



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Set Üstü Ocak Uygulamaları İçin Emaye İşlemine Uygun Sıcak Haddelenmiş Bir Çelik Kalitesinin Geliştirilmesi

Oktay ELKOCA^{a,*}, Dilara ÇİMEN^b

^a ArcelorMittal Global R&D Center, East Chicago, IN, USA

^b Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Erdemir, Ereğli, Zonguldak, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oelkoca@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, set üstü ocak parçaları için emaye işlemine uygun, soğuk haddelenmenin ardından yeniden kristalleşme tavı uygulamaksızın yalnızca düşük soğuk hadde ezme oranları ile üretilebilen 2 mm ve daha kalın sıcak haddelenmiş bir çelik kalitesinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deney sonuçlarına göre, yüksek sarılma sıcaklıklarında sarılmış DC01 kalite sıcak haddelenmiş bir çelik sac %20 oranında soğuk haddelendiğinde ihtiyaç duyulan uygulama için uygun hale gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Emaye, Balık pulu, Sıcak haddelenmiş çelik sac

Development of a Hot Rolled Steel Grade Suitable for Enamelling Process for Gas Stove Applications

ABSTRACT

In this work, it was aimed to develop a 2 mm and thicker hot rolled steel grade for gas stove parts suitable for enamelling, and produced only with light cold rolling reductions without a recrystallization annealing process following cold rolling. According to the experimental results, when a hot rolled DC01 grade steel sheet coiled at high coiling temperatures is cold rolled with 20% reduction it could become suitable for the required application.

Keywords: Enamel, Fish Scale, Hot Rolled Steel Sheet

I. GİRİŞ

EMAYE kaplanmış ürünler; yapı, beyaz eşya, kimya endüstrisi, tıp ve görsel süslemeleri de içeren çok geniş bir alanda kendine uygulama alanı bulmuştur. Emayenin bu kadar yaygın kullanıma sahip olması, üzerinde bakteri barındırmaması, nemden etkilenmemesi, kimyasal maddelere ve ısıya dayanımı, kolay temizlenebilirliği gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu üstün özelliklerinden dolayı kullanım alanı her geçen gün artan emaye kaplı çeliklerin endüstriyel beklentileri de karşılaması zorunludur [1]. Bu kapsamdaki taleplerden birisi, set üstü ocakların Şekil 1’de gösterilen “bek” ve “taşıyıcı ayak”larında kullanmak için 2 mm ve daha kalın, emaye kaplamaya uygun bir çeliktir.



Şekil 1. Set üstü ocak parçaları

Emaye işlemi çok sayıda proses girdisine sahiptir. Bu nedenle işlemin sürekliliğini sağlamak oldukça güçtür. İşlemin en zor taraflarından birisi emayenin çeliğe yapışma ya da bunu izleyen soğuma sürecinde ortaya çıkabilen emaye kusurlarının engellenmesidir. “Balık pulu” kusuru (Şekil 2) soğuma sürecinde ya da üretim işleminden aylar sonra ortaya çıkabilen en önemli kusurlardan birisidir. Bu kusur çelik içyapısının emaye kaplamaya uygunluğuyla ilişkili olup, kusurun oluşumu emaye pişirme sürecindeki reaksiyonlarla başlamaktadır.



Şekil 2. Emaye kaplanmış sac üzerindeki “balık pulu” kusurları

Emaye kaplanmış çelik sac, pişirme sürecinde bir dizi reaksiyona uğrar. Reaksiyonlar emayenin ergiyik hale geçmesinden, katılaşmaya kadar geçen süreçte ortaya çıkmaktadır. Emaye-çelik arasındaki etkileşim, emayenin yumuşayarak gözenekli bir yapı kazanması ile başlar. Bu sırada fırın atmosferindeki nem (H₂O) ve oksijen emaye içerisinden geçerek tabanda bulunan çelik içerisindeki

