

6063 alüminyum alaşımının sertliği ve taneler arası korozyonu üzerine suni yaşlandırmanın etkisi

Effect of artificial aging on hardness and intergranular corrosion of 6063 Al alloy

Behiye YÜKSEL^{1*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
behieyuksele@aydin.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 11.08.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.05658
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, 6063 alüminyum alaşımının sertliği ve korozyon özelliği üzerine suni yaşlandırmanın etkisi araştırılmıştır. Alüminyum alaşımının çökeltme sertleşmesi prosesinde zaman ve sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Sonuçlar, alüminyum alaşımının sertliğinin zaman ve sıcaklıktaki değişimler ile değiştiğini göstermektedir. Korozyon testi, alaşımın korozyon direncinin kuvvetli olarak suni yaşlandırma zamanına bağlı olduğunu göstermiştir. Tüm suni yaşlandırma sıcaklıkları için en yüksek korozyon direnci, elde edilen en yüksek sertlik değerinde gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: 6063 AA, Suni yaşlandırma, Sertlik, Taneler arası korozyon

Abstract

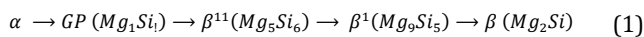
In this study, the effect of artificial aging on hardness and the corrosion properties of 6063 Al alloy was investigated. Time and temperature play a very important role in the precipitation hardening process of the Al-alloy. The results show that the variation in time and temperature have changed the hardness of aluminum alloy. Corrosion test revealed that the corrosion resistance of the alloy strongly depended on artificial aging times. The highest corrosion resistance for all artificial aging temperatures was observed at obtained the highest hardness value.

Keywords: AA6063, Artificial aging, Hardness, Intergranular corrosion

1 Giriş

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, hafiflik, termal iletkenlik, yüzey işlemlerine uygunluk ve korozyona karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı otomobil, yapı ve ambalaj sektörleri başta olmak üzere çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ana alaşım elementi olarak Mg ve Si içeren 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının genel olarak ekstrüzyon ve hadde kabiliyetleri iyi olduğu gibi atmosferik ortamlar başta olmak üzere korozyon dirençlerinin iyi olduğu bilinmektedir. Bu olumlu özelliklere ek olarak 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının anodizasyon sonrası yüzeylerinin parlaklığını koruması da ticari olarak kullanım miktarının gün geçtikçe artmasını sağlamaktadır [1].

6XXX serisinde ana alaşım elementlerinin varlığı sayesinde temelde iki aşamalı uygulanan ısıl işlem ile alüminyum alaşımının mukavemeti arttırılabilmektedir [2]. Alüminyum alaşımına uygulanan bu iki aşamalı ısıl işlem çözeltiye alma ve suni yaşlandırma işlemleri olarak tanımlanmaktadır. 6XXX serisi alüminyum alaşımları için çözeltiye alma işlemi genellikle 460-540 °C arasında gerçekleştirilmekte ve bunu takiben su verme işlemi yapılmaktadır ki buradaki amaç tüm alaşım elementlerini çözeltiye alarak aşırı doymuş α katı eriyiğini elde edebilmektir. Yaşlandırma sürecinde ise aşırı doymuş eriyiğin çökeltme süreci Denklem (1)'de tanımlandığı şekilde gerçekleşmektedir.



Alaşımında maksimum sertlik, β^{11} fazının elde edilmesiyle mümkündür zira β^{11} fazının tamamen β fazına dönüşmesi aşırı yaşlandırma olarak tanımlanır ki yüzey merkezli kübik kristal yapıya denge fazı olan β , alüminyumda sertliğin azalmasına neden olmaktadır [2]-[4]. Çökeltme fazının niteliği ve miktarı, alüminyum alaşımının sertlik gibi mekanik özelliklerini ve tane sınırlarında mikrogalvanik hücre oluşturması sebebiyle taneler arası korozyon dayanımını etkilemektedir [5]-[7]. Literatür çalışmaları göstermiştir ki alüminyum alaşımının mekanik özelliği üzerinde, uygulanan ısıl işlem sıcaklığı ve bu sıcaklığa maruz kalma süresi etkin bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, Svenningsen ve arkadaşlarının yaptığı sınırlı sayıda araştırma dışında literatürde 6000 serisi alüminyum alaşımlarında görülen taneler arası korozyon üzerine suni yaşlandırma işleminin rolü hakkında sistematik bir araştırma mevcut değildir [8],[9].

