



Konferans Bildirisi

Isıl İşlemin EN AW 6056 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi

Mehmet Okan Görtan¹, Gizem Ay², Adem Çarkacı^{3*}

¹ Hacettepe University, <https://orcid.org/0000-0002-6095-1161>, okangortan@hacettepe.edu.tr

² Hacettepe University, <https://orcid.org/0000-0002-4716-5318>, gizem.ay12@hacettepe.edu.tr

³ Teknorot Steering and Suspension Parts, <https://orcid.org/0000-0003-4517-7718>,
adem.carkaci@teknorot.com

*adem.carkaci@teknorot.com; Tel.: +90 380 553 73 33

(First received September 28, 2023 and in final form December 23, 2023)

3rd International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2023)
December 13 - 15, 2023

Reference: Görtan, M., O., Ay, G., Çarkacı, A. Isıl İşlemin EN AW 6056 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi. Orclever Proceedings of Research and Development, 3(1), 290-298.

Özet

Yapay yaşlandırılabilen 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının kullanımı yüksek dayanım/ağırlık oranı, iyi şekillendirilebilirlik özellikleri ve üstün korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle son yıllarda özellikle otomotiv sektöründe belirgin oranda artmıştır. Ancak yine otomotiv sektöründe yüksek dayanımlı ve aynı zamanda ekonomik alüminyum alaşımları için arayış sürmektedir. Güncel çalışmada EN AW 6056 (AlSi1MgCuMn) alaşımına uygulanan çözeltiye alma ve yapay yaşlandırma işlemlerinin mekanik dayanıma olan etkisi araştırılmıştır. İlk olarak tavlanmış durumdaki alüminyum ekstrüzyon çubuklar 550°C sıcaklığında 90 dakika çözeltiye alınmıştır. Sonrasında su verilen numuneler 170 °C ile 190°C arasında sıcaklıklarda ve 1 ile 24 saat arasındaki sürelerde yapay yaşlandırılmıştır. Farklı yaşlandırma parametreleri ile hazırlanan numunelerin Vickers sertlik değerleri 500 g kuvvet ve 15 saniye bekleme süresi ile ISO 6507-1 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Son olarak numunelerin mekanik özellikleri olan akma ve çekme dayanımı ile kopma uzaması ISO 6892-1 standardına uygun olarak çekme testleri vasıtasıyla tespit edilmiştir. Sertlik değerleri göz önünde bulundurulunca en yüksek dayanımın düşük yapay yaşlandırma sıcaklıklarında ve 12 saat yaşlandırma sonunda elde edildiği görülmüştür. Ancak çekme testi sonuçları incelenince yüksek sıcaklıklarda 4 saat civarında uygulanan yapay yaşlandırmanın en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak yüksek sıcaklıklarda göreceli olarak kısa sürede gerçekleştirilen yapay yaşlandırmanın mekanik dayanım açısından en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar: Alüminyum Alaşımları, Yapay Yaşlandırma, Sertlik



Conference Article

Effect of Heat Treatment on the Mechanical Properties of EN AW 6056 Aluminium Alloy

Abstract

The usage of heat-treatable 6xxx series aluminum alloys especially in the automotive industry has significantly increased in recent years thanks to their high strength-to-weight ratio, good formability, and superior corrosion resistance properties. However, the search for high-strength and economical aluminum alloys continues in the automotive sector. In the current study, the effect of solution treatment and artificial aging processes on mechanical strength of EN AW 6056 (AlSi1MgCuMn) alloy was investigated. First of all, extruded aluminum bars in the annealed condition were subjected to a solution treatment at 550 °C for 90 minutes and quenched. Quenched samples were artificially aged for periods ranging from 1 to 24 hours at temperatures ranging from 170 °C to 190 °C. The Vickers hardness values of samples prepared with different aging parameters were determined in accordance with ISO 6507-1 standard, using a 500g force and a 15-second dwell time. Finally, the mechanical properties of the samples, including yield and tensile strength, as well as elongation at break, were determined through tensile tests in accordance with ISO 6892-1 standard. Taking into account the hardness values, it has been observed that the highest strength is achieved at low artificial aging temperatures and after 12 hours of aging. However, when examining the tensile test results, it has been determined that artificial aging applied for approximately 4 hours at high temperatures yields the best results. As a result, the study showed that the artificial aging conducted at high temperatures and relatively short times yielded the best results in terms of mechanical strength.