demiri oksitler. Sıcaklığın etkisiyle parçalanmış H₂O içerisindeki H, atomik olarak çelik içerisine geçer ve soğuma sırasında yeniden birleşerek H₂ molekülünü oluşturur. Fırın içerisindeki sıcaklık arttıkça, hidrojenin çelik içerisindeki çözünürlüğü de artmaktadır. Sıcaklık 830-850°C civarına geldiğinde emaye içerisindeki elementlerle çelik arasındaki reaksiyonlar en yüksek düzeye ulaşır [2]. Bu aşamada çelik içerisinde çözülmüş olan hidrojen en üst düzeydedir. Ancak son aşama olan soğumaya gelindiğinde, sıcaklığın düşmesiyle birlikte çelik içindeki hidrojen çözünürlüğü de düşmeye başlar ve çelik hidrojen açısından aşırı doygun hale gelir. Bu aşamada moleküler hale geçen hidrojen emaye-çelik ara-yüzeyinde bölgesel olarak yüksek basınç alanları oluşturmaktadır. Sonunda arayüzeyde biriken hidrojen emaye yüzeyinden ayrıldığında geride balık pulunu andıran kusurun ortaya çıkmasına neden olur [3].

Bu kusuru önlemek için, emaye işlemi sırasında ortaya çıkan hidrojene çelik içerisinde mikro boşluk şeklinde depolama alanları yaratılmalıdır. Soğuk haddelenmiş emaye çeliklerinde yüksek orandaki ezme ile bu amaca ulaşılırken, gevrekleşen malzeme yeniden kristalleşme tavlama ile tekrar sünek hale getirilmektedir [4].

Soğuk ezme uygulanmadan kullanıma sunulan sıcak haddelenmiş çelik sacların emaye işlemi, içyapıda oluşturulacak çökeltilerle mümkün olabilmektedir. Ti, B gibi elementlerle yapılan metalürjik tasarım sonrasında çelik içyapısında TiN, TiC ve BC gibi bileşiklerin çökmesi sağlanmaktadır. Sıcak haddelenmiş çelik içerisindeki bu çökelti emaye işlemi sırasında ortaya çıkan hidrojenin hapsedileceği bölgeler olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

Bu çalışmada, sonraki şekillendirme işlemleri için fazla gevrekleşmesine izin verilmeyecek ölçüde düşük soğuk ezme oranlarıyla sıcak haddelenmiş bir çeliğin karbür yapısının kırılması ve bu şekilde emaye işlemi için arzu edilen hidrojen depolama alanlarının yaratılması amaçlanmıştır [6]. Çalışmada çökelti yapacak herhangi bir ilave alaşım elementi öngörülmemiştir. Sıcak haddeleme işlemi sonrasında çelik sacın yüksek sarılma sıcaklıklarında rulo şeklinde sarılması ve bu sıcaklıktan itibaren oda sıcaklığına soğumasıyla içyapıdaki ferrit tane sınırlarında kaba karbürlerin oluşması sağlanmıştır.

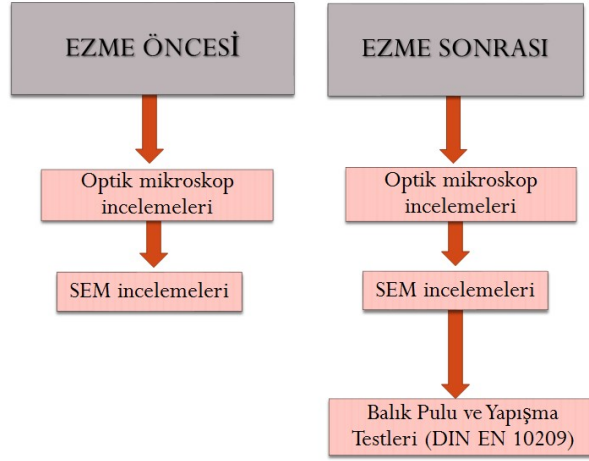
Sıcak haddeleme işlemi sırasında çelik sac yüzeyinde oluşan tufal tabakası asitleme işlemi ile uzaklaştırılmıştır. Asitlenmiş çelik saca uygulanan belirli oranlardaki soğuk haddeleme işlemleri ile içyapı içerisindeki karbürlerin kırılma mekanizması incelenmiş ve uygulanan balık pulu testi ile içyapı içerisinde hidrojen için yeterli depolama alanlarının yaratılıp yaratılmadığı araştırılmıştır.

