



Etial 180 alaşımına ilave edilen bakırın mikroyapı, sertlik ve korozyon üzerindeki etkisi

Effect of copper addition to Etial 180 alloy on microstructure, hardness and corrosion

Engin Kocaman^{1,*}, Erhan Baysal², Oğuz Koçar³, Ahmet Serdar Güldibi⁴, Selçuk Şirin⁵

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, İncivez, 67100, Zonguldak, Türkiye

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Alaplı, 67850, Zonguldak, Türkiye

³ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İncivez, 67100, Zonguldak, Türkiye

⁴ Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78100, Karabük, Türkiye

⁵ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksek Okulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Hendek, 54100, Sakarya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada Etial 180 alaşımı içerisine ağırlıkça %0-5 oranında bakır ilavesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapısal incelemeleri, sertlik değerleri ve korozyon dirençleri ölçülmüştür. Çalışmada bakır ilavesinin Etial 180 alaşımının mikroyapısında önemli değişikliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Artan bakır oranı ile mikroyapıda Al₂Cu faz yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Sertlik testi sonucu Etial 180 alaşımına ilave bakırın alaşımın sertliğinde doğrusal bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %5 bakır içeren alaşımında 80.2 HB olarak ölçülmüş ve referans numuneye göre sertliği %22 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Döküm numunelere gerçekleştirilen potansiyodinamik polarizasyon testi sonucu artan bakır oranının korozyon potansiyellerinde önemli bir değişime neden olmadığı tespit edilmiş fakat akım yoğunluğu değerlerinin genel olarak artan bakır oranı ile arttığı görülmüştür. Çalışmada en düşük korozyon direnci %5 bakır içeren numunede ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Alaşım, Etial180(LM2), Sertlik, Korozyon

1 Giriş

Alüminyum ve alaşımları mukavemet/yoğunluk oranının yüksek olması, yüksek elektriksel iletim, iyi korozyon direnci ve kolay üretilebilir olması gibi özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde vazgeçilmez bir malzeme olarak görülmektedir [1]. Alüminyum ve alaşımları sergilediği bu üstün özellikler sebebiyle başta otomotiv sanayi olmak üzere, uzay ve havacılık sanayi, savunma sanayi, gemi inşaat endüstrisi ve yapı sektörü gibi çok sayıda sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir [2,3]. Alüminyumun bu denli kritik bir malzeme olmasının bir diğer nedeni içerisine ilave edilen alaşım elementleri ile özelliklerinin önemli seviyede değiştirilebilir ve geliştirilebilir olmasıdır [4-6]. Günümüzde çok sayıda alüminyum alaşımı bulunmakla birlikte gerek kullanım oranı

Abstract

In this study, 0-5 wt.% copper was added to Etial 180 alloy. Microstructural examinations, hardness tests and corrosion resistance of the produced samples were measured. In the study, it was observed that the addition of copper caused significant changes in the microstructure of the Etial 180 alloy. It was observed that the volumetric phase density of Al₂Cu in the microstructure increased with increasing copper ratio. As a result of the hardness test, it was determined that the added copper to the Etial 180 alloy caused a linear increase in the hardness of the alloy. In the study, the highest hardness value was measured as 80.2 HB in the alloy containing 5 wt.% copper, and it was determined that it increased the hardness by 22% compared to the reference sample. As a result of the potentiodynamic polarization test performed on the cast samples, it was determined that the increased copper ratio did not cause a significant change in the corrosion potentials, but it was observed that the current density values generally increased with the increasing copper ratio. In the study, the lowest corrosion resistance was measured in the sample containing 5 wt.% copper.

Keywords: Aluminium, Alloy, Etial180(LM2), Hardness, Corrosion

gerekse kolay üretilebilirlik bakımından şüphesiz en önemli alüminyum alaşımı alüminyumun silisyum ile yaptığı alaşımlardır. Alüminyum silisyum alaşımlarının başlıca önemli özelliği ise Al-Si ikili sisteminin ötektik nokta göstermesi sebebiyle ergime sıcaklığının ötektik bölgede düşük olması ve akışkanlığının yüksek olmasıdır [7-9]. Bu durum ötektik noktaya yakın alaşımların kokil kalıp kullanılan yüksek basınçlı döküm ve alçak basınçlı döküm gibi proseslere uygun hale getirmektedir. Bununla birlikte Al-Si alaşımları sadece kokil kalıp uygulamalarında değil kum kalıp uygulamalarında da sıklıkla tercih edilen bir alaşımdır. Öte yandan Al-Si alaşımlarının içerisine ilave edilen alaşım elementleri ile farklı özelliklere sahip kokil kalıp operasyonlarına uygun alüminyum alaşımları geliştirilebilmektedir [10]. Bu alanda tercih edilen alaşımlara

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: enginkocaman@gmail.com (E. Kocaman)
Geliş / Received: 31.11.2022 Kabul / Accepted: 30.12.2022 Yayımlanma / Published: 15.04.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1196795

verilebilecek güzel bir örnek ise Etial-180 (LM2) olarak bilinen ve ana alaşım elementi silisyum olan Al-Si alüminyum alaşımıdır. Etial 180 alaşımının içerisinde silisyuma ilave olarak başta bakır, çinko ve demir olmak üzere eser miktarda mangan, magnezyum ve nikel elementleri bulunmaktadır. İlave edilen alaşım elementleri sonucu mikroyapıda yeni fazlar oluşabilmekte ve bu mikroyapılara bağlı olarak alaşımın özellikleri değişebilmektedir. Literatürde Başaranel ve ark. [11] Etial 180 alaşımı içerisinde magnezyum ve kalay ilave ederek alaşımın özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda magnezyum ilavesinin alaşımın sertliğini artırdığı fakat kalay ilavesinin alaşımın sertliğinde kayda değer bir değişime neden olmadığı rapor edilmiştir. Alüminyum içerisine ilave edilen bu alaşım elementleri içerisinde bakır, mikroyapı içerisinde oluşturduğu intermetalik fazlar ve alaşımı çökeltme sertleşmesine uygun hale getirmesinden dolayı sertlik ve mukavemetin artmasına neden olmaktadır [5]. Fakat bakır katılma aralığını genişletmekte ve akışkanlığı azaltmaktadır. Ötektik Al-Si alaşımlarına ilave edilen her %1 (ağ.) bakır ötektik sıcaklığın ~ 1.8 °C düşmesine neden olduğu literatürde rapor edilmiştir. Yine bakır ilavesinin korozyon direncini azalttığı da bilinmektedir [12]. Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda bakırın özellikle sertlikte bir artışa neden olduğunu belirtilmiştir [13,14]. Fakat alaşım içerisinde artan bakır oranının alaşımın

