
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 08.09.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 12.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.337199	

SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saçların direnç nokta kaynaklı bağlantılarında hasar tipinin çekme-sıyırma dayanımı üzerindeki etkisi

Nuri Akkaş*¹

ÖZ

Bu çalışmada SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saçların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde oluşan hasar tiplerinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi incelenmiştir. Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler raylı sistem araçlarının gövdesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Numuneler 120 kVA gücünde elektrik direnç nokta kaynak makinesinde elde edilmiştir. Deneylerde kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma süreleri sabit bırakılmıştır. Hazırlanan kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için numuneler çekme-sıyırma testlerine tabi tutulmuştur. Bağlantıların hasar tipleri ile çekme-sıyırma dayanımı arasındaki ilişki araştırılmış ve sonuç olarak kaynak akım şiddeti ve süresinin en uygun değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: elektrik direnç nokta kaynağı, SPA-H çeliği, hasar tipi, çekme-sıyırma dayanımı

Failure mode effect on tensile-peel strength of resistance spot welds of SPA-H weathering steel sheets

ABSTRACT

In this study, influence of failure mode on tensile-peel strength of resistance spot welds of SPA-H weathering steel sheets was investigated. The weathering steels are widely used in the body of rolling stock. The samples were obtained in a 120 kVA capacity electrical resistance spot welding machine. The sheets were welded by RSW by fixing holding time, clamping time and electrode force as well as changing welding current and welding time. The prepared welding specimens were exposed to tensile-peel tests in order to determine the joint strengths. The relation between failure mode and tensile-peel strengths of obtained spot welded joints was researched, so the optimum welding currents and times were advised.

Keywords: resistance spot welding, SPA-H steel, failure mode, tensile-peel strength

* Corresponding Author

¹ Sakarya University, nuriakkas@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz endüstrisinde yaygın kullanılan kaynak yöntemlerinden biri olan elektrik direnç nokta kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak usulüdür. Isı, kaynak edilecek kısımlarda meydana gelir ve basınç kaynak makinasındaki elektrotlar vasıtasıyla uygulanır. [1,2].

Elektrik direnç nokta kaynağının avantajları arasında dolgu metali gerektirmemesi, yüksek üretim hızı, otomasyona uygunluğu, ark kaynağına nazaran operatör hatalarının daha az olması ve tekrar edilebilirliğinin iyi olması sayılabilir. Dezavantajları ise ekipman maliyetinin ark kaynağına nazaran yüksek olması ve bağlantı tipinin bindirme ile sınırlı olmasıdır [3].

Elektrik direnç nokta kaynağı yaygın olarak düşük karbonlu çeliklerin birleştirilmesinde kullanılır [4]. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel, alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları da bu yöntemle kaynak edilebilir [5].

Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler, karbon miktarı % 0,2'den az olan ve bakır, krom, nikel, fosfor, silisyum ve mangan gibi alaşım elementlerinin toplam miktarı % 3-5'den fazla olmayan çeliklerdir [6,7]. Atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclarda korozyon dayanımı, çeliğin bileşimine yaklaşık olarak %0,35 oranında bakır ilave edilmesiyle elde edilir [8].

SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelikler demiryolu araçlarında, çelik kulelerde ve diğer yapılarda kullanılmaktadır.

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi elektrik direnç nokta kaynağında da giriş parametreleri bağlantının kalitesini direkt olarak etkilemektedir. Kabul edilebilir dayanıma sahip bir bağlantı elde edebilmek için kaynak akım şiddeti, kaynak süresi ve elektrot kuvvetinin uygun değerlerinin kullanılması gereklidir [9]. Bu nedenle, bağlantının dayanımı ile proses parametreleri arasındaki ilişkiyi bulmak son derece önemlidir. Bununla birlikte, çekme-sıyırma testi bağlantının dayanımını tespit etmede önemli bir kriterdir [10].