II. DENEYSEL

Bu çalışmada, Tablo 1'deki kimyasal bileşime sahip DC01 kalite düşük karbonlu ve sıcak haddeleme sonrasında 740°C gibi yüksek bir sıcaklıkta rulo şeklinde sarılmış bir çelik sacdan alınan numuneler kullanılmıştır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 3'teki gibidir. Alınan 4 adet 2,5x150x1500 mm ebatlarındaki çelik sac numunesi Şekil 4'te görülen soğuk hadde tezgahında %10 ila %40 arasında ezme tabii tutulmuştur.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Mn	Si	Al	P	S
0.02-0.05	0.15-0.25	En çok 0.03	0.020-0.050	En çok 0.015	En çok 0.013



Şekil 3. Numunelere uygulanan işlem adımları

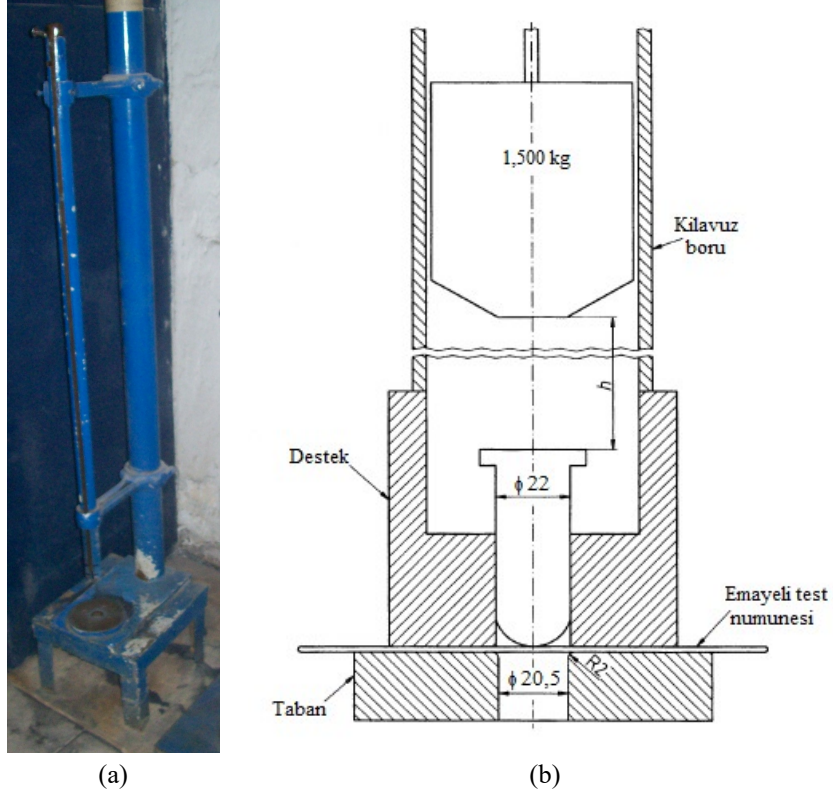


Şekil 4. Ezme işlemlerinin uygulandığı soğuk hadde tezgahı

Uygulanan her bir ezme işleminin ardından alınan numunelerin haddelemeye paralel doğrultudaki kesitleri, metallografik yöntemle parlatılıp ve %4'lük picral çözeltisi ile dağlandıktan sonra Nikon Epiphot 200 ışık mikroskopunda gözlenmiştir. Ezme işleminden geçmiş numunelerin karbür yapılarındaki mikroçatlakları gözlemek için Jeol JSM 5600 taramalı elektron mikroskopundan (SEM) faydalanılmıştır. Bu amaçla yeniden parlatılan kesit numuneleri bu kez %2'lik nital çözeltisi ile dağlanmıştır.

