

Çemtaş Çelik Fabrikasında Kalıntı Kontrolü

Berkay Şahin¹, İsmail İrfan Ayhan¹, Mehmet Akpınar¹,
Naci Sevinç²

¹Çemtaş Çelik Makina Sanayi, ²Atılım University - Türkiye

Abstract

Demands of automotive industry for cleaner steel with “fewer, smaller and homogeneously distributed inclusions” are getting tighter with time. In order to investigate factors affecting the cleanliness of the steels produced by ÇEMTAŞ, the steelmaking practice used was thoroughly investigated and the possible origins of inclusions in the final product was tried to be found. By this way, optimum parameters of electric arc furnace, deoxidation, ladle furnace and vacuum processes are specified to minimize non-metallic inclusions. As a result of improvements done on ÇEMTAŞ steel making practice in accordance with the outcomes of these studies, total oxygen amount found in the final product is decreased by 50%. In addition to that production losses which arise from scrapping of defected regions are also remarkably reduced.

Özet

Otomotiv endüstrisinin temiz çeliğe olan talebi vasıflı çelik üreticilerinin “daha az, daha küçük ve homojen dağılmış kalıntı” içeren çelik üretimine yoğunlaşmalarına yol açmıştır. Çelik temizliğine etki eden faktörlerin araştırılması için ÇEMTAŞ'ta vasıflı çelik üretiminin bütün aşamalarında birçok ölçüm ve inceleme yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu metal dışı kalıntı kaynaklı hataların en az seviyeye indirilmesi için optimum elektrik ark ocağı, deoksidasyon, pota ocağı ve vakum parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların ÇEMTAŞ çelik fabrikasındaki üretim pratiğine doğrudan uygulanmasının sağladığı iyileşmeler ile beraber son ürünlerdeki toplam oksijen miktarı %50 oranında azalmıştır. Bununla birlikte, hatalı bölgelerin hurdaya ayrılmasından kaynaklanan üretim kayıpları da önemli ölçüde azalmıştır.

1. Giriş

Günümüzde çelik endüstrisinde yaşanan rekabet, üretim verimliliğinin artırılmasını ve maliyetlerin düşürülmesini gerektirmektedir. Çelik tüketicileri de son dönemdeki taleplerini çelik temizliği ve kalitesinde

iyileştirmelere yoğunlaştırmaktadırlar. Hem üretim kayıplarının azaltılması hem de müşteri isteklerinin karşılanması bakımından oldukça önem kazanan temiz çelik üretimi için Dünya genelinde üretim optimizasyonlarına büyük önem verilmeye başlanmıştır.

Genellikle otomotiv endüstrisine çeşitli ebat ve kesitlerde kaliteli ham malzeme tedarik eden ÇEMTAŞ'ta da her çelik fabrikasında olduğu gibi üretim esnasında oluşan bir takım hatalarla karşılaşmaktadır. Malzemenin içinde, yüzeyinde veya yüzey altında bulunabilen bu hataların saptanabilmesi için ÇEMTAŞ'ta üretilen tüm yuvarlak ürünler tahribatsız test ünitelerinde manyetik akı yöntemi ve ultrasonik yöntem ile test edilmektedirler.

Tespit edilen yüzey ve iç hataların giderilmesi için uygulanan taşlama ve kesme gibi işlemler oldukça uzun ve yorucu olup üretim verimliliğini kayda değer miktarda düşürmektedir.

ÇEMTAŞ'ta gerçekleştirilen bu çalışmada üretim firesine dönüşen hataların sebeplerinin ortaya çıkarılması ve alınacak önlemler ile azaltılması için çelik üretimi adım adım takip edilmiştir. Çelik üretiminin hemen her aşamasında ölçümler yapılmış ve ayrıca bu aşamalardan alınan örnekler ayrıca makro ve mikro boyutta incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Çalışma boyunca kimyasal analiz ve oksijen ölçümleri için sıvı çelikten lolipop numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerin kimyasal analizleri ARL 4460 optik emisyon spektrometresi ile yapılmıştır.

