



# Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının mikroyapısal, termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi

## Investigation of microstructural, thermal and mechanical properties of Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alloy

Hakan Yaykaşlı<sup>1,\*</sup> , Musa Gögebakan<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Elektronik Bölümü, 46300, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46000, Kahramanmaraş, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımı ark ergitme yöntemi ile külçe olarak üretilmiştir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının faz analizi X-ışını difraksiyonu (XRD), morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile termal özellikleri ise diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile araştırılmıştır. Alaşımın mekanik özelliği Vickers mikrosertlik (HV) testi ile incelenmiştir. XRD analizinden, Bor (B) ve Silisyum (Si) atomlarının Al kafesi içerisinde çözünerek α-Al(B,Si) katı çözeltilisini oluşturduğu tespit edilmiştir. XRD ve SEM sonuçları, alaşımın mikro yapısının, α-Al(B,Si) katı çözeltisi, AlB<sub>2</sub> intermetalik fazı ve Si fazlarından oluştuğunu göstermiştir. SEM sonuçları alaşımların morfolojik yapısının dendritik ve ötektik yapılar şeklinde oluştuğunu göstermiştir. DSC ve DTA sonuçları, α-Al(B,Si) fazının ergimesini ifade eden bir endotermik pik göstermiştir. Alaşımın mikro sertlik değeri oda sıcaklığında 108±15 HV olarak ölçülmüştür. Bu değer termal işlem sonucu artmış ve 300 °C'de 232±9 HV değerine çıkmıştır. 300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda alaşımın mikrosertlik değerinin azaldığı gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AlSiB alaşımı, Mikrosertlik, Mikroyapı, Ark ergitme

### 1 Giriş

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin hız kazanması, daha üstün özellikler gösteren malzemelere olan ihtiyacı artmasına neden olmuştur. Bu malzemelerden biri olan alaşımlar bazı üstün özelliklerinden dolayı sanayinin birçok alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Sanayinin artan malzeme ihtiyacını karşılamak amacıyla birçok yeni alaşım üretilmiş ve saf malzemelerden daha üstün özellikler gösteren bazı alaşımlar sanayinin birçok alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum esaslı alaşımlar, düşük yoğunluklu ve dolayısıyla düşük özgül ağırlık, yüksek spesifik mukavemet, kolay şekil verilebilirlik, mükemmel korozyon direnci, iyi termal ve elektriksel özellikleri nedeniyle birçok uygulama için en yaygın kullanılan malzemelerden biridir [1–5]. Bu özelliklerinden dolayı, özellikle Al-Si alaşımları başta otomotiv sektörü olmak üzere ev eşyalarından uçak sektörüne kadar geniş bir alanda

### Abstract

In this study, Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alloy was produced as ingot by arc melting method. The microstructure of the Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alloy was investigated by X-ray diffraction (XRD), the morphological properties were investigated by scanning electron microscopy (SEM), and its thermal properties were investigated by differential thermal analysis (DTA) and differential scanning calorimetry (DSC). The mechanical properties of the alloy were investigated by Vickers microhardness (HV) test. The XRD result showed that B and Si atoms dissolved in the Al lattice to form the intermetallic phase of the α-Al (B, Si) solid solution. XRD and SEM results showed that the microstructure of the alloys consisted of α-Al(B,Si) solid solution, Si and AlB<sub>2</sub> intermetallic phases. SEM results showed that the morphological structure of the alloys formed as dendritic and eutectic structures. DSC and DTA results showed an endothermic peak indicating the melting of the α-Al(B,Si) phase. The microhardness value of the alloy was measured as 108±15 HV at room temperature. This value increased as a result of the heat treatment and increased to 232±9 HV at 300 °C. It was observed that the microhardness value of the alloy decreased at temperatures higher than 300 °C.

**Keywords:** AlSiB alloy, Micro-Hardness, Microstructure, Arc melting

tercih edilmektedir. Bu alaşımların özelliklerini daha da geliştirerek kullanımının artması amacı ile mikroyapının özelliklere etkisi üzerine daha derin çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır. Al-esaslı alaşımların özelliklerini iyileştirmek amacıyla alüminyuma farklı elementler eklenerek ve farklı metotlar kullanılarak yeni alaşımlar elde edilmesi üzerine yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu amaç için Ni, Fe, Mg, Si ve Zn gibi elementler çok tercih edilmektedir [6–11]. Al-esaslı ikili, üçlü ve çoklu alaşımların üretilmesi, özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, alaşımı oluşturan element sayısı ve bu elementlerin alaşım içerisindeki oranları, alaşımın özelliklerini etkileyen en önemli faktörler olduğu rapor edilmiştir. Bunun yanında alüminyuma eklenen alaşımlama elementleri, alüminyumun mukavemet ve sertlik özelliklerini daha da geliştirerek onu diğer metallerden üstün kılmaktadır. Dolayısıyla alüminyum alaşımları artan kullanım alanı ile vazgeçilmez malzemeler haline gelmiştir.