Balık pulu testi için soğuk haddelenmiş numuneler orta sertlikteki toz emaye ile 830°C'de 4 dak pişirilmiştir. Bu işlemin ardından emaye yüzeylerinde ortaya çıkabilecek balık pulu oluşumları gözle ve düşük büyütme stereo mikroskop ile incelenmiştir. Balık pulu gözlenen numunelerin karakterizasyonu SEM'de yapılmıştır. Kaplamanın soğuk haddelenen çeliğe yapışma kabiliyetini ölçmek için emaye işleminden geçen numuneler daha sonra yapışma testine tabi tutulmuştur. Yapışma testleri DIN EN 10209 standardı D ekine göre gerçekleştirilmiştir [7]. Yapışma testi için Şekil 5'teki

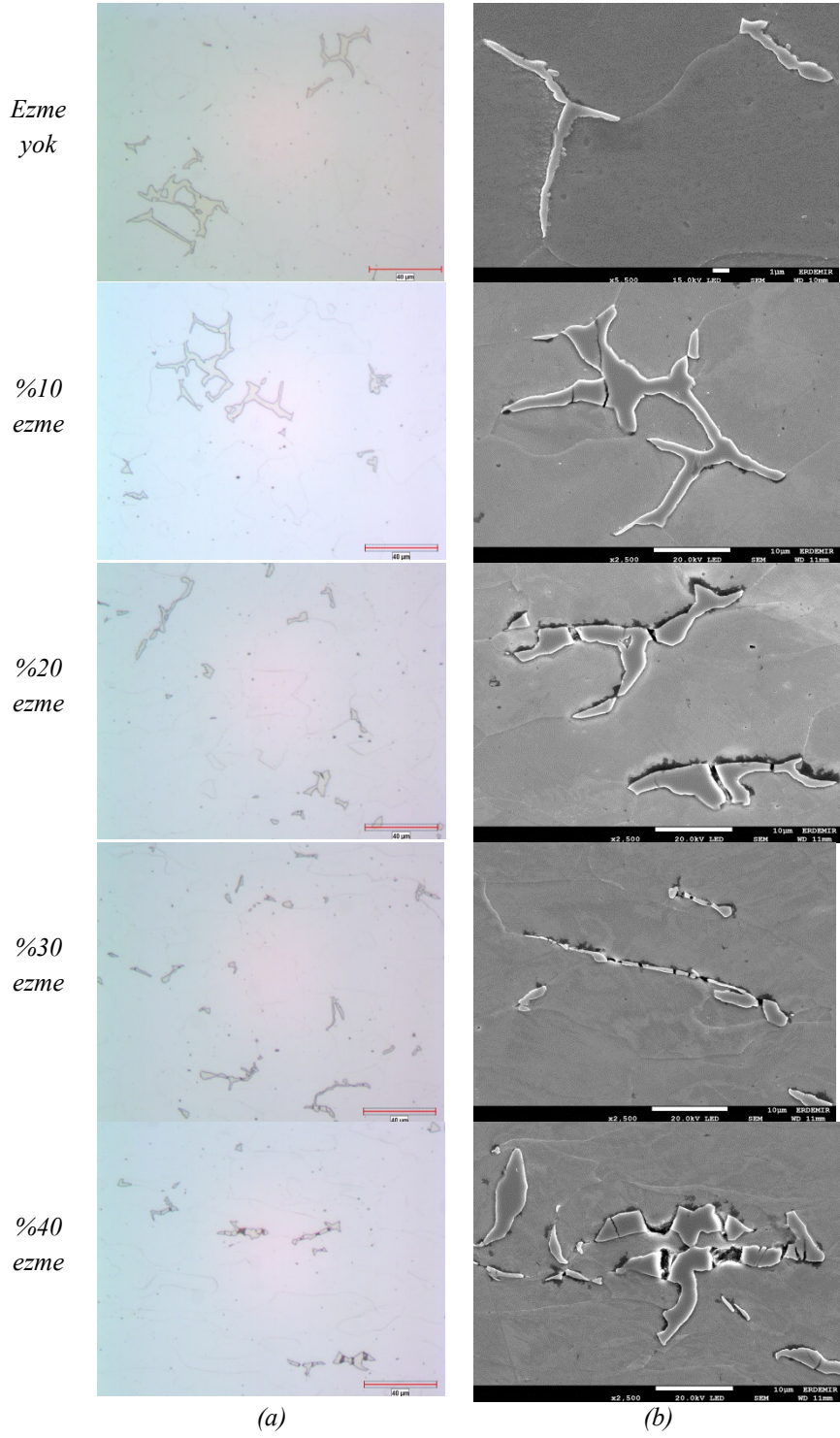
cihaz kullanılmıştır. 750mm yükseklikten düşürülen 1,5 kg ağırlığındaki bir kütle ile emaye kaplanmış çelik sac deforme edilmiştir. Deforme edilmiş yüzeyde kalan emaye miktarına bağlı olarak darbe yüzeyi 1(çok iyi) – 5 (çok kötü) arasında değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Darbe testi cihazı (a) ve cihazın şematik görünümü (b)