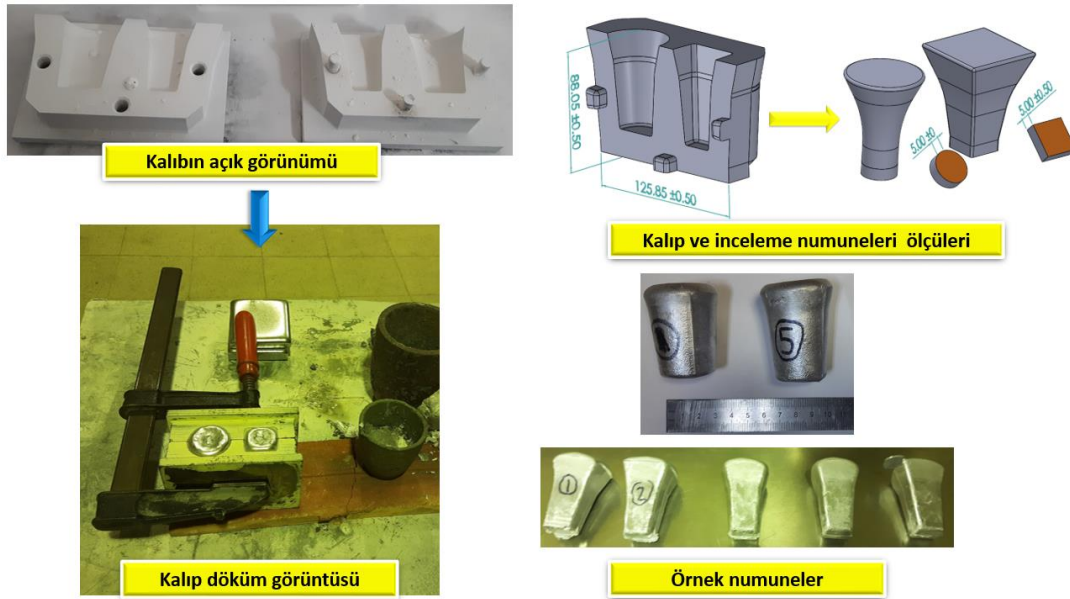
korozyon direncine olan etkisi üzerine yapılan çalışmaların çok kısıtlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise Etial180 alaşımı içerisine ilave edilen farklı oranlardaki bakırın Etial-180 alaşımında mikroyapı, sertlik ve korozyon direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2 Materyal ve metot

Deneysel çalışmalar kapsamında Eti Alüminyum A.Ş. firmasından temin edilen ve Tablo 1’de kimyasal bileşimi verilen birincil üretim Etial 180 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. İstenilen ölçülere göre kesilen Etial 180 alaşımı 2 kg kapasiteli SiC potalara şarj edilerek Protherm marka elektrik direnç fırınında 760 °C sıcaklıkta ergitilmiştir. Ergitilen Etial 180 alaşımı içerisine ağırlıkça % 0.5, % 1, % 2.5 ve % 5 oranında bakır ilavesi yapılmıştır. Fırın içerisine yerleştirilen potalar 15 dakika sonunda her beş dakikada bir olmak üzere üç sefer karıştırılmıştır. Döküm öncesi 5 dakika süre ile grafit bir çubuk yardımıyla azot gazı kullanılarak gaz giderme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan ergiyik metal Şekil 1’de şematik görünümü verilen ve 250 °C ön ısıtılan kokil kalıp içerisine dökülmüştür. Üretilen numunelerin Oxford Instrument marka spektral analiz cihazı kullanılarak kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir. Spektral analiz sonucu ve deneysel çalışmalarda kullanılan numune kodları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Etial 180 Alaşımı ve deneysel numunelerin kodları ve spektral analiz sonuçları

| Numune kodu | Si | Cu | Fe | Zn | Mg | Ni | Mn | Al |
|-----------------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| Cu0 (Etial 180) | 10.9 | 2.27 | 0.974 | 2.09 | 0.209 | 0.111 | 0.199 | Kal. |
| Cu0.5 | 10.9 | 2.79 | 0.978 | 2.08 | 0.215 | 0.127 | 0.200 | Kal. |
| Cu1 | 10.8 | 3.22 | 0.955 | 2.09 | 1.199 | 0.119 | 0.207 | Kal. |
| Cu2.5 | 10.5 | 4.78 | 0.930 | 2.04 | 0.207 | 0.131 | 0.208 | Kal. |
| Cu5 | 10.4 | 7.01 | 0.927 | 1.95 | 0.214 | 0.135 | 0.207 | Kal. |



Şekil 1. Kokil kalıbın şematik görünümü ve örnek numune görüntüleri

Mikroyapısal incelemeler ve deneysel testler için numuneler Şekil 1’de gösterildiği şekilde parçanın alt kısmından itibaren 10 mm mesafeden su soğutmalı hassas kesme cihazı ile kesilmiştir. Kesilen numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh SiC zımpara kullanılarak zımparalanmış ve akabinde 6, 1 ve 0.05 µm elmas parlatma solüsyonu ile parlatılmıştır. Mikroyapısal inceleme işlemi gerçekleştirilecek numuneler Keller çözeltisi (5 ml. HNO₃, 3 ml. HCl, 2 ml. HF ve 190 ml saf su) ile dağlanmıştır. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri Lecia M1750 metal mikroskobu ve Jeol JSM-6060LV markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak alınmıştır. Döküm numunelerin sertlik ölçümleri Brinell sertlik modunda Bulut Makine marka DIGIROCK-RB model sertlik cihazı ile 2,5 mm çapında bilye ve 62.5 kg yük uygulanarak ölçülmüştür. Sertlik ölçüm işlemi bütün yüzey boyunca 5 mm aralıklarla ve her numuneden 10 ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Korozyon testleri Gamry marka 1010 E model potansiyotat kullanılarak 0.5 M NaCl çözeltisi içerisinde yapılmıştır. Korozyon testi öncesi her numunenin yüzeyleri alkol ve saf su kullanılarak temizlenmiştir. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_c) ±0.03 µm olarak ölçülmüştür. Korozyon testleri 10 mm çapındaki yüzey alanında, -0.5 ile + 1.5 mV potansiyel aralığında 1mV/sn tarama hızında, doymuş kalomel referans elektrot ve grafit karşıt elektrot kullanılarak üç elektrot yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

