ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.
ISSN: 2564-6605
doi: 10.28948/ngumuh.598194
Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 1115-1125
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 8, Issue 2, (2019), 1115-1125

Araştırma / Research

Al-Cu ÖTEKTİK ALAŞIMINA Ag, Zn VE Sn KATKILANMASININ MEKANİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Aynur AKER[1] (ORCID: 0000-0001-2345-6789)[*]
Fehmi NAİR[2] (ORCID: 0000-0003-3519-6771)
İsmail YILDIRIM[3] (ORCID: 0000-0001-7986-3236)
Hasan KAYA[4] (ORCID: 0000-0003-3529-9762)

[1]Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Bölümü, 56100, Siirt
[2]Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri
[3]Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 38039, Kayseri
[4]Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, 38039, Kayseri

Geliş / Received: *25.10.2018*
Kabul / Accepted: *16.04.2019*

ÖZ

Bu çalışmada, Al-Cu ötektik alaşımına %2 (ağ.) oranında Ag, Sn ve Zn metalleri katkılanarak elde edilen Al-%33Cu-%2x [x=Ag, x=Sn, x=Zn] (ağ.) alaşım sistemlerinin mikroyapı, mekanik ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla üçlü alaşımlar, belirlenen oranlardaki metallerin vakum ortamında eritilmesinden sonra, eriyik haldeki sıvı alaşımların döküm fırınındaki grafit potalara doldurularak hazırlanmıştır. Döküm halindeki alaşımların, mikroyapı fotoğrafları taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla çekilmiştir. Çekilen bu fotoğraflardan, katkı elementlerinin mikroyapılara olan etkileri araştırılmıştır. Al-%33Cu-%2x alaşımlarının kimyasal bileşim analizi EDX ile yapılmıştır. Döküm halindeki Al-%33Cu-%2x [x=Ag, x=Sn, x=Zn] (ağ.) alaşımları için mikrosertlik (HV) değerleri sırasıyla 184,6 kg/mm^2, 144,2 kg/mm^2 ve 136 kg/mm^2, çekme dayanımı (σ) değerleri 92 MPa, 72,7 MPa ve 53,7 MPa, elektriksel özdirenç (ρ) değerleri ise 2,13x10^{-8} $\mu\Omega$, 3,47x10^{-8} $\mu\Omega$ ve 3,07x10^{-8} $\mu\Omega$ olarak ölçülmüştür. Katkılama elementlerinin Al-Cu ötektiğinin mekanik ve elektriksel özelliklerini etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada bulunan deneysel sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Al-Cu Ötektik, üçlü alaşımlar, mikroyapı, mikrosertlik, çekme gerilimi, elektriksel iletkenlik

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MECHANICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF Ag, Sn AND Zn ADDITIVE ELEMENTS ON Al-Cu EUTECTIC ALLOY

ABSTRACT

In this research, effect of alloying elements in ratio of wt.%2 Ag, Sn and Zn on microstructure, microhardness, tensile strength and electrical resistivity of the Al-Cu eutectic alloy have been investigated. For this purpose, after ternary alloys of metals at specified ratio melted in vacuum atmosphere, liquid molten alloy was filled in prepared graphite crucible in the casting furnace. Microstructures of the casting samples were photographed by using an optical light microscopy and scanning electron microcopy (SEM). From taken photographs, the effects of the alloying elements on microstructures were investigated. The chemical composition analysis of the Al-%33Cu-%2x alloys were characterized by SEM equipped with an energy dispersive X-ray (EDX) spectrometer. The experimental values of Al-%33Cu-%2x [x=Ag, Sn, ve Zn] alloys were measured as 184.6, 144.2 and 136 kg/mm^2

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0 542 536 00 58 ; e-mail / e-posta: aynuraker@hotmail.com

for microhardness (HV), 92, 72.7 and 53.7 MPa, for strain-stres (σ), $2.13x10^{-8}$, $3.47x10^{-8}$ and $3.07x10^{-8}$ μΩ for and electrical resistivity (ρ) respectively. It was seen that the alloying elements effect on mechanical and electrical properties of the Al-Cu eutectic. The results obtained in this work have been compared with the similar experimental research in the literature.

Keywords: Al-Cu Eutecticalloy, ternary alloys, microstructure, microhardness, tensile strength, electrical resistivity

1. GİRİŞ

Metal veya eriyik kristallerin çekirdeklenme ve büyümeleri üzerinde yürütülen çalışmalar, dökümlerle elde edilen malzemelerin yapı ve özelliklerinin anlaşılmasında yeni boyutlar kazandırmıştır. Çok fazlı alaşımlar üzerinde yapılan çalışmalar güncelliğini korumakta, yeni teori ve bulgularla çalışmalar sürdürülmektedir [1-3]. Literatürdeki deneysel çalışmaların çoğu ikili ötektik alaşımlar üzerine olup, katılaştırma parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde, özellikle Al-Cu, Al-Si ve Al-Fe ötektikler gibi yaygın kullanım alanına sahip ticari alaşımlar olduğu görülmektedir [4-8]. Daha üstün özelliklere sahip malzeme üretimi arayışları son yıllarda giderek artmaktadır. Özellikle uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere Al-esaslı (Al-based) alaşımlar [9-16], elektronik ve kimya endüstrisinde kurşunsuz lehimleme alaşımları (lead-free solderings) üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır [17-20]. Yeni özelliklere sahip malzeme üretmek amacıyla, ikili ötektik alaşımlara katkılama yapılarak fiziksel (mekanik, elektrik, termal) özelliklerinin iyileştirilmeye çalışılmakta veya çoklu (üçlü, dörtlü) alaşımlar üretilerek özellikleri araştırılmaktadır [21-29].

Katkılama elementlerinin master alaşımın mikroyapı, sertlik, çekme-dayanımı gibi mekanik ve özdirenç gibi elektriksel özelliklerini etkilediği bilinmektedir [30-43]. Mg-Zn alaşımlarına yapılan, Ba [21], Cr [22], V [23], Ti [24], Sb [25], Mn [26] ve Zr [27] gibi katkılama elementlerinin, döküm durumundaki Mg-Zn alaşımlarının mikroyapılarında değişime yol açtığı, sertlik, çekme-dayanımı, esneklik gibi mekanik özelliklerinde iyileşmeye yol açtığı görülmüştür.