Keywords: Aluminum Alloys, Artificial Aging, Hardness



1. Giriş

Isıl işlem görebilen 6xxx serisi alüminyum alaşımları, yüksek mukavemet-ağırlık oranları, iyi şekillendirilebilme ve mükemmel korozyon direnci özellikleri nedeniyle özellikle otomotiv sektörü içerisindeki kullanımı hızlı ve kararlı bir şekilde artmaktadır [1-3]. Al-Mg-Si temelli olan bu alaşımlarda ana dayanım artışı mekanizması iğne şeklindeki β'' fazları ile ilişkilendirilmektedir [4]. Bu alaşımlara bakır eklenmesi halinde çıta şeklinde Q' fazı dayanım artışı desteklemektedir [5]. İlgili alaşımlarda dayanım belli bir ısı işlem uygulanması sonrasında elde edilebilmektedir. Genellikle 500°C üzerindeki bir sıcaklıkta gerçekleştirilen çözeltiye alma sonrasında su verme işlemi ve devam eden aşamalarda da 160°C ile 200°C arasındaki sıcaklıklarda bir yapay yaşlandırma prosesi uygulanır. Gerçekleştirilen bu ısı işlem sırasında farklı çökeltilerin oluşması karmaşık bir mekanizma ile gerçekleşir [6]. Bakır eklenmiş olan Al-Mg-Si alaşımlarında yapay yaşlandırma sırasında oluşan fazlar ana hatları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [7].

Süper Doymuş Katı Çözelti $\rightarrow$ Katı Kümeler $\rightarrow \beta''$ / GP Bölgeleri $\rightarrow \beta' + Q' \rightarrow \beta + Q + Si$

Literatürde Bakır eklenmiş Al-Mg-Si alaşımlarında çökelti oluşumu ile çalışmalar bulunsa da ısı işlem parametrelerinin malzemelerin mekanik dayanımına etkisi üzerine kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle güncel çalışmada EN AW 6056 (AlSi1MgCuMn) alaşımına uygulanan çözeltiye alma ve yapay yaşlandırma işlemlerinin mekanik dayanıma olan etkisi araştırılmıştır.

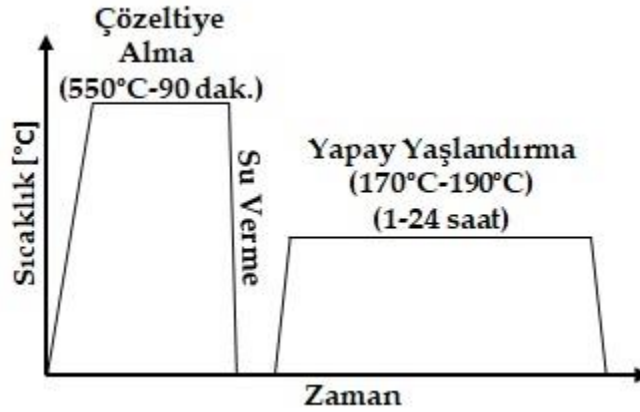
2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada EN AW 6056 (AlSi1MgCuMn) alüminyum alaşımından 55 mm çapında ekstrüzyon ile üretilmiş çubuklar kullanılmıştır. İncelenen malzemenin alaşım durumu Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu malzemeden ilgili çalışmaları gerçekleştirebilmek için 12 mm kalınlığında diskler kesilmiş ve tüm deneyler bu diskler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1: EN AW 6056 alaşımının kimyasal kompozisyonu (%ağırlık)

Si	Fe	Cu	MN	Mg	Zn	Al
0,99	0,24	0,92	0,82	0,93	0,54	kalan

İlk olarak tüm çap boyunca homojen malzeme özelliklerini elde edebilmek için tüm numuneler 450°C sıcaklıkta 15 dakika boyunca normalizasyon tavlmasına tabi tutulmuştur. Şekil 1’de şematik olarak gösterildiği gibi hazırlanan disk şeklinde numuneler 550°C sıcaklığında 90 dakika çözeltiye alınmıştır. Sonrasında su verilen ve u içerisinde 10 dakika bekletilen numuneler 170°C ile 190°C arasında sıcaklıklarda ve 1 ile 24 saat arasındaki sürelerde yapay yaşlandırılmıştır. İstatistik açıdan daha doğru sonuçlar elde edilmesi amacıyla her ısı işlem durumu için 2 farklı numune hazırlanmıştır.