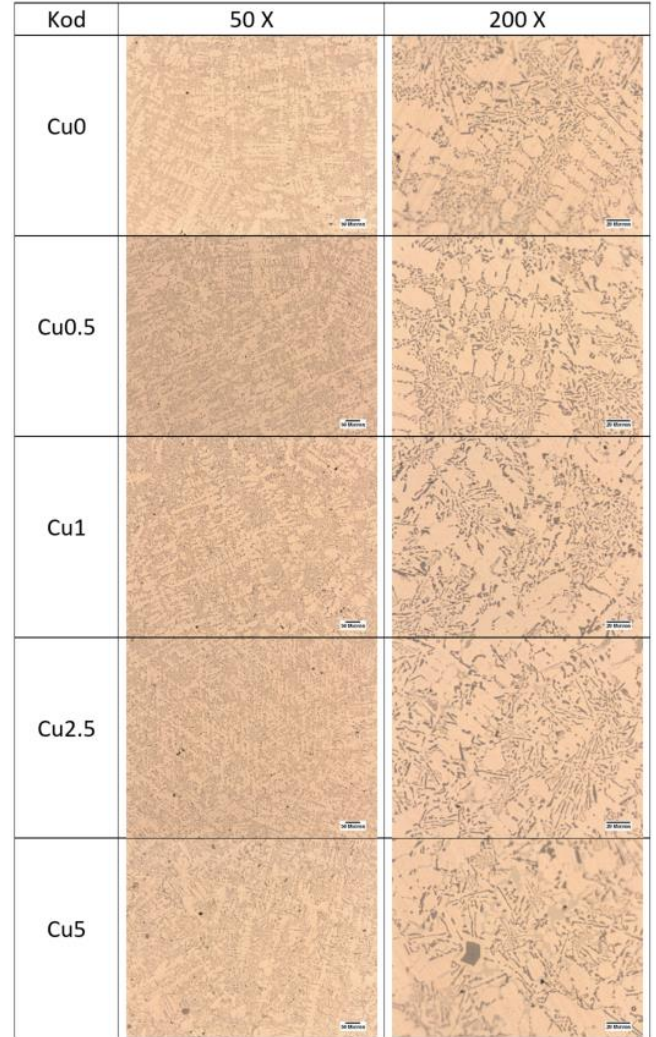
3.1 Mikroyapısal incelemeler

Şekil 2’de döküm numunelerden alınan farklı büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde alaşımın dentritik bir katılaşma sergilediği görülmektedir. Dentritlerin arasında kalan bölgede ise blok yapılı, fiberimsi ve çin yazısı (Chinese script) benzeri yapıların bulunduğu anlaşılmaktadır. Ana alaşım elementi silisyum olan Etial 180 alaşımının bileşiminde Cu, Fe ve Zn gibi yan alaşım elementleri de nispeten yüksek oranda bulunmaktadır. Bu elementler katılaşma sırasında katı ergiyik olarak veya intermetalik yeni bir yapı oluşturarak mikroyapı içerisinde yer almaktadır.

Literatürde benzer alaşımlar ile gerçekleştirilen çalışmalarda matris fazın α-Al, ince uzun çubuksu fazların β-Al₃FeSi, çin yazısı şekilli fazların α-Al₁₅(Fe,Mn)₃Si₂, dentritlerin arasında kalan yapıların ötektik fazlar ve siyahımsı koyu renkli blok yapılı fazların Al₂Cu intermetalik yapısı olduğu belirtilmiştir [15]. Öte yandan Şekil 2’de verilen optik mikroskop görüntülerinde artan bakır oranı ile mikroyapıda dentritler, fiberimsi uzun yapılar veya blok yapılı fazlarda büyük bir değişiklik olmadığı fakat açık gri renkli adacıkların ortaya çıktığı ve hacimsel oranının artan bakır oranı ile birlikte arttığı anlaşılmaktadır.

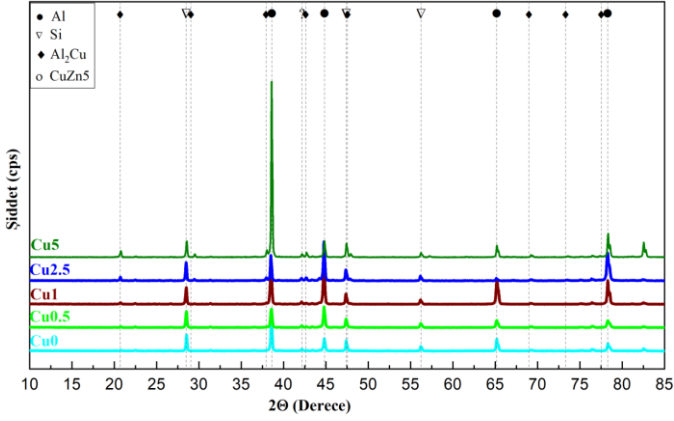
Şekil 3’te farklı oranlarda Cu içeren Etial 180 alaşımına ait XRD analizi verilmiştir. XRD sonucuna göre mikroyapılarda alüminyum, silisyum, Al₂Cu ve eser miktarda CuZn₅ fazlarına ait piklere rastlanmıştır. Etial 180 alaşımı içerisinde ilave edilen bakır oranının artması ile Al₂Cu

intermetalik yapısına ait pik şiddetlerinde bir artış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Döküm numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 4’te Cu0 yani referans numune olan Etial180 alaşımının döküm halinin SEM görüntüsü ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 4-a’da mikroyapı içerisinde dağılan çin yazısına benzer açık gri renkteki fazların, küçük boyutlu fazların, arka planda beliren kabartma görünümdeki yapıların ve SEM görüntüsünün sağ üst tarafından daha belirgin bir şekilde görülebilen çubuksu uzun yapıların olduğu görülmektedir. Şekil 4-b’de çin yazısına benzer bir noktanın üzerine gerçekleştirilen 1 numaralı EDS analizinde yüksek miktarda alüminyum ile birlikte Si, Fe ve Mn sinyallerinin alındığı görülmektedir. Çin yazısı şekilli bu fazların α-Al₁₅(Fe,Mn)₃Si₂ olması muhtemeldir. Literatürde bu yapıların yüksek soğuma hızı ve düşük mangan konsantrasyonunda çin yazısı şeklinde katılaşmış tersi durumlarda ise polihedral bir yapı olarak alüminyum dentritlerin etrafında birincil katılaşan faz olmasının beklendiği belirtilmiştir [16].