Diğer taraftan metallerin ve alaşımların termofiziksel özelliklerinin (viskozite, elektriksel özdirenç ve iletkenlik, yoğunluk, termal iletkenlik vs.) bilinmesi özellikle amaca uygun malzeme üretimi için yapılan çalışmalarda oldukça önemlidir. Malzemeler için önemli termofiziksel özelliklerden biri olan elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri özellikle metalurjik çalışmalarda (örneğin elektromanyetik uygulama alanlarında) sıklıkla kullanılır [17-19, 28, 29]. Bu nedenle katkılama yapılmış ötektikler veya çoklu alaşımların elektriksel özdirenç değerlerinin ölçülmesi önem kazanmaktadır. Elektriksel özdirenç ölçümlerinde genellikle iki farklı ölçüm tekniği kullanılır [44]. Bu teknikler; kontak uçları kullanarak doğrudan direnç ölçülmesi ve kontaksız indüksiyon ölçümleridir. Katı malzemeler için özdirenç ölçümlerinde genellikle Ohm kanununun bir uygulaması olan ve kontak uçları kullanılarak yapılan dörtnokta tekniği kullanılır [44].

Bu çalışmada, Al-%33Cu (ağ) ötektik alaşımına ağırlıkça %2 oranında Ag, Sn ve Zn metalleri ayrı ayrı katkılanarak Al-%33Cu-%2x [x=Ag, x=Sn, x=Zn] (ağ) alaşımları üretilmiştir. Üçlü alaşımlar, belirtilen oranlardaki metaller vakum ortamında eritilerek hazırlandıktan sonra, döküm fırınındaki grafit potalara doldurularak hazırlanmıştır. Al-Cu ötektiğine yapılan katkı elementlerinin lamelsel yapıdaki mikroyapı, mikrosertlik, çekme-dayanımı ve elektriksel özdirenç gibi fiziksel özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

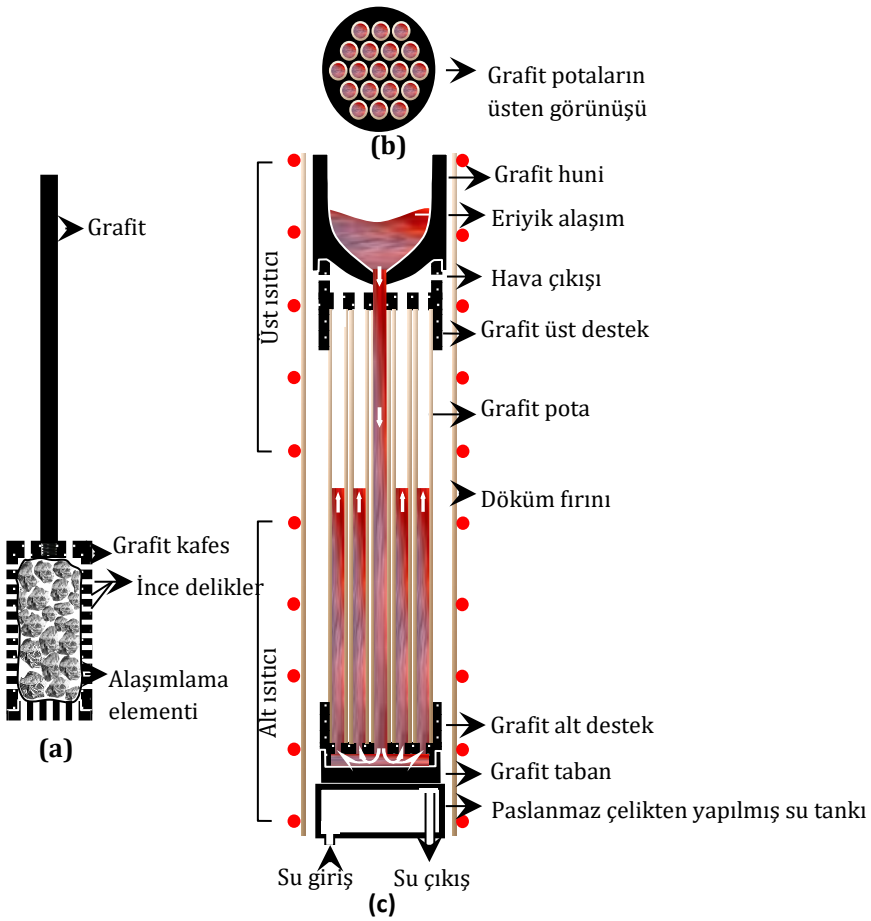
2.1. Alaşımın Hazırlanması ve Numune Kalıplarına Dökülmesi

Elementlerden alaşım oluşturmak için 40 mm çapında, 250 mm uzunluğunda silindir şeklindeki grafit parçadan iç çapı 30 mm, derinliği 200 mm olacak şekilde bir ucu kapalı grafit pota tornada hazırlanmıştır. Grafitten yapılmış olan numune potası, iyi ısı iletkenliğine (119-165 $W.m^{-1}.K^{-1}$), yüksek erime noktasına (3500 °C), kolay işlenebilme özelliklerine sahip olması ve metalik alaşımlarla reaksiyona girmemesi nedeniyle tercih edilmiştir.
Alaşım yapımı için %99,99 saflıkta Al, %99,97 saflıkta Cu, %99,90 saflıkta Ag, %99,97 saflıkta Sn ve %99,98 saflıkta Zn metalleri kullanılmıştır. Al-Cu-x alaşımlarının hazırlanması için her bir metal ağırlıkça oranı 0,1 g'a duyarlı AND GX-600 model hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Erime noktası en küçük olan metal en altta olacak şekilde, vakumlu eritme fırınındaki grafit pota içine sırayla yerleştirilmiştir. Metallerin vakumlu ortamda oksitlenmeden eritilmesinde kullanılan vakumlu eritme fırını, iç içe geçmiş iki alümina tüp, vakum pompası, sıcaklık kontrolcüsü, sabit güç vermekte kullanılan varyak ve soğutma sisteminden oluşmaktadır. Fırın sıcaklığı