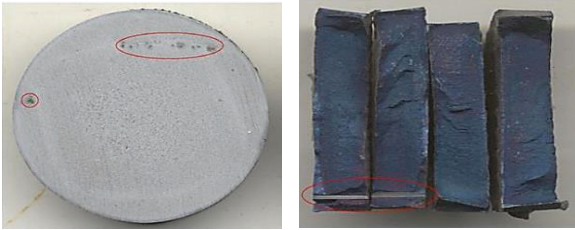
Çelik temizliği ele alındığında, oksijenin çelik üretim süreçlerinde kontrol edilmesi gereken en önemli elementlerden biri olduğu görülmektedir.^[1,2] Numunelerdeki toplam oksijen miktarının belirlenmesi için her bir numunedan hazırlanan 1 gramlık 3 parçada LECO ONH 836 cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Lolipop numunelerinin toplam oksijen miktarları 3 parçada yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, sıvı çelik içerisindeki çözünmüş oksijen miktarı

Cr/Cr₂O₃ içeren Celox sensörü ile belirlenmiştir. Çalışmada lolipop numunelerinin alımı ve çözünmüş oksijen miktarı ölçümleri eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çelik üretiminin bazı aşamalarında, sıvı çelik içerisinde çözünmüş olarak bulunan hidrojen miktarı Heraeus Electro-Nite firması tarafından tasarlanan Hydris cihazı ile ölçülmüştür.

Kütüklerin haddelenmesi ile üretilen yuvarlak ürünler daha sonra tahribatsız test ünitelerinde iç, yüzey ve yüzey altı hataların tespiti için test edilmişlerdir. Bu testler sırasında iç hatalı olduğu belirlenen bölgelerden alınan numunelere mavi kırılma ve makro dağlama testleri uygulanmıştır. Bu testler ile beraber hatanın morfolojisi ve pozisyonu hakkında bilgiler edinilmesi amaçlanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

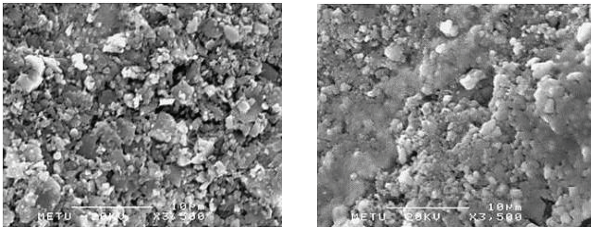
Yapılan bu çalışma sırasında döküm numarası 4761 olan 30CrNiMo8 kalitesinden üretilen çubuklarda tahribatsız testler ile iç hatalı olarak belirlenen bölgelerden alınan numunelere ASTM E 381 ve SEP 1584 standartlarına göre makro dağlama ve mavi kırılma testleri uygulanmıştır.



Şekil 1. Makro dağlama ve mavi kırılma örnekleri

Uygulanan testler ile bulunan hatalar kırmızı daire içinde gösterilmektedir. Şekil 1'de hataların sürekli döküm esnasında çeliğin homojenliğini sağlamak için uygulanan manyetik karıştırma sonucu oluşan beyaz bandın üzerinde bulunduğu görülmektedir.

Ayrıca, mavi kırılma örneklerinde hatalı çıkan bölgeler taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiştir.



Şekil 2. Hatalı kısmın 3500 büyütmede SEM görüntüsü

Şekil 2'de küme halinde görülen beyaz alanlar oksit, koyu alanlar ise çelik matrisidir. Çelikteki oksijen miktarını azaltmak için en önemli süreç deoksidasyon sürecidir ancak bu işlem aynı zamanda çelikteki kalıntıların da oluşmaya başladığı işlemdir.^[3] Şekil 2'de

görülen oksitlerin reoksidasyon veya deoksidasyon sırasında oluştuğu, sonrasında ise yüzdürülerek uzaklaştırılabilmek için yeterli zamanı bulamayıp çelik içerisinde hapsoldüğü tahmin edilmektedir.

Oksit kümeleri için yapılan SEM/EDX analizleri genelde birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Bu nedenle sadece bir kümeyle ait SEM/EDX analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Oksit kümelerine ait SEM/EDX analizi

Element	Ağırlıkça %	Atomik %	Bileşik %	Formül
O	45.32	59.05	0.00	
Mg	2.02	1.73	3.35	MgO
Al	46.84	36.19	88.50	Al ₂ O ₃
Ca	5.83	3.03	8.15	CaO

Bu sonuçlar kümelerin yaklaşık 80-90% Al₂O₃, 10-15% CaO ve 3-5% MgO içeren alümina ağırlıklı oksitler olduğunu göstermektedir.

Sıvı çelikten uzaklaştırılamamış kalıntıların morfolojisi, sürekli döküm öncesinde kalsiyum işlemi ile değiştirilir. Sıvı çeliğe kalsiyum eklemesi enjeksiyon ya da tel besleme yolu gerçekleştirilir.^[4] Analizde az miktarda rastlanılan kalsiyum oksidin bu işlem sırasında oluştuğu düşünülmektedir.