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: hakan.yaykasli@istiklal.edu.tr (H. Yaykaşlı)

Geliş / Received: 18.03.2022 Kabul / Accepted: 03.12.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1089483

Bir alaşımanın özellikleri mikro yapısına da bağlıdır. Mikro yapı ise alaşımı üretme metoduna bağlı olduğu gibi, alaşımı oluşturan elementlere, bu elementlerin alaşım içerisindeki oranlarına, mikro yapıyı oluşturan fazlara, bu fazların boyutlarına ve alaşım içerisindeki dağılımlarına bağlıdır. Çok bileşenli alaşımların mikroyapıları genellikle birden çok intermetalik faz içerir ve bu nedenle bu alaşımların mekanik özellikleri zayıftır. 2004 yılında tanımlanan yüksek entropili alaşımlar tek fazlı olduğu için mekanik özellikleri çok fazlı alaşımlardan daha iyidir [12]. Yüksek entropili alaşımların bu özellikleri, alaşımların faz yapılarının, alaşımın özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermiş ve bu konuda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Diğer taraftan, alaşımların farklı metotlar kullanılarak üretilmesi, incelenmesi ve mevcut özelliklerinin daha da geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar, yarı-kararlı alaşımlar olarak tanımlanan ve mikroyapısı tamamen farklı olan yeni alaşımların keşfedilmesine yol açmıştır. Amorf alaşımlar, nanokristaller ve kuazikristal alaşımlar bu tür alaşımlardan bazılarıdır. Bu tür kristal yapıya sahip alaşımların mekanik özelliklere etki pozitif katkı sunmaktadır. Örneğin, nanokristal alaşımlar, kristal boyutu 100 nm'nin altında olan alaşımlardır. Nanoboyutlu kristallerin alaşım içerisinde homojen bir şekilde dağılması alaşıma daha üstün özellikler kazandırmaktadır. Dolayısıyla, nanokristallerden oluşan malzemelerin mekanik özellikleri başta olmak üzere birçok özellikleri aynı kompozisyondaki kristal karışımlarından daha üstün özellikler sergilemektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda nanokristal yapıda üretilen bazı Al-esaslı alaşımların mekanik özellikleri, kristal yapıdaki Al-esaslı alaşımların mekanik özelliklerinden daha iyi olduğu rapor edilmiştir [13, 14].

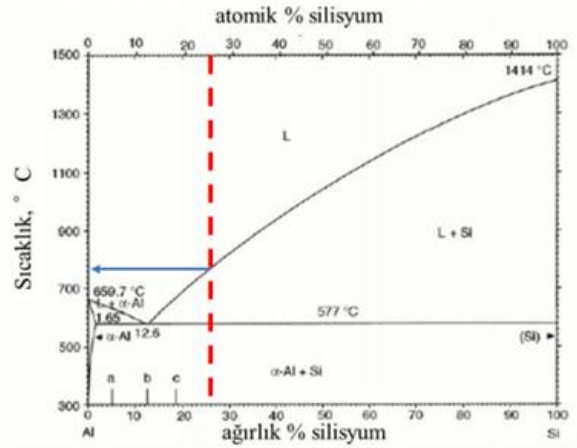
Alaşımların üretilmesi için, birçok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları ark-ergitme, gaz atomizasyon, hızlı katılaştırma ve mekanik alaşımlama gibi alaşım üretme teknikleridir. Üretilen alaşımın mikro yapısı, miktarı, geometrik şekli, alaşımı oluşturan elementlerin ergime sıcaklıkları arasındaki fark, maliyet ve zaman gibi faktörler dikkate alınarak bu tekniklerden biri tercih edilmektedir. Örneğin hızlı katılaştırma ile alaşım, ince şeritler halinde üretilirken, normal katılaştırma ile külçeler halinde ve mekaniksel alaşımlama tekniği ile tozlar halinde üretilmektedir.

Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan alüminyumun en belirgin özelliği hafifliğidir. B ( $2.47 \text{ g/cm}^3$ ) ve Si ( $2.33 \text{ g/cm}^3$ )'un yoğunlukları, Al'un ( $2.70 \text{ g/cm}^3$ ) yoğunluğundan daha düşük olduğu için, Si ve B, Al-esaslı alaşımların yoğunluğunu düşürecek az sayıdaki elementlerdendir. Dolayısıyla hafifliği ile birlikte mekaniksel özelliklerinin geliştirilmesi endüstri sanayisi için önemlidir. Diğer taraftan AlSiB alaşımı yüksek mukavemetli, düşük yoğunluklu ve kullanışlı fiziksel özelliklere sahip malzemeler olarak pratik uygulama için iyi bir seçimdir. Bu durumlar dikkate alınarak bu çalışmada  $\text{Al}_{50}\text{Si}_{25}\text{B}_{25}$  alaşımı ark ergitme yöntemi ile külçe halinde üretilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'deki Al-Si ve Al-B denge faz diyagramında [15] alaşımların kompozisyonu ve yaklaşık ergime sıcaklıkları gösterilmiştir.

