

Tandış Örtü Tozu Değerlendirme Çalışmaları

Figen İNCE¹, Ayberk ÖZDUMAN², Onur ALTAY³, Volkan SARI⁴

¹ Kardemir A.Ş. Ar-Ge Müdürlüğü Karabük/Türkiye fince@kardemir.com

² Kardemir A.Ş. Sürekli Dökümler Müdürlüğü Karabük/Türkiye aozduman@kardemir.com

³ Kardemir A.Ş. Ar-Ge Müdürlüğü Karabük/Türkiye oaltay@kardemir.com

⁴ Kardemir A.Ş. Çubuk ve Kangal Haddehanesi Müdürlüğü Karabük/Türkiye vsari@kardemir.com

(Alınış: 16 Mayıs 2022, Kabul: 17 Haziran 2022, Online Yayınlanma: 30 Temmuz 2022)

Abstract—

Reducing the costs in the steel industry increases the competitive power along with the production efficiency. Kardemir, which supplies finished and semi-finished products especially for the automotive and railway sectors with high added value, attaches great importance to the optimization of clean steel production.

In this study, it is aimed to examine the parameters affecting the cleaning of steel and to determine the appropriate tundish covering powder for the products produced. The expected properties in line with the demands for the performance of the tundish covering powder are listed as follows. When applied on liquid steel, it creates a liquid phase to cut the contact of the steel with the atmosphere, to keep the temperature change in the tundish at the lowest level, to prevent reoxidation, to absorb the inclusions in the steel and to work in harmony with the tundish lining materials.

In this context, the physical and chemical properties of tundish covering powders were researched and trial productions were carried out in which three different tundish covering powders were applied with the double layer method. The samples belonging to the trial productions of different grades were evaluated in terms of steel cleanliness, and the inclusion absorption capabilities of tundish covering powders were compared.

Keywords – Tundish covering powder, inclusion, absorption, reoxidation, optimization

Özet—

Çelik sektöründe maliyetlerin düşürülmesi, üretim verimliliği ile birlikte rekabet gücünü de artırmaktadır. Özellikle katma değeri yüksek otomotiv ve demiryolu sektörlerine yönelik mamul ve yarı mamul tedarik eden Kardemir, temiz çelik üretimi optimizasyon çalışmalarına büyük önem vermektedir. Bu çalışmada, çelik temizliğine etki eden ve üretilen ürünlere uygun tandış örtü tozunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tandış örtü tozunun performansına yönelik talepler doğrultusunda beklenen özellikler; sıvı çelik üzerine uygulandığında sıvı faz oluşturarak çeliğin atmosfer ile temasını kesmek, tandış içerisindeki sıcaklık değişimini en düşük seviyede tutmak, reoksidasyonu önlemek, çelik içerisindeki inklüzyonları absorbe etmek ve tandış astar

malzemeleri ile uyumlu çalışmaktır. Bu kapsamda tandış örtü tozlarının sahip olması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler araştırılmış ve farklı tandış örtü tozlarının çift katman yöntemiyle uygulandığı deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Farklı kalitelerde gerçekleştirilen deneme üretimlerine ait numuneler çelik temizliği bakımından değerlendirilmiş, tandış örtü tozlarının inklüzyon absorbe etme kabiliyetleri kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler - Tandış örtü tozu, Inklüzyon, Absorbsiyon, reoksidasyon, optimizasyon

I. GİRİŞ

Çelik üretim sektöründe, çelik temizliğinin kök nedenlerinin araştırılması ve kirliliği artıran parametrelerin azaltılması uzun yıllardır üzerine çalışmalar yapılan bir konudur. Geliştirilen prosesler ve modernizasyonlar ile çelik temizliği, günümüzde geçmiş yıllara göre daha stabil hale gelmektedir [1].