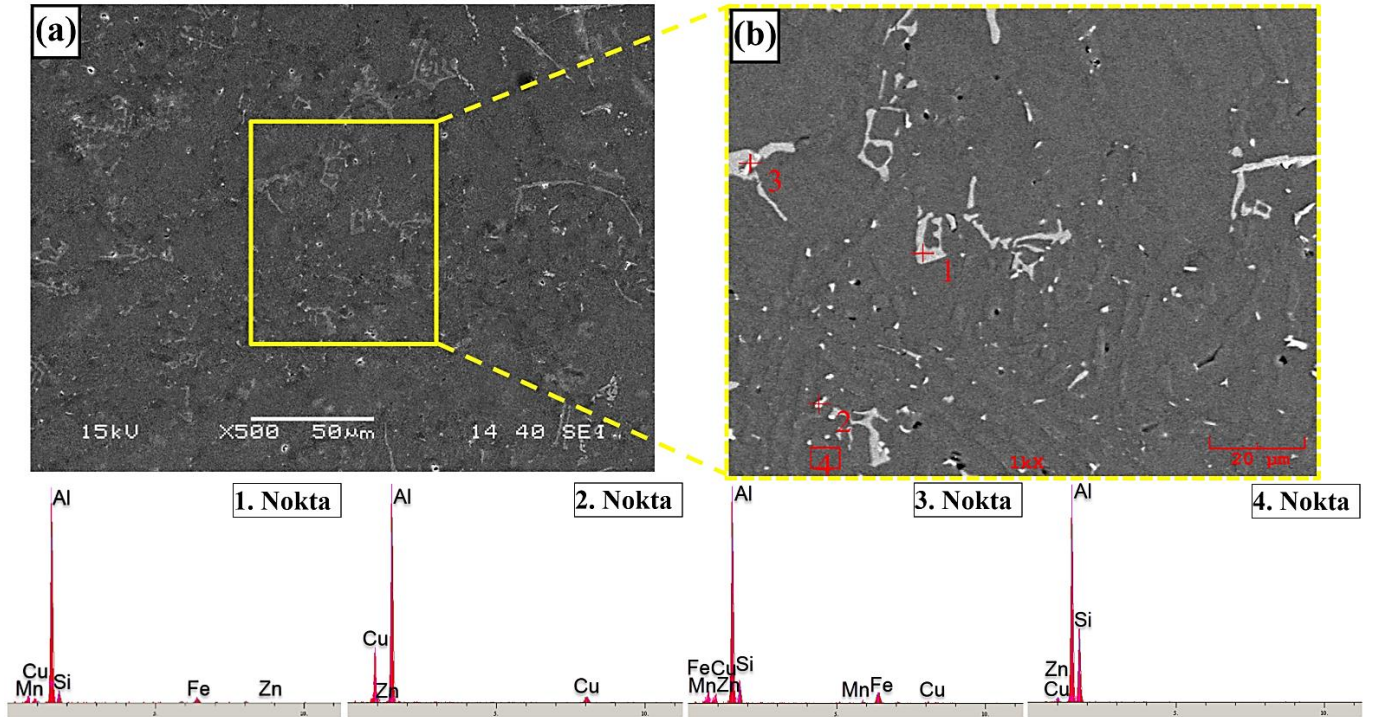
Şekil 3. Döküm numunelerin XRD analizi

Şekil 4-a'da sağ üst köşede ince uzun çubuksu formda yapıların olduğu görülmektedir. Bu yapıya benzer bir noktanın Şekil 5'te verilen geri saçılımlı elektron modundaki (BSE) SEM görüntüsünde ince-uzun çubuksu formdaki yapılar daha belirgin olarak görülmektedir. Şekil 5-b'de verilen SEM görüntüsü üzerinden alınan MAP analizinde bu çubuksu formundaki yapılarda Al, Si ve Fe elementlerinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple bu yapıların β -Al₅FeSi fazı olması muhtemeldir. Literatürde gerçekleştirilen çeşitli çalışmalarda benzer fazlara rastlanmıştır [18]. Öte yandan alaşımın içerisindeki Mn miktarının β -Al₅FeSi'un α -Al(Fe,Mn)Si yapısına dönüşmesinde etkili olduğu rapor edilmiştir [19].

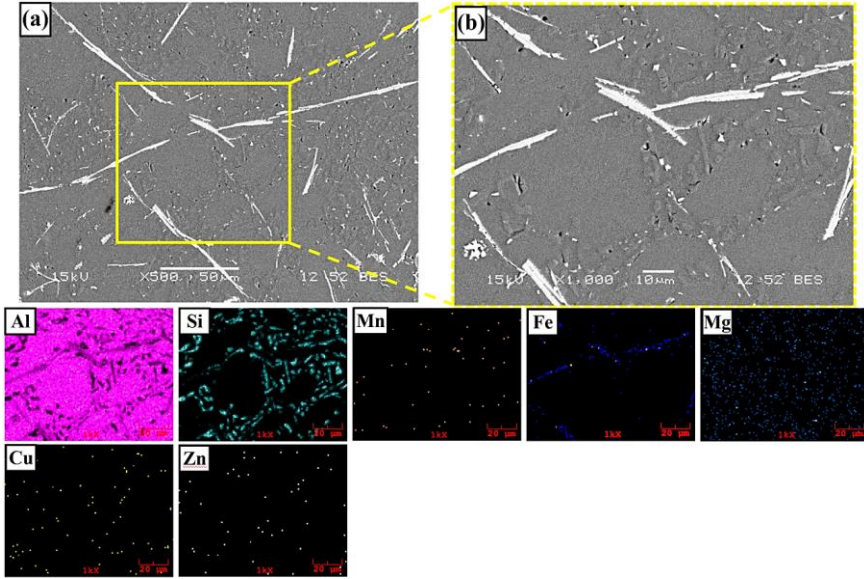
Şekil 6'da Etial 180 alaşımı içerisine ağırlıkça %5 oranında bakır ilave edilmesi sonucu elde edilen Cu5 kodlu