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi üretilen ısı girdisi değerini direkt olarak etkiler. Bu parametrelerin artırılması, kaynak bölgesine giren ısı girdisi değerinin artmasına ve dolayısıyla

kaynak çekirdeğinin boyutunun ve bağlantının dayanımının da artmasına neden olur. Bununla birlikte aşırı akım şiddeti ve süresi fişkırmaya, gözenek ve çatlak oluşumu, bağlantının dayanımının düşmesi, kötü bir yüzey görünümü ve elektrotların deformasyonu gibi istenmeyen durumlara neden olur [11,12].

Bu çalışmanın amacı kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi ile çekme-sıyırma dayanımları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan hasar tipleri arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu sayede kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin en uygun değerleri tespit edilebilecektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak kullanılan SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik sac, elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmek suretiyle nokta kaynak bağlantılı numuneler elde edilmiştir. Deneylerde kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma süreleri sabit bırakılmıştır. Elde edilen bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için numuneler çekme-sıyırma testine tabi tutulmuştur.

2.1. Malzeme (Material)

Deney malzemesi olarak Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.'de (TÜVASAŞ) üretilen raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan 2.3 mm kalınlığında ki SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar kullanılmıştır.

SPA-H çelik sacların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1'de ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi (%)
(Chemical composition of steel sheets used in experiments (wt%))

Malzeme	C	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
SPA-H	0.081	0.419	0.426	0.031	0.315	0.664	0.328

Tablo 2. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri
(Mechanical properties of the sheet steel)

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
SPA-H	457	572.7	40

2.2. Direnç Nokta Kaynak Prosesi (Resistance Spot Welding Process)

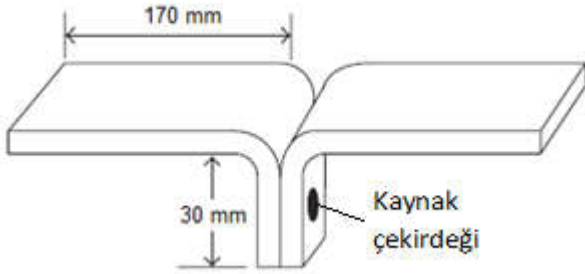
Deney parçaları, giyotin makas ile (200x30) mm boyutlarında kesildikten sonra, derin bir kap içerisinde %96 saflıktaki etil alkol içerisinde yıkanmış ve temiz bir bezle silinerek yüzeyleri yağ, pas ve kir gibi yabancı maddelerden arındırılmış ve üst üste bindirilerek kaynak edilmiştir.

Elektrot kuvveti tüm deney boyunca 4 kN değerinde sabit tutulmuş ve sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kaynak süresi 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot= 0.02 s) olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma ve tutma süreleri 25 periyot olarak sabit tutulmuştur. Kaynak akım şiddeti 6 kA'den 11 kA'ye kadar 0,5 kA artırılarak değiştirilmiştir.

2.3. Çekme-Sıyırma Testleri (Tensile-peel tests)

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin farklı değerleri kullanılarak elde edilen nokta kaynaklı bağlantıların çekme-sıyırma testleri EN ISO 14270'e [13] göre yapılmıştır.

Çekme-sıyırma deney numunelerinin boyutları şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çekme-sıyırma deney numunesi (The tensile-peel specimens)

Çekme-sıyırma deneyleri sırasında çekme hızı 10 mm/dk olarak belirlenmiştir. Çekme-sıyırma dayanımı olarak verilen değerler, çekme makinesinin kontrol ünitesindeki kuvvet – zaman grafiğinden okunan maksimum değerlerdir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

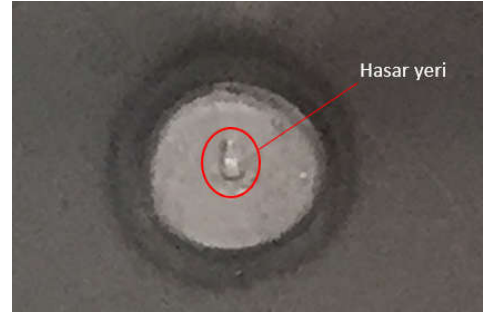
3.1. Hasar Tipi (Failure Mode)

Hasar tipi, nokta kaynaklı bağlantıların performansı için yaygın olarak kullanılan önemli bir kriterdir. Çekme-sıyırma deneylerinde şekil 2,