Çelik üretim ve sürekli döküm proseslerinde meydana gelen ve metalik olmayan, kalıntı, oksit, sülfür ve nitrür bileşiklerine inklüzyon adı verilir. Bu inklüzyonlar miktarına, yapısına ve boyutlarına bağlı olarak; nozul tıkanması, çatlak, kırılma, yırtılma, yüzey kusurları ve mekanik özelliklerin olumsuz yönde etkilenmesi gibi problemlere sebep olur [2].

Çelik üretiminde, yüksek saflıkta ve temiz çelik eldesi için, metalik olmayan inklüzyonların kontrol edilmesi esastır [3].

Inklüzyonlar endojen ve eksojen inklüzyonlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çelikte yer alan oksitler ve sülfürler endojen inklüzyonlar olarak örnek verilebilir. Geçmişten günümüze bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda yeni bir inklüzyon metalurjisi disiplini ortaya çıkmıştır. Çelik üretimi, büyük ölçüde sıvı çelikteki toplam inklüzyon kütesinin sürekli azaltılmasına ve kalan inklüzyonların kimyasının ve boyut dağılımının yakından kontrol edilmesini sağlamaya çalışır [4].

Çelik üretim prosesi gereği inklüzyondan tamamen arındırılmış bir çelik üretimi mümkün değildir fakat mevcut inklüzyonları en aza indirmek ve zararsız hale getirmek

mümkündür. Böylelikle inklüzyon miktarlarını ve boyutlarını belirli bir seviyede tutarak, uygulama açısından problem teşkil etmemesi sağlanabilir [2].

Çelik üretimde kullanılan pota ile kalıp arasında bulunan ve sıvı çeliğin kalıba dökülmesinde kullanılan hazneye tandiştir adı verilir. Tandistir aynı zamanda kalıp içerisine sıvı çeliğin dağıtımını sağlar, çeliğin mikro ve makro inklüzyonlardan arındırılması ile temiz çelik üretmek amacıyla kullanılır [5].

Tandiştir örtü tozları, termal kayıpların kontrolünde ve inklüzyonların absorbe edilmesinde önemli bir rol oynar. Uygun tandiştir örtü tozunun kullanılması, modern tandiştir metalurjisi uygulamalarının temel bir özelliğidir. Bununla birlikte tandiştir örtü tozu seçimi, üretilen çelik kalitesi gereksinimlerine özeldir [6].

Silika bazlı tandiştir örtü tozlarına alternatif olan kalsiyum bazlı tandiştir örtü tozları, başlıca çeliğin reoksidasyonunu önlemek ve alümina inklüzyonlarını bünyesinde absorbe kabiliyeti sebebiyle tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, üretilen ürünlere uygun tandiştir örtü tozunun belirlenmesi ve çelik temizliğine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

II. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Literatür araştırmaları sonucunda denemesi yapılan farklı tandiştir örtü tozları arasında başarılı bulunan tandiştir örtü tozunun sahip olması gereken spesifik özellikler aşağıda belirtilmektedir [2];

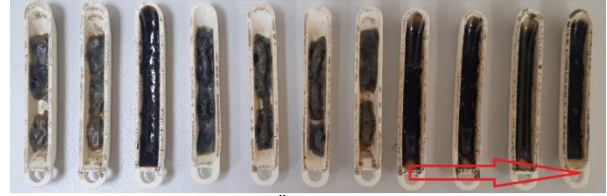
- Cüruf seviyesinde tandiştir astarının aşınmasını önlemek amacıyla minimum %10 MgO içermelidir.
- İçeriğinde CaO/SiO₂ oranı 2'den büyük olmalıdır.
- FeO ve Al₂O₃ içeriği düşük olmalıdır.
- Yoğunluğu 0,85 kg/dm³ 'ten düşük olmalıdır.
- Ergime noktası 1310°C'den düşük olmalıdır.

Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozunun;

- Maksimum %3,9 oranında MgO içerdiği,
- Yoğunluğunun 0,85 kg/dm³'den büyük olduğu.
- Ergime noktasının 1400 ±50 °C olduğu,
- %31-33 oranında Al₂O₃ içerdiği

tespit edilmiştir.

