



Makale / Research Paper

Sıcak Haddeleme ile Üretilen Alaşımli Çelik Profillerde Normalden Farklı Renkte Oluşan Demir Oksitlerin Ortaya Çıkış Sebeplerinin İncelenmesi

Mehmet AKKAŞ^{1a*}, Osman ÇULHA^{2b}

¹Kocaeli Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. Yeni Foça Yolu Üzeri 3.Km İzmir, Türkiye
²Manisa Celal Bayar Üniversitesi Müh. Fak. Met. ve Malz. Müh. Böl. Manisa, Türkiye
mehmet.akkas@kocaelisteel.com

Received/Geliş: 08.06.2020

Accepted/Kabul: 17.08.2020

Öz: Sıcak haddelemiş çelik profillerde görülen kızıl tufal oluşumu, çeliğin yüzeyinin doğal rengi olan gri görünümünü bozan kimyasal bir demiroksit reaksiyondur. Tavlama sıcaklığı, atmosferi, süresi ve haddeleme sıcaklığı, hammaddenin kimyasal bileşimindeki silisyum oranı bu oluşumu etkilemektedir. Bu çalışmada, sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çelik profillerde çok nadir olarak karşılaşılan bir vaka olan yüzeyde kızıl tufal oluşumu araştırılmıştır. Kızıl tufalin olduğu numuneler I ve U formlu profillerin üretiminden alınmıştır. Kızıl tufal oluşumunun gözlemlendiği bu profiller sırasıyla; görsel inceleme, spektral analiz incelemesi, XRD analizi incelemesi ve mikroyapı incelemesine tabi tutulmuştur. Sonrasında elde edilen analiz bulguları ve literatür bilgilerine göre, bu vakada oluşan kızıl tufalin silisyum elementinin oranı ile bağlantısının olmadığı anlaşılmıştır. I ve U profillerde görülen farklı yoğunlukta kızıl tufal oluşumunun ise, haddeleme esnasında profilin haddeleme pozisyonuna bağlı olarak suyun birikmesinden dolayı olduğu görülmüştür. Genel anlamda hematit tufal yapısının soğuma etkisiyle kızıl tufal oluşumuna yol açtığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak haddeleme; çelik; tufal; silisyum; oksidasyon; östenitleme.

An Investigation on the Reasons of Emerging Iron Oxides in Different Colors Than Normal in Alloyed Steel Profiles Produced by Hot Rolling

Abstract: The red scale formation in hot rolled steel profiles is a chemical iron oxide reaction that disrupts the natural color of the surface of the steel. Tempering temperature, atmosphere, time and rolling temperature, silicon content in the chemical composition of the raw material affect this formation. In this study, red scale formation on the surface, which is a very rare case in steel profiles produced by hot rolling method, was investigated. Samples were taken from a production which appeared in the forms I and U in the produced profile types. The profiles in which red scale formation is observed are as follows; visual inspection, spectral analysis, XRD analysis and microstructure analysis. According to the findings of the analysis and literature, it was found that the red scale formed in this case has no correlation with the ratio of silicon element. It has been found that the red scale formation of different density in I and U profiles depends on the accumulation of water depending on the rolling position of the profile during rolling. In general, it has been found that hematite scales cause red scales due to cooling effect.

Keywords: Hot rolling; steel; scale; silicium; oxidation; austenitizing.

1. Giriş

Sıcak haddecilik sektörünün ana hammaddesi olan slab ve kütüklerin sürekli döküm ile üretilmesinin ardından, haddeleme ile profil/levha üretimine başlanmadan önce dökümden kaynaklı dentritik yapıları yok etmek ve alaşım elementlerini tane sınırlarında tutmak amacıyla kontrollü olarak 1200-1250°C aralığında östenitleme işlemi Şekil 1'de örneği gösterilen tav fırınlarında

Bu makaleye atıf yapmak için

Akkaş, M., Demir, A., Ertekin, F., Çulha, O., "Sıcak Haddeleme İle Üretilen Alaşımli Çelik Profillerde Normalden Farklı Renkte Oluşan Demir Oksitlerin Ortaya Çıkış Sebeplerinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (3), 1220-1230.

How to cite this article

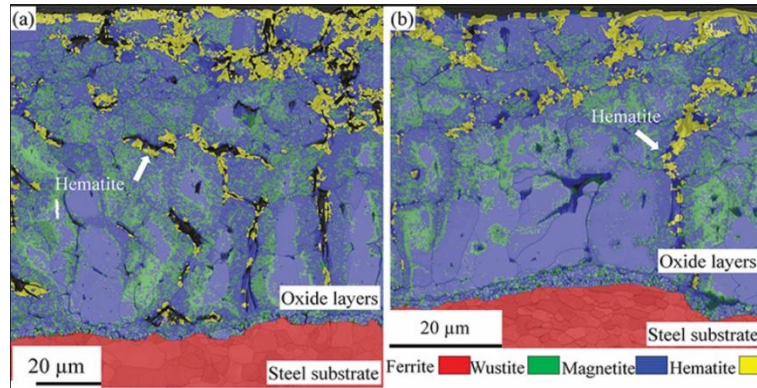
Akkaş, M., Demir, A., Ertekin, F., Çulha, O., "An Investigation on the Reasons of Emerging Demiroxides in Different Colors than Normal in Alloyed Steel Profiles Produced by Hot Rolling" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (3), 1220-1230.

yapılır. Bu sıcaklık aralığı tane yapısının düzenlenmesinin yanı sıra sıcak şekillendirme işlemleri için en uygun sıcaklıktır.