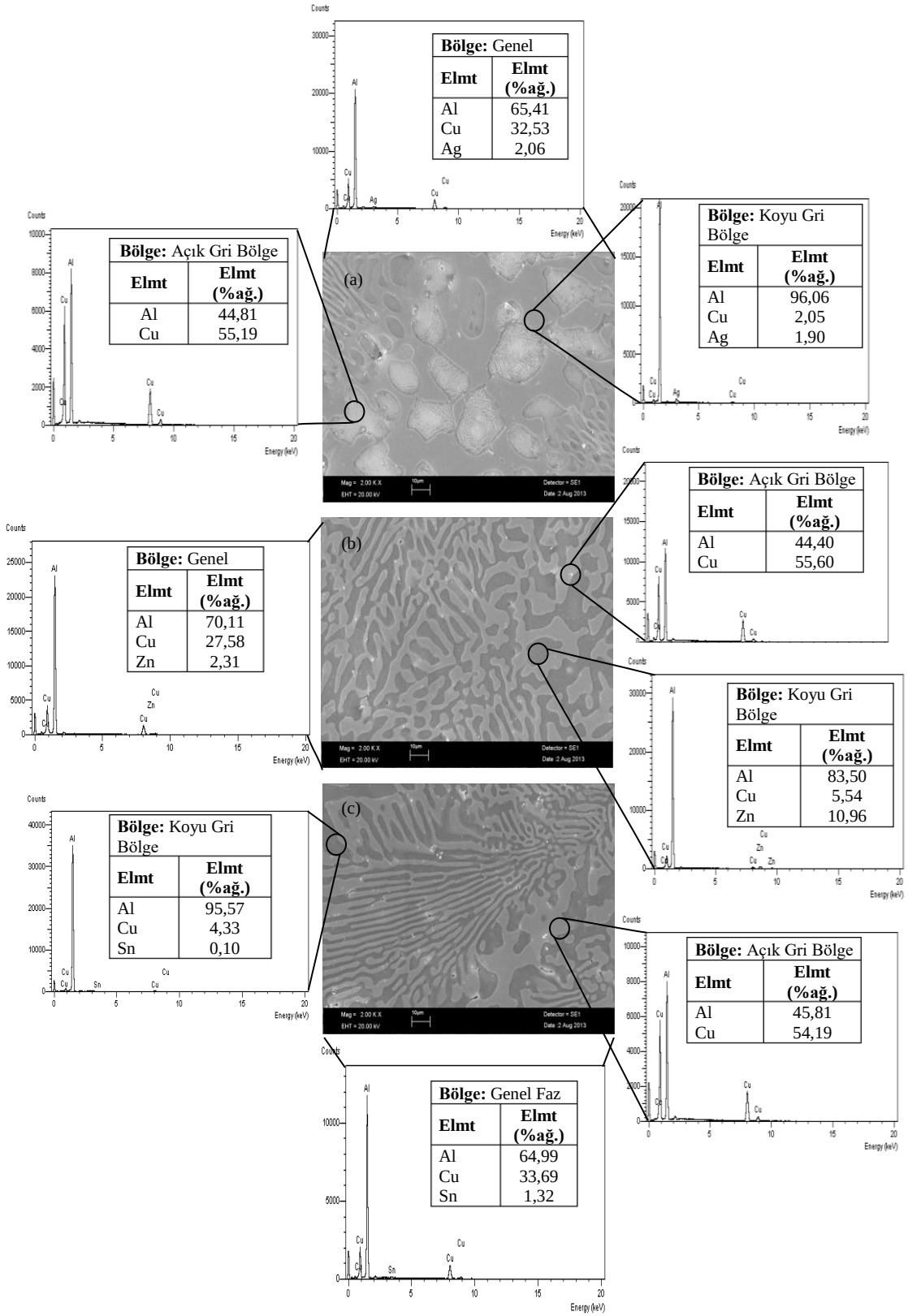
1100 ºC'ye kadar (±2 ºC) çıkabilmekte ve sıcaklık kontrolcüsü ile kontrol edilmektedir. Eritme işlemi vakum pompası yardımıyla 10^{-3} mbar basınç altında yapılmaktadır. Fırın ısıtılmaya varyak en düşük güç durumunda iken başlanmış ve yaklaşık her 5 dakikada varyağın değeri %5 artırılmıştır. Metaller tamamen eridikten sonra vakum kapağı açılarak grafit karıştırıcı çubuk yardımıyla metal eriyik her 20 dakikada bir karıştırılmıştır. Vakumlu eritme fırınında hazırlanan eriyik alaşım, döküm fırınına önceden yerleştirilen özel numune kalıplarına döküldükten sonra döküm fazında soğutulmuştur. Döküm fırını, numunelerin içerisinde hava boşluğu kalmaması ve tamamen dolması için tek yönlü katılaştırma amacıyla kullanılmaktadır. Şematik gösterimi Şekil 1'de verilen döküm fırını alt ve üst ısıtıcı bölgeleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmekte ve 1100 ºC'ye kadar (± 2 ºC hassaslıkta) çıkabilmektedir.

2.2. Metalografik İşlemler ve Görüntü Analizi

Numunelerin zımparalanması %55-75 Al_2O_3 (korindon) ve magnetit tozu içeren zımpara kâğıtlarıyla, Struers LaboPol-5 tipi otomatik parlatma robotunda yapılmıştır. Zımparalama işlemi, 80 gridlik zımparadan başlayarak 2500 gride kadar, kademeli olarak yapılmıştır. Daha sonra dönüş hızı ve baskı basınç değeri ayarlanabilen parlatma robotunun disklerine, numuneye uygun parlatma kumaşları takıldı. Kaba ve ince parlatma için 6 µm, 3 µm, 1 µm, 0,25 µm ve 0,05 µm tane büyüklüğüne sahip elmas süspansiyonlar kullanılmıştır. Numune ile parlatma kumaşı arasında yumuşak bir temas sağlamak ve nem miktarını ayarlamak için parlatıcı ile birlikte StruersDepif yağlayıcı (lubrikant) kullanılmıştır. Zımparalama ve parlatma aşamalarından sonra, lamelsel mikroyapıların gözlenebilmesi için numunenin dağlanması gerekmektedir. Bu çalışmadaki her bir alaşım 5 ml HF asit içerisine 95 ml H_2O ilave edilerek hazırlanan çözeltiye 15-20 s. daldırarak dağlama yapılmıştır.



Şekil 1. Grafit numune, potasının hazırlanması (a) Grafit kafes, (b) Grafit huninin üsten görünüşü, (c) Döküm fırınına yerleştirilmiş grafit numune potalarına dökümün yapılması