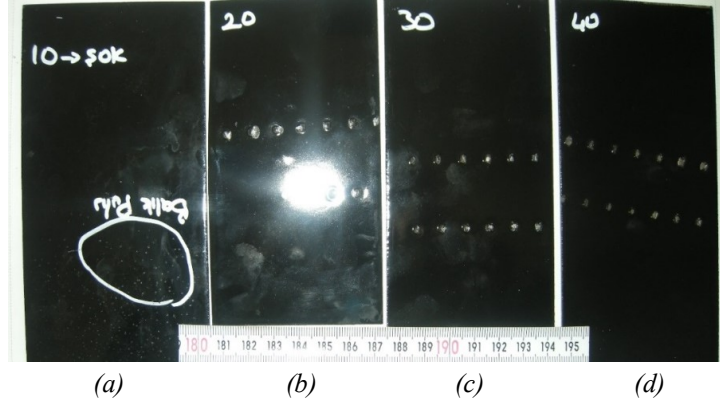
III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Ezme işleminden geçmiş malzemelerin karbür yapıları Şekil 6'daki gibidir. 2500 büyütmedeki SEM incelemelerinde %10 ezme oranından itibaren içyapıdaki karbürlerde çatlaklar oluşmaya başladığı görülmüştür.

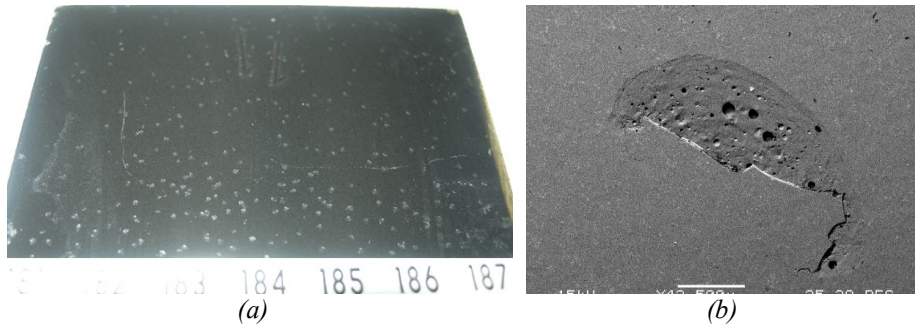


Şekil 6. Numunelerin (a): %4'lük picral çözeltisi ile dağlanmış ışık mikroskobu görüntüleri (500X), (b): %2'lik nital ile dağlanmış SEM görüntüleri (2500X)

Emaye kaplanmış numunelere ait yüzey görüntüleri Şekil 7'deki gibidir. Üzerinde bölgesel balık pulu oluşumları gözlenen %10 oranında soğuk ezilmiş numunenin SEM'deki görünümü tipik “balık pulu” kusurudur (Şekil 8). Buradan %10 ezme ile karbürlerde oluşturulan çatlakların emaye işleminde ortaya çıkan hidrojeni depolamaya yetecek ölçüde mikro boşluk yaratamadığı sonucuna varılmıştır.

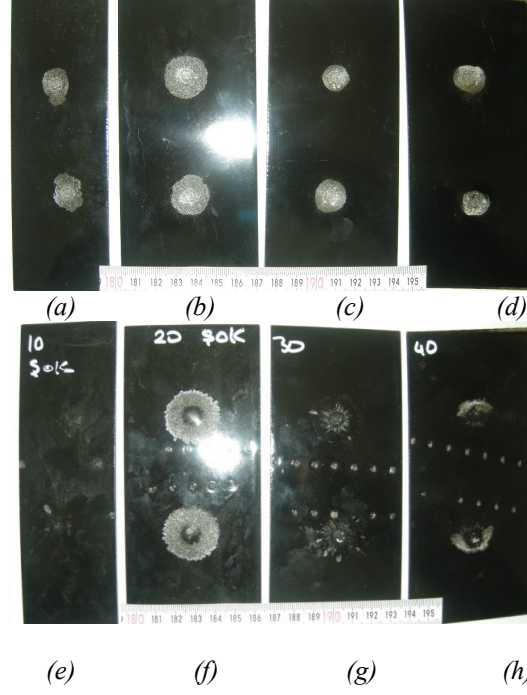


Şekil 7. Emaye işlemleri sonrası yüzeyler; %10 (a), %20 (b), %30 (c) ve %40 (d) ezme uygulanan numuneler