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve zamanlarda yapılan suni yaşlandırma işlemlerinin 6063 alaşımının sertliğine ve korozyon dayanımına olan etkisi incelenmiştir.

2 Deneysel çalışmalar

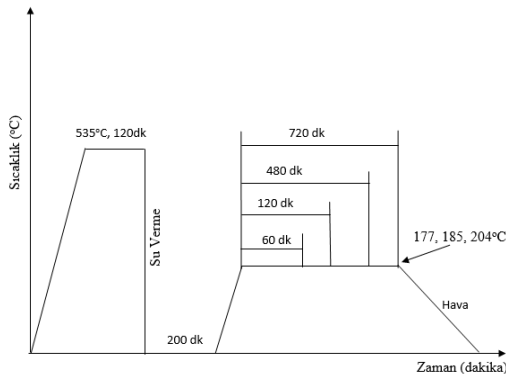
Bu çalışmada, 20 mm çapında çubuk formunda ticari AA6063 alaşımı kullanılmış olup, ısıl işlem uygulamaları için 5 cm yükseklikte olacak şekilde Struers marka hassas kesme cihazı ile kesilmişlerdir. Spektral analiz yöntemi kullanılarak elde edilen, malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: AA6063 alaşımının % ağırlıkça kimyasal bileşimi.

Si	Mg	Cu	Fe	Cr	Mn	Zn	Ti	Al
0.43	0.51	0.006	0.176	<0.001	<0.01	0.012	0.008	Kalan

Hazırlanan alüminyum alaşımları 535 °C'de 2 saat süre ile çözeltiye alınmıştır ve çözeltiye alma işleminin ardından numunelere suda su verilmiştir. Aşırı doymuş katı eriyik halindeki numunenin korozyon davranışını tespit edebilmek için su verilmiş bir numune, doğal ve suni yaşlanma etkisini minimum düzeyde tutabilmek adına -5 °C'de tutulmuştur.

Suni yaşlanma işlemi için seçilen sıcaklıklar ise 177, 185 ve 204 °C ve bu sıcaklıklarda numunelerin bekleme süreleri 60, 120, 480 ve 720 dk. olup bu işlemi takiben numuneler havada soğutulmuşlardır (Şekil 1). Tıpkı su verilmiş numunede olduğu gibi sertlik ölçümü ve korozyon deneyi yapıncaya kadar numuneler yine -5 °C'de tutulmuşlardır. Numunelerin sertlik ölçümleri 500 g (HV_{0.5}) yük altında 15 saniye süresince Shimadzu marka mikrosertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Her bir numune için altı sertlik ölçümü yapılmış ve sertlik değerlerinin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 1: Suni yaşlandırma işlemleri diyagramı.

Çözeltiye alınmış ve suni yaşlandırılmış numunelerin taneler arası korozyon davranışı için, TS EN ISO 11846 No.lu Türk Standardında belirtilen, 1 litresinde 30 g sodyum klorür, 10 ml derişik hidroklorik asit ve kalanı saf su olacak şekilde bir çözelti hazırlanmıştır [10]. Numuneler, söz konusu çözelti içinde oda sıcaklığında 24 saat bekletilmeden önce yüzey hazırlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla, ultrasonik banyoda 15 dk. boyunca etil alkol içinde tutulan numuneler daha sonra 1 litresinde 50 ml nitrik asit, 5 ml hidroflorik asit ve kalanı saf sudan oluşan çözeltide 95 °C'de 1 dk. süre ile bekletilmiş, arkasından akan suda durulanmışlar ve oda sıcaklığındaki derişik nitrik asit çözeltisi içine 2 dk. boyunca daldırılmışlardır. Bu işlemleri takiben damıtık suda durulan numuneler kurutulmuş ve korozyon testi için hazırlanan çözelti içine daldırılmışlardır. Korozyon deneyi sonrası numuneler damıtık suda durulanmış, bunu takiben yüzeylerindeki korozyon ürünlerinden arındırılmak için ağırlıkça %70 nitrik asit çözeltisi içinde yaklaşık 2 dk. boyunca bekletilmişler ve arkasından da damıtık su ile yıkanıp kurutulmuşlardır. Korozyon deneyi sonrasında numunelerin kesit görüntüleri Olympus marka BX51M model optik mikroskop ile incelenmiştir.