Araştırmalar sonucunda, başarılı olarak nitelendirilen tandiştir örtü tozu özelliklerini elde etmek amacıyla, proses özelinde refrakter üreten bir firma ile karşılıklı ürün geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak belirlenen reçete kapsamında tandiştir örtü tozu üretimi tamamlanmıştır. Tandiştir örtü tozunun doğru kullanım miktarının tespiti için ergime-yayıma davranışları incelenmiştir. Şekil 1.'de 1300°C'de yeni tandiştir örtü tozu ve üzerine kullanılan çift katman tozunun farklı karışım oranlarında ergime davranışı incelenmiştir.



Şekil 1. Tandistir Örtü Tozu Ergime Davranışı

Gerçekleştirilen analizler sonucunda doğru kullanım oranını %30 tandiştir örtü tozu %70 izolasyon amaçlı kullanılan çift katman tozu olarak belirlenmiş ve deneme üretimleri bu miktarda örtü tozu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tandiştir örtü tozu performansının etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi için, Kardemir'de kullanılmakta olan ve denemesi gerçekleştirilen tandiştir örtü tozları aynı kalite, aynı ebat üretimlerinde eşit miktarda kullanılmıştır.

Haddelme prosesi sonrasında her deneme üretimi için DIN 50602 standardında inklüzyon tayini yapılmıştır. DIN 50602 standardında oksit, sülfür ve toplam inklüzyonların miktarları tespit edilmektedir. İncelenen numunelerde Alümina inklüzyon tayini yapabilmek amacıyla ise ASTM E45 standardı tercih edilmiştir.

III. DENEME ÜRETİMLERİ

Modern uygulamalarda tandiştir tozlarından, ısı yalıtımı, çeliğin yeniden oksidasyonunu önlemek, sıvı çelik içerisindeki inklüzyonları absorbe etmek ve refrakter malzemelerle uyumlu olması özellikleri beklenmektedir [2].

Tandiştir örtü tozunun SiO₂ ve CaO/Al₂O₃ oranının erime özellikleri üzerindeki etkisi, uygun toz bileşiminin belirlenmesinde anahtar rol oynamaktadır. Bu tandiştir örtü tozları ile yapılan endüstriyel denemeler, tandiştir uygulamaları için çelik temizliğinde %45'in üzerinde bir iyileşme göstermiştir [6].

Gerçekleştirilen deneme üretimleri sonucunda, belirtilen niteliklerde tandiştir örtü tozu kullanımı ile inklüzyonların absorbe edildiği ve miktarlarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

3.1. Birinci Deneme Üretimi ve Sonuçları;

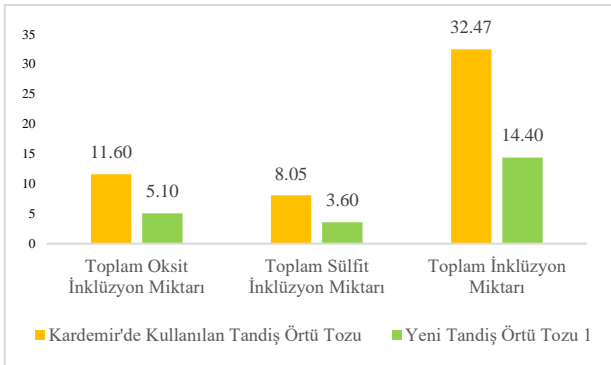
Deneme üretimi 5,5 mm çapında 20MnB4 kalite kargal üretiminde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tandiştir örtü tozlarının kimyasal özellikleri ve inklüzyon sayım sonuçları aşağıda belirtilmektedir.

Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozunun üretici firma tarafından belirtilen kimyasal içeriği %58,6 CaO, %3,4 MgO, %31,6 Al₂O₃'den oluşmaktadır. Ergime noktası 1400°C (±50), yoğunluğu 1,15 kg/dm³ olarak belirtilmiştir.