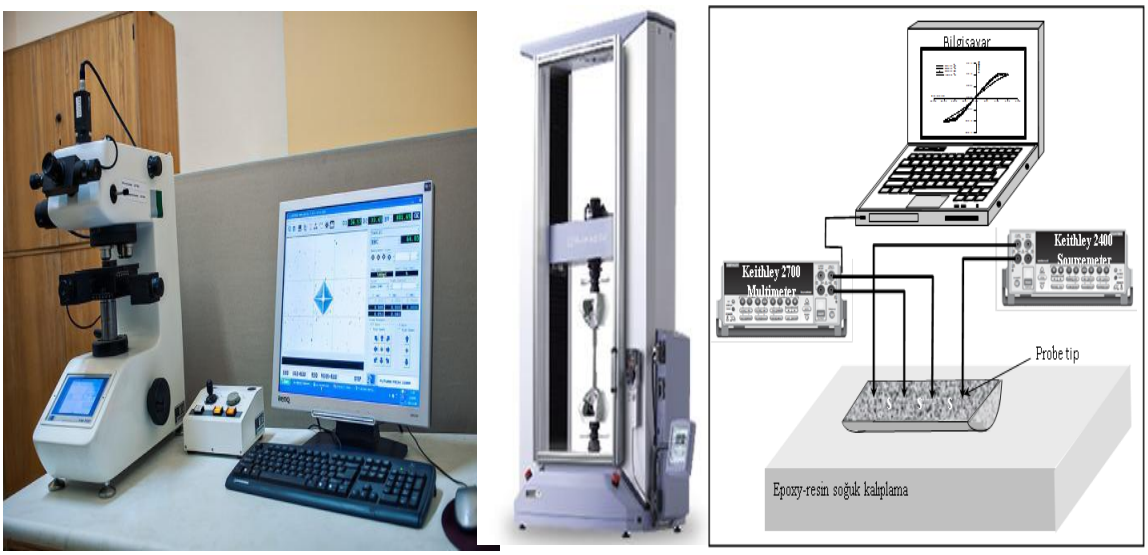
Şekil 2. (a) Al-%33Cu-%2Ag (ağ.), (b) Al-%33Cu-%2Zn (ağ.), (c) Al-%33Cu-%2Sn (ağ.) alaşımlarının lamelsel mikroyapılarına ilişkin SEM fotoğrafları ve EDX analizleri

2.3. Mikroyapıların Gözlenmesi

Üretilen ve metalografik işlemlere tabi tutulan her bir numunenin mikroyapı fotoğrafları taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) çekilmiştir. SEM, 40 kV hızlandırma voltajlı ve Secondary–Backscattered elektron detektörüne sahip ×(5–300.000) kat büyütme kapasiteli olup farklı fazların tane yönelimini tespit etme özelliği bulunmaktadır. SEM ile fotoğraf çekimine geçmeden önce, parlatılmış ve dağlanmış olan numuneler, kaplama ünitesine yerleştirildi ve yüzeyleri yaklaşık 10–40 nm inceliğinde gümüş tabaka ile kaplanarak, elektron demetinin yüzeyden daha iyi saçılması ve görüntünün daha iyi kontrast ve netliğe sahip olması için vakum altına alındı. Vakum haznesi içindeki numune tablası kısmına yerleştirilerek numunelerin uygun bölümlerinden farklı büyütmelerde fotoğrafları çekildikten sonra, fazın kimyasal bileşim analizleri (EDX) yapılmıştır (Şekil 2).

2.4. Mikrosertlik, çekme–dayanımı ve elektriksel özdirenç ölçümleri

Mikrosertlik ölçümlerinde dijital mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3a). Bu cihaz ile (10-1000) g aralığında yük uygulanarak, %5 hassasiyetinde ölçüm alınabilmekte ve ×200, ×500 ve ×1000 büyütmelerle fotoğraf çekebilmektedir. Numuneler sırasıyla ölçüm cihazına bağlanarak, her bir numunenin kesitinden 8–12 adet mikrosertlik değeri lamelsel mikroyapı üzerinden ölçülerek ortalaması alınmıştır. Çekme–dayanım testi için en az 50 mm uzunluğunda numune kesitine ihtiyaç duyulduğundan, dökümü yapılan numunelerin her birinden ikişer adet yapılmıştır. Hazırlanan 4 mm çaplı ve en az 50 mm uzunluğundaki numuneler çekme–dayanım test cihazının (Şekil 3b) tutma çeneleri arasına sıkıca yerleştirildikten sonra, 20 mm/dak hızlarında çekilip gerilme–uzama eğrileri elde edilmiştir. Böylece elde edilen eğrilerden her bir numunenin çekme–dayanım değeri belirlenerek katkı malzemeleri ile değişimi tanımlanmıştır.
Hazırlanan kompozisyondaki her bir alaşımın elektriksel özdirenç değerlerinin ölçümünde dört nokta yöntemi ile Şekil 3c'de görülen iletkenlik ölçüm düzeneği ile ölçülmüştür. Ölçümler için Keithley 2400 marka programlanabilir güç kaynağı, Keithley 2700 marka multimetre ve Protherm marka kül fırınından faydalanılmıştır. Ölçümlerde gümüş tellerin çubuk şekilli numunelere doğrudan teması (kontağı) sağlanmıştır. Ölçümler, her bir numune için oda sıcaklığında 0,1 s'de bir olmak üzere 100 defa yapılmıştır.



(a) (b) (c)

Şekil 3. a) Dijital mikrosertlik ölçüm cihazı b) Mekanik çekme cihazı c) Dört nokta (d.c.) elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Katkılama elementlerinin mikroyapıya etkisi

Her bir alaşım sistemine ait numunelerden SEM fotoğrafları çekildikten sonra bu fotoğraflarda belirginleşen her bir fazın kimyasal bileşim analizleri (EDX) yapılmıştır. Şekil 2'de her bir numunenin enine kesitlerinden çekilen SEM fotoğrafı ve EDX analizleri gösterilmektedir.

Şekil 2a'da Al-%33Cu-%2Ag (ağ) alaşımına ait SEM fotoğrafından, ana fazın (koyu gri) AlCuAg intermetalik faz, açık gri fazın Al_2Cu intermetalik fazı olduğu görülmektedir. Şekil 2b'deki Al-%33Cu-%2Zn (ağ) alaşımına ait SEM fotoğrafından, ana fazın (koyu gri) AlCuZn intermetalik fazı, açık gri fazın Al_2Cu intermetalik fazı olduğu görülmektedir. Şekil 2c'deki Al-%33Cu-%2Sn (ağ) alaşımına ait SEM fotoğrafında ise, ana fazın (koyu gri) AlCuSn, açık gri fazın Al_2Cu intermetalik fazları olduğu görülmektedir.