Şekil 1. Tav fırını [1]

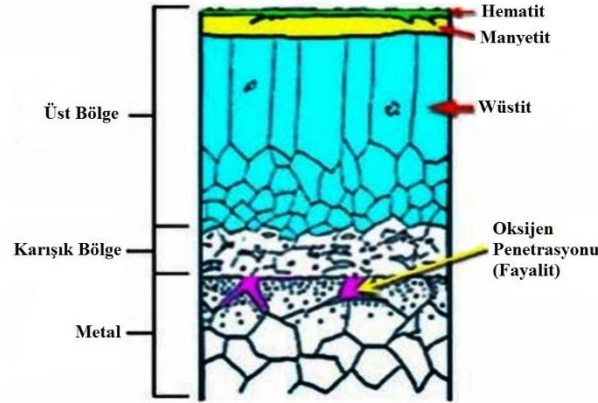
Tufal kısaca çelik malzemenin üzerindeki oksitlenmeden dolayı oluşan demir oksit tabakasıdır. Tufalleşme; malzeme yüzeyinde, tav fırınlarında ısıtma sırasında ve haddeleme esnasında meydana gelebilmektedir. Tufalleşme artan sıcaklıkla birlikte hızlı olarak arttığından ve tav fırınında yakma için kullanılan yakıtın aktivatörü olan hava ile fırın içerisinde birebir temas halinde olmasından dolayı oluşan tufal tabakasına Birincil Tufal Tabakası adı verilmektedir.



Şekil 2. Kalınlık daralması ve ardından (a) % 10, 10°C/s ve (b) %13, 23°C/s soğutma hızları ile 860°C'de haddelenmiş mikro alaşımlı çeliğin wüstit, hematit, manyetit ve ferrit için Elektron geri saçılma kırınımı faz haritaları [2]

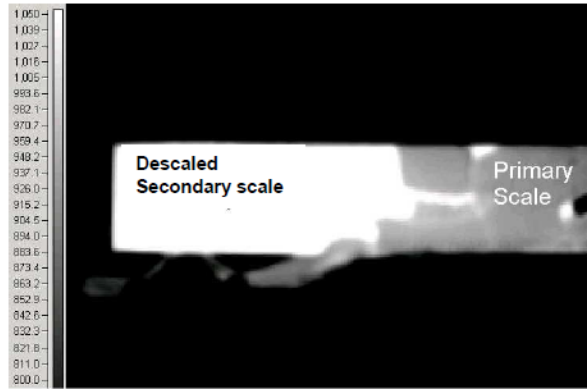
Şekil 2 de gösterilen EBSD'de verildiği gibi tufal tabakası üst bölgede Hematit (Fe_2O_3), Manyetit (Fe_3O_4) ve Wüstit (FeO) olmak üzere 3 farklı demir oksit tabakasından oluşmaktadır. 700°C üzerindeki sıcaklıklarda tufal tabakasının %95'i Wüstitken, 570°C nin altındaki sıcaklıklarda Wüstit kararlı değildir. Wüstit'in ergime sıcaklığı 1370-1425 °C arasında olup bu sıcaklık aralığında Wüstit'in ergimesi durumunda; ergiyen Wüstit çelik tane sınırlarına ilerleyerek haddeleme sonrasında yüzey kalitesizliklerine neden olur. Manyetit ise orta tabakadaki fazdır. 700°C üzerindeki sıcaklıklarda tufal tabakasının %4'ünü oluşturur. 500°C altındaki sıcaklıklarda tufal tabakası tamamen Manyetit tir. Hematit ise tufal tabakasının en üst kısmındaki fazıdır. 800°C üzerindeki sıcaklıklarda oluşmaya başlar ve tufal tabakasının %1 ini oluşturur [3]. Bu sayılan tabakalar bölgesel olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Karışık bölge olarak tanımlanan katmanda ise oksidasyon potansiyeli daha düşük olan empüriteler bulunmaktadır. Karışık bölgede bulunan elementler özellikle düşük ergime sıcaklığına sahip Nikel ve Silisyum, yüksek sıcaklıklarda ergiyerek metal-oksit ara yüzeyinde kırılması zor bir bağ oluşturur. Bu bağ mekanik olarak üst bölgedeki tufal tabakasını tutar. Fırında meydana gelen birincil tufalin kırılmasından sonra yüzeyde

tekrar oluşmaya başlayan tufal tabakasına İkincil Tufal denir. Bu tufal tabakasının kalınlığı hammadde sıcaklığına ve oksidasyon süresine bağlıdır [4].

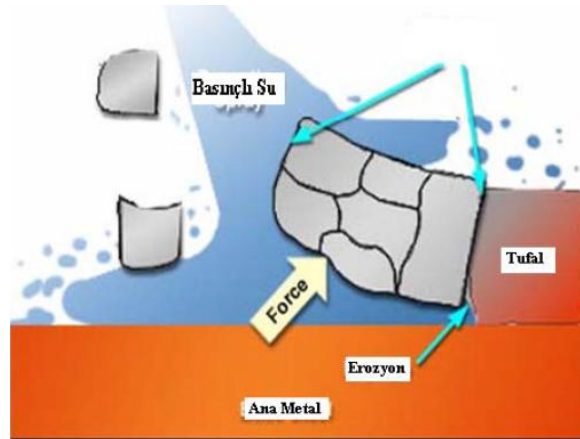


Şekil 3. Tufal tabakaları [3]

Hammaddenin tav fırınından çıktıktan sonra birincil tufal tabakası sıyrılmış ve ince ikincil tufal tabakası oluşmuş hali Şekil 4'de verilmiştir. Tufalin sıyrılmasını gösteren mekanizma şematik olarak Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Sıyrılan tufalin termal kamera görüntüsü [4]



Şekil 5. Tufal sıyrılmasının mekanizması [5]

2. Kızıl Tufal ve Sıcaklık İlişkisi

2.1 Kızıl Tufal ve Çeşitleri

Kızıl oksit tufali genellikle pas kırmızısı renkte olur fakat tufal renkleri kırmızıdan gri ve siyah renge kadar sıcaklığa bağlı olarak farklı formasyonlarda oluşabilir [6].