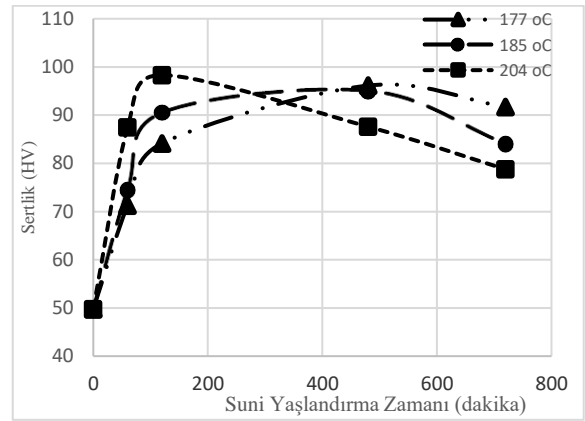
3 Deneyel sonuçlar ve tartışma

3.1 Sertlik

535 °C'de çözeltiye alma işlemi uygulanan alüminyum alaşımları üç farklı sıcaklık ve dört farklı zamanda suni yaşlandırılmaları sonucunda elde edilen sertlik değerlerinin değişimi Şekil 2'de verilmiştir. 6063 alüminyum alaşımlarının aşırı doymuş katı eriyik halindeki sertlik değeri 49.78 HV olup

suni yaşlandırma sonucunda bu sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere her üç yaşlandırma sıcaklığı için elde edilen maksimum sertlik değerleri birbirine yakındır ancak bekletme süresi açısından bakıldığında 204 °C'de en yüksek sertlik değerine ulaşma zamanının diğer sıcaklık değerlerine göre daha kısa sürede olduğu görülmektedir.

Edwards ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirttikleri üzere suni yaşlandırma işlemi sonucunda numunelerin maksimum sertlik gösterdikleri durum β^{11} fazının çökmesinin tamamlanması ile ilgilidir [11]. Suni yaşlandırma sıcaklığı arttıkça β^{11} fazının çökmesi daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir. İğnel formdaki β^{11} fazının çökmesi yaşlandırma sıcaklığında bekledikçe çubuk şeklindeki β^1 fazına dönüşmeye başlayacaktır ki bu da malzemenin sertliğinde azalma olarak görülecektir [6]. Yaşlandırma sıcaklığında bekleme süresi arttıkça β (Mg_2Si) fazının çökmesi daha baskın olmakta dolayısı ile de alüminyum alaşımının sertliğinde daha dramatik düşüşler görülmektedir [4].



Şekil 2: 177, 185 ve 204 °C'de farklı sürelerde yapılan suni yaşlandırmaya bağlı olarak numunelerdeki sertlik değişimi.