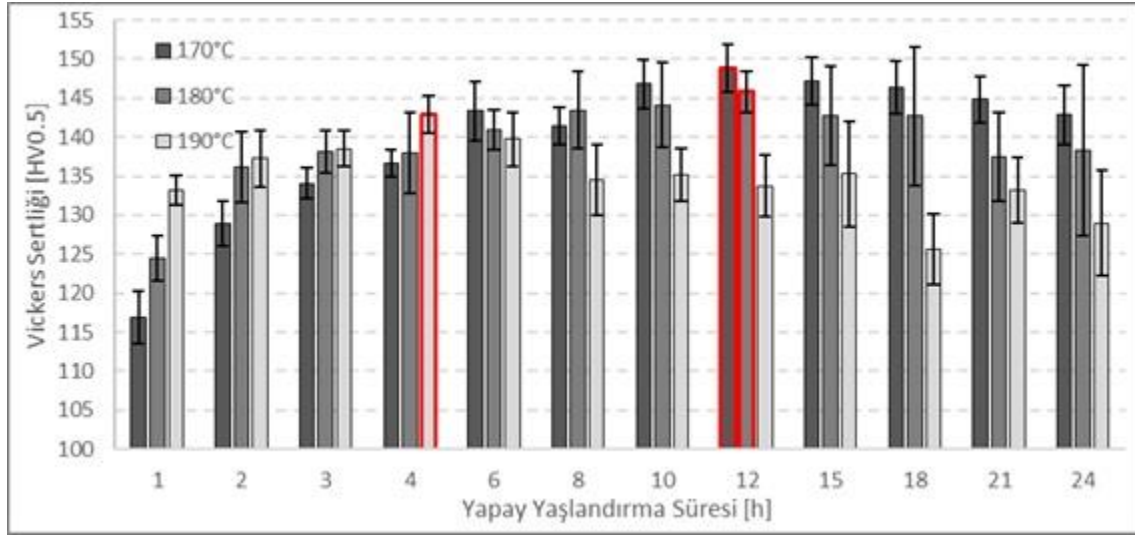
Şekil 1: Çalışmada uygulanan ısı işlem parametrelerinin şematik gösterimi

Isıl işleme tabi tutulan ilk olarak P400 ile P2500 arasındaki kağıtlarla zımparalanmış ve sonrasında sırasıyla 6µm ve 1µm elmas çözeltisiyle parlatılmıştır. Daha sonra her bir farklı ısı işlem durumu için hazırlanan ikişer numunede ISO 6507-1 standardına uygun olarak 500 g kuvvet ve 15 saniye bekleme süresi ile Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir durum için 20 adet ölçüm alınmış ve bu değerlerin ortalaması ile standart sapması hesaplanmıştır.

Farklı yapay yaşlandırma sıcaklıklarında en yüksek sertlik değerini veren koşullarda malzemelerin mekanik özellikleri olan akma ve çekme dayanımı ile kopma uzaması ISO 6892-1 standardına uygun olarak çekme testleri vasıtasıyla tespit edilmiştir. Çekme testleri her farklı durum için 3 numuneye uygulanmıştır.