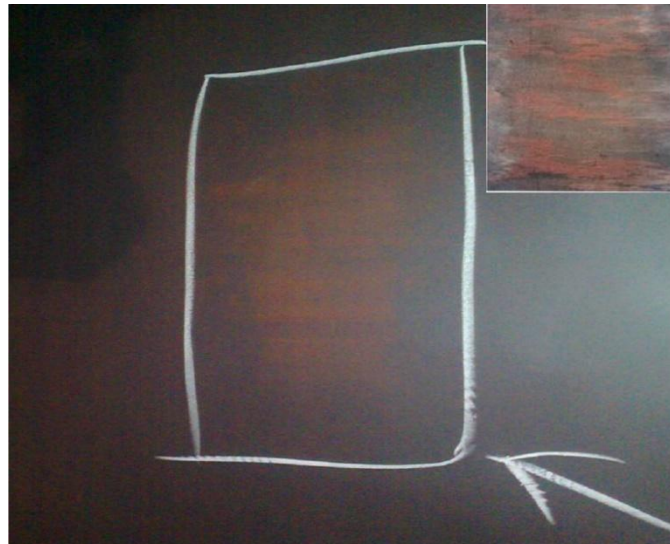
Yüksek sıcaklıklardaki işlemlerde kırmızı oksit tabakası hazırlama grubunda oluşmaya başlarsa nihai üründe tufal tabakası mor veya koyu tonlarında oluşacaktır. Kırmızı tufal tabakası finiş merdanelerinde oluşursa proses sonucunda kırmızımsı turuncu veya pas renginde tufal tabakası oluşur. Haddelenmiş ürünlerin kimyasal kompozisyonu da kırmızı tufal oluşumunu etkilemektedir. Silisyum'un varlığı da kırmızı tufal tabakası oluşumunu tetiklemektedir. Silisyumu takiben ise çoğunlukla Niyobyum elementi kırmızı tufal oluşumunu etkilemektedir. Tüm bu çalışmalara rağmen kızıl oksit oluşumunun temel sebebi kimyasal kompozisyon değildir.

Kırmızı tufal oluşumu temelinde tamamen kimyasal kompozisyona bağlı olmayıp bu tip tufal oluşumu fırından da kaynaklanabilmektedir. Belirli koşullar altında yapışkan tufal olarak adlandırılan yapılar da oluşabilmektedir. Tufal giderme işleminden sonra Wüstit ve Manyetit arasında kalan katman kırılmakta ve kırmızı tufal tabakası ortaya çıkmaktadır. Kızıl renkte meydana gelen tufal tabakasının oluşum şekline göre birçok çeşidi bulunmaktadır.

Gözyaşı Formunda Kızıl Tufal Tabakası: Sıcak haddelenmiş sacların finiş çıkışında görülmektedir. Gözyaşı formundaki tufalleşmeler şekil itibariyle simetrik olup, kenar ve yüzeydeki tufalleşme çok düzgündür. Bu kusur sac yüzeyindeki farklı bölgelerde görülebilmekte olup çoğunlukla üst yüzeylerde görülmektedir. Sac yüzeylerindeki gözyaşı formundaki kırmızı tufalleşmenin finiş tezgahları arasındaki damlama ve su sıçraması kaynaklı olduğu belirlenmiş olup, bu tufalleşmeyi engellemek için merdane yüzeylerinin kurutulması gereklidir. Ayrıca kırmızı tufalleşmenin etkileri finiş tezgahı girişinde ikincil bir tufal kaldırma işlemi ile azaltılabilir.

Birincil Leke Şeklinde Kızıl Tufal Tabakası: Bu tip tufal tabakası hazırlama grubunda meydana gelmektedir. Numunenin üst yüzeyinde genellikle geometrik köşeler, sivri düz çizgiler, kenarlar üzerine genel serbest biçimli veya lekeli görünümü içerir.

İkincil Leke Şeklinde Kızıl Tufal Tabakası: Bu tip tufal ikinci tufal sıyırma operasyonundan sonraki şekillendirme aşamasında meydana gelir. Tufalleşme muhtemelen soğuma esnasında ortaya çıkan FeO içerikli oksitlenmeden oluşur. Soğuma esnasında meydana gelen FeO tabakası kimyasal dönüşümleri durdurur ve serbest formlu veya leke şekilli yüzey kusurları ortaya çıkar [7].



Şekil 6. Sac yüzeyinde oluşan kızıl tufal [8]

Kızıl Oksit, yama şeklindeki parçalar halinde veya çubuk görünümünde olup, malzemenin bütün genişliği boyunca her iki yüzeyde de görülebilmektedir. Sıcak haddelenmeden sonra malzeme üzerinde daha kaba ve kızıl renkte taneleşmeler halinde oluşur. Haddelenme işleminden önce tavlama esnasında yüksek sıcaklıklara çıkılması sonucunda yüksek silisyum elementine sahip

slablarda silisyumun tane sınırlarına penetrasyonu neticesinde ortaya çıkar. Tufal kırma üniteleri ile kırılması mümkün değildir [8]. Sıklıkla sac haddehanelerinde görülen bu duruma ait örnek görsel Şekil 6'da verilmiştir.

Kızıl oksit formasyonu fırında oluşmaya başlar. Birinci aşama tufal kaldırma işleminden sonra kızıl tufal Wüstit (FeO) ve Manyetit (Fe₃O₄) arasındaki ara tabakada kalmaktadır. Haddelenme esnasındaki plastik deformasyon süreci ile de malzeme yüzeyinde bulunan pürüzlülükler içerisine penetre olmakta ve güçlü bağlanma nedeni ile birden fazla tufal kaldırma operasyonu yapılsa bile tufal kaldırılamamaktadır. Şekil 7'de noktasal gözlem sonucunda elde edilen tufal renkleri oluşum tablosu gösterilmektedir [9,10].