numunenin SEM görüntüsü EDS ve MAP analizi verilmiştir. Görüntülerde referans numuneden farklı olarak açık gri renkli adacıkların arttığı anlaşılmaktadır. Bu fazlardan birinin üzerine gerçekleştirilen 1 numaralı EDS analizinde alüminyum ve bakır sinyallerinin alındığı görülmektedir. Bu fazın XRD analizinde artan bakır oranı ile daha belirgin bir pik veren Al₂Cu fazı olduğu düşünülmektedir. Literatürde alüminyum alaşımının döküm şartlarında oluşan Al₂Cu fazının blok, ötektik veya her ikisini birden içeren bir morfolojide katılaştığı ve yüksek katılma hızlarının ötektik Al₂Cu yapısını teşvik ettiği rapor edilmiştir [17,20]. Ayrıca Al₂Cu fazının katılmanın son aşamasında β -Al₅FeSi tabakası, kaba ötektik partikülü üzerinde çekirdeklenebileceği veya ince partiküller halinde küçük ötektik Si partiküllerinin üzerinde oluşabileceği bildirilmiştir [21,22]

Benzer bir yapı Şekil 4-b'de 3 numaralı EDS analizinin alındığı noktada görülmektedir. Şekil 4-b'de verilen 2 numaralı EDS analizinde alüminyum ile birlikte yoğun olarak bakır sinyali alınmıştır. Bu fazın Al₂Cu olması muhtemeldir. Yapılan çalışmalar Al₂Cu fazının mikroyapı içerisinde blok yapılı olarak Al₂Cu şeklinde veya Al-Al₂Cu ötektik şeklinde bulunabileceğini göstermiştir [17]. SEM görüntüsünde yer alan Al₂Cu yapısı ise blok yapılı bir intermetalige örnektir. SEM görüntüsünde matris ile aynı renkte fakat kabartma görünümü veren fazların üzerinden alınan 4 numaralı EDS analizinde alüminyum ile birlikte yoğun olarak silisyum sinyalinin alındığı görülmektedir. Bu fazın optik mikroskop görüntülerinde belirgin bir şekilde gözükürken ötektik Al-Si yapısı olduğu söylenebilir.



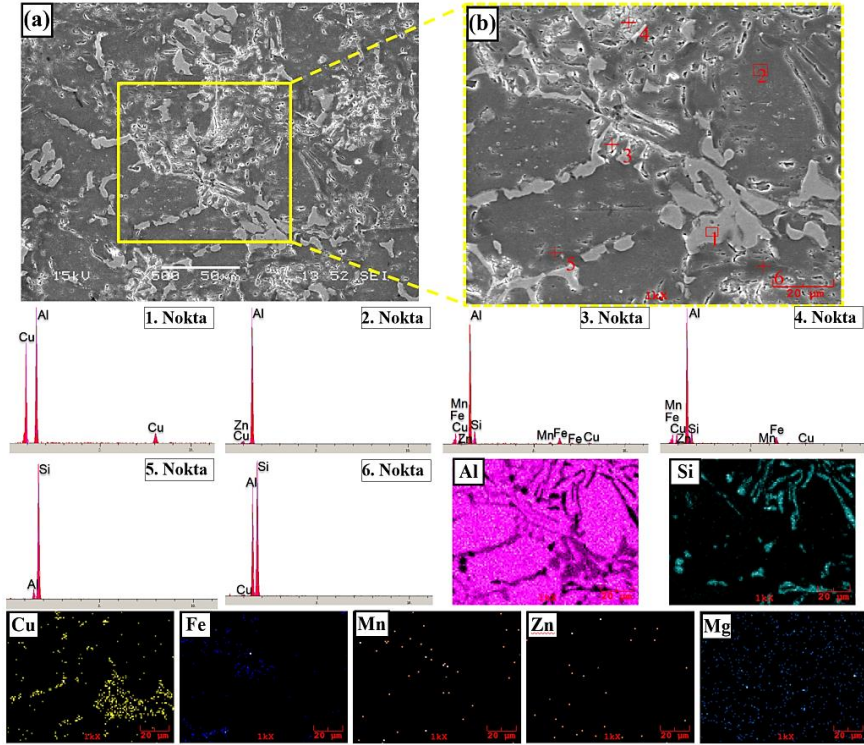
Şekil 1. Cu0 kodlu numunenin a) SEM görüntüsü ve b) EDS analizi



Şekil 2. CuO kodlu numunenin a) SEM görüntüsü ve b) MAP analizi

Bu çalışmada oluşan Al_2Cu yapılarının hem blok yapıları hem de ötektik olarak oluştuğu gözlemlenmiştir. Öte yandan SEM görüntüsünde bu fazların özellikle ötektik silisyum partiküllerinin üzerinde oluştuğu anlaşılmaktadır. MAP analizinde benzer kontrast gösteren fazlardan yoğun bakır ve alüminyum sinyali alındığı yani bu fazlarında Al_2Cu fazını temsil ettiği söylenebilir. XRD analizinde mikroyapıda eser miktarda var olduğu tespit edilen ve artan bakır oranı ile kısmi bir artış gösteren $CuZn_5$ fazına rastlanmıştır. Fakat XRD analizinde ortaya çıkan bu faz SEM görüntüsünde ayır-