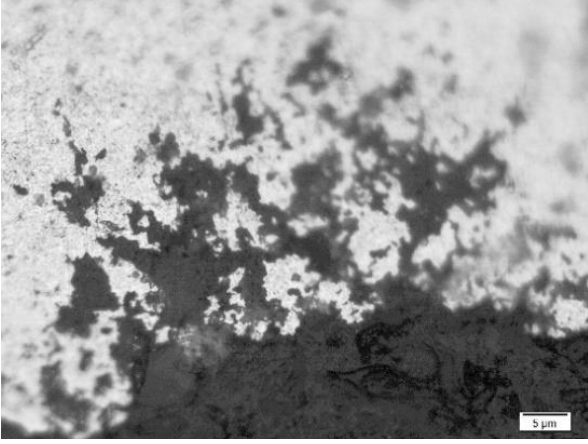
3.2 Korozyon

Alüminyum ve alaşımları, yüzeyinde barındırdıkları ince, koruyucu bariyer oksit tabakası sayesinde korozyona karşı dirençlidirler ancak ortamda klorürün var olması halinde bu koruyucu oksit tabakası bölgesel olarak korozyona uğrama eğilimi gösterir. Alüminyum alaşımlarının korozyon direncini etkileyen en önemli unsurlardan biri, sahip oldukları alaşım elementleri olmakla birlikte özellikle bu alaşımlara uygulanan ısı işlemlerde kullanılan sıcaklık ve sür gibi parametreler korozyon direncinin değişimi üzerinde baskın rol oynamaktadır [12].

Yaşlandırma işlemi öncesi 535 °C'de 2 saatlik çözeltiye alma sonrası su verilerek elde edilen aşırı doymuş katı eriyik halindeki numunenin taneler arası korozyon deneyi sonucunda optik mikroskop ile alınan kesit görüntüsü Şekil 3'te görülmektedir.

Svenningsen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer olarak, korozyon deneyi sonrası aşırı doymuş katı eriyiğin kesit görüntüsü, ortamda mevcut olan klorür iyonlarının varlığı nedeniyle oyuklanma korozyonunun meydana geldiği buna karşılık taneler arası korozyona karşı yapının direncinin yüksek olduğu görülmektedir [9]. Suni yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin, 6063 alüminyum alaşımının taneler arası

korozyon hassasiyeti üzerindeki etkisini tespit etmek için TS EN ISO 11846 No.lu standart kapsamında yapılan deney sonucunda elde edilen numunelerin kesit görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.