Yeni tandiştir örtü tozunun kimyasal içeriği %44,3 CaO, %17,33 MgO, %25,63 Al₂O₃, %10,04 SiO₂ 'den oluşmaktadır. Ergime noktası 1280 ±20 °C, yoğunluk 0,60 ±0,1 kg/dm³'den olarak belirtilmiştir.

Deneme üretimi sonrasında DIN 50602 standardı K0 sabitine göre inklüzyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 2’de gösterilmektedir;

- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 11,60, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 5,10 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının oksit inklüzyonlarında %56,03 oranında azalma sağladığı görülmüştür.
- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfid inklüzyonları sayımı 8,05, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfid inklüzyonları sayımı 3,60 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının sülfid inklüzyonlarında %55,27 oranında azalma sağladığı görülmüştür.
- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 32,47, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 14,40 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının toplam inklüzyon miktarında %55,65 oranında azalma sağladığı görülmüştür.



Şekil 2: 20MnB4 Ø5,5- DIN 50602 Standardına Göre Inklüzyon Tayini

Deneme üretimi sonrasında ASTM E45 standardı Method A’ya göre gerçekleştirilen Alümina inklüzyon sayım sonuçları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam alümina inklüzyon sayımı 0,33, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam alümina inklüzyon sayımı 0,17 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının alümina inklüzyonlarda %48,48 oranında azalma sağladığı görülmüştür.

3.2. İkinci Deneme Üretimi ve Sonuçları;

Deneme üretimi 5,5 mm çapında 1065 kalite kargal üretiminde gerçekleştirilmiştir. Bu üretim öncesinde yeni tandiştir örtü tozunun kimyasal yapısında değişiklikler yapılmıştır. Yeni tandiştir örtü tozunun kimyasal içeriği %32,43 CaO, %12,07 MgO, %17,61 Al₂O₃, %7,66 SiO₂

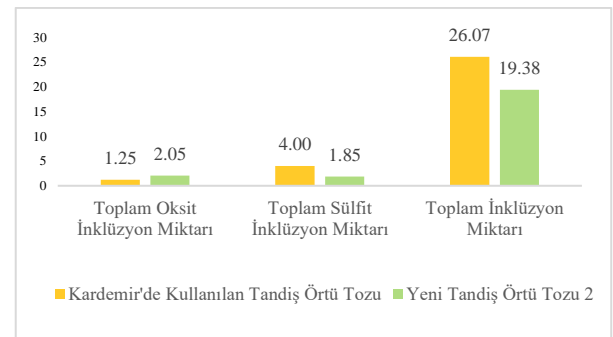
’den oluşmaktadır. İlk denemeye göre Al₂O₃ miktarı azaltılmıştır.

Deneme üretimi sonrasında DIN 50602 standardı K0 sabitine göre inklüzyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 3’te gösterilmektedir.

- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 1,25, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 2,05 olarak tespit edilmiştir.
- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfid inklüzyonları sayımı 4,00, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfid inklüzyonları sayımı 1,85 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının sülfid inklüzyonlarında %53,75 oranında azalma sağladığı görülmüştür.
- Kardemir’de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 26,07, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 19,38 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının toplam inklüzyon miktarında %25,66 oranında azalma sağladığı görülmüştür.

Tablo 1: 20MnB4 Ø5,5 ASTM E45 Standardı Method A’ya Göre Alümina Inklüzyon Tayini

Numune	2115202 - (Kardemir’de kullanılan örtü tozu)		2125129-(Yeni Örtü Tozu 1)	
	Alümina İnk.		Alümina İnk.	
	İnce (2-9 µm)	Kalın (9-15 µm)	İnce (2-9 µm)	Kalın (9-15 µm)
1	0,50	0,00	0,50	0,00
2	0,00	0,00	0,50	0,00
3	1,00	0,00	0,00	0,00
4	0,50	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
İçerik Ortalaması	0,33	0,00	0,17	0,00