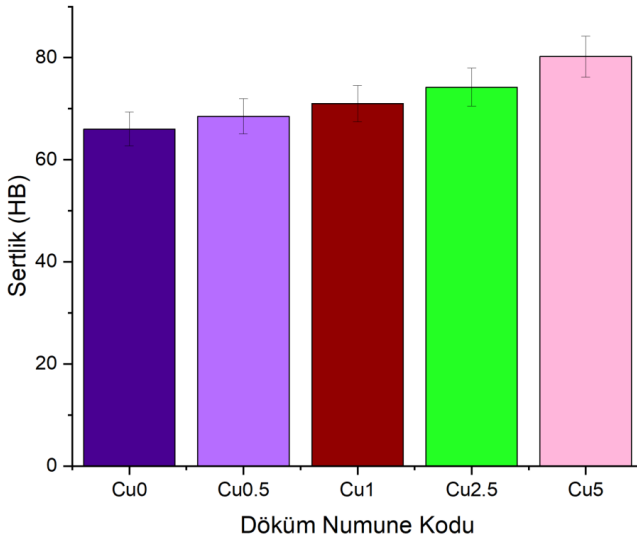
edilebilir bir şekilde tespit edilememiştir. Wang ve arkadaşları tarafından yapılan benzer bir çalışmada [23], XRD analizinde tespit edilen $CuZn_5$ fazına SEM görüntülerinde rastlanılmadığı rapor edilmiştir. Çalışmada bu durum $CuZn_5$ fazının küçük boyutlarda mikroyapıda dağınık bir halde bulunmasına bağlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu gerçekleştirilen XRD analizinde yer alan eser miktardaki $CuZn_5$ fazının SEM görüntülerinde tespit edilememesi Wang ve arkadaşlarının bulgularına benzer bir şekilde açıklanabilir.



Şekil 3. Cu5 kodlu numunenin SEM görüntüsü, EDS ve MAP analizi

3.2 Sertlik testleri

Şekil 7’de Etial 180 alaşımı içerisine ilave edilen bakır ile makro sertlikte meydana gelen değişim grafiği görülmektedir. Grafikte görüleceği üzere Etial 180 alaşımı içerisine ilave edilen bakırın sertlikte doğrusal bir artışa neden olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmada en yüksek sertlik değeri Etial 180 alaşımı içerisine ağırlıkça %5 bakır ilave edilen C5 numunesinde elde edilmiştir. İlave edilen ağırlıkça %5 bakır ile alaşımın sertlik değerini 80.2 HB olarak ölçülmüş ve başlangıç duruma göre ~% 22 oranında arttığı belirlenmiştir. Bakırın alüminyum içerisindeki çözünürlüğü Al-Cu ikili denge diyagramından görüleceği üzere yaklaşık 500 °C sıcaklıkta ağırlıkça %5.65 gibi düşük bir değere sahiptir [24]. Öte yandan Etial 180 alaşımına ilave edilen bakırın fazlası Al₂Cu intermetalik fazlarını oluşturması beklenmektedir. Kısmi olarak matris fazda çözünen bakır katı eriyik sertleşmesi ile alaşımın sertliğine katkı sağlamaktadır. Fakat sertliğin artmasında neden olan ana mekanizma Al₂Cu intermetalik oluşumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakır ilavesi sonucu oluşan sert intermetalik yapılar dislokasyon hareketini engelleyerek sertliğin artmasına neden olur. Bu sebeple artan bakır oranı ile sertliğin artması beklenir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda Al-Si ve Al-Mg-Si gibi alaşımların sertliğinin artan bakır oranını ile arttığı rapor edilmiştir [25–27].

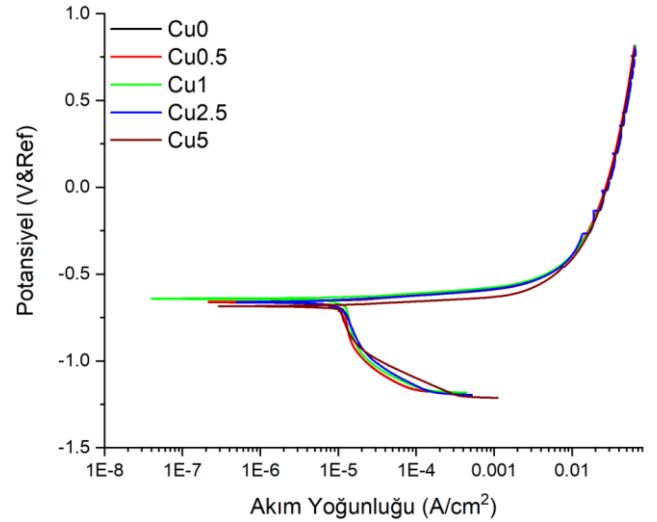


Şekil 7. Döküm numunelerin sertlik sonuçları

3.3 Korozyon testleri

0.5 M NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik polarizasyon testi sonrası elde edilen Tafel eğrisi Şekil 8’de verilmiştir. Döküm numunelerin Tafel eğrilerinde, alaşımın içerisine ilave edilen bakır ile birlikte önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Tablo 2’te Tafel eğrileri üzerinden ölçülen korozyon potansiyellerine göre artan bakır oranının korozyon potansiyelleri üzerinde doğrusal bir değişime neden olmadığı görülmektedir. Öte yandan genel bir yorum olarak artan bakır oranı ile korozyon potansiyeli değerinde bir azalma olduğu yani alaşımı daha

aktif tarafa kaydıracağı söylenebilir. Normalde alüminyum alaşımları içerisine ilave edilen bakırın korozyon direncini azaltacağı yönünde bir yaklaşım bulunsa bile bakırın oluşturduğu Al₂Cu intermetalik fazlarının korozyon potansiyeli matris faza göre daha pozitifdir fakat demir içeren intermetalik fazlara göre daha negatiftir [28,29]. Bununla birlikte alüminyum içerisine ilave edilen bakır ile oluşan Al₂Cu intermetalik yapısı tane sınırlarına çökelmektedir. Bunun sonucunda α-Al matris ile intermetalikler arasında oluşan potansiyel fark bölgesel galvanik çiftlerinin oluşumu teşvik ederek tane ve tanelerarasında oluşan korozyon mekanizmasını harekete geçirmektedir [30,31]. Yine literatürde alüminyum alaşımı içerisine ilave edilen bakır gibi alaşım elementlerinin oluşturduğu Al₂Cu, MgSi₂ gibi intermetalik fazların α-Al matris bir potansiyel farka neden olduğu ve mikro galvanik hücre oluşturabileceği belirtilmiştir [31–33]. Döküm numunelerin mikroyapılarında artan bakır oranı ile oluşan Al₂Cu intermetalik fazlarının matris ve diğer fazlar ile etkileşime girerek korozyonu daha kompleks bir hale getirmesi beklenir. Bu sebeple döküm numunelere ilave edilen bakır ile alaşımın korozyon potansiyellerinde doğrusal bir değişim olmaması muhtemel bir durumdur. Öte yandan korozyon çalışmalarında özellikle korozyonu kinetik açıdan değerlendirilmesinde kritik bir öneme sahip akım yoğunluğu değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Akım yoğunluğu değerlerine göre ağırlıkça %0.5 bakır ilave edilen Cu0.5 kodlu numune hariç bakırın akım yoğunluğunu artırdığı görülmektedir.