Renk veya Kusur Kodlaması

Tufal Tipi	Haddelenme Esnasındaki Sıcak	Sıcak Haddelenmiş Yüzey	Asitle Temizlenmiş Yüzey	Soğuk Haddelenmiş Yüzey	Temperlenmiş Hadde Yüzeyi
B-Siyah	F-Donuk	O-Turuncu	R-Kırmızı	Y-Sarı (Altın veya Saman Rengi)	
BL-Mavi	G-Gri	P-Oyuklar	RO-Kırmızımsı Turuncu		
BR-Kahverengi	H-Delikler	PU-Pembe	S-Gümüşü		
Birincil Kaba	B,R,O	B	B,B&F,F	B,B&F,F,H	B,B&F,F,H
Fırın	B,R,O	B	B,B&F,F	B,B&F,F	B,B&F,F
Refrakter	B,BR	BR,R,RO,PU	BR,R,RO,PU	B,BR	B,BR,R,RO
Birincil	B,R,O	B	B,B&F,F	B,B&F,F	B,B&F,F,H
İkincil	B,R	B,B&G	B,B&F,F	B,B&F,F	B,B&F,F
Kızıl Oksit	.....	R,PU,RO	F,G	.....	.....
Çizgi Tufal	B	B,B&G	B,B&F,F	B,B&F,F	B,B&F,F
Tıkalı Nozul	B	B,B&S	B,B&F,F	B,B&F,F	B,B&F,F
Sıçrama	B	.....	.....	.....	F,F&P
Tuz ve Biber (Noktasal)	.....	B	B	.....	.....
Isı Deseni	.....	B,B&G	B,G	.....	.....
Merdane Aşınması	.....	B,B&G	B,F	B	B
Çizikler	.....	B,S,G	B,G,S,B&G	B,B&G	B,F
Oluklar	.....	B,S	B,B&F,F	B,B&F	B,B&F,F
Çekme Olukları	.....	B,BL,Y	B,B&G,G	B	B
Bantlar	B	B,B&G,G	B,B&G,G	B,B&G,G,S	B,B&G,G,S
Kabuklar	B	B,P	B,B&P,P	B,P,H	B,H

Şekil 7. Tufal renkleri oluşumu [11]

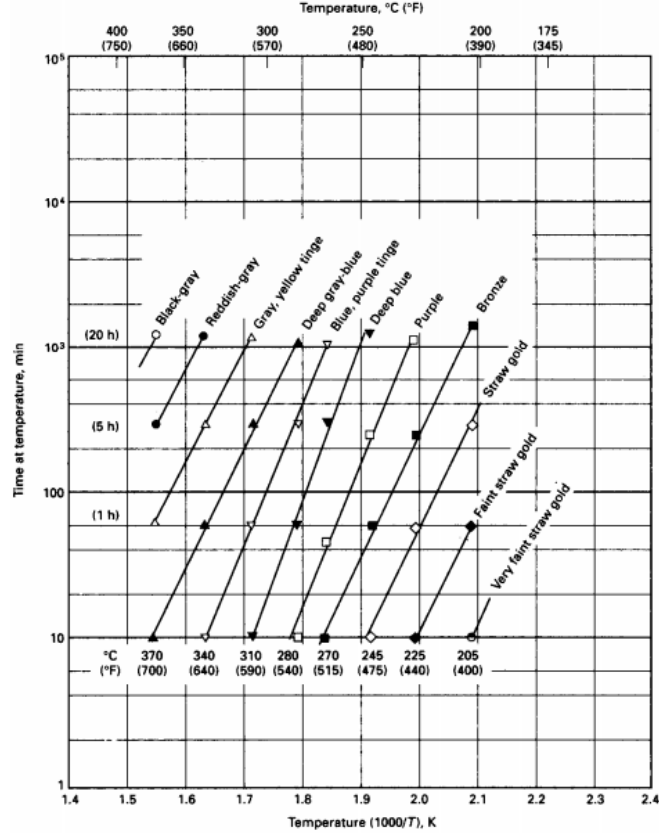
2.2 Sıcaklık Oksidasyon İlişkisi

Illinois Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen çalışmada sade karbonlu çeliğin sıcaklık ve zamana bağlı değişiminin temper renklerine olan etkisi incelenmiştir. SAE 1035 çeliğinden 16mm çapında sıcak haddelenmiş çubuklar, 50mm ölçülerinde kesilerek talaşlı imalat operasyonları gerçekleştirilmiş ve temizlenerek yüzeyleri parlatılmıştır. Sonrasında farklı süreler boyunca hava sirkülasyonlu fırında ve kontrollü olarak ısıtılmıştır. Numunelere ilişkin çalışma sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir [12].

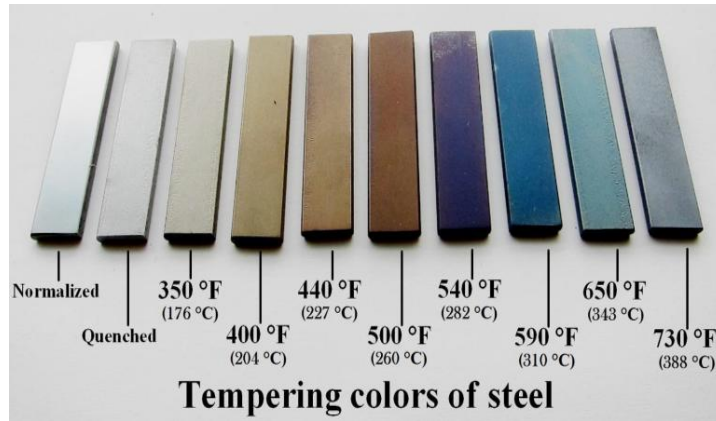
Ahşıl gelmiş uygulamalar ve uzun süren teorik çalışmalar neticesinde çeliklerin tavlanması esnasında atmosferik hava ile temasında ince oksit filmlerin oluşum cinsine göre çelik üzerinde farklı temper renklerinin oluştuğu belirlenmiştir. 1948 yılında ASM Metal El Kitabında ısıtma sıcaklığı ile temper renkleri arasındaki ilişki aşağıda verilen Şekil 9'da gösterilmiştir.

