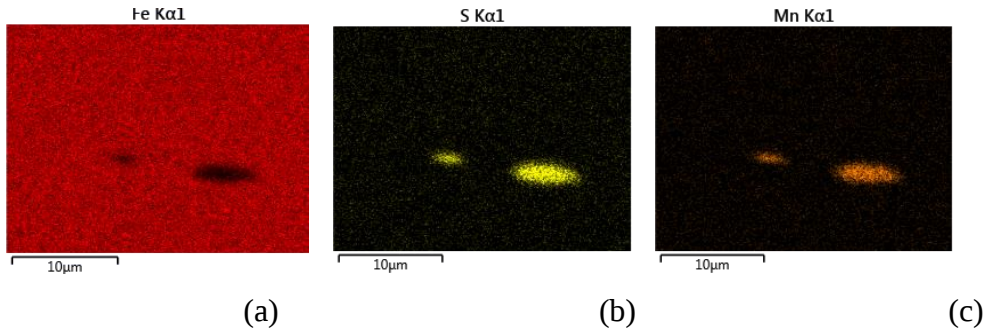
Çizelge I.2 : EN 10025-2 S355J2 çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
5,99		5,99		35,88		0,325	
Sülfid A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
2,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00



Şekil I.2 : a) 10μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü **b)** 10μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil I.2’ de görülen inklüzyonda MnS bulunmaktadır ve Şekil I.3’ de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.



Şekil I.3 : a) 10μm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 10μm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 10μm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü

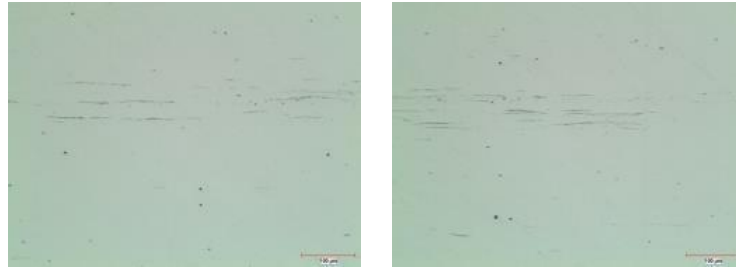
EK J: ASTM A283-03 Grade C Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge J.1’ de verilmektedir.

Çizelge J.1 : ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.070	0.650	0.150	0.0000	0.0200	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.110	0.750	0.250	0.0250	0.0500	0.0090	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.078	0.708	0.187	0.0238	0.0676	0.0048	0.0024	0.0095
Kalıp	0.094	0.713	0.199	0.0234	0.0608	0.0054	0.0019	0.0099
	0.100	0.713	0.199	0.0232	0.0604	0.0057	0.0018	0.0098

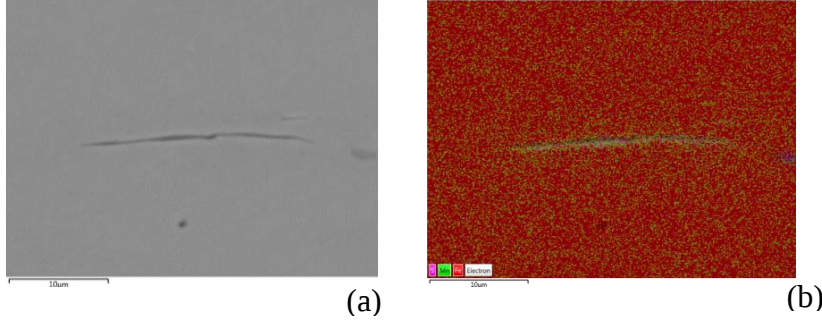
Şekil J.1’ de ASTM A283-03 Grade C çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge J.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Sülfite A türünde hafif kategorisinde değeri 1,75, ağır kategorisinde 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,75’ dir.