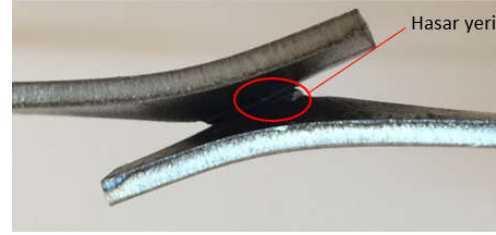
3 ve 4'te gösterildiği gibi üç farklı hasar tipi meydana gelmiştir:

- Ayrılma
- Düğmelenme
- Yırtılma

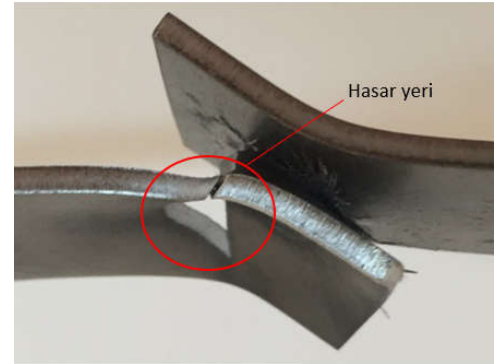
Ayrılma tipi hasar, birleşme bölgesi boyunca çatlak yayılımı yoluyla oluşur. Düğmelenme ve yırtılma tipi hasar ise kaynak çekirdeğinin birleştirilecek parçaların birinden çıkması ile ortaya çıkar.



Şekil 2. Çekme-sıyırma testlerinde oluşan ayrılma tipi hasar (Interfacial failure samples observed in tensile-peel tests)



Şekil 3. Çekme-sıyırma testlerinde oluşan düğmelenme tipi hasar (Partial pullout failure samples observed in tensile-peel tests)



Şekil 4. Çekme-sıyırma testlerinde oluşan yırtılma tipi hasar (Pullout failure samples observed in tensile-peel tests)

3.2. Kaynak Parametrelerinin Çekme-Sıyırma Dayanımına ve Hasar Tipine Etkisi (Effect of Welding Parameters on the Tensile-peel Load and the Failure Mode)

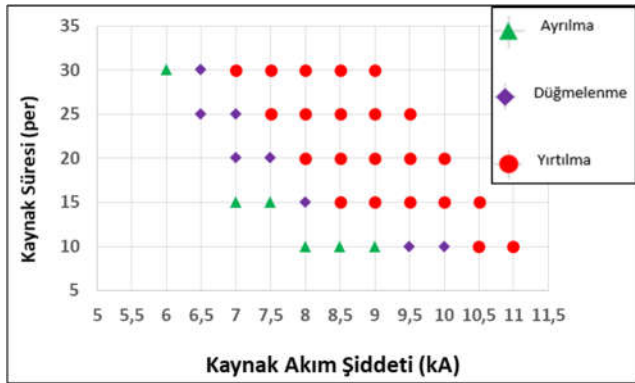
Düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi kullanılarak yapılan nokta kaynağında kaynak bölgesine giren ısı girdisi değeri düşük olduğu için çekirdek boyutları da nispeten küçüktür. Buna

bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımı da düşüktür. Bu yüzden çekme-sıyırma testlerinde ayrılma tipi hasar (şekil 2) oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin artmasıyla birlikte çekirdek boyutları da büyümekte ve buna bağlı olarak bağlantıların çekme-sıyırma dayanımı da artmaktadır. Bu yüzden çekme-sıyırma testlerinde düğmelenme (şekil 3) ve yırtılma tipi hasar (şekil 4) oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kaynak akım şiddeti ve süresinin çok yüksek olduğu durumlarda ise ısı girdisi değerinin oldukça artması nedeniyle malzeme ara kesitinde ki erime miktarı artmaktadır. Bununla birlikte elektrotların dalma derinlikleri artmakta ve kaynak çekirdeğinden fışkırmalar ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak kaynak çekirdek kesiti ve çekme-sıyırma dayanımları azalmaktadır. Bu yüzden bu bağlantılarda ayrılma tipi hasar (şekil 2) ve düğmelenme tipi hasar (şekil 3) oluşmaktadır [14-18].