Literatürde; Silisyum alaşımli çeliklerin sıcak haddelenme proseslerinde yüksek sıcaklıklarda atmosferik havada bulunan Oksijen ile reaksiyona girerek keskin yapıda ve kızıl renkli oksit

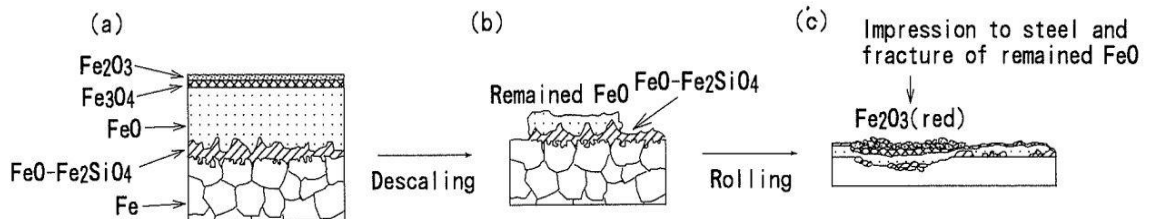
tabakası (Fe_2SiO_4) oluştuğu bildirilmiştir [14,15,16,17]. Şekil 10`da şematik olarak oluşum gösterilmiştir.



Şekil 8. 1035 Çeliğinin atmosferik basınç altında ısıtılması sonucu meydana gelen temper renkleri [12].



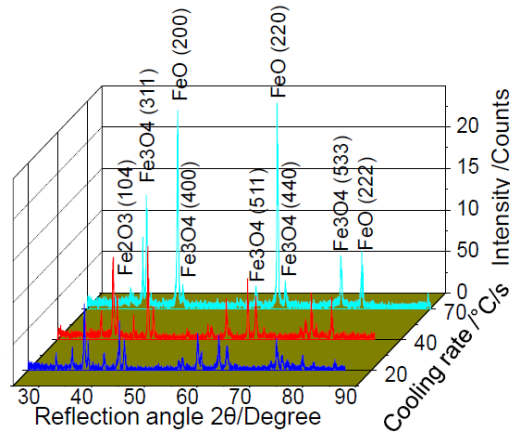
Şekil 9. Isıtma sıcaklığı ve temper renkleri ilişkisi [13]



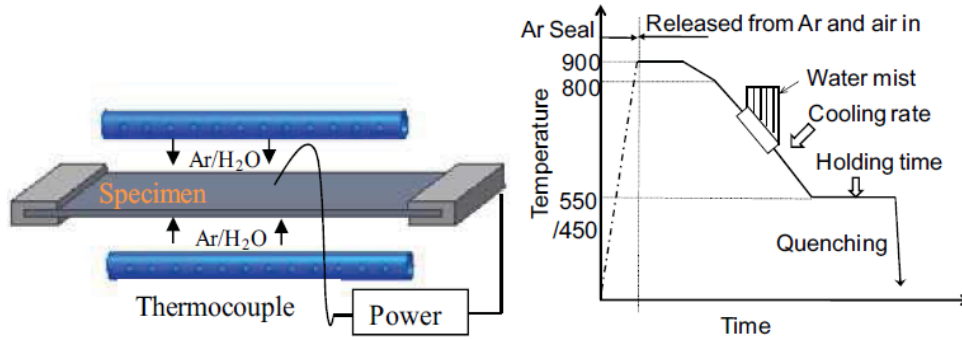
Şekil 10. Silisyum alaşımlı çeliklerin haddelenmesinde meydana gelen kızıl tufal tabakası [14]

Buna karşın yapılan diğer çalışmalarda ise kıvılcıklı oksit tabakasının yalnızca Silisyum katkısından kaynaklı oluşmadığını ispatlayan çalışmalar mevcuttur. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen şekillendirme proseslerinde atmosferik hava ile temas söz konusu olduğunda demir oksit yapısının da değişerek kıvılcıklı bir tabakanın meydana gelebileceği belirtilmiştir [18,19,20]. Bu tabakanın oluşumunda kütüğün sıcaklığının da büyük rol oynadığı kaydedilmiştir [21].

Kıvılcıklı oksit tabakası oluşumunda tav fırınında tavlanan hammaddenin sıcaklığının yanı sıra, düşük karbonlu çeliklerin sıcak haddelenmesinde soğuma hızının da oksit tabakasının yapısını etkileyen önemli bir faktör olduğu ve soğuma karakteristiğinin kontrol altında tutulması gerektiğinden bahsedilmektedir [22,23]. Şekil 11'de farklı soğuma hızlarına tabi tutulan düşük karbonlu mikro alaşımlanmış çeliğin XRD analizi verilmiştir. Şekil 12'de Gleeble 3500 cihazında kontrollü şartlarda yapılan deneyin düzeni ve sıcaklık zaman eğrisi verilmiştir.



Şekil 11. Farklı soğuma hızlarına göre XRD pattern' i [22]



Şekil 12. Gleeble 3500 ile oluşturulan tufal [23]

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Görsel İncelemeler

Kıvılcıklı Tufal Tabakası oluşan IPE ve NPU profiller incelenmiş olup, Şekil 13'de görüldüğü üzere IPE profillerde kıvılcıklı tufal oluşumunun daha yoğun gerçekleştiği belirlenmiştir.

NPU profillerde ise, IPE profiller ile kıyaslandığında kıvılcıklı tufal tabakası nispeten daha düşük oranda gerçekleşmekte ve genellikle göbek bölgelerinde oluştuğu görülmektedir. Oysaki IPE profillerde kıvılcıklı tufal tabakası tüm kesiti kaplamış şekilde oluşmaktadır. IPE profillerin haddelme prosesi

incelendiğinde merdanelerin soğutulması aşamasında kullanılan suyun profilin göbek bölgesinde biriktiği ve göbek bölgesindeki su ile haddelenmeye devam ettiği belirlenmiştir.