Şekillerde de gösterildiği gibi bu fazların;

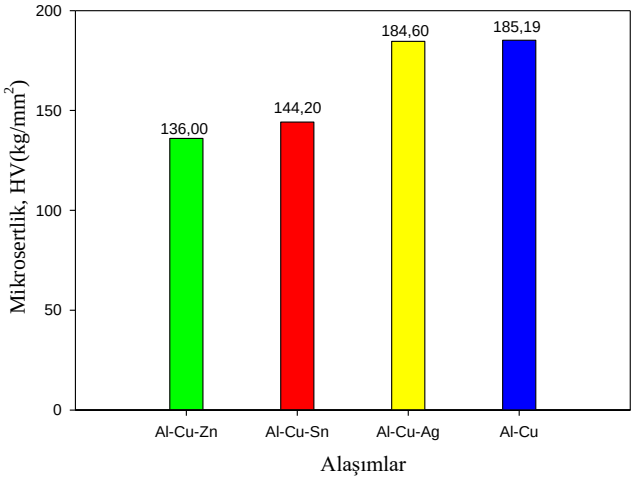
- Ana (koyu gri) fazın; AlCuAg, AlCuZn ve AlCuSn intermetalik fazı,
- Açık gri fazın; Al_2Cu intermetalik fazı, olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2'den görüldüğü gibi, döküm fazındaki Al-%33Cu-%2x [x=Ag, x=Sn, x=Zn] (ağ.) alaşımlarında oluşan mikroyapıların, Al-Cu ötektik alaşımının döküm fazındaki lamelsel mikroyapılarına büyük oranda benzerlik göstermektedir. Ag, Zn ve Sn katkılama elementlerinin Al-Cu ötektiği içerisindeki çözünme oranlarının farklılık göstermesi nedeniyle, her bir katkılama elementine bağlı olarak Al-Cu-x alaşımının lamelsel mikroyapısında da az da olsa farklılık görülmektedir. Yapılan farklı çalışmalardaki EDX analizleri sonucu bulunan Al_2Cu intermetalik fazının bu çalışmada elde edilen analizlerdeki değerlere benzer olduğu gözlenmiştir [9, 32]. Al'un Zn içerisindeki çözünürlüğü, ötektik sıcaklıkta % 1,17 (ağ), 550 K'de % 0,67 (ağ) ve 293 K'de % 0,03 (ağ)'dür [50]. Yapılan analizlerden, katkılanan Ag, Zn ve Sn elementlerinin ana matrix faz içerisinde çözüldüğü görülmüştür. Benzer bir durumun Al-Si ötektiğine aynı oranda yapılan farklı katkı elementlerinin da ana matrix fazı içerisinde çözüldüğü ve oluşan mikroyapılarnda nispeten değişikliğe yol açması [43], bu araştırmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

3.2. Katkılama elementlerinin mikrosertliğe etkisi

Al-%33Cu-%2x [x=Ag, x=Sn, x=Zn] (ağ.) alaşımlarına ait numuneler sırasıyla test cihazına bağlanarak, her bir numunenin mikrosertlik (HV) değeri, güvenirliği artırmak için 8-12 farklı lamelsel mikroyapı bölgesindeki noktalardan ölçülüp ortalaması alınarak belirlenmiştir. Al-Cu ötektik alaşımına yapılan katkılama elementleri (Ag, Zn, Sn) ile elde edilen alaşımların mikrosertlik değerleri Şekil 4'de görüldüğü gibi Al-%33Cu-%2Zn (ağ) alaşımı için 136 kg/mm^2, Al-%33Cu-%2Sn (ağ) alaşımı için 144,2 kg/mm^2 ve Al-%33Cu-%2Ag (ağ) alaşımı için 184,6 kg/mm^2 olarak ölçülmüştür. Bu değerlerden anlaşılacağı gibi en düşük sertlik değeri Al-Cu-Zn alaşımında en yüksek sertlik değeri ise Al-Cu-Ag alaşımında ölçülmüştür.

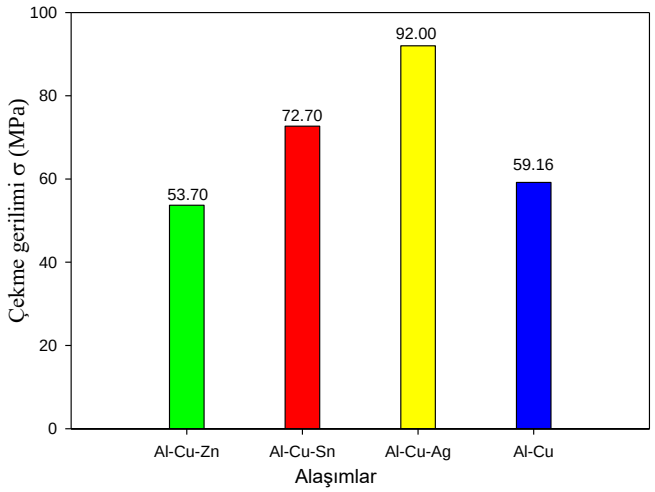
Al-Cu ötektik alaşımı için sertlik değeri 185,19 kg/mm^2 olarak ölçülmüştür [45]. Al-Cu ötektiğine Zn, Sn ve Ag katkılandığında mikrosertlik değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 4). Literatürde yapılan çalışmalarda, Al-%6,2Cu-0,6%Mg alaşımına farklı oranlarda Sn (0,08 ve 0,1) katkılanarak mikroyapı ve sertlik değerlerine etkisi araştırılmıştır. Katkılanan Sn oranı arttıkça sertlik değerinin de azaldığı bulunmuştur [35], Cu-%8Al ve Cu-%6Al alaşımlarına farklı oranlarda Ag (%2, 4, 6, 8, 10, 12) katkılanmış ve sertlik değerlerinin katkılanan Ag değeri ile birlikte arttığı [39-40], $Co_{38}Ni_{34}Al_{28}$ alaşımına farklı oranlarda Sn_x (x=0, 1, 2, 3) katkılanmıştır, Sn oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı gözlenmiştir [42]. Bu farklılığın katkı yapılan alaşımın bileşiminden ve katkı elementinin miktarındaki farklılıktan oluştuğu düşünülmektedir. Al-Si alaşımına %2 (ağ) oranında Cu, Co, Ni, Bi ve Sb elementleri katkılanmış ve yapılan çalışmada katkılama elementlerinin mikrosertlik değerlerinde değişikliğe sebep olduğu görülmüştür [10]. Literatürde yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi katkı elementleri alaşımın mikrosertlik değerlerini değiştirmektedir.



Şekil 4. Mikrosertlik değerlerinin katkılama elementlerine göre değişimi.

3.3 Katkılama elementlerinin çekme-dayanımına etkisi

Elde edilen alaşımların, mikroyapı ölçümleri ve sertlik değerlerinin belirlenmesinden sonra çekme–dayanım testine geçilmiştir. Ölçülen çekme– dayanım değerleri değişen katkı malzemelerine göre ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 5'de Al-Cu-x alaşımlarının çekme dayanım testlerinden elde edilen ölçüm sonuçları verilmektedir. Al-33Cu ötektik alaşımının çekme dayanım değeri 59,16 MPa iken [45], Al-Cu ötektiğine katkılanan Zn, Sn ve Ag metallerine göre çekme dayanım değerleri sırasıyla 53,7 MPa, 72,7 MPa, 92 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük çekme-dayanım değeri Al-33Cu-2Zn alaşımında ölçülürken, en yüksek Al-%33Cu-%2Ag (ağ) alaşımında ölçülmüştür. Zn katkılandığında Al-Cu ötektik alaşımının çekme dayanım değerinin azaldığı, Sn ve Ag katkılandığında ise arttığı görülmektedir. Katkılama elementleri alaşımın çekme dayanım değerini değiştirdiği gözlenmiştir. Bu sonuç literatürde katkı elementlerinin alaşımın mekanik özelliklerinin değişiminin incelemesi için yapılan çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmektedir [7, 10, 11, 22, 34, 43].