Şekil 8. Balık pulu gözlenen %10 ezme uygulanmış numune (a) ve yüzeyde ortaya çıkan balık pulu oluşumlarından birisinin SEM'de görünümü (b)

DIN EN 10209 standardına göre gerçekleştirilen yapışma testi sonrasında deforme edilen numunelerin görünüşleri Şekil 9'daki gibidir. Emaye-çelik arayüzey girişiminin incelendiği yapışma testinde ise en iyi yapışma performansının %20 ezme uygulanan numunede olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). İyi bir yapışma emaye-çelik arayüzeyindeki çapa noktalarıyla ilişkili olup, büyük ölçüde mekanik bağlanma mekanizmasıyla kontrol edilmektedir [8]. Bu çalışmada, başlangıçtaki asitlenmiş yüzey ve %10 ezme uygulanan numunelerin yüzeyinde yeterli bir pürüzlülük oluşturulmadığı, artan ezme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün düştüğü ve bunun da mekanik bağlanmayı azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 9. Yapışma testi sonrasında; %10 (a, e), %20 (b, f), %30 (c, g) ve %40 (d, h) ezme uygulanan numunelerin (a-d üst yüzeyleri, e-h alt yüzeyleri)

Tablo 2. Yapışma testi sonucu

	Ezme oranı (%)				
	0	10	20	30	40
Yapışma	2	2	1	2	2

IV. SONUÇ

Elde edilen bulgulara göre, artan soğuk ezme miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıkta sarılan malzemenin ferrit tane sınırlarında çökelmiş olan karbürlerin kırılma eğilimleri artmakta ve bu şekilde içlerinde hidrojen depolama alanları oluşturacak mikroboşluklar oluşmaktadır. Bu şekilde %20 üzerinde soğuk ezme uygulanan numunelerde başarılı bir emaye işlemi için istenilen balık pulu testi geçilmektedir. Ancak artan ezme miktarına bağlı olarak düşen yüzey pürüzlülüğünden dolayı yapışma performansı azalmaktadır. Test sonuçlarına göre en iyi yapışma %20 oranındaki ezmenin yarattığı yüzeyde oluşmaktadır. Sonuc olarak, doğrudan %20 oranındaki soğuk haddeme işlemi ile sıcak haddelenmiş DC01 kalite çelik sac set üstü ocak parçası üretimine uygun hale gelmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Mittal *Steel for Enamelling and Enamelled Steel* (user manual), (2014)
- [2] X. Yang, A. Jha, R. Brydson, R.C. Cochrane *Thin Solid Films* **443 (1-2)** (2003) 33.
- [3] B. Ahn, *Hydrogen in Enamelling Steel*, Degree of Master Engineering, McGill University, Canada, (2000).
- [4] V. Rajkovic, D. Bozic, M. T. Jovanovic, *Metalurgija-Journal of Metallurgy* **14(3)** (2008) 209.
- [5] E. Denes, J. Gergely, O. Szabados, É. Dénes, J. Gergely, O. Szabados, B. Ver, *Comparative Study of The Properties of Low Carbon Aluminium-Killed and Boron-Microalloyed Steels for Enamelling*, **XXI International Enamellers Congress**, Shanghai-China, (2008), 274.
- [6] R. Eniko, A. K. Fabian *Materials Science Forum* **812** (2015) 294.
- [7] DIN EN 10209 *Cold Rolled Low Carbon Steel Flat Products for Vitreous Enamelling* (1996).
- [8] F. S. Shieu, K. C. Lin, J. C. Wong *Ceramics International*, **25(1)** (1999) 27.