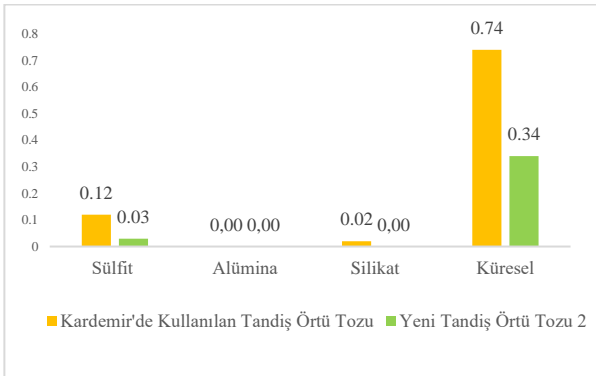


Şekil 3. 1065 Ø5,5- DIN 50602 Standardına Göre Inklüzyon Tayini

Deneme üretimi sonrasında ASTM E45 standardı Method D class 0.5'e göre gerçekleştirilen inklüzyon sayım sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir.

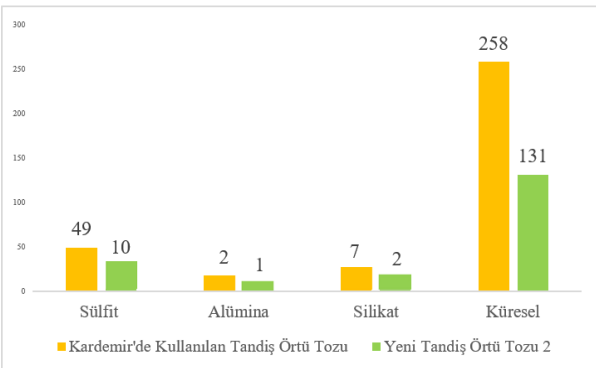
Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfür inklüzyon sayımı 0,12, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam alümina inklüzyon sayımı 0,03 olarak tespit edilmiştir.

- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam silikat inklüzyon sayımı 0,02, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam alümina inklüzyon sayımı 0,00 olarak tespit edilmiştir.
- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam küresel inklüzyon sayımı 0,74, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam alümina inklüzyon sayımı 0,34 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. 1065 Ø5,5 ASTM E45 Method D'ye Göre Ortalama Inklüzyon Tayini

- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda class 0.5'e göre alümina inklüzyon sayımı 2,00, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda class 0.5'e göre alümina inklüzyon sayımı 1,00 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının alümina inklüzyonlarda %50 oranında azalma sağladığı Şekil 5'te gösterilmektedir.



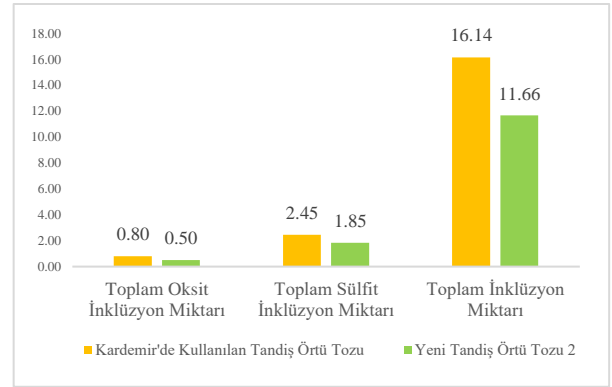
Şekil 5. 1065 Ø5,5 ASTM E45 Method D Class 0,5'e göre Inklüzyon Tayini

3.3. Üçüncü Deneme Üretimi ve Sonuçları;

Deneme üretimi 5,5 mm çapında 1065 kalite kangal üretiminde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tandiştir örtü tozu kimyasal içeriği bir önceki deneme üretimi ile aynı olmak üzere, %32,43 CaO, %12,07 MgO, %17,61 Al₂O₃, %7,66 SiO₂ 'den oluşmaktadır. Ergime noktası 1280 ±20 °C, yoğunluk 0,60 ±0,1 kg/dm³'den olarak belirtilmiştir.