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin hasar tipi üzerindeki etkisi şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kaynak parametrelerinin hasar tipi üzerindeki etkisi (Effect of welding variables on the failure mode)

Şekil 6'da da görüldüğü gibi kaynak akım şiddeti ve süresinin farklı değerleri kullanılarak elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma testlerinde ortaya çıkan hasar tiplerini incelediğimizde; akım şiddeti ve süresinin düşük değerlerinde ayrılma tipi hasar oluşmaktadır. Söz konusu değerler artırıldıkça bağlantılarda düğmelenme tipi hasarın oluşmaya başladığı gözlemlenmektedir. Akım şiddeti ve süresinin daha yüksek değerlerinde ise yırtılma tipi hasar ortaya çıkmaktadır.

3.3. Çekme-sıyırma Dayanımı ile Hasar Tipi Arasındaki İlişki (The Relation between Failure Mode and Tensile-peel Mode)

Elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımlarını incelediğimizde maksimum dayanımın 7.5 kA akım şiddetinde ve 25 periyot kaynak süresinde meydana geldiğini gözlemleriz. Tablo 3'de her bir kaynak periyodu için maksimum dayanımın elde edildiği akım şiddeti gösterilmektedir.

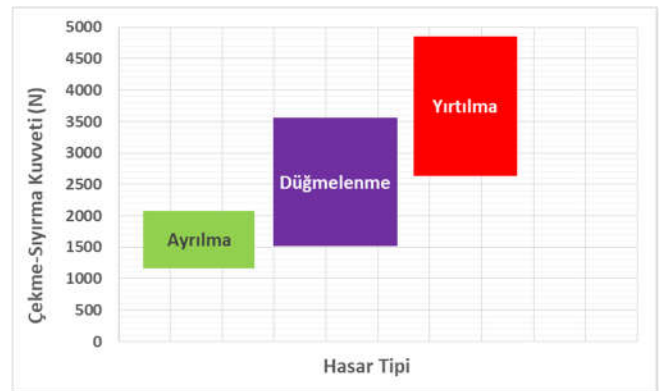
Tablo 3. Max. çekme-sıyırma dayanım değerleri (Max. tensile-peel load values.)

Kaynak Süresi (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Max. Çekme-Sıyırma Dayanımı (N)	Hasar Tipi
10	10,5	3723	Yırtılma
15	9,5	3903	Yırtılma
20	8	4078	Yırtılma
25	7,5	4868	Yırtılma
30	7,5	3514	Yırtılma

Tablo 3'de de görüldüğü gibi en yüksek dayanım değerlerinin elde edildiği bağlantılarda yırtılma tipi hasar oluşmuştur.

Bununla birlikte ayrılma tipi hasarın oluştuğu numunelerde çekme-sıyırma dayanımının nispeten düşük olduğu görülmektedir. Düğmelenme ve yırtılma tipi hasarın oluştuğu numunelerde ise çekme-sıyırma dayanımları daha yüksektir.

Hasar tipi ile nokta kaynaklı bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları arasındaki ilişki şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Çekme-sıyırma dayanımı-Hasar tipi (Tensile-peel load versus failure mode)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Raylı sistem araçlarında kullanılan SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saçların

direnç nokta kaynağı deneylerinde; kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma süreleri sabit bırakılmıştır. Ön deneylerde kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilerek, kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük değerden malzemelerin delindiği en büyük değere kadar kaynak yapılmıştır. Ön deneylerin sonuçlarına göre her deney koşulunda direnç nokta kaynak bağlantılı parçalar elde edilmiştir. Elde edilen bu bağlantıların laboratuvar koşullarında çekme-sıyırma testleri yapılmıştır. Elde edilen nokta kaynaklı bağlantıların hasar tipleri ile çekme-sıyırma dayanımı arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuç olarak kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin en uygun değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saçların direnç nokta kaynağı ile elde edilen bağlantılarının çekme-sıyırma testlerinde üç farklı hasar tipinin olduğu gözlemlenmiştir.

Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımları arttıkça oluşan hasar tipinin sırasıyla ayrılma, düğmelenme ve yırtılma şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynak akım şiddeti ve kaynak süresinin artırılmasıyla birlikte bağlantılarda oluşan hasar tipinin ayrılmadan düğmelenme ve yırtılmaya dönüştüğü gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte aşırı kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi bağlantılarda fışkıрма oluşumuna neden olduğundan çekme-sıyırma dayanımı değerlerini düşürmektedir. Bu nedenle bu tür bağlantılarda ayrılma ve düğmelenme tipi hasar olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak yırtılma tipi hasarın olduğu bağlantılarda kullanılan kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değerlerinin uygun olduğu söylenebilir. Ancak fışkırmının olduğu bağlantılar bunun dışında tutulmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] ASM, *Metals Handbook: Welding, Brazing and Soldering*, Volume 6, 1993.
- [2] S. Anık, E. S. Anık, M. Vural, *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [3] M.P., Groover, *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and*

systems, Third Edition, John Wiley & Sons Inc. 2007.

- [4] D., Özyürek, "An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel", *Materials and Design* 29, pp. 597–603, 2008.
- [5] M., Jou, "Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies", *Journal of Materials Processing Technology* 132, pp. 102–113, 2003.
- [6] M., Morcillo, B., Chico, I., Diaz, H., Cano, D., Fuente, "Atmospheric corrosion data of weathering steels", *National centre for metallurgical research (CENIM-CSIC)*, Madrid, Spain, 2013.
- [7] T., Murata, "Weathering steel, in: R.W. Revie (Ed.)", *Uhlig's Corrosion Handbook*, J. Wiley & Sons, New York, 2000.
- [8] ASM, *Metals Handbook: Welding, Brazing and Soldering*, Volume 6, 1993.
- [9] A. M., Al-Mukhtar, Q. Doos, "The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet", *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2013, 6 pages, 2013.
- [10] S.M. Hamidinejad, F. Kolahan, A.H. Kokabi, "The modeling and process analysis of resistance spot welding on galvanized steel sheets used in car body manufacturing", *Material Design* 34, pp.759-767, 2012.
- [11] S. Aslanlar, "The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry", *Material Design* 27, pp. 125-131, 2006.
- [12] M.I. Khan, *Ph.D. Thesis*, University of Waterloo, 2007.
- [13] Türk Standartları Enstitüsü: Nokta, dikiş ve projeksiyon kaynaklarının mekanize soyma deneyi için numune boyutları ve yöntem, TS EN ISO 14270, 2002.
- [14] N. Akkas, E. Ilhan, "Effect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in SPA-C Steel Sheets in Resistance Spot Welding", *Acta Physica Polonica A*, Volume 125, No 2, pp. 497-499, 2014. DOI:10.12693/APhysPolA.125.497

- [15] N. Akkas, F. Varol, E. Ferik, E. Ilhan, U. Ozsarac, S. Aslanlar, “Effect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in S235JR(Cu) Steel Sheets in Resistance Spot Welding”, *Acta Physica Polonica A*, Volume 125, No 2, pp. 500-502, 2014. DOI:10.12693/APhysPolA.125.500
- [16] N. Akkas, E. Ilhan, S. Aslanlar, F. Varol, “The Effect Of Nugget Sizes On Mechanical Properties In Resistance Spot Welding Of Spa-C Steel Sheets Used In Rail Vehicles”, *Materials Testing*, Volume 56 (10), pp. 879-883, 2014. DOI: 10.3139/120.110646
- [17] N. Akkas, E. Ilhan, F. Varol and S. Aslanlar. “Welding Time Effect on Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of S235JR(Cu) Steel Sheets Used in Rail Vehicles”, *Acta Physica Polonica A*, Volume 129, No:4, pp. 541-543, 2016. DOI: 10.12693/APhysPolA.129.541
- [18] N Akkaş, Welding Time Effect on Tensile–Shear Loading in Resistance Spot Welding of SPA-H Weathering Steel Sheets Used in Railway Vehicles”, *Acta Physica Polonica A*, Volume 131, No:4, pp. 52-54, 2017. DOI: 10.12693/APhysPolA.131.52