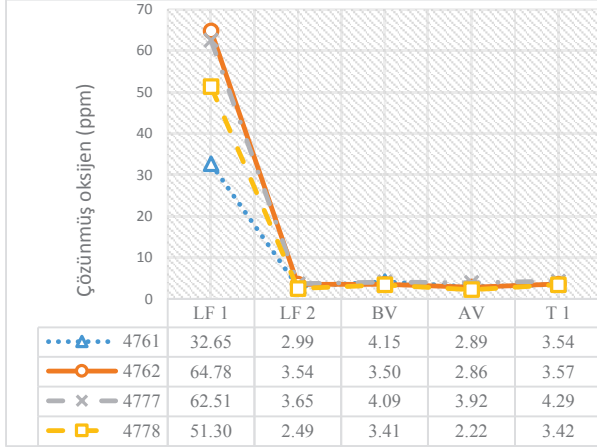
Oksit malzemeler olan refrakterler tıpkı cüruf gibi tüm çelik üretimi boyunca sıvı çelik ile temas halindedirler. MgO kararlı bir oksit olmasına rağmen üretim koşullarında karbon tarafından indirgenebilmektedir. Bu indirgenme çelikte spinel (MgO.Al₂O₃) adı verilen kalıntıların oluşumuna yol açabilmektedir.^[5,6] Yapılan analiz ile tespit edilen magnezyum oksitlerin MgO-C içeren refrakterden veya pota cürufundan geldiği düşünülmektedir.

Bu sonuçları göz önüne alarak, ÇEMTAŞ çelik üretim sürecinde oksit oluşumuna neden olabilecek üretim parametreleri incelenmiştir. Bu çalışma, oksit kalıntılarının kaynaklarını bulmak için, çelik üretiminin değişik aşamalarında hidrojen, çözünmüş oksijen ve toplam oksijen ölçümleriyle devam ettirilmiştir.

3.1. Çalışmanın Başlangıcındaki Oksijen Ölçümleri

Hatalı bölgelerde yapılan SEM analizlerinin ardından, dört deneme dökümünde üretimin farklı aşamalarından alınan numunelerde çözünmüş oksijen ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler vakum öncesi ve sonrasında Celox cihazı kullanılarak yapılmıştır. Dört farklı dökümün pota ocağı (LF1), alüminyum eklenmesinden sonra (LF2), vakum öncesi (BV) ve vakum sonrası (AV) ve tandiş (T1) numunelerinde yapılan çözünmüş oksijen ölçüm sonuçları Şekil 3'te görülmektedir.

Şekil 3'te LF1 olarak gösterilen ölçümler pota ocağında oksijen gidericilerin eklenmesinden 2-3 dakika sonra yapılmıştır. Ölçümlerin sonucunda karşılaşılan çözülmüş oksijen seviyesinin oksijen giderici olarak alüminyum eklenmesine rağmen oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bununla beraber, eklenen alüminyum miktarının yetersiz olmasından dolayı pota ocağındaki deoksidasyonun tamamlanmadığı sonucuna varılmıştır.



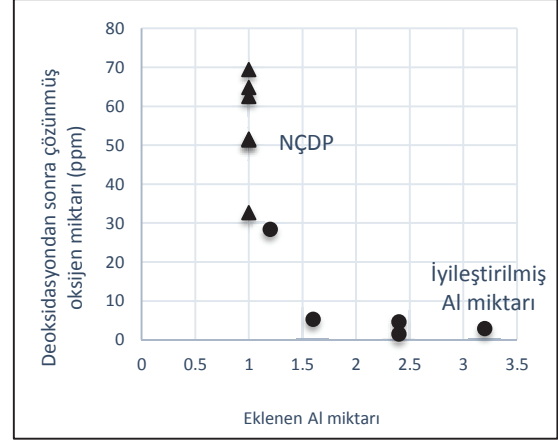
Şekil 3. Vakum öncesinde ve sonrasında değişik aşamalarda yapılan çözülmüş oksijen ölçümleri

Yüksek miktarda bulunan bu çözülmüş oksijen miktarının kalıntı oluşumuna sebep olarak tahribatsız test ünitelerinde hata olarak tespit edileceği düşünüldüğünden ÇEMTAŞ deoksidasyon pratiği üzerine odaklanılmasına karar verilmiştir.