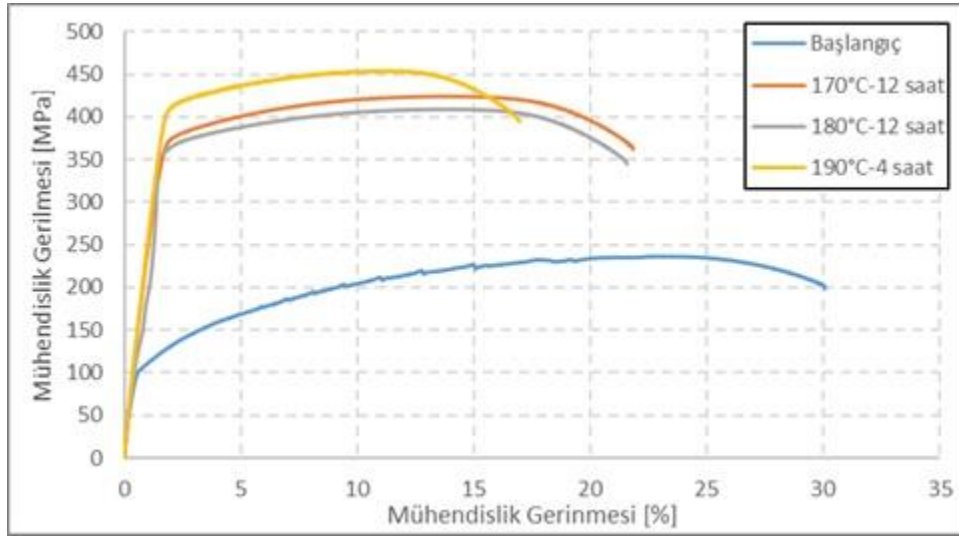
3. Sonuçlar

Şekil 2’de gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. 170°C ve 180°C sıcaklıkta gerçekleştirilen yapay yaşlandırma işleminde en yüksek sertlik değerlerine 12 saatlik sonrasında ulaşılmıştır. Her iki durum için de 1 saatten sonra sertliklerde belirgin artışlar gözlenmiş ve 12 saat yaşlandırma sonrasında ise sertliklerde düşüş belirlenmiştir. 170°C ve 180°C sıcaklıklardaki en yüksek sertlik değerleri sırasıyla 148,85 ve 145,81 olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak yine aynı sıcaklıklardaki standart sapma değerleri sırasıyla 3,07 ve 2,62 olarak ölçülmüştür.



Şekil 2: Yapay yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak sertlik dağılımları

Yapay yaşlandırma sıcaklığı 190°C seçildiği zaman sertlik değişimlerinde belirgin farklar gözlenmiştir. Bu durumda en yüksek sertliğe 4 saat yapay yaşlandırma sonrasında ulaşılabilmiştir. Sonrasında ise sertliklerde diğer sıcaklıklara kıyasla daha hızlı bir düşüş başlamıştır. En yüksek sertlik ve bu değerdeki standart sapma sırasıyla 142,93 ve 2,36 olarak belirlenmiştir.



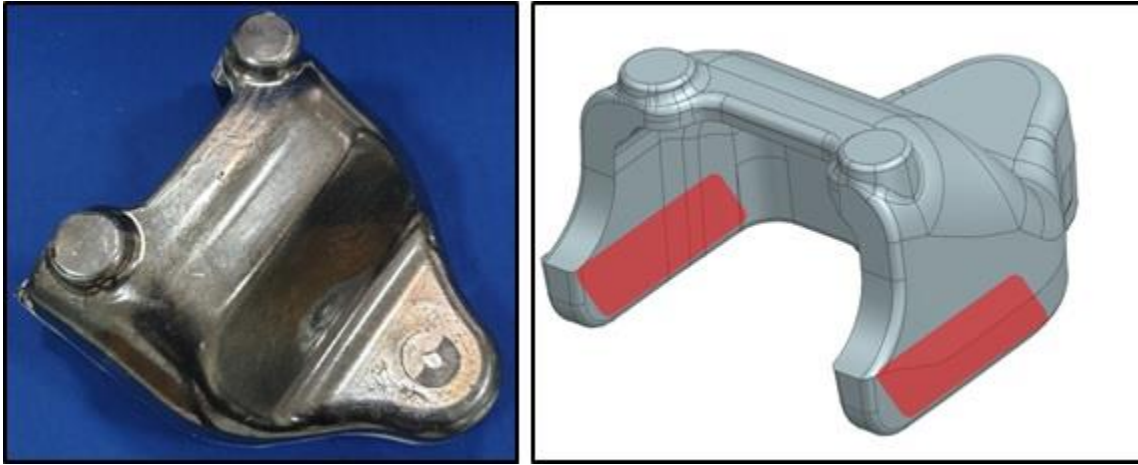
Şekil 3: Yapay yaşlandırma sıcaklığına bağlı gerilme-gerinme eğrileri

Çekme testi sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Sertlik ölçümlerinin aksine en yüksek mekanik dayanım 190°C sıcaklıkta 4 saat yapay yaşlandırılan durumda gözlenmiştir. Tablo 2'de gösterildiği gibi bu sıcaklık ve sürede akma dayanımı ve çekme dayanımı sırasıyla 400,50 MPa ve 451,41 MPa olarak gerçekleşirken diğer sıcaklık ve sürelerde dayanımlar belirgin olarak düşüktür.