Şekil 13. Kızıl tufal oluşumunun gözlendiği I ve U profiller

Soğutma suyu gibi oksidasyon kaynaklarının sıcak metal ile teması; malzemenin oksidasyon eğilimini arttırıcı etki göstermektedir.

3.2. Spektral Analiz

Kızıl tufal tabakasının oluştuğu çelikten alınan numunenin spektral analizi Şekil 14`de verilmiştir. Çeliğin bileşimindeki mangan ve silisyum elementi miktarları belirlenmiştir. Silisyum miktarının düşük olmadığı görülmüştür. Kızıl tufal oluşumunun alaşım elementi veya demiroksit kaynaklı olmasından dolayı; çelik üzerindeki kızıl oksit tabakası kazınarak XRD analizi yapılmıştır.

KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ		Tarih	-																
GİRİŞ KALİTE KONTROL FORMU		Vardiya	-																
SIRA	FİRMA	EBAT	BOY	KALİTE	DÖKÜM	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %	V %	Pb %	Sn %	B %
1	KCR	120 IPEAA	-	ST 37-2	-	0.170	0.200	0.610	0.019	0.024	0.173	0.018	0.093	0.003	0.250	0.002	0.003	0.016	0.000
Notlar																			

Şekil 14. Spektral inceleme

3.3. XRD Analizi

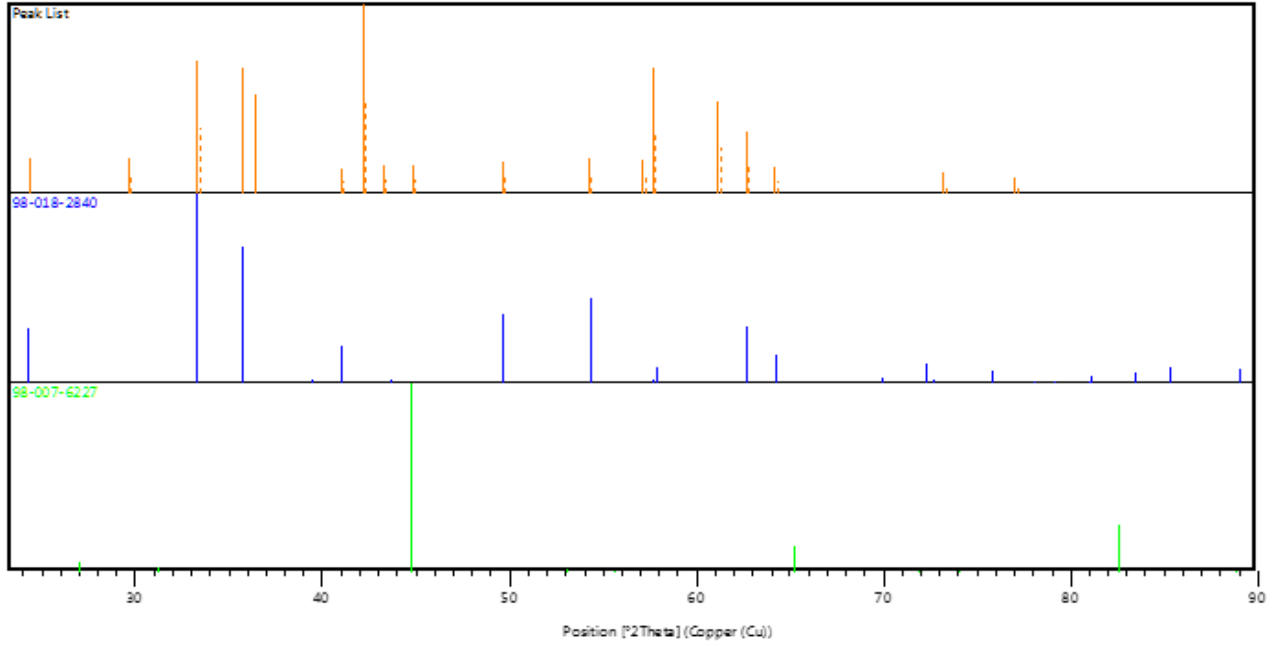
IPE profilin yüzeyinden toplanan kızıl tufal tabakasının XRD Analizi Manisa Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 15`de verilen analiz sonucuna göre tufal yapısında %60 oranında Hematit (Fe_2O_3) ve %29 oranında Mangan Silisit (Mn_3Si) içermektedir. Analiz sonucunda Fe_2SiO_4 yapıya rastlanılmadığından proste meydana gelen kızıl tufalin literatürde belirtilen Silisyum alaşımı ile bağlantısının bulunmadığı tespit edilmiştir. Hematit yapının soğuma etkisiyle kızıl tufalleşmeye yol açtığı belirlenmiştir.

3.4. Mikroyapı İncelemesi

Malzeme olarak düşük karbonlu alaşımlı çelik olan St 37-2 kullanılmıştır. Bu tip çeliklerde ısı ile işleme martenzit yapısı elde edilemediğinden, haddelenmeyle ufak ve homojen dağılmış taneler

oluşturulması istenmektedir. Şekil 16`da verilen St 37-2`nin mikroyapısında ferrit ve perlit fazları görülmektedir. Malzeme mikroyapısında haddelme yönünde bantlaşma gözlenmemiştir. Kızılılık sorununu oluşturan tufal tabakası yüzeyde belirgin şekilde görülmektedir. Bu tufal tabakası malzemenin tane yapısı ve şeklini olumsuz anlamda etkilememiştir.