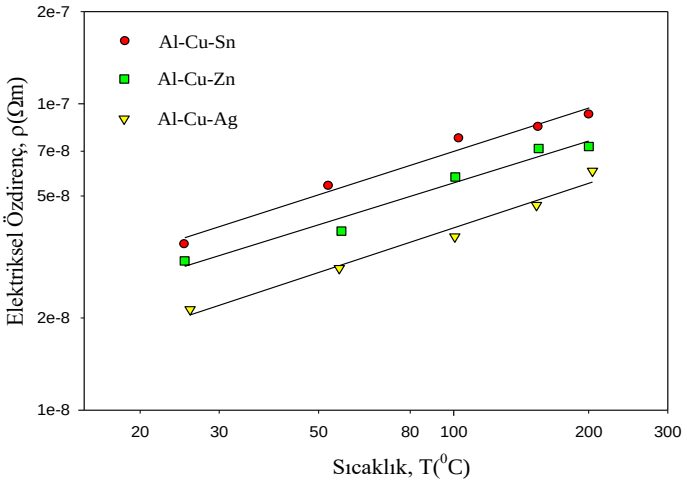
Şekil 5. Çekme-dayanım değerlerinin katkılama elementlerine göre değişimi

3.4. Katkılama elementlerinin ve sıcaklığın elektriksel özdirence etkisi

Al-Cu-x alaşımlarının elektriksel iletkenliklerini belirlemek için dört nokta (fourprobe) yöntemi kullanılmıştır. Al-Cu-x alaşımlarına ilişkin numunelerin özdirenç değerleri Şekil 6'da ve Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 6'dan

görüldüğü gibi Al-Cu ötektiğinin elektriksel özdirenci 25^0C için $6{,}04x10^{-8}$ μΩ [45] iken Al-Cu-Ag, Al-Cu-Zn ve Al-Cu-Sn alaşımlarının elektriksel özdirenç değerleri 25^0C için sırası ile $2{,}13x10^{-8}$ μΩ, $3{,}07x10^{-8}$ μΩ ve $3{,}47x10^{-8}$ μΩ olarak ölçülmüştür. Yapılan katkı elementlerinin elektriksel özdirenç değerlerini azalttığı görülmektedir. Sn katkılanarak hazırlanan alaşımın, Ag ve Zn katkılanarak oluşturulan alaşımlara göre daha yüksek elektriksel özdirence sahip olduğu görülmektedir. Katkı yapılan element ve katkı yapılan alaşıma göre farklılık göstermek üzere, katkı elementlerinin alaşımın elektriksel özdirenç değerini değiştirdiği görülmüştür [18, 20, 29, 30, 43, 10]. Al-Cu alaşımında Cu oranın artırılması ile elektriksel özdirenç değeri azalmıştır [46]. Yapılan bu çalışmada bu bağlamda literatür ile uyum içerisindedir.

Al-Cu-x alaşımlarına ilişkin numunelerin özdirenç değerleri sıcaklığa bağlı olarak da ölçülmüş, sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi, 25-200 ^{o}C sıcaklık aralığında ölçülen özdirenç değerlerinin, aratan sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Al-Cu-x alaşımlarının sıcaklığa bağlı değişimi

Yapılan benzer çalışmalarda, Al-Si ötektiğine aynı oranlarda katıkılanarak elde edilen Al-Si-x (x=Cu, Co, Ni, Bi, Sb) (ağ.) alaşımlarının elektriksel özdirenç değerlerinin sıcaklığın artışı ile arttığı görülmüştür [10, 49]. Al alaşımı farklı oranlarda (%3, 6, 15, 24, 33(ağ.)) Cu elementi eklenerek elde edilen alaşımların sıcaklığa bağlı elektriksel özdirenç değerlerine bakıldığında sıcaklık ile elektriksel özdirenç değerlerinin de arttığı sonucu elde edilmiştir [46]. Al-Cu-Ag öteklik alaşımı [48] için ölçülen elektriksel özdirenç değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak artış göstermesi bu çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Al-Cu-2x (x=Ag, Sn ve Zn) alaşımları için ölçülen mikrosertlik, çekme-dayanım ve elektriksel özdirenç değerleri (25^0C).

Alaşım(% ağ.)	**HV (kg/mm^2)**	**σ (N/mm^2)**	**ρ × 10^{-8} (Ωm)**
Al-33Cu [45]	185,19	59,16	6,04
Al-Cu-Ag	184,60	92,0	2,13
Al-Cu-Zn	136,00	53,70	3,07
Al-Cu-Sn	144,20	72,70	3,47

4. SONUÇLAR

Alaşımları oluşturulurken kullanılan katkılama elementleri mevcut alaşımların mikroyapısını, mikrosertliğini, çekme-gerilme dayanımını ve elektriksel özdirencini etkilediği bilinmektedir. Bu kapsamda katkılamanın alaşımlar üzerindeki etkileri belirlenerek birbirine göre üstünlükleri ve bu etkiler sonucunda alaşımların mikroyapı, mikrosertlik, çekme-gerilme dayanımı ve elektriksel özdirenç değişimleri araştırılarak bu konudaki eksikler bu çalışma kapsamında giderilmeye çalışılmıştır.

Al-Cu ötektik alaşımına %2 (ağ) oranında Ag, Zn ve Sn elementleri katkılanmıştır. Katkı elementlerinin ötektik alaşımın mikroyapı, sertlik, çekme dayanım ve elektriksel özdirenç değerlerinde değişimlere sebep olduğu gözlenmiştir. Ag, Zn ve Sn metallerinin Al, Cu ve Al-Cu ötektik alaşımı içerisindeki çözünme oranlanının farklılık göstermesi sebebiyle Al-Cu alaşımının mikroyapı, mekanik ve elektriksel özelliklerinde değişime yol açmaktadır.

Yapılan analizlerden, katkılanan Ag, Zn ve Sn elementlerinin ana (Koyu Gri) faz içerisinde çözülerek AlCuAg, AlCuZn ve AlCuSn intermetalik fazı oluşturduğu görülmüştür.