3.2. ÇEMTAŞ Deoksidasyon Pratiği

Eklenen alüminyum miktarının yetersiz olduğunun tespit edilmesinin ardından optimum alüminyum miktarının belirlenmesi için elektrik ark ocağından pota ocağına devirmede farklı miktarda alüminyum eklenen 6 ilave deneme dökümü alınmıştır. Dökümlerdeki diğer değişkenler sabit tutulup alüminyum miktarı Normal ÇEMTAŞ Deoksidasyon Pratiğinde (NÇDP) eklenen miktarın belirli katları olacak şekilde artırılmıştır.

Şekil 4'te üçgen (▲) ile gösterilen noktalar NÇDP ile alınan dökümleri yuvarlak (●) ile gösterilen noktalar ise artırılan alüminyum miktarı ile alınan dökümleri göstermektedir. Açıkça görüldüğü gibi çözülmüş oksijen değerlerini istenilen seviyeye indirebilmek için eklenen alüminyum miktarı NÇDP'nin en az 1.6 katına çıkarılmalıdır. Buna ek olarak, aynı miktarda alüminyum eklenen dökümlerdeki çözülmüş oksijen miktarının değişkenliği eklenen alüminyumun verimliliğinin değişken olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu değişkenliğin önlenmesi ve verimin artırılması için, alüminyum külçelerinin devirme sırasında her seferinde rastgele farklı yerlere atılmaması, bunun yerine doğrudan çelik akışının altına atılması gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 4. NÇDP'nin katları olacak şekilde eklenen Al miktarları için ölçülen çözülmüş oksijen

Alüminyum verimliliğinin yanında sıvı çeliğin elektrik ark ocağından pota ocağına devrilirken sahip olduğu oksijen miktarı da oksijen giderici olarak eklenen alüminyum miktarını etkilemektedir.

Çeliğin yüksek oksijen miktarları ile devrilmesi, çelik üretimi sırasında uzaklaştırılması oldukça zor olan deoksidasyon ürünlerinin oluşumunun oldukça artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle elektrik ark ocağındaki oksijen miktarları ölçülmüştür. Ayrıca çözünen oksijen miktarının karbon miktarıyla ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu yüzden bu iki element miktarı arasındaki ilişki de incelenmiştir.

3.3. Elektrik Ark Ocağındaki Oksijen Miktarı

Bilindiği gibi her ocak kendisine özgü termodinamik ve kinetik özelliklere sahiptir. Yapılan ölçümler kullanılarak çıkarılan aşağıdaki formülden ÇEMTAŞ elektrik ark ocağındaki C ve O miktarları arasındaki ilişki anlaşılabilir.

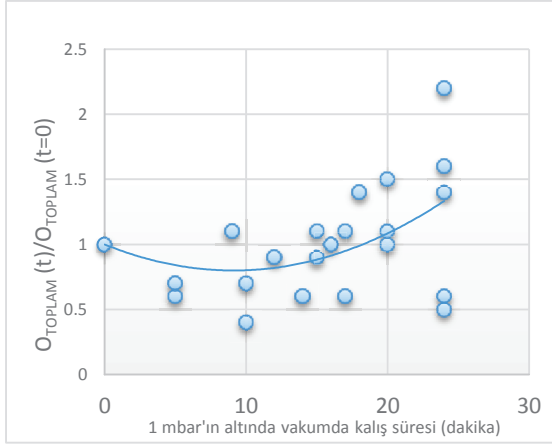
$$O \text{ (ppm)} \times [C \text{ (%)}]^{1.102} = 25.808 \quad (1)$$

Çözülmüş oksijen miktarını ve neden olabileceği deoksidasyon ürünlerini azaltmak için devirme sırasında karbon miktarının olabildiğince yüksek tutulması gerektiği formülden kolayca görülebilmektedir.

3.4. Vakum İşlemi Sırasındaki Oksijen Miktarı

EDX analizlerinde (Çizelge 1.) rastlanılan MgO kalıntılarının varlığı vakum işlemi sırasında refrakter malzemenin indirgenmesinden kaynaklanan reoksidasyon ile ilişkilendirilebilmektedir.

Optimum vakum süresini belirleyerek reoksidasyonu en aza indirmek için vakum öncesi ve vakum sonrası toplam oksijen ölçümleri yapılmıştır. Oksijen ölçümleri yapılan dökümlerde vakum öncesi toplam oksijen miktarları birbirinden farklı olduğu için vakum sonrası toplam oksijen miktarı vakum öncesi toplam oksijen miktarına oranlanarak Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Vakum süresine göre toplam oksijende miktarındaki değişim

Şekil 5'teki grafikten de görüldüğü gibi 10-15 dakika arası vakum işlemine tabi tutulan dökümlerde toplam oksijen oranında 50% oranında azalma varken 15 dakikadan fazla vakumlama işlemine tabi tutulan dökümler için $O(t=15) / O(t=0)$ oranı 1 den büyüktür. Bu veriler 15 dakikadan fazla yapılan vakum işleminde çeliğin reokside olduğunu göstergesidir. Bu sonuçlara dayanarak, ÇEMTAŞ üretim sürecinde ideal vakum süresinin 10-15 dakika arasında tutulması ve 15 dakika üzerinde vakum uygulanmaması gerektiğine karar verilmiştir.