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-018-2840	60	Hematite	0.000	0.619	Fe ₂ O ₃
*	98-007-6227	29	Manganese Silicide (3/1)	0.000	0.126	Mn ₃ Si



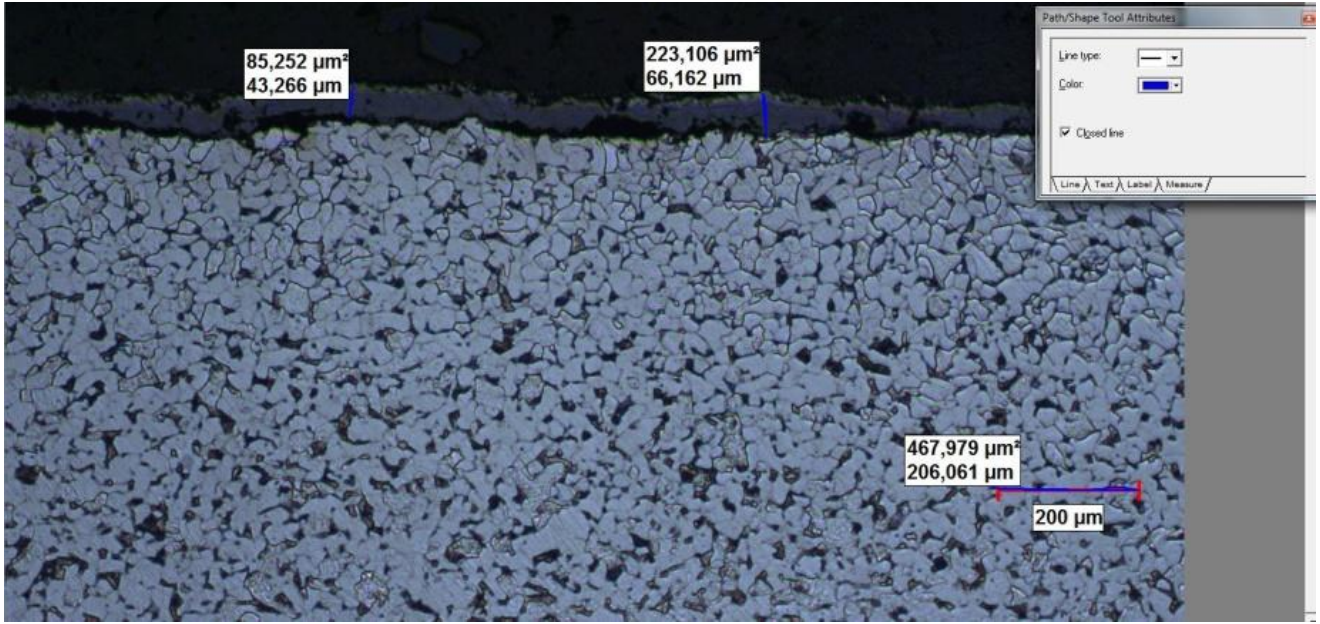
Şekil 15. XRD analizi

Kütüklerin 1250°C'ye tavlansıyla kütük yüzeyinde 2-6 mm kalınlığında «birincil tufal tabakası» oluşur [24-27]. Kütüğün tav fırınından çıkarılmasından sonra kütük tufal sıyırma sistemine aktarılır ve «birincil tufal tabakası» kaldırılır. Tufali sıyırılmış iş parçası hazırlama grubuna iletilerek redüksiyona uğratılır. Bu aşamada sıcak iş parçası atmosferik hava, su buharı ve merdane soğutma suyuna maruz kalır ve yüzeyde «ikincil tufal tabakası» oluşur. Finiş grubundaki benzer soğutma ortamı nedeniyle, finiş tezgahlarının girişindeki tufal sıyırma sonrası sıcak yüzey üzerinde «üçüncül tufal tabakası» gelişir. Sıcak hadde tezgahlarında belirtilen soğutucu atmosfer, kuru havadaki durumdan daha agresif bir ortama neden olur. Bu ise sıcak haddelme tekniğinde kontrollü atmosfer şartlarında sıcak çeliğin oksidasyon davranışını simüle etmeyi zorlaştırır [4]. Sıcak haddelmedeki ikincil ve üçüncül tufal tabakasının kalınlığının yaklaşık 10-20 mikron olması önerilse de [14,25], bu değerlerin doğrulanması gerekmektedir.

Oksidasyondan meydana gelen tufalin deformasyonu sıcak haddelme tekniğinde önemli bir konudur. Tufal formasyonu kalınlığa, tabakanın bileşimine, haddelme hızı, redüksiyon oranı ve en önemlisi haddelme prosesinin hangi sıcaklıkta gerçekleştirildiğine göre değişim göstermektedir [25,26,28,29]. Tufal tabakasının mekanik özellikleri ise tamamıyla sıcaklığa bağlıdır.

Malzeme yüzeylerindeki tufal tabakası haddelme öncesinde 20 mikron veya daha kalın ve haddelme sıcaklığı 900 derece veya daha düşük olduğunda malzeme yüzeyleri haddelendikten

sonra kırmızı renge dönüşür. Bunun nedeni, ağırlıklı olarak FeO içeren tufalin haddeleme sırasında toz haline gelerek soğumanın etkisiyle Fe₂O₃'e dönüşmesidir [30].



Şekil 16. Mikroyapı incelemesi

Yapılan literatür incelemeleri ile gerçekleştirilen testler neticesinde kızıl tufal tabakası oluşumu ile ilgili olarak aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Silisyum alaşımlı sıcak haddelenmiş çelik levhalar üzerinde haddeleme yönü boyunca kırmızı ve siyah renklerde şerit halinde tufalleşme kusurları oluşabilmektedir.
2. Oluşan kızıl tufal tabakası siyah tufal tabakasından daha kalındır.
3. Kızıl tufal yapısı çelik alaşımı içerisinde Silisyum elementi bulunmasa dahi FeO tufal yapısında kolayca oluşabilmektedir. Çeliğin yapısına kısmen karışmış olan FeO tufali haddeleme esnasında kırıldığından, FeO → Fe₃O₄ → Fe₂O₃ dönüşümü oksijenin aşırı takviyesi ile büyük oranda hızlanır. Sonuç olarak ince taneli Fe₂O₃ yapısı kalınlaşarak kırmızı renge dönüşür.
4. Silisyum alaşımlı çeliklerdeki kızıl tufalleşme olayı 3.maddedeki mekanizma ile oluşmuş olsa da, sıcak haddelemeden önceki birincil tufalin sıyrılması işlemi, üst katmandaki FeO ve çelik arasında bulunan FeO/Fe₂SiO₄ bileşimli düzensiz şekilli tabakanın varlığından dolayı zorlaşmaktadır [14].