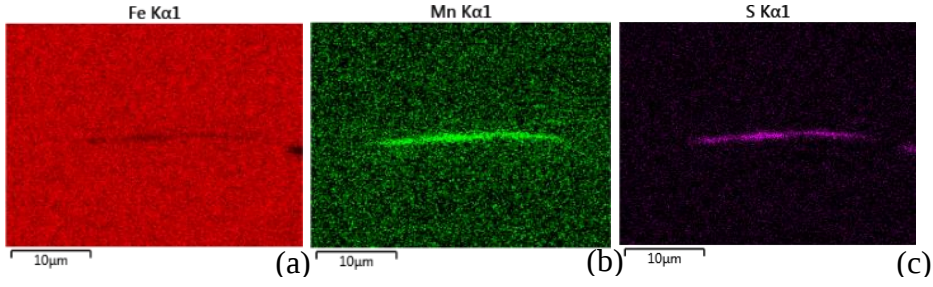
Şekil J.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge J.2 : ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
5,32		7,98		42,45		0,325	
Sülfite A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
1,75	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00



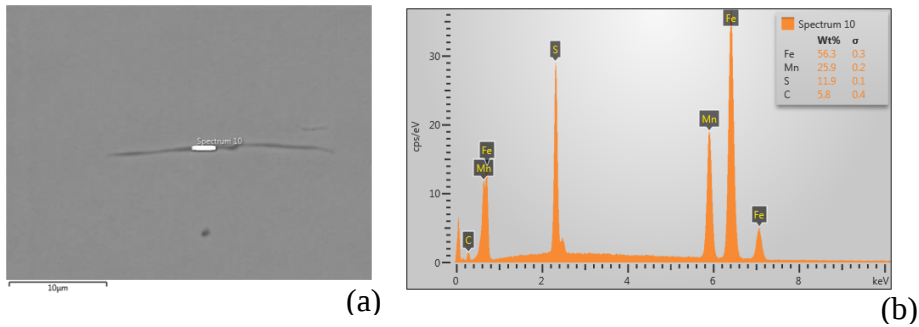
Şekil J.2 : a) 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü **b)** 5µm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.



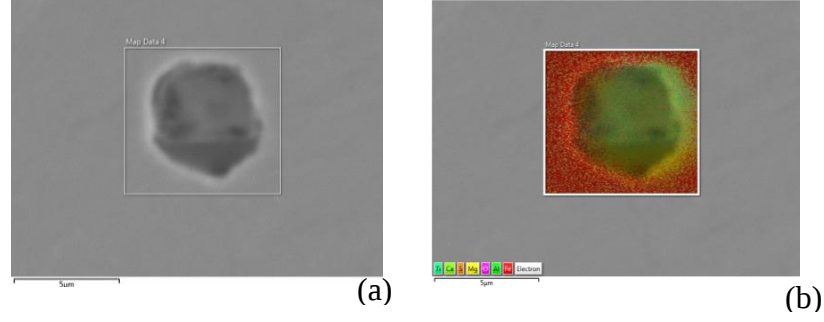
Şekil J.3 : a) 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 10µm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil J.2’ de görülen inklüzyonda MnS bulunmaktadır ve Şekil J.3’ de inklüzyonda bulunan her bir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.

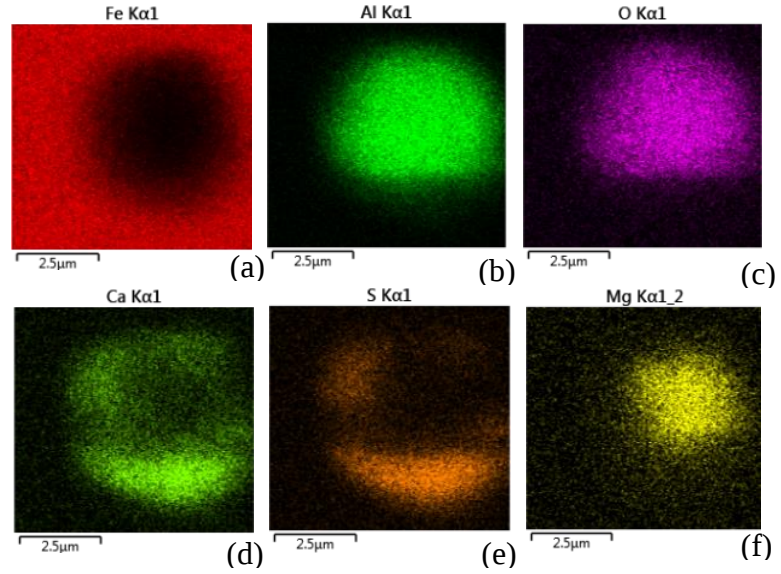
Şekil J.4’ de tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A283-03 Grade C çelikte taramalı elektron mikroskobu analizinde 10 nolu inklüzyonun EDS cihazında incelemesinde MnS olduğu gösterilmektedir.