Diğer yandan, temiz çelik üretimi için çelik içerisindeki hidrojen miktarının da vakum işlemiyle olabildiğince azaltılması gerektiği bilinmektedir.^[7] Yapılan çalışmada vakum süresince hidrojen ölçümleri yapılmıştır. Bunun sonucunda 10 dakika ve üzerindeki vakum sürelerinin hidrojen kaynaklı hataların engellenmesinde yeterli olduğu görülmüştür.

4. Sonuç

ÇEMTAŞ'ta tahribatsız test ünitelerinde yuvarlak ürünlerde tespit edilen iç hataların araştırılması ve önlenmesi için başlatılan çalışmada hataların birçoğunun oksit kaynaklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada çelik içerisinde oluşabilecek oksit kalıntılarının kaynaklarının araştırılmasına odaklanılmıştır. Daha temiz çelik üretimi için oksit kalıntılarının önlenmesi adına ÇEMTAŞ üretim pratiğinde alınan önlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Devirme öncesi çelik içerisindeki oksijen miktarı, karbon oranı olabildiğince yüksek tutularak azaltılmıştır. Oksijen miktarındaki azalma ile yüzdürülmesi zor deoksidasyon ürünlerinin fazla miktarlardaki oluşumu da engellenmiştir. Elektrik ark ocağında karbon miktarının düşük seviyelerde tutulmaması gerektiğine karar verilmiştir.

- Pota ocağında ölçülen yüksek çözünmüş oksijen miktarlarının deoksidasyon pratiğindeki bazı yetersizliklerden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Çözünmüş oksijen oranının azaltılması için normal ÇEMTAŞ deoksidasyon pratiğinde eklenen alüminyum miktarının 1,6 katına çıkarılması gerektiğine ve alüminyumun çeliğe devirme sırasında doğrudan akışa eklenmesine karar verilmiştir.
- Toplam oksijen oranının 10-15 dakika arasındaki vakum sürelerinde azaldığı ancak 15 dakika sonrasında arttığı görülmüştür. 9-15 dakika arasındaki vakum işleminin hidrojen miktarını azaltmada da yeterli olduğu görülmüştür.

Bulunan sonuçların ışığında optimum üretim parametreleri belirlenmiş ve uygulanmıştır. Yapılan iyileştirmelerin sonuçları toplam oksijen miktarı ve üretim fireleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin ardından hurdaya ayrılan, taşlama ve kesme işlemlerine tabi tutulan yuvarlak ürünlerin oranı yüzde 40 azaltılmıştır. Buna ek olarak son üründe görülen toplam oksijen oranı %50 düşürülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (TEYDEB Proje No: 3100455) ve ÇEMTAŞ tarafından finanse edilmiştir.

Referanslar

- [1] H. Le Chatelier, Rev. Met., Volume 9, 1912, p. 513.
- [2] E. T. Turkdogan, "Fundamentals of Steelmaking", The Institute of Materials, London, 1996, pp. 182-183.
- [3] R. W. Monroe and M. Blair, "Reducing Large Inclusions in Steel Castings", AFS Trans., Volume 102, 1994, pp. 381-385.
- [4] L. E. K. Holappa, "Ladle Injection Metallurgy", International Metals Reviews, Volume 27, No.2, 1982, pp. 53-76.
- [5] L. Rongti, P. Wei, M. Sano and J. Li, "Kinetics of Reduction of Magnesia with Carbon", Thermochemica Acta 390, 2002, pp. 145-151.
- [6] A. Watanabe, H. Takahashi and F. Nakatani, "Mechanism of Dense Magnesia Layer Formation near the Surface of Magnesia-Carbon Brick", J. Am. Ceram. Soc., Volume 69, No.9, 1986, pp. 213-214.
- [7] K. N. Jha, M. K. Sardar, N. N. Jha and S. Chakraborty, "Hydrogen Control during Steel Making for Medium Wheels", Scandinavian Journal of Metallurgy, Volume 32, 2003, pp. 296-300.