Şekil 8. Döküm numunelerin Tafel eğrileri

Cu0.5 kodlu numunenin bakır oranının diğerlerine numunelere göre nispeten düşük olması mikroyapıda oluşan intermetalik faz yoğunluğunun diğer numunelerden daha az olacağına işaret etmektedir. Öte yandan alaşıma düşük miktarda ilave edilen bakırın mikroyapıda bulunan diğer intermetalik fazlar veya matris faz ile etkileşime girmesi sonucu yapıda dağılması da muhtemeldir. Bu sebeple ağırlıkça %0.5 bakır içeren alaşımın akım yoğunluğu nispeten referans alaşıma göre daha az çıkmıştır. Bununla

birlikte artan bakır oranının genel olarak korozyon akım yoğunluğunu artırdığı söylenebilir. Bunun bir sonucu olarak artan bakır oranı ile korozyon hızı artmakta, yani korozyon direnci azalmaktadır.

Tablo 2. Tafel test parametreleri

| | E_{kor} (mV) | I_{kor} (uA/cm ²) | β_a | β_c | KH (mpy) |
|-------|----------------|---------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Cu0 | -652.508 | 8.23 | 28 | 465 | 17.063 |
| Cu0.5 | -660.162 | 6.997 | 33.2 | 241.2 | 14.593 |
| Cu1 | -644.058 | 9.195 | 32.3 | 370.9 | 19.27 |
| Cu2.5 | -665.046 | 8.843 | 38.3 | 438.3 | 18.907 |
| Cu5 | -687.105 | 10.202 | 29.1 | 1240.7 | 22.642 |

4 Sonuçlar

Bu çalışmada Etial 180 (LM2) alaşımı içerisine farklı oranlarda bakır ilave edilmiş ve değişen bakır oranının alaşımının mikroyapısı üzerindeki etkileri, sertlik üzerindeki etkileri, ve korozyon direnci üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular şu şekildedir;

1) Etial 180 alaşımına içerisine ilave edilen bakırın artması ile mikroyapıda yeni oluşan fazlar optik mikroskop görüntüsü ile tespit edilebilmektedir. Mikroyapılardan alınan SEM görüntüsü, EDS ve MAP analizine göre artan bakır oranı ile Al₂Cu fazının arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte artan bakır oranı ile mikroyapıda tanımlanamayan fakat XRD analizinde küçük pikler olarak kendini gösteren eser miktarda CuZn₅ fazına rastlanmıştır.

2) Döküm alaşıma ilave edilen bakır ile alaşımın sertliğinde doğrusal bir değişim meydana geldiği görülmüştür. Öte yandan artan bakır oranı ile mikroyapıda oluşan Al₂Cu fazlarının sertliğinin artmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük sertlik Cu0 kodlu referans numunede ölçülürken en yüksek sertlik değeri Cu5 kodlu ağırlıkça %5 oranında bakır içeren numunede ölçülmüştür.

3) Etial 180 alaşımı içerisinde ilave edilen bakırın korozyon potansiyeli üzerinde doğrusal bir değişime neden olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat artan bakır oranı ile korozyon akım yoğunluğunun genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Döküm numuneler içerisinde en düşük korozyon direnci ağırlıkça %5 bakır içeren Cu5 kodlu numunede ölçülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü BAP 2021-73338635-01 nolu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %13

Kaynaklar

[1] J.R. Davis, Aluminum and Aluminum Alloys, Light

- Met. Alloy. 66, 2001. <https://doi.org/10.1361/autb2001p351>.
- [2] B. Stojanovic, M. Bukvic, I. Epler, Application of aluminum and aluminum alloys in engineering, Appl. Eng. Lett. 3 (2), 52–62, 2018. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.2.2>.
- [3] E. Kocaman, S. Şirin, D. Dispınar, Artificial Neural Network Modeling of Grain Refinement Performance in AlSi10Mg Alloy, Int. J. Met. 15, 338-348, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00472-9>.
- [4] R.S. Rana, R. Purohit, D. S, Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites, Int. J. Sci. Res. Publ. 2 (6), 1–7, 2012
- [5] J.F. King, 6 - Aluminium products, in: J.F.B.T.-T.A.I. King (Ed.), Woodhead Publishing, pp. 6–36, 2001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-151-6.50012-4>.
- [6] M. Çolak, S.H. Yetgin, Investigation of the Effects of Casting Method on Cooling Plate on Tribological Properties of A357 Aluminum Alloy with Taguchi Method, 7 (83), 99–103, 2018.
- [7] Q. Miao, D. Wu, D. Chai, Y. Zhan, G. Bi, F. Niu, G. Ma, Comparative study of microstructure evaluation and mechanical properties of 4043 aluminum alloy fabricated by wire-based additive manufacturing, Mater. Des. 186, 108205, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108205>.
- [8] M. Warmuzek, Aluminum-silicon casting alloys, ASM International, Ohio, 2004.
- [9] M. Çolak, R. Kayıkcı, A356 Döküm Alaşımında Elektromanyetik Karıştırmanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg. 15 (3), 345–351, 2009.
- [10] A. Lakshmanan, S. Shabestari, J. Gruzleski, Microstructure Control of Iron Intermetallics in Al-Si Casting Alloys, 86, 457–465, 1995. <https://doi.org/doi:10.1515/ijmr-1995-860704>.
- [11] M. Başaranel, N. Saklakoğlu, SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımına eser miktarlarda magnezyum ve kalay ilavesinin etkilerinin incelenmesi, Journal. 3 (2), 83–90, 2012.
- [12] E. Uslu, R. Çatar, M. Çolak, Si ve Cu Elementleri İçeren Alüminyum Döküm Alaşımının Korozyon Özelliklerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırılması, Eng. Sci. 12 (3), 133–140, 2017. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.3.1A0381>.
- [13] N. Nafsin, H.M.M.A. Rashed, Effects of Copper and Magnesium on Microstructure and Hardness of Al-Cu-Mg Alloys, 2 (5), 533–536, 2013.
- [14] Y.A. Muhi, Effect of Copper Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si Alloy, Al-Qadisiya J. Eng. Sci. 7, 366–381, 2014.
- [15] I. Bacaicoa, M. Wicke, M. Luetje, F. Zeismann, A. Brueckner-Foit, A. Geisert, M. Fehlbier, Characterization of casting defects in a Fe-rich Al-Si-Cu alloy by microtomography and finite element