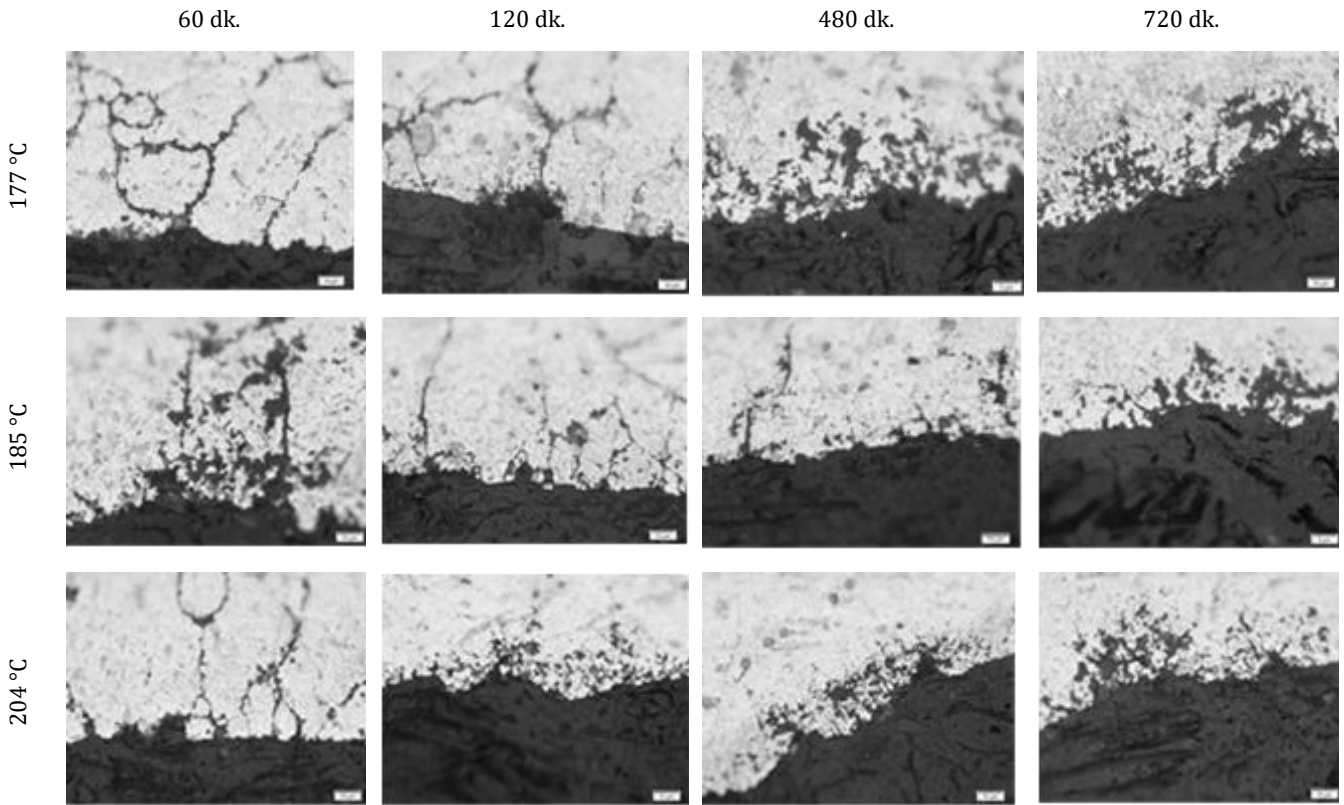


Şekil 3: Aşırı doymuş katı eriyiğin korozyon testi sonrası kesit görüntüsü.

177 °C sıcaklıkta 60 ve 120 dk. bekletilerek suni yaşlandırılmış alüminyum alaşımının taneler arası korozyon hassasiyeti, artan bekleme süre ile azalmaktadır. Bu sıcaklıkta maksimum sertlik değerine başka bir ifade ile β^{11} fazının çökmesinin tamamlanmasına 480 dk.'lık bekleme süresinde ulaşılmıştır ki

en iyi taneler arası korozyon direnci de bu sürede elde edilmiştir. Ancak, alaşımın taneler arası korozyon direnci artarken diğer yandan da bölgesel korozyon türü olan oyuklanmanın baskın olarak gerçekleşmeye başladığı gözlemlenmiştir. Aşırı yaşlanma olarak nitelendirilebilecek 720 dk.'lık beklemenin sonucunda ise alüminyum alaşımında oyuklanma korozyonu hassasiyetinin iyice arttığı görülmektedir. Benzer durumlar 185 ve 204 °C'teki suni yaşlandırma işlemleri için de geçerlidir. Her iki sıcaklıkta da maksimum sertliğin elde edildiği bekleme süresine kadar (sırasıyla 480 ve 120 dk.) tanelerarası korozyon hassasiyeti azalarak da olsa gözlemlenirken alaşımında oyuklanma korozyonu direncinin azaldığı ve aşırı yaşlanma ile de oyuklanma korozyonunun baskın hale geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4).

Suni yaşlandırma sırasında çökmenin öncelikli olarak tane sınırlarında gerçekleştiği bilinmektedir [3],[8]. Tane sınırlarına çökelen faz Mg ve Si esaslı olup çökelen fazın etrafında Al matris bulunmaktadır ki çökelen faz matris fazına göre elektrokimyasal olarak daha aktiftir. Çökelen fazın potansiyel değeri -1150 mV mertebelerinde iken matrisin potansiyeli -800 mV seviyelerindedir [1]. Bunun sonucu olarak tane sınırlarında çöken faz ile matris arasında mikrogalvanik hücre oluşumu kaçınılmazdır, bu da taneler arası korozyonun gerçekleşme nedenidir [1],[12]. Suni yaşlandırma sırasında oluşan GP fazındaki Mg'un Si'a olan atomik oranı 1'den fazla iken, maksimum sertlik değerinin elde edildiği β^{11} fazının varlığında bu oranın 1'e çok yakın olduğu görülmektedir [3]. Çökelen fazdaki Mg oranının yüksek olması ve fiziksel boyutlarının çok küçük olması 6063 alüminyum alaşımının taneler arası korozyon hassasiyetini artırmaktadır.



Şekil 4: Farklı sıcaklık ve zamanlarda suni yaşlandırılan numunelerin korozyon deneyi sonrası kesit görüntüleri.