Tablo 2: Yapay yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak mekanik dayanım değerleri

	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı [MPa]	Kopma Uzaması [%]
170°C-12 saat	379,00	428,92	21,2
180°C-12 saat	360,67	406,13	20,2
190°C-12 saat	400,50	451,41	18,5

Son olarak laboratuvar ortamında yapılan testlerin doğrulanması, endüstriyel olarak üretilen bir parçada gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 425°C sıcaklıkta Şekil 4'te gösterilen parçalar sıcak olarak dövülmüş ve sonrasında 550°C sıcaklık 90 dakika çözeltiye alınmasının arkasından su verilmiştir. Su verme tankında 10 dakika bekletilen parçalar daha sonra 4 saat boyunca 190°C sıcaklıkta yapay yaşlandırılmıştır. Üretilen parçalardan toplamda 4 adet çekme test numunesi çıkartılabilmiş ve bu numuneler daha önce olduğu gibi ISO 6892-1 standardına uygun olarak test edilmiştir.



Şekil 4: Doğrulama amacıyla kullanılan parça ve (solda) ve çekme numune yerleri (sağda)

Yapılan çekme testlerinin ortalama değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen ortalama akma dayanımı laboratuvar testlerinden yaklaşık 12 MPa daha düşük olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak çekme dayanımının ise yaklaşık 24 MPa daha düşük olduğu görülmüştür. Bu değerler büyük olarak görünse bile yüzde sapma olarak karşılaştırıldığı zaman akma ve çıkma dayanımının sırasıyla %2,9 ve %5,3 değerlerinde fark olduğu belirlenmiştir. Bu fark kabul edilebilir boyuttadır. Ayrıca kopma uzamaları arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Tablo 3: Endüstriyel parçadan elde edilen mekanik değerler

	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı [MPa]	Kopma Uzaması [%]
190°C-12 saat	388,86	427,78	17,7

4. Tartışma

6xxx serisi alüminyum alaşımlarında yüksek dayanım çökelti sertleşmesi ile sağlanmakta, bu nedenle parçalar şekillendirme işlemleri sonrasında çözeltiye alma ve yapay yaşlandırmayı içeren bir dizi ısıtılma işlemi tabi tutulmaktadır. Çözeltiye alma evresinde alaşımların yüksek sıcaklıklarda göreceli olarak kısa süre bekletilerek süper doymuş katı çözelti (süper-saturated solid solution) oluşturulur. Özellikle EN AW-6082 gibi Al-Mg-Si alaşımlarında çözeltiye alma sonrası uygulanan su verme işlemi ile süper doymuş katı çözeltide çökelti elemanlarının atomik kümeleri oluşur. Daha sonra göreceli düşük sıcaklık ve uzun sürede uygulanan yapay yaşlandırma işlemi ile sırasıyla yapısı bilinmeyen küçük çökelti (GP bölgeleri), iğne yapıda beta fazı, çubuk yapıda beta fazı



ve küre yapıda beta oluşur. Oluşan beta fazlarından dayanımı en yüksek oranda artıran GP bölgelerinden oluşan iğne yapıda beta fazıdır [6].