Deneme üretimi sonrasında DIN 50602 standardı K0 sabitine göre inklüzyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 6'da gösterilmektedir.

- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 0,80, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam oksit inklüzyonları sayımı 0,50 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının oksit inklüzyonlarda %37,50 oranında azalma sağladığı görülmüştür.
- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfür inklüzyonları sayımı 2,45, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam sülfür inklüzyonları sayımı 1,85 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının sülfür inklüzyonlarda %24,48 oranında azalma sağladığı görülmüştür.
- Kardemir'de kullanılan tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 16,14, yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretim sonucunda toplam inklüzyon sayımı 11,66 olarak tespit edilmiştir. Yeni tandiştir örtü tozu kullanımının toplam inklüzyon miktarında %27,75 oranında azalma sağladığı görülmüştür.



Şekil 6. 1065 Ø5,5 DIN 50602 Standardına Göre Inklüzyon Tayini

Deneme üretimi sonrasında ASTM E45 standardı Method A'ya göre inklüzyon sayımı gerçekleştirilmiştir. Kardemir'de kullanılan ve yeni tandiştir örtü tozu ile yapılan üretime ait gerçekleştirilen analiz sonucunda alümina inklüzyon miktarları 0,00 olarak tespit edilmiştir.

IV. SONUÇ

Bu çalışma da 3 farklı tandiş örtü tozu kullanılmış ve bu örtü tozlarının inklüzyon absorbe etme kabiliyetleri kıyaslanmıştır. S. Aminorroaya ve arkadaşlarının yürütmüş olduğu çalışmada, belirtilen özellikte tandiş örtü tozu kullanımının endüstriyel uygulamalarda başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu sonuçlar ile Kardemir’de gerçekleştirilen deneme sonuçları birbirini destekler niteliktedir [4].

Kardemir’de kullanılan ve yapılan araştırmalar neticesinde özel bir reçete ile oluşturulan tandiş örtü tozları kullanılarak deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Kardemir’de kullanılan örtü tozuna kıyasla daha düşük yoğunluğa ve Al₂O₃ içeriğine sahip örtü tozları tercih edilmiştir.

Deneme üretimi gerçekleştirilen tandiş örtü tozu performansları değerlendirildiğinde, %17 Al₂O₃ içeren tandiş örtü tozu (Yeni Tandiş Örtü Tozu 2) ile üretilen numunelerin inklüzyon tiplerinde belirgin azalma görülmüştür. Geliştirilen yeni tandiş örtü tozunun, sıvı çelik içerisindeki istenmeyen empürterleri absorbe ederek endüstriyel uygulamalarda temiz çelik üretimine katkıda bulunduğu değerlendirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışma süresince değerli katkı ve yardımlarından dolayı Onur Haluk ŞAHİN ve Seda KILINÇARSLAN’a teşekkürlerimizi sunarız.

REFERANSLAR

- [1] M. Bilgic, Temiz Çelik Üretiminde Bazik Refrakter Kullanımı, Research Gate, 2002
- [2] Y.Kaçar, Kalsiyum İşlemi İdeal Inklüzyon Modifikasyonu Koşullarının Belirlenmesi ve Proses Optimizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011, İstanbul, Türkiye
- [3] Reis B.H., Bielefeldt W.V., Vilela A.C.F., “Absorption of non-metallic inclusions by steelmaking slags”—,Journal of Materials Research and Technology, Jan. 2014
- [4] S. Aminorroaya, K.Azari, H. Edris, R. Dippenaar, “Basic Tundish Powder Evaluation for Continuous Casting of Clean Steel”, Research Gate, May 2006
- [5] Kircan. M. Sürekli Döküm Slab Üretimindeki Tandişlerde Çarpma Havuzunun Etkisinin İncelenmesi, 2018, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2018, İstanbul, Türkiye
- [6] N. Banerjee, U. Vadvi, B.B. Reddy, D.S. Basu, Tundish Metallurgical Practices For Slab Production In Bokaro Steel, India, 2003