Ölçülen sertlik değerlerine bakıldığında Ag katkılanarak elde edilen numunenin Sn ve Zn katkılanarak elde edilen numunelere göre daha sert olduğu ölçülmüştür. Çekme dayanım ölçüm değerlerine bakıldığında ise Ag katkılanarak elde edilen numunenin Sn ve Zn katkılanarak elde edilen numunelere göre daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

Elektriksel özdirenç değerlerine bakıldığında ise Sn katkılanarak hazırlanan numunenin Ag ve Zn katkılanarak elde edilen numunelere göre daha yüksek elektriksel özdirence sahip olduğu görülmektedir.

Katkı yapılan bütün alaşımlar için elektriksel özdirenç değerinin sıcaklığın artan değerlerinde arttığı gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. (Proje no: FOA-2013-4400).

KAYNAKLAR

[1] COLLING, D. A.. Industrial materials, metals and alloys., Prentice - HallInc., Ohio, 1995.

[2] ÇADIRLI, E., ÜLGEN, A., GÜNDÜZ, M., "Directional Solidification of The Aluminium-Copper Eutectic Alloy", Materials Transaction, JIM, 40, 989, 1999.

[3] DE WILDE, J. et al., "Unconstrained Growth Along a Ternary Eutectic Solidification Path in Al–Cu–Ag: Preparation of a MAXUS Sound in Grocket Experiment", Materials Science and Engineering: A, 51, 413-414. 2005.

[4] OVERFELT, R.A., BAKHTIYAROV, S.I., TAYLOR, R.E., "Thermo Physical Properties of A201, A319, and A356 Aluminium Casting Alloys". High Temperatures, High Pressures, 34, 401, 2002.

[5] DE WILDE, J., FROYEN, L., WITUSIEWICZ, V.T., HECHT, U., "Two-Phase Planar and Regular Lamellar Coupled Growth Along The Univariant Eutectic Reaction in Ternary Alloys: An Analytical Approach and Application to The Al-Cu-Ag System", Journal of Applied Physics, 97, 113515-113524, 2005.

[6] JAİN, M., GUPTA, S.P., "Formation of İntermetallic Compounds in The Ni–Al–Si Ternary System", Materials Characterization, 51, 243– 257, 2003.

[7] CESCHINI, L., MORRI ALESSANDRO, MORRI ANDREA, GAMBERINI A., MESSIERI, S., "Correlation Between Ultimate Tensile Strength and Solidification Microstructure Forthes and Cast A357 Aluminium Alloy", Materials and Design, 30, 4525–4531, 2009.

[8] BASAVAKUMAR, K.G., MUKUNDA, P.G., CHAKRABORTY, M., "Influence of Grain Refinement and Modification on Microstructure and Mechanical Properties of Al–7Si and Al–7Si–2.5Cu Cast Alloys", Materials Characterization, 59, 283-289, 2009.

[9] WANG, F., ZOU, J.T., WANG, X.H., FAN, Z.K., "Effect of Melt Super Heat on Microstructure of Al4Fe2Mn1.5 Monelalloy", Transactions Nonferrous Metals Society China, 19, 19-25, 2009.

[10] AKER, A., "Al-Si Ötektik Alaşımına Yapılan Katkı Elementlerinin (Cu, Co, Ni, Sb Ve Bi) Mikroyapı ve Fiziksel Özelliklere Etkisinin Araştırılması", Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Doktora Tezi, Kayseri, 2015.

[11] ALIZADEH R., MAHMUDI R., "Effect of Sb Additions on The Microstructural Stability and Mechanical Properties of Cast Mg-4Zn Alloy", Materials Science and Engineering. A, 527,5312-5317, 2010.
[12] LEE, C.D., " Effect of Damage Evolution of Si Particles on The Variability of The Tensil Eductility of Squeeze-Cast Al–10%Si–2%Cu–0.4%Mg Alloy", Materials Science and Engineering A, 527, 3144–3150, 2010.
[13] ARDAKAN, A.H., AJERSCH, F., "Thermo Dynamic Evaluation of Hyper Eutectic Al–Si (A390) Alloy with Addition of Mg", Acta Materialia, 58, 3422–3428, 2010.
[14] ARDAKAN, A.H., AJERSCH, F., "Effect of Conventional and Rheocasting Processes on Microstructural Characteristics of Hypereutectic Al–Si–Cu–Mg Alloy with Variable Mg Content", Journal of Materials Processing Technology, 210, 767–775, 2010.
[15] ZHANG, X.H., SU, G.C., JU, C.W., WANG, W.C., YAN, W.L., "Effect of Modification Treatment on The Microstructure and Mechanical Properties of Al–0.35%Mg–7.0%Si Cast Alloy". Materials and Design, 31, 4408–4413, 2010.
[16] SREEJA KUMARI S.S., PILLAI R.M., RAJAN T.P.D., PAI B.C., "Effects of Individual and Combined Additions of Be, Mn, Ca and Sr on The Solidification Behaviour, Structure and Mechanical Properties of Al-7Si-0.3Mg-0.8Fe Alloy", Materials Science and Engineering. A, 460-46, 561-573, 2007.
[17] COOK, B.A., ANDERSON, I.E., HARRINGA, J.L., AND KANG, S.K., " Isothermal Aging of Near-Eutectic Sn-Ag-Cu Solder Alloys and Its Effect on Electrical Resistivity", Journal of Electronic Materials, 32, 12, 1384, 2003.
[18] BRANDT, R. AND NEUER, G., "Electrical Resistivity and Thermal Conductivity of Pure Aluminum and Aluminum Alloys upto and Above The Melting Temperature", International Journal Of Thermophysics, 28, 5, 1429, 2007.
[19] OVERFELT R.A., BAKHTIYAROV S.I., TAYLOR R.E., "Thermo Physical Properties of A201, A319, and A356 Aluminium Casting Alloys. High Temperatures", High Pressures, 34, 401, 2012.
[20] COOK, B.A., ANDERSON, I.E., HARRINGA, J.L., AND TERPSTRA, R.L., "Effect of Heat Treatment on The Electrical Resistivity of Near-Eutectic Sn-Ag-Cu Pb-Free Solder Alloys", Journal of Electronic Materials, 31, 11, 2002.
[21] L. GENG, B.P. ZHANG, A.B. LI, DONG, C.C., "Microstructure and Mechanical J. Buha, The Effect of Ba on The Microstructure and Age Hardening of an Mg-Zn Alloy", Materials Science and Engineering: A, 491, 70-79, 2008.
[22] BUHA, J., "The Effect of Micro-Alloying Addition of Cr on Age Hardening of an Mg-Zn Alloy", Materials Science and Engineering: A, 492, 293-299, 2008.
[23] BUHA, J., "Grain Refinement and Improved Age Hardening of Mg-Zn Alloy By Atraceamount of V", Acta Materials, 56, 3533-3542, 2008.
[24] BUHA,J., "Natural Ageing in Magnesium Alloys and Alloying with Ti", Jorunal of Materials Science, 43, 1220e1227, 2008.
[25] ALIZADEH, R., MAHMUDIR., "Effect of Sb Additions on The Microstructural Stability and Mechanical Properties of Cast Mg-4Zn Alloy", Materials Science and Engineering: A, 527, 5312e5317, 2010 .
[26] AVEDESIAN,M.M.,BAKER, H. (Eds.), ASM Specialty handbook: magnesium and magnesium alloys, ASM International, Materials Park, Oh. U.S.A, 1999.
[27] SHAHZAD,M., WAGNER,L., "Microstructure Development During Extrusion in Awrought Mg-Zn-Zr Alloy", Scripta Materiallia, 60, 536-538, 2009.
[28] YUAN, W., LIANG, Z., ZHANG, C., WEI, L., " Effects of La Addition on The Mechanical Properties and Thermal-Resistant Properties of Al–Mg–Si–Zr Alloys Based on AA 6201", Materials Design, 34, 788–792, 2012.
[29] HE, W., ZHONG, H., LIU, H., ZHANG, J., ZENG, L., " Crystal Structure and Electrical Resistivity of NdCo2Al8", Journal of Alloys And Compounds, 467, 6, 2009.
[30] DUTTA, S., SHUBHA, V., RAMESH, T.G., FLORITA, D'SA., "Thermal and Electronic Properties of Bi1−Xsbx Alloys", Journal Of Alloys And Compounds, 467, 305, 2009.
[31] YUAN, W., LIANG, Z,." Effect of Zr Addition on Properties of Al–Mg–Si Aluminum Alloy Used For All Aluminum Alloy Conductor", Materials and Design, 32, 4195–4200, 2001.
[32] HOSSEINIFAR, M., MALAKHOV, D.V., "Effect of Ce and La on Microstructure and Properties of A 6XXX Series Type Aluminum Alloy", Journal Materials Science, 43, 7157–7164, 2008.
[33] WANG, S.,, ZHOU, H., KANG, Y., "The Influence of Rare Earth Elements on Microstructures and Properties of 6061 Aluminum Alloy Vacuum-Brazedjoints", Journal Alloys Compdouns, 352, 79–83, 2003.