- analysis, Eng. Fract. Mech. 183, 159–169, 2017. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.03.015>.
- [16] C.M. Dinnis, J.A. Taylor, A.K. Dahle, As-cast morphology of iron-intermetallics in Al–Si foundry alloys, Scr. Mater. 53 (8), 955–958, 2005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2005.06.028>.
- [17] E. Sjölander, S. Seifeddine, Optimisation of solution treatment of cast Al–Si–Cu alloys, Mater. Des. 31, 44–49, 2010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.10.035>.
- [18] M. Başaranel, N. Saklakoğlu, S.G. İrizalp, Etial 180 Alüminyum Alaşımına İlave Edilen Mg ve Sn Elementlerinin İntermetalik Fazlara Etkisi - The Influence of Sn And Mg Contents on the Intermetallic Phases of Etial 180 Alloy, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim. Derg. 9, 17–24, 2015. <http://dergipark.gov.tr/cbayarfbe/issue/4056/53423>.
- [19] N.C.W. Kuijpers, F.J. Vermolen, C. Vuijk, P.T.G. Koenis, K.E. Nilsen, S. van der Zwaag, The dependence of the β -AlFeSi to α -Al(FeMn)Si transformation kinetics in Al–Mg–Si alloys on the alloying elements, Mater. Sci. Eng. A. 394, 9–19, 2005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.09.073>.
- [20] M. Djurdjevic, T. Stockwell, J. Sokolowski, The effect of strontium on the microstructure of the aluminium-silicon and aluminium-copper eutectics in the 319 aluminium alloy, Int. J. Cast Met. Res. 12, 67–73, 1999. <https://doi.org/10.1080/13640461.1999.11819344>.
- [21] Z. Li, A.M. Samuel, F.H. Samuel, C. Ravindran, S. Valtierra, Effect of alloying elements on the segregation and dissolution of CuAl₂ phase in Al-Si-Cu 319 alloys, J. Mater. Sci. 38, 1203–1218, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1022857703995>.
- [22] A.M. Samuel, J. Gauthier, F.H. Samuel, Microstructural aspects of the dissolution and melting of Al₂Cu phase in Al-Si alloys during solution heat treatment, Metall. Mater. Trans. A. 27, 1785–1798, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF02651928>.
- [23] H. Wang, Y. Zhang, C. Wang, S. Cao, W. Bai, C. Wu, J. Qian, Effect of Al Content on Microstructure and Properties of Zn-Cu-Al Alloy, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 746, 12018, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/746/1/012018>.
- [24] O. Zobac, A. Kroupa, A. Zemanova, K.W. Richter, Experimental Description of the Al-Cu Binary Phase Diagram, Metall. Mater. Trans. A. 50, 3805–3815, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11661-019-05286-x>.
- [25] M. Emamy, A.R. Emami, K. Tavighi, The effect of Cu addition and solution heat treatment on the microstructure, hardness and tensile properties of Al–15%Mg₂Si–0.15%Li composite, Mater. Sci. Eng. A. 576, 36–44, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.03.066>.
- [26] M. Zeren, E. Karakulak, S. Gümü, Influence of Cu addition on microstructure and hardness of near-eutectic Al-Si-xCu-alloys, Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed. 21, 1698–1702, 2011. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)60917-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)60917-5).
- [27] M. Emamy, N. Nemati, A. Heidarzadeh, The influence of Cu rich intermetallic phases on the microstructure, hardness and tensile properties of Al-15% Mg₂Si composite, Mater. Sci. Eng. A. 527, 2998–3004, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.01.063>.
- [28] C.P. student Castella, Politecnico di Torino Porto Institutional Repository [Doctoral thesis] Self hardening aluminum alloys for automotive applications, DOI 10.6092/Polito/Porto/2598757 2016-07-28, 2015. <https://doi.org/10.6092/polito/porto/2598757>.
- [29] C. Vargel, Chapter C.13 - Galvanic corrosion, in: C.B.T.-C. of A. (Second E. Vargel (Ed.), Elsevier, Amsterdam, 295–315, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099925-8.00025-9>.
- [30] M.J. Robinson, Mathematical modelling of exfoliation corrosion in high strength aluminium alloys, Corros. Sci. 22, 775–790, 1982. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-938X\(82\)90013-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-938X(82)90013-0).
- [31] A. Hossain, F. Gulshan, A.S.W. Kurny, The effect of 4 wt.% Cu addition on the electrochemical corrosion behavior of automotive engine Al-6Si-0.5Mg alloy, Chem. Met. Alloy. 8, 69–74, 2015. <https://doi.org/10.30970/cma8.0307>.
- [32] A.T. Mayyas, M.M. Hamasha, A. Alrashdan, A.M. Hassan, M.T. Hayajneh, Effect of Copper and Silicon Carbide Content on the Corrosion Resistance of Al-Mg Alloys in Acidic and Alkaline Solutions, J. Miner. Mater. Charact. Eng. 11, 335–352, 2012. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2012.114025>.
- [33] M. Abdulwahab, I.A. Madugu, S.A. Yaro, A.P.I. Popoola, Degradation Behavior of High Chromium Sodium-Modified A356.0-Type Al-Si-Mg Alloy in Simulated Seawater Environment, J. Miner. Mater. Charact. Eng. 10, 535–551, 2011. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2011.106041>.