Ancak Al-Mg-Si alaşımlarına bakır eklenmesi halinde yapısı bilinmeyen küçük çökeltiler (GP bölgeleri) sonrasında yapay yaşlandırma sonucu oluşan fazlarda farklılaşmalar görülür. Özellikle iğne yapılı beta fazının oluşmasından sonrasında bakır içeren yarı kararlı L, C, S ve Q çökeltileri oluşur [8]. Q fazı genel olarak aşırı yaşlandırma halinde oluşur ve dayanımı düşürücü etkisi bulunmaktadır [9]. İğne yapılı beta fazından sonra oluşan L fazının Al-Mg-Si-Cu alaşımları için önemli bir dayanım artırıcı etkisi olduğu düşünülmektedir [10]. Ancak L fazının Q fazına dönüşmesi görece olarak kolay gerçekleşmektedir [11]. Sayılan bu nedenlerden ötürü yapılan çalışmada özellikle 190°C sıcaklık ve 4 saat gibi görece kısa sürede en yüksek dayanımın elde edilmesi açıklanabilir.

5. Teşekkür

Yapılan çalışmalar Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından TEYDEB 1505 programı kapsamında 5220134 numaralı proje bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

Referanslar

- [1] M. Kolar, K. O. Pedersen, S. Gulbrandsen-Dahl, and K. Marthinsen, "Combined effect of deformation and artificial aging on mechanical properties of Al-Mg-Si Alloy", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 22, no. 8, pp. 1824-1830, 2012. doi:10.1016/s1003-6326(11)61393-9.
- [2] A. Cuniberti, A. Tolley, M. V. C. Riglos, and R. Giovachini, "Influence of natural aging on the precipitation hardening of an Al-Mg-Si alloy" *Materials Science and Engineering: A*, vol. 527, no. 20, pp. 5307-5311, 2010. doi:10.1016/j.msea.2010.05.003.
- [3] F. Ozturk, A. Sisman, S. Toros, S. Kilic and R.C. Picu, "Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy", *Materials&Design*, vol. 31, no. 2, pp. 972-975, 2010. doi:10.1016/j.matdes.2009.08.17.
- [4] F. Delmas, M.J. Casanove, P. Lours, A. Couret, A. Coujou, "A. Quantitative TEM study of the precipitation microstructure in aluminium alloy Al(MgSiCu) 6056 T6", *Materials Science and Engineering: A*, vol. 373, no. 1-2, pp. 80-89, 2004. Doi:10.1016/j.msea.2003.12.068.
- [5] D.J. Chakrabarti, D.E. Laughlin, "Phase relations and precipitation in Al-Mg-Si alloys with Cu additions", *Progress in Materials Science*, vol. 49, no. 3-4, pp. 389-410, 2004. doi:10.1016/S0079-6425(03)00031-8.
- [6] M.O. Görtan and B. Yüksel, "Dependency of mechanical properties on artificial aging conditions for EN AW 6082 aluminum alloy", *Metallurgical Research & Technology*, vol. 120, no. 2, 2023. Doi:10.1051/metal/2023017.



- [7] L. Winter, K. Hockauf, M. Scholze, R.J. Hellmig, T. Lampke, "Influence of Pre-Aging on the Artificial Aging Behavior of a 6056 Aluminum Alloy after Conventional Extrusion", *Metals*, vol. 385, no. 11, 2021. doi:10.3390/met11030385.
- [8] C. D. Marioara, S. J. Andersen, T. N. Stene, H. Hasting, J. Walmsley, A. T. J. Van Helvoort, R. Holmestad, "The effect of Cu on precipitation in Al-Mg-Si alloys", *Philosophical Magazine*, vol. 87, no. 23, pp. 3385-3413, 2007.
- [9] H. S. Hasting, J. C. Walmsley, A. T. J. Van Helvoort, C. D. Marioara, S. J. Andersen, R. Holmestad, "Z-contrast imaging of the arrangement of Cu in precipitates in 6XXX-series aluminium alloys", *Philosophical Magazine Letters*, vol. 86, no. 9, pp. 589-597, 2006.
- [10] M. Torsæter, W. Lefebvre, C.D. Marioara, S.J. Andersen, J.C. Walmsley, R. Holmestad, "Study of intergrown L and Q' precipitates in Al-Mg-Si-Cu alloys", *Scripta Materialia*, vol. 64, no.9, pp. 817-820, 2011.
- [11] L. Ding, Z.J., Z. Zhang, R.E. Sanders, Q.Liu, G. Yang, "The natural aging and precipitation hardening behaviour of Al-Mg-Si-Cu alloys with different Mg/Si ratios and Cu additions", *Materials Science and Engineering: A*, vol. 627, pp. 119-126, 2015.