Suni yaşlandırma için seçilen sıcaklık arttıkça yaşlandırma süresi kısaltılmakla birlikte bekleme süreleri arttıkça çökelen fazın iğnesel formdan çubuk halinde daha büyük hacimli hale geldiği bilinmektedir [3]. Aşırı yaşlandırma sonucunda alüminyum alaşımında oyuklanma korozyonunun görülmesi, matrise göre daha aktif olan çökelti fazlarının fiziki boyutunun artışı ile açıklanabilir ancak bu konudaki mevcut bilgiler ışığında söz konusu davranışı net olarak açıklamak hala mümkün değildir [8],[9].

4 Sonuçlar

AA6063 alüminyum alaşımına farklı sıcaklık ve zamanlarda uygulanan suni yaşlandırma işlemi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Suni yaşlandırma için seçilen sıcaklık değeri arttıkça, β^{11} fazının çökmesinin tamamlanması daha kısa sürede gerçekleşmiştir,
- 2) Tüm yaşlandırma sıcaklıkları için β^{11} fazının çökmesi tamamlanmaya kadar malzemenin sertliğinde artış gözlemlenirken β^{11} fazının, β^1 ve β fazına dönüşümü evresinde sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir,
- 3) Suni yaşlandırma prosesi sırasında β^{11} fazının çökmesi tamamlanmaya kadar olan süreçte alaşımın tanelerarası korozyon hassasiyeti azalarak devam etmektedir. Ancak çökelen fazın boyutları arttıkça, tanelerarası korozyon direnci artarken alaşımın oyuklanma korozyonuna karşı hassasiyeti artış göstermiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Vargel C. *Corrosion of Aluminium*. 2nd ed. Kidlington, UK. Elsevier, 2004.
- [2] Novikov İ. *Metallerin Isıl İşlem Teorisi*. 1. baskı. İstanbul, Türkiye, Nobel, 2012.

- [3] Maisonnette D, Suery M, Nelias D, Chaudet P, Epicier T. "Effect of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy". *Materials Science a Engineering A*, 528(6), 2718-2724, 2011.
- [4] Li H, Zeng C, Han M, Liu J, Lu X. "Time-temperature-property curves for quench sensitivity of 6063 aluminum alloy". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(1), 38-45, 2013.
- [5] Pratikno H. "Aging treatment to increase the erosion-corrosion resistance of AA6063 alloys for marine application". *Procedia Earth and Planetary Science*, 14, 41-46, 2015.
- [6] El-Menshawey K, El-Sayed A, El-Bedawy M, Ahmed HA, El-Raghy S. "Effect of aging time at low aging temperatures on the corrosion of aluminum alloy 6061". *Corrosion Science*, 54, 167-173, 2012.
- [7] Li H, Mao Q, Wang Z, Miao F, Fang B, Song R, Zheng Z. "Simultaneously enhancing the tensile properties and intergranular corrosion resistance of Al-Mg-Si-Cu alloys by a thermo-mechanical treatment". *Materials Science & Engineering A*, 617, 165-174, 2014.
- [8] Svenningsen G, Larsen MH, Walmsley JC, Nordlien JH, Nisancioglu K. "Effect of artificial aging on intergranular corrosion of extruded AlMgSi alloy with small Cu content". *Corrosion Science*, 48(6), 1528-1543, 2006.
- [9] Svenningsen G, Larsen MH, Nordlien JH, Nisancioglu K. "Effect of high temperature heat treatment on intergranular corrosion of AlMgSi(Cu) model alloy". *Corrosion Science*, 48(1), 258-272, 2006.
- [10] Türk Standartları Enstitüsü. "Standart Arama". "<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx> (18.06.2016).
- [11] Edwards GA, Stiller K, Dunlop GL, Couper MJ. "The Precipitation Sequence in Al-Mg-Si Alloys". *Acta Metallurgica*, 46(11), 3893-3904, 1998.
- [12] Jones D. *Principles and Prevention of Corrosion*, 2nd ed. NJ, USA, Prentice-Hall, 1996.