Profillerde karşılaşılan kızıl tufal tabakası oluşumunda birden fazla parametrenin etkin olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda yapılacak olan denemelerde; Tavlama Sıcaklığı/Atmosferi/Süresi, Tezgâh Giriş/Çıkış Sıcaklıkları, Hammadde Soğuma Karakteristiğine Uygun Soğutma ve Profilin Göbek Bölgesinde Biriken Suyun Tufal Oluşumuna Etkisi gibi sayılabilecek faktörlerin deney tasarımı yapılmasıyla; bu parametreler ile kızıl tufal oluşumu arasındaki ilişki tespit edilebilir.

Teşekkürler

Projedeki deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için laboratuvar imkânlarını kullanımımıza açan Kocaer Haddecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca projeye verdikleri kıymetli destekler için tüm Kocaer Ar-Ge Merkezi personeline de şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- [1]. www.kocaersteel.com acces on 14.10.2019
- [2]. Yu, X., Jiang, Z., Zhao, J., Wei, D., Zhou, C., Huang, Q., Effect of a grain-refined microalloyed steel substrate on the formation mechanism of a tight oxide scale, Corrosion Science, 2014, 85, 115-125.
- [3]. Rudge, D., Hatch-Descriptions of Hot Strip Mill, Oakville, Ontario, Canada, 2005, 1-284. 2005.
- [4]. Sun, W., A Study on the Characteristics of Oxide Scale in Hot Rolling of Steel, University of Wollongong, Doctor of Philosophy, 2005.
- [5]. Tiley, J.B., Munther, P.A., Descaling Of Hot Rolled Strip, Hatch, Canada, 2005.
- [6]. Blazevic, D.T., Rolled in Scale: The Continual Problem, Part IV – Red Oxide Scale, Hot Rolling Consultants Ltd., Olympia Fields, III., July 1985.
- [7]. NIIR Board of Consultants & Engineer, Steel Rolling Technology Handbook, Asia Pacific Business Press Inc., 2006, 105-109.
- [8]. Körmükçü, B.E, Bir Sıcak Sac Haddeleme Tesisinin Devreye Alınması ve İşletme Parametrelerinin Tespiti, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [9]. Blazevic, D.T., Rolled in Scale: The Continual Problem, Part II – Rolled in Scale Descriptions, Causes and Cures, Hot Rolling Consultants, Ltd., Homewood, III., Feb. 1983.
- [10]. Blazevic, D.T., Rolled in Scale: The Consistent Problem, 4th International Steel rolling conference, June 1987, Vol. 1, A38.1-13.
- [11]. Ginzburg, B.V., Ballas, R., Flat Rolling Fundamentals, CRC Press, 2000.
- [12]. Campos, L., Canale, F., Totten, G., Mesquita, R.A., Failure Analysis of Heat Treated Steel Components, ASM International, 2008, 540.
- [13]. The American Society for Metals, Metals Handbook 1948 Edition, ASM Press, 1956.
- [14]. Fukagawa, T., Okada, H., Maehara, Y., ISIJ International, 1994, 34, 906.
- [15]. Carter, P.T., Murad and Hay R., J. West Scot. Inst., 1952, 60, 126.
- [16]. Tomlinson, W.J., Menzies, I.A., Oxide Metals, 1978, 12, 871.
- [17]. Takeda, M., Onishi, T., Nakakubo, S., Fujimoto, S., Physical Properties of Iron Oxide Scales on Si-Containing Steels at High Temperature, Material Transactions, 2009, 50, 9, 2242-2246.
- [18]. Menzies, I.A., Lubkiewicz, J., Oxide Metals, 1971, 5, 41.
- [19]. Wulf, G. I., Carter, J., Wallwork, G. P., Corrosion Science, 1969, 9, 689.
- [20]. Kofstad, P., High Temperature Oxidation of Metals, John Wiley & Son Press, New York, 1966, 51.
- [21]. Melfo, W., Bolt, H., Rijnders, M., Staalman, D., Castro, B.C., Crowther, D., Jana, B., Experimental Study on Primary Scale Formation and Descalability on Steels Containing Ni and Ni+Si, ISIJ International, 2013, 53, 5, 866-873.
- [22]. Yu, X., Jiang, Z., Zhao, J., Wei, D., Zhou, C., Effect of Cooling Rate on Oxidation Behaviour of Microalloyed Steel, University of Wollongong, 2013, 395-398, 273-278.
- [23]. Yu, X., Jiang, Z., Yang, D., Wei, D., Yang, Q., Precipitation Behavior of Magnetite in Oxide Scale During Cooling of Microalloyed Low Carbon Steel, Advanced Materials Research, 2012, 572, 249-254.
- [24]. Ginzburg, V.B., Steel Rolling Technology, Marcel Dekker, New York, 1989.
- [25]. Yu, Y., Lenard, G., Journal of Materials Processing Technology, 2002, 121, 60-68.
- [26]. Jarl, M., in:Proceeding of the First International Conference on Modelling of Rolling Processes, London, UK, 1993, 614-628.
- [27]. Tiley, W.J., Zhang, Y., Lenard, G., Steel Res., 1999, 70, 437-440.
- [28]. Beynon, J.H., Li, Y.H., Krzyzanowski, M., Sellars, C.M., Metal Forming, 2000, 3-10.
- [29]. Lenard, L.G., Pietrzyk, M., Cser, L., Mathematical and Physical Simulation of the Properties of Hot Rolled Product, Elsevier, 1999, 73-75.
- [30]. Okada, H., Deformation Behavior of Oxide Scale in Hot Strip Rolling, Nippom Steel & Sumitomo Metal Technical Report, 2016, 111, 73-78.