Şekil J.4 : a) 10µm büyüklüğündeki 10 nolu MnS inklüzyonun SEM görüntüsü. **b)** 9 nolu MnS inklüzyonun EDS analizi.

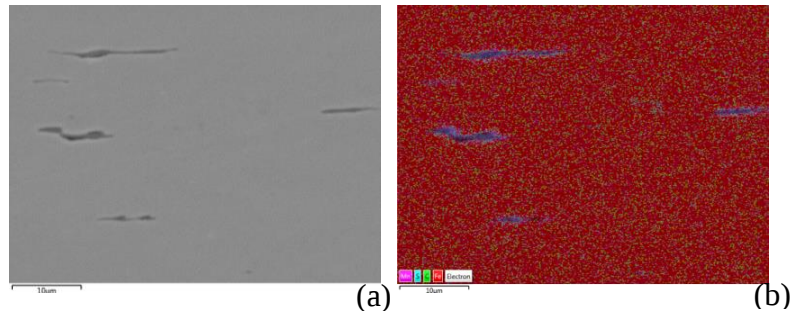


Şekil J.5 : a) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.

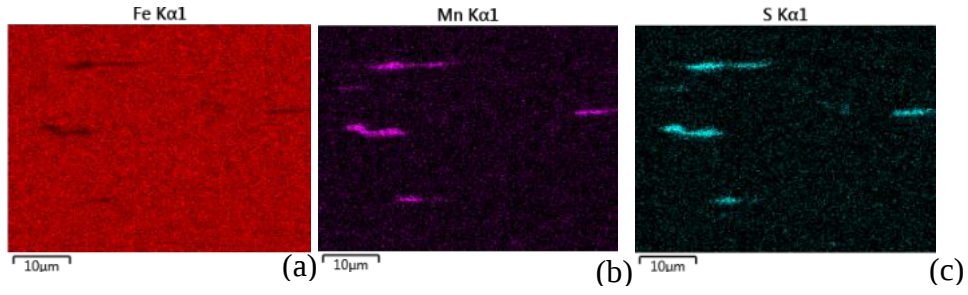


Şekil J.6 : a) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü b) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Al elementinin SEM haritalandırma görüntüsü c) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun O elementinin SEM haritalandırma görüntüsü d) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Ca elementinin SEM haritalandırma görüntüsü e) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü f) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Mg elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil J.5’ de görülen inklüzyonda CaS, üzerinde Al_2O_3 bulunmaktadır ve Şekil J.6’ de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.



Şekil J.7 : a) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM görüntüsü b) 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun SEM haritalandırma görüntüsü.



Şekil J.8 : **a)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Fe elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **b)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun Mn elementinin SEM haritalandırma görüntüsü **c)** 5μm büyüklüğündeki inklüzyonun S elementinin SEM haritalandırma görüntüsü.

Şekil B.7' de görülen inklüzyonda MnS bulunmaktadır ve Şekil B.8' de inklüzyonda bulunan herbir element farklı renklendirme ile gösterilmektedir.

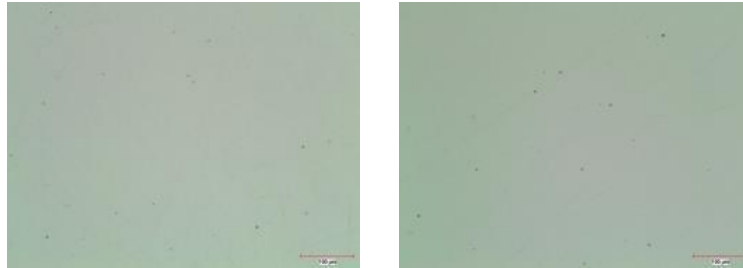
EK K: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A283-03 Grade C çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge K.1’ de verilmektedir.

Çizelge K.1 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.038	0.316	0.019	0.0103	0.0692	0.0041	0.0002	0.0108
Kalıp	0.051	0.321	0.023	0.0088	0.0582	0.0049	0.0017	0.0114
	0.045	0.319	0.022	0.0084	0.0577	0.0056	0.0012	0.0108

Şekil K.1’ de EN 10025-2 S355J2 çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge K.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Sülfid A türünde hafif kategorisinde değeri 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,25’ dir.