[34] DAS, S. K., SHARIF, A., CHAN, Y.C., WONG, N.B., YUNG, W.K.C., " Influence of Small Amount of Al And Cu on The Microstructure, Microhardness and Tensile Properties of Sn-9Zn Binary Eutectic Solder Alloy", Journal of Alloy and Comppounds, 481, 167-172, 2009.

[35] BANERJEE, S., ROBI, P.S., SRINIVASAN, A., LAKAVATH, P.K., "Effect of Trace Additions of Sn on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Cu-Mg Alloys", Materials and Design, 31, 4007-4015, 2010.

[36] SILCOCK, JM., FLOWER, HM., "Comments on a Comparison of Early and Recent Work on The Effect of Trace Additions of Cd, In, or Sn on The Nucleation and Growth ofin Al–Cu Alloys", Scripta Mater, 46, 389–94, 2002.

[37] VLADIVOJ,O., MARGARITA, S., "Resistance to Recrystallization Due to Scand Zr Additionto Al–Mg Alloys", Material Characterization, 47, 157–62, 2001.

[38] VESNA, M., SLAVICA,Z., VELIMIR,R., MILAN, J., "The Effect of Micro Alloying with Silicon and Germanium on Microstructure and Hardness of a Commercial Aluminium Alloy", Journal of Serbian Chemical Society, 68, 11, 893–901, 2003.

[39] ANDORNO, A.T., GUERREIRO, M.R., SILVA, R.A.G., "Agingkinetics in The Cu-8wt.%Al Alloy with Ag Additions", Journal of Alloys and Compounds, 354, 165-170, 2003.

[40] CARVALHO, T.M., ADORNO, A.T., SILVA, R.A.G., "Ag-Rich Phase Formation in The Cu-6wt.%Al Alloy with Ag Additions", Journal of Physics and Chemistry of Solids, 69, 2025-2031, 2008.

[41] SILVA, R.A.G., PAGANOTTI, A., GAMA, S., ADORNO, A.T., CARVALHO, T.M., SANTOS, SANTOS, C.M.A., "Investigation of Thermal, Mechanical And Magnetic Behaviors of The Cu-11%Al Alloy with Ag and Mn Additions", Materials Characterization, 75, 194-199, 2013.

[42] SU, J.J., XIE, Z.W., YANG, Y.Z., "Effect Of Sn Substitution and Heat Treatment on Microstructure and Microhardness of Co38-Ni34-Al28-Snx Magnetic Shape Memory Alloys", Transactions of Nonferrous Metals Society China, 22, 2158-2168, 2012.

[43] AKER A., KAYA, H., "Effect Of Alloying Elements and Growth Rates on Microstructure and Mechanical Properties in The Directionally Solidified Al-Si-X Alloys", Journal of Alloys Compounds, 694, 145-154, 2017.

[44] SMITH F.M., "Measurement of Sheet Resistivities with the Four-Point Probe", The Bell System Technical Journal, 37, 711, 1958.

[45] ENGIN S., BÜYÜK U., "Variations with Growth Rate of The Microstructurel, Mechanical and Electrical Properties of Directionally Solidified The Al-Cu Alloy", GÜFBED/GUSTIJ, 8, 2,209-221, 2018.

[46] KAYA, H., "Dependence of Electrical Resistivity on Temperature and Composition of Al-Cu Alloy", Materials Research Innations, 6, 3, 224-229, 2012.

[47] KAYA, H. ÇADIRLI, E., GÜNDÜZ, M., RABIGER, D., ECKERT, S., "Dependency of Structure, Mechanical and Electrical Properties on Rotating Magneticfield in The Bi-Sn-Ag Ternary Eutectic Alloy", International Journal of Materials Research, 107, 4, 362-371, 2016.

[48] BÖYÜK, U. MARAŞLI, N., KAYA, H., ÇADIRLI, E., KEŞLIOĞLU K., "Directional Solidification of Al-Cu–Ag Alloy", Applied Physics A, 95, 923-932, 2009.

[49] AKER A., KAYA H., "Measurements of electrical and thermal properties with growth rate, alloying elements and temperature in the Al–Si–X alloys", International Journal Of Cast Metals Research, 30, 292-300, 2017

[50] MASSALSKI, TB (ED)., "Binary alloy phase diagrams", 3, ASM International, Materials Park, 3. 1990.