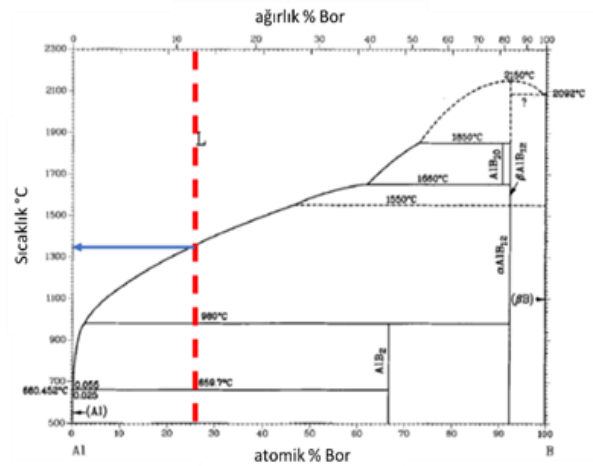
Al-esaslı alaşımlar konusunda birçok çalışma olmasına rağmen, AlSiB ve özelliklede yüksek miktarda Si ve B içeren  $\text{Al}_{50}\text{Si}_{25}\text{B}_{25}$  gibi alaşımlar konusunda bilgilerimiz dâhilinde çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada  $\text{Al}_{50}\text{Si}_{25}\text{B}_{25}$  alaşımı ark ergitme tekniği ile külçe halinde üretilmiştir. Üretilen  $\text{Al}_{50}\text{Si}_{25}\text{B}_{25}$  alaşımının, faz analizi XRD ile morfolojik özellikleri SEM, termal özellikleri DSC ve DTA ve mekanik özellikleri Vickers mikrosertlik testi ile incelenmiştir.

## 2 Materyal ve metot

Bu çalışmada kullanılan saf Al, Si ve B elementlerinin bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada  $\text{Al}_{50}\text{Si}_{25}\text{B}_{25}$  (% atomik) alaşımı ark ergitme metodu ile külçe halinde üretilmiştir. Bunun için Edmund Bühler MAM-1 marka ark ergitme cihazı kullanılmıştır. Alaşımı oluşturan başlangıç elementleri Al (99.9%), Si (99.7%), ve B (99.5%) yüksek saflıkta Merck ve Alfa Aesar firmalarından temin edilmiştir. Bu alaşımı oluşturan elementlerin oranları belirlenirken, elementlerin ergime sıcaklıkları arasındaki fark oldukça yüksek olduğu için Şekil 1 ve Şekil 2'de görülen Al-Si ve Al-B ikili faz diyagramları [15-17] dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Al-Si ikili faz diyagramı [16]



Şekil 2. Al-B ikili faz diyagramı [17]

**Tablo 1.** Alaşımda kullanılan elementlerin bazı özellikleri

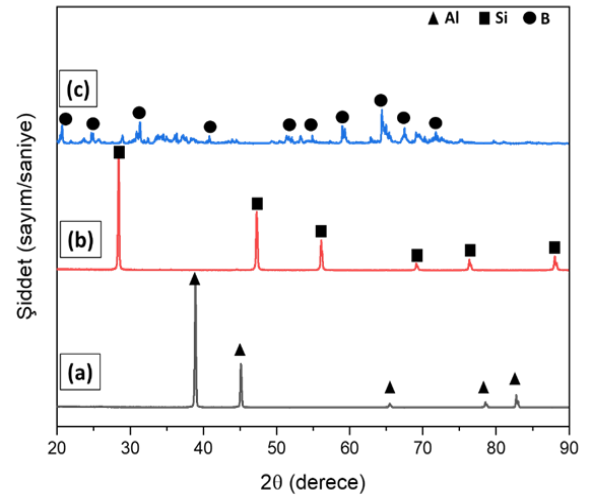
Element	Ergime Sıcaklığı(°C)	Özgül Ağırlık(g/cm <sup>3</sup> )	Atom Kütle(g/mol)	Kristal Yapı	Atomik yarıçap (Å)
Al	660.4	2.70	26.98	YMK	1.43
Si	1414	2.33	28.09	Elmas	1.17
B	2092	2.47	10.81	Rombohedral	0.46

Elementler 10 gram olacak şekilde ve belirlenen bileşim oranına göre tartıldıktan sonra ultrasonik banyoda 15 dakika etanol içerisinde temizlenmiştir. Temizlenen saf elementler vakum eritme cihazının su soğutmalı bakır potasına yerleştirilmiştir. Alaşımı oluşturan saf elementlerin ergime işlemi sırasında oksitlenmeyi engellemek amacı ile potanın farklı bir noktasına zirkonyum külçesi bırakılmıştır. Eritme işlemini vakumlu bir ortamda gerçekleştirmek için, 30 dakika vakumlama yapıldıktan sonra yüksek saflıkta argon gazı ile doldurularak ortam inert hale getirilmiştir. Böylece elementler ergitilerek alaşım külçe olarak üretilmiştir. Alaşımın homojenliğini sağlamak için ergitme işlemi beş kez tekrar edilmiştir. Homojen bir şekilde katılaştıran alaşım ergitme cihazından çıkarılmıştır. Külçe halinde üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının mikroyapısı, termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu analizler için, alaşımlar uygun boyutlarda ve şekillerde kesilmiş, bakalite alma, zımpara ve parlatma işlemleri yapılarak uygun hale getirilmiştir. Alaşımın faz analizi X-ışını kırınımı (XRD) Panalytical Philips X'Pert PRO marka cihaz ile, 40 kV ve 30 mA, monokromatik CuK<sub>α</sub> radyasyonu ( $\lambda = 0.154056$  nm), 20° den 90° ye kadar 0.02° adım aralığında ve her adımda 1 s bekletilerek yapılmıştır. Alaşımların morfolojik özellikleri ZEISS EVO LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile BSD detektörü kullanılarak incelenmiştir. Alaşımların termal özellikleri, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile yapılmıştır. Termal analiz için Perkin Elmer Sapphire DSC ve Perkin-Elmer's Diamond DTA cihazları kullanılmıştır. Bunun için numuneler yaklaşık 25-45mg miktarında alınarak seramik kap içerisine konulmuştur. Numuneler DSC ile 200°C' den 700 °C'ye kadar 10 °C/dak ısıtma hızı ve DTA ile 250°C' den 650 °C'ye kadar 10 °C/dak ısıtma hızı ve N<sub>2</sub> gazı atmosferi altında yapılmıştır. Alaşımların mikrosertliklerini ölçmek için Vickers uçlu Shimadzu HMV-2 model mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, 100gr yükte 10 s bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Her numune için 10 farklı yüzeyden ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Alaşım, atmosferik ortamda 2 saat süre ile 200°C, 300°C, 400°C ve 500°C sıcaklıklarında tavlama ve Vickers mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.

### 3 Bulgular ve tartışma

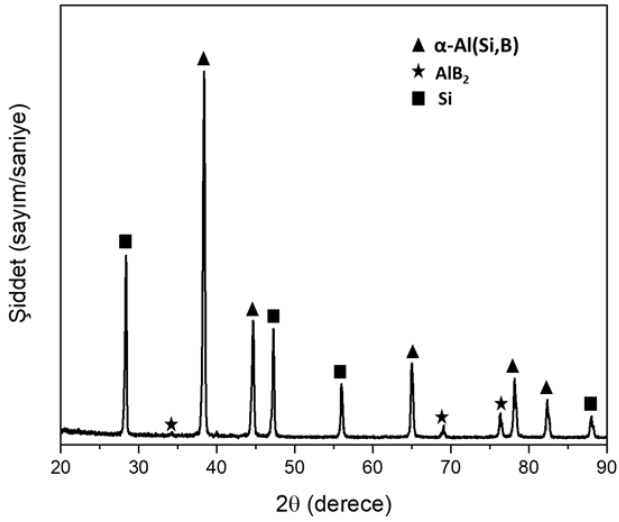
Ark ergitme tekniği ile üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının faz ve mikro yapısı XRD ile araştırılmıştır. Alaşımı oluşturan Al, Si ve B elementleri XRD ile analiz edilerek bu saf elementlerden yansıyan pikler tayin edilmiştir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımını oluşturan Al, Si ve B elementlerinin XRD grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Alaşımların faz tanımlamaları X'Pert High Score yazılımı, ICDD-PDF 2 kütüphanesi ile belirlenmiştir. Şekil 3'de, Al, Si ve B elementlerinden yansıyan pikler açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 3 (a)'da saf alüminyumun XRD deseninde ICSD referans kodu: 98-

006-2955, kristal yapısı kübik olan ve  $2\theta=38.53^\circ$ ,  $44.79^\circ$ ,  $65.20^\circ$ ,  $78.36^\circ$  ve  $82.58^\circ$  açılarından yansıyan kristal pikler görülmektedir. Bu piklerin miller indislerinin sırasıyla; (111), (200), (220), (311) ve (222) olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3 (b) saf silisyumun XRD deseninde ICSD referans kodu: 98-001-3010, kristal yapısı elmas olan ve  $2\theta=28.44^\circ$ ,  $47.30^\circ$ ,  $56.12^\circ$ ,  $69.13^\circ$ ,  $76.38^\circ$  ve  $88.03^\circ$  açılarından yansıyan pikler görülmektedir. Silisyumdan yansıyan piklerin miller indislerinin sırasıyla; (111), (220), (311), (012), (331) ve (422) olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1 (c)'de görüldüğü gibi, Bor elementinden yansıyan piklerin şiddetleri Al ve Si elementlerinden yansıyan piklerin şiddetinden oldukça düşüktür. Bunun nedeni, B elementinin camsı, yani amorf bir yapıya sahip olmasıdır. Şekil 4'de Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının XRD grafiği verilmiştir. Şekil 4'deki XRD grafiğinde görüldüğü gibi Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının mikro yapısında  $\alpha$ -Al (Si,B) katı çözeltilisi, Si ve AlB<sub>2</sub> intermetalik fazları gözlenmiştir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının XRD grafiğinde gözlenen  $\alpha$ -Al (Si,B) fazı, saf alüminyum fazından farklı olarak Si ve B elementlerinden oluşmaktadır. Şekil 4'de gözlenen fazlar arasında  $\alpha$ -Al (Si, B) ve Si fazlarından yansıyan pikler belirgin bir şekilde gözlenirken, AlB<sub>2</sub> fazından yansıyan piklerin şiddeti oldukça düşüktür. Bu durum, yukarıda da belirtildiği gibi B'nin amorf bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, ark ergitme yöntemi ile üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının mikro yapısı,  $\alpha$ -Al (Si,B), Si ve AlB<sub>2</sub> fazlarından oluşmaktadır. Bu sonuçlar daha önce yapılan ve Al, Si ve B elementlerini içeren alaşımın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir [6, 7, 18]. Bunun yanında, ark ergitme yöntemi ile üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımının mikro yapısında gözlenen fazlar, Al-Si (Şekil 1) ve Al-B (Şekil 2) faz diyagramları ile uyum içindedir.



**Şekil 3.** (a) saf alüminyum, (b) saf silisyum, (c) saf bor XRD desenleri

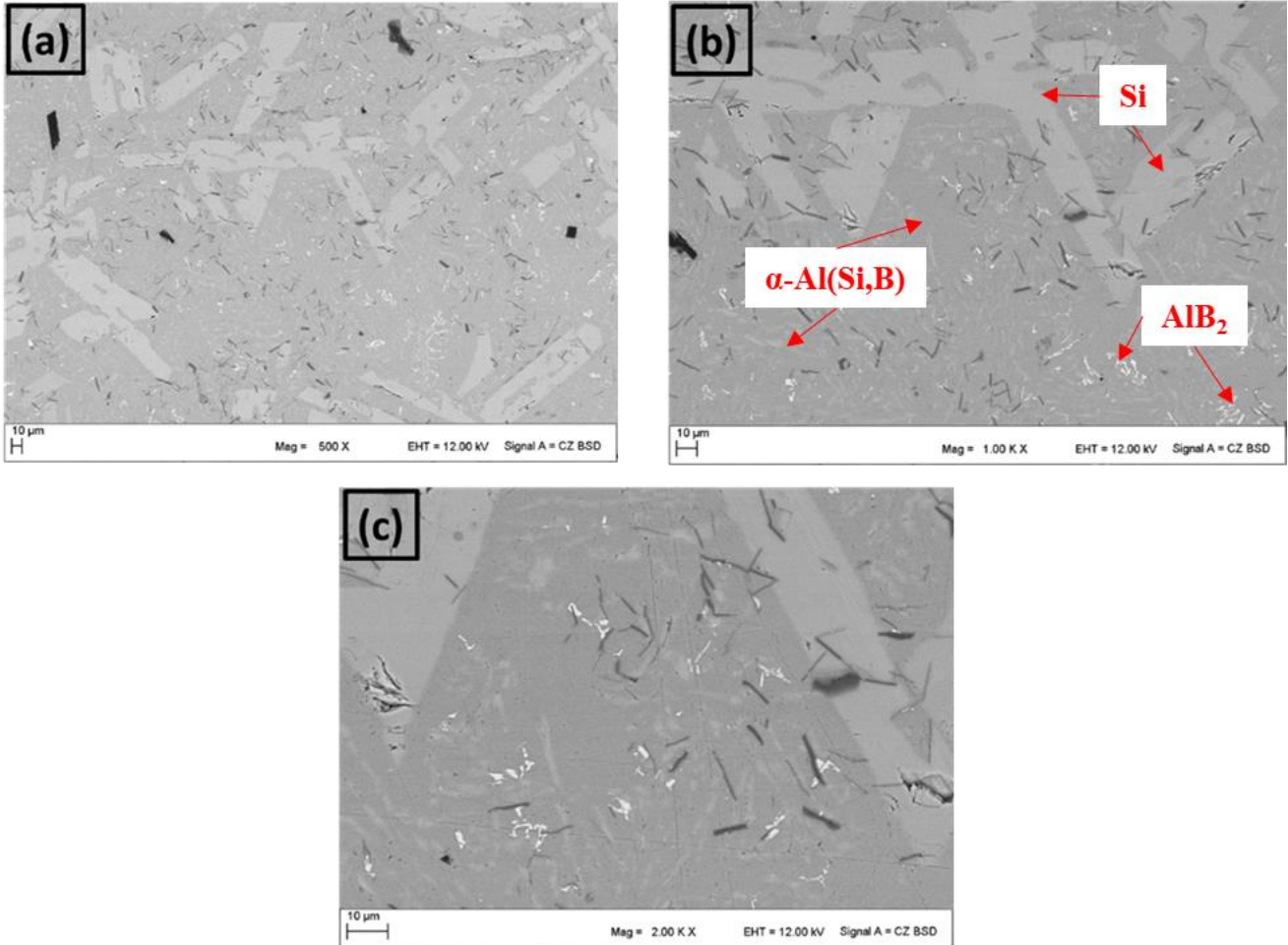




Şekil 4. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının XRD desenleri

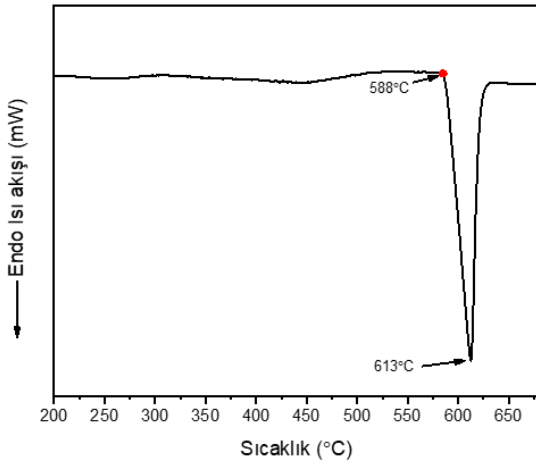
Ark ergitme tekniği ile üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının mikro yapısını ve morfolojik özelliklerini daha detaylı incelemek amacıyla, alaşım SEM ile incelenmiştir. Alaşımın SEM görüntüsü Şekil 5’de verilmiştir. SEM fotoğrafları; 500x, 1000x ve 2000x kat büyütme ile elde edilmiştir.

Alaşımın SEM fotoğrafında farklı morfolojik yapılar görülmektedir. Bu yapılardan en belirgin olarak gözlenen, beyaz veya açık-gri renkte olan kalın çubuksu yapılardır. Diğer bir yapı, koyu-gri renkli olan ve mikro yapının tamamını kaplayan temel alandır. Ayrıca beyaz renkli noktamsı yapılar görülmektedir. SEM görüntüsünde belirlenen üç ayrı morfolojik yapı, üç ayrı faz olarak tanımlanmaktadır. Bu yapılardan koyu-gri renkli olan ve alaşımın tamamını kaplayan temel alanın α-Al (Si,B) katı çözeltisini, açık-gri renkte olan kalın çubuksu yapılar Si fazını ve beyaz renkli olup az miktarda bulunan noktamsı ve kırık yapılar ise AlB<sub>2</sub> fazını temsil etmektedir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının SEM sonucu XRD sonucu ile uyum içindedir. Ayrıca, Şekil 5’de SEM fotoğrafında Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının mikro yapısının dendritik ve ötektik yapılardan oluştuğu ve bu ötektik fazda oluşan silisyumun morfolojisine dikkat edilecek olursa kalın ve uzun çubuksu yapıda şekillendiği görülecektir. Dolayısıyla Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının mikro yapısında, dendritik ve ötektik yapıdaki Si ve AlB<sub>2</sub> fazlarının, alüminyumun matrisinden ayrı olarak süresiz yapıda meydana geldiğini göstermektedir. Daha önce yapılan bazı çalışmada benzer yöntemle üretilen Al-esaslı alaşımlarında benzer morfolojik yapı ve fazlar tespit edilmiştir [19–22].



Şekil 5. Ark ergitme tekniği ile üretilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımlarının SEM fotoğrafı

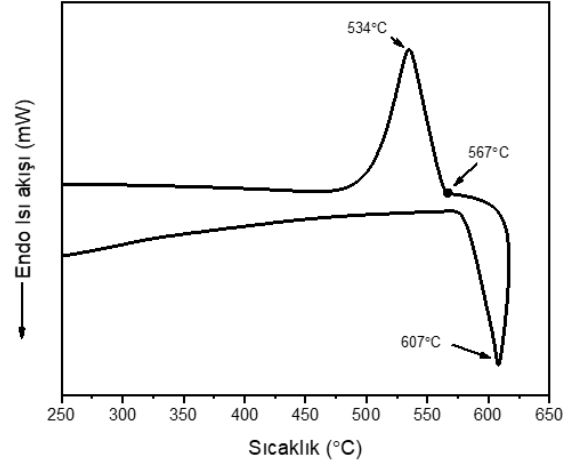
Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının termal özellikler DSC ve DTA ile incelenmiştir. DSC ve DTA eğrilerinde endotermik ve ekzotermik pikler ile alaşımda oluşan faz dönüşümleri belirlenmektedir. Endotermik reaksiyon ısıtma sırasında ergimeyi ifade eden ve ısı alan bir reaksiyondur. Numuneler DSC ile 200°C' den 700 °C'ye kadar 10 °C/dak ısıtma hızı ve DTA ile 250°C' den 650 °C'ye kadar 10 °C/dak ısıtma ve soğutma hızında ve N<sub>2</sub> gazı atmosferi altında yapılmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7' de Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının sırasıyla DSC ve DTA sonuçları görülmektedir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının Şekil 6' da DSC analizi sonucunda 613°C de bir endotermik pik görülmektedir. Bu endotermik pik, Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının XRD grafiğinde gözlenen, α-Al (Si,B) fazının ergime sıcaklığını ifade etmektedir. Bu fazın ergime başlangıç sıcaklığının 588°C olduğu görülmektedir. Alaşımanın XRD grafiğinde gözlenen Si ve AlB<sub>2</sub> fazlarına ait endotermik pik gözlenmemesi Si ve AlB<sub>2</sub> fazlarının ergime sıcaklıklarının 700°C den çok daha yüksek olmasındadır. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının termal özellikleri aynı zamanda DTA ile incelenmiştir. DTA'nın DSC'den farkı, DSC ile sadece ısıtma işlemi yapılırken, DTA ile ısıtmanın yanında soğutma da yapabilmektedir. Şekil 7' de görüldüğü Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının DTA sonucu, DSC sonucu ile benzerdir. Numunenin ısıtma işlemi sırasında 607 °C bir endotermik pik gözlenmiştir. Diğer taraftan numunenin soğutulması sırasında 534 °C de bir ekzotermik pik gözlenmiştir. Bu ekzotermik pik, α-Al (Si,B) fazının katılaşmasını ifade etmektedir ve bu fazın katılaşmaya 567 °C de başladığı görülmektedir.



Şekil 6. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının DSC grafiği

Bu çalışmanın bir amacı da yoğunluğu düşük alaşım üretmektir. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımı gibi Al- esaslı hafif alaşımlar

için yapılan araştırmaların öncelikli nedenleri yoğunluk/mukavemet özelliğinin iyileştirilerek kullanım alanlarının genişletilmesidir. Bundan dolayı alaşımların mekanik özelliklerinin belirlenmesi literatür ve sanayi için önem arz etmektedir. Mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde sertlik testi ilk sırada yer almaktadır. Ark ergitme ile elde edilen Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Vickers mikrosertlik testi seçilmiştir.



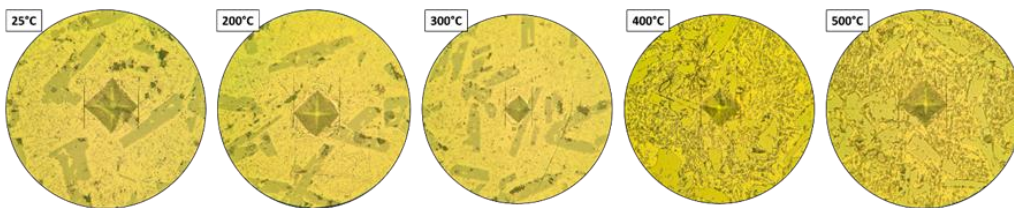
Şekil 7. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının DTA grafiği

Vickers mikrosertlik (HV) testinde, malzemeye belirli süre boyunca statik bir yük uygulanarak bu yükün malzeme üzerinde oluşturduğu plastik deformasyon izi ölçülerek malzemenin mikrosertlik değeri hesaplanır. Vickers mikrosertlik değeri aşağıdaki eşitlikle (Denklem 1) hesaplanmaktadır.

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854(P)}{d^2} \quad (1)$$

Burada; P yük, d yükün oluşturduğu izin köşegen uzunluklarının ortalaması, θ elmas ucun yüzeyleri arasındaki 136° açıdır. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımı için 10 farklı bölgeden ölçümler yapılarak değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.

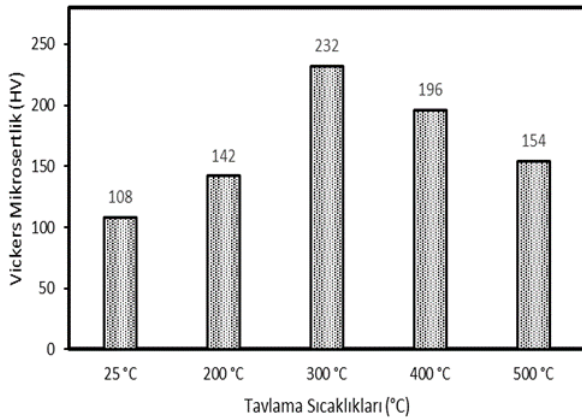
Alaşımanın sertlik değerinin sıcaklıkla değişimini anlamak için numuneler farklı sıcaklıklarda tavladıktan sonra sertlik değerleri ölçülmüştür. Malzemenin Vickers mikrosertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Şekil 8' de Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının mikrosertlik test sonucu yüzeyde oluşan izlerin görünümü verilmiştir.



Şekil 8. Al<sub>50</sub>Si<sub>25</sub>B<sub>25</sub> alaşımasının vickers mikrosertlik test izlerinin görünümü

Şekil 8’de görüldüğü gibi 300 °C’de ısıtılan numune üzerindeki iz, diğer numunelerin üzerinde oluşan izden daha küçüktür.

Şekil 9’de  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının farklı sıcaklıklarda tavlama prosesi sonrası Vickers mikrosertlik değerlerinin grafiği görülmektedir. Şekil 9’da görüldüğü gibi  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının oda sıcaklığındaki mikrosertlik değeri,  $108 \pm 15$  HV olarak hesaplanmıştır. Saf Al elementinin oda sıcaklığındaki mikrosertlik değerinin 40.2 HV [23] olduğu dikkate alındığında,  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının oda sıcaklığındaki mikrosertlik değeri saf Al’nin değerinden ~2.6 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Si ve B’nin alaşımın sertlik değerini artırdığını göstermektedir. Özellikle alaşım içindeki bor oranının yüksek olması tane boyutu küçülmesinde etkili olduğu ve bu durum gerilme enerjisini artırarak malzemenin mikrosertlik değerinin artmasına neden olmuştur. Bunun yanında alaşımın mikro yapısında gözlenen  $\alpha$ -Al (Si,B) ve  $AlB_2$  gibi intermetalik fazlar da mikrosertlik değerinin artmasında önemli rol oynamıştır. İntermetalik fazlar, dislokasyon hareketine engel olarak alaşımın sertleşmesine yol açabilmektedir [24]. Diğer taraftan  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının mikrosertlik değeri tavlama sıcaklığının artması ile 300 °C’de  $232 \pm 9$  HV değerine çıkmıştır. 400 °C ve 500 °C gibi daha yüksek sıcaklıklarda tavlama ise alaşımın mikrosertlik değerini düşürmüştür.



Şekil 9.  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının Vickers mikrosertlik değerinin sıcaklıkla değişim grafiği

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımı ark ergitme yöntemi ile külçe halinde üretilmiştir. Özet olarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır: Alaşımın mikroyapısının,  $\alpha$ -Al(B,Si) katı çözeltilisi, Si ve  $AlB_2$  intermetalik fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Mikroyapının, dendritik yapı ile beraber ötektik yapılardan oluştuğu görülmüştür. DSC ve DTA eğrilerinde,  $\alpha$ -Al(B,Si) fazının ergime sıcaklığını temsil eden endotermik pik gözlenmiştir.  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının Vickers mikrosertlik değeri oda sıcaklığında ortalama  $108 \pm 15$  HV olarak hesaplanmıştır.  $Al_{50}Si_{25}B_{25}$  alaşımının Vickers mikrosertlik değeri tavlama işlemi sonucunda artmıştır ve 300 °C’de ısısal işlem sonrası  $232 \pm 9$  HV değerine yükselmiştir. 300 °C’den daha yüksek sıcaklıklarda tavlama

işlem alaşımın mikrosertlik değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Alaşımın mikroyapısında gözlenen intermetalik fazlar mikrosertlik değerinin artmasına neden olmuştur. Bu çalışma; ark ergitme yönteminin, ergime sıcaklıkları yüksek veya ergime sıcaklıkları birbirinden farklı olan elementlerle alaşım üretmek için kolay ve uygun bir metot olduğunu göstermiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından (Proje No: 2017/2-42 D) desteklenmiştir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): % 16

#### Kaynaklar

- [1] J. Milligan, R. Vintila and M. Brochu, Nanocrystalline eutectic Al–Si alloy produced by cryomilling, *Materials Science and Engineering: A*, 508, 43–49, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.12.017>.
- [2] J. Chen, R. Lengsdorf, H. Henein, D.M. Herlach, U. Dahlborg and M. Calvo-Dahlborg, Microstructure evolution in undercooled Al–8wt%Fe melts: Comparison between terrestrial and parabolic flight conditions, *Journal of alloys and compounds*, 556, 243–251, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.11.182>.
- [3] F.C.R. Hernandez, J. M. H. Ramirez and R. Mackay, Al–Si alloys: automotive, aeronautical, and aerospace applications, Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58380-8>.
- [4] A. M. A. Mohamed, A. M. Samuel, F. H. Samuel and H. W. Doty, Influence of additives on the microstructure and tensile properties of near-eutectic Al–10.8%Si cast alloy, *Materials & Design*, 30, 3943–3957, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.05.042>.
- [5] P. Ma, D. Zhang, L. Zhuang and J. Zhang, Effect of alloying elements and processing parameters on the Portevin-Le Chatelier effect of Al–Mg alloys, *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 22, 175–183, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12613-015-1058-2>.
- [6] O. Uzun, T. Karaaslan, M. Gogebakan ve M. Keskin, Hardness and microstructural characteristics of rapidly solidified Al–8–16wt.%Si alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 376, 149–157, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.01.017>.
- [7] Y. Birol, A novel Al–Ti–B alloy for grain refining Al–Si foundry alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 486, 219–222, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.07.064>.
- [8] M. Chemingui, G. Mesmacque and A. W. Kolsi, Effect of heat treatment on plasticity of Al–Zn–Mg alloy: Microstructure evolution and mechanical properties,

- Physics Procedia, 2, 1167–1174, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2009.11.079>.
- [9] M. Gögebakan, O. Uzun, T. Karaaslan ve M.Keskin, Rapidly solidified Al–6.5 wt.%Ni alloy, Journal of Materials Processing Technology, 142, 87–92, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00466-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00466-7).
- [10] M. Gögebakan ve B. Avar, Structural evolutions of the mechanically alloyed Al<sub>70</sub>Cu<sub>20</sub>Fe<sub>10</sub> powders, Pramana - Journal of Physics, 77, 735–747, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12043-011-0091-6>.
- [11] H. Kaya, U. Böyük, E.Çadrlı ve N.Maraşlı, Measurements of the microhardness, electrical and thermal properties of the Al–Ni eutectic alloy, Materials & Design, 34, 707–712, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.05.030>.
- [12] B. Cantor, I.T.H. Chang, P.Knight and A.J.B.Vincent, Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys, Materials Science and Engineering: A, 375, 213–218, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>.
- [13] M. Gögebakan, Mechanical properties of AlYNi amorphous alloys, Journal of Light Metals, 2, 271–275, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1471-5317\(03\)00011-7](https://doi.org/10.1016/S1471-5317(03)00011-7).
- [14] M. Gögebakan, The effect of Si addition on crystallization behavior of amorphous Al–Y–Ni alloy, Journal of materials engineering and performance, 13, 504–508, 2004. <https://doi.org/10.1361/10599490419171>.
- [15] H. Okamoto, Phase diagrams for binary alloys, ASM international Materials Park, OH, 2000. ISBN-13: 978-1-61503-046-0. ISBN-13: 978-1-61503-046-0.
- [16] O. N. Carlson, The Al–B (Aluminum–Boron) system, Bulletin of Alloy Phase Diagrams, vol. 11, pp. 560–566, 1990. <https://doi.org/10.1007/BF02841717>.
- [17] Warmuzek, Malgorzata, Aluminum–silicon casting alloys: an atlas of microfractographs. ASM international, 2004. ISBN: 978-0-87170-794-9.
- [18] E. Karaköse ve M.Keskin, Microhardness and morphologic characteristics of rapidly solidified Al–12Si–8Ni–5Nd alloy, Metals and Materials International, 16, 383–391, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12540-010-0607-5>.
- [19] M. Uludağ, Ş