Şekil K.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge K.2 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
8,65		1,50		12,98		0,325	
Sülfid A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

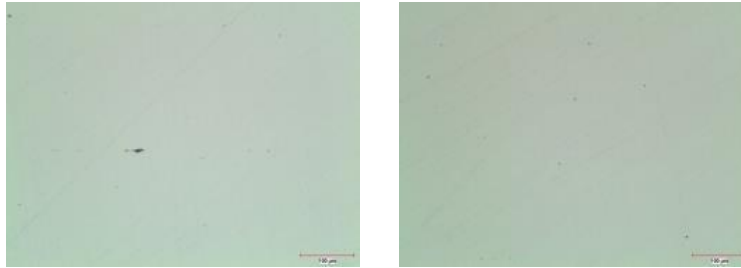
EK L: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge L.1’ de verilmektedir.

Çizelge L.1 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurji	0.036	0.291	0.018	0.0061	0.0525	0.0040	0.0001	0.0129
Kalıp	0.045	0.301	0.028	0.0034	0.0425	0.0044	0.0006	0.0131
	0.045	0.296	0.027	0.0036	0.0405	0.0053	0.0006	0.0133

Şekil L.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inküzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge L.2’ de ölçüm parametreleri ve inküzyon türü verilmektedir. Buna göre inküzyon ASTM E45 standardına göre Sülfid A türünde hafif kategorisinde değeri 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,50’ dir.



Şekil L.1 : 100x makro inküzyon görüntüsü.

Çizelge L.2 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inküzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm²)		Kalibrasyon	
9,32		1,50		13,95		0,325	
Sülfid A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

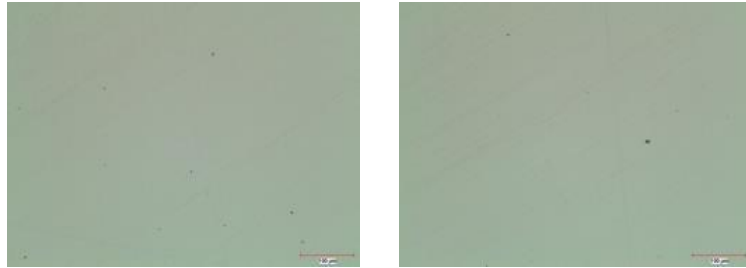
EK M: ASTM A53-10 Grade A Çelik Kalitesi Makro İnküzyon Sonuçları

Tandış çarpma havuzu kullanılmamış ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesine ait kimyasal kompozisyon, pota metalurjisi ve kalıptan alınan numunelerdeki kimyasal kompozisyon Çizelge M.1’ de verilmektedir.

Çizelge M.1 : ASTM A53-10 Grade A çelik kalitesi kimyasal kompozisyon.

Numune	C	Mn	Si	S	Al	N	Ca	P
Min	0.040	0.250	0.000	0.0000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.070	0.400	0.040	0.0150	0.0650	0.0100	99.900	0.0200
Pota Metalurjisi	0.053	0.294	0.022	0.0031	0.0480	0.0046	0.0006	0.0131
Kalıp	0.059	0.302	0.027	0.0029	0.0447	0.0055	0.0008	0.0134
	0.060	0.309	0.028	0.0033	0.0423	0.0055	0.0007	0.0136

Şekil M.1’ de ASTM A53-10 Grade A çeliğinin yüzeyindeki makro inklüzyon taramaları 100x büyütme optik mikroskopla yapılmış olup Çizelge M.2’ de ölçüm parametreleri ve inklüzyon türü verilmektedir. Buna göre inklüzyon ASTM E45 standardına göre Sülfür A türünde hafif kategorisinde değeri 0,25 ve Küresel D türünde hafif kategorisinde değeri 0,25’ dir.



Şekil M.1 : 100x makro inklüzyon görüntüsü.

Çizelge M.2 : ASTM A53-10 A çelik kalitesi ölçüm parametresi ve inklüzyon dağılımı.

Genişlik (mm)		Yükseklik(mm)		Alan (mm ²)		Kalibrasyon	
8,65		1,50		12,95		0,325	
Sülfür A		Alumina B		Silikat C		Küresel D	
Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Memduh KIRCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Ereğli-Konya, 23.07.1988

E-Posta : mkircan@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
: 2011, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi-İşletme
- **Yüksek lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Malzeme Mühendisliği

PROFESYONEL YAŞAM :

İSDEMİR Refrakter Müdürlüğü, Refrakter Mühendisi (2014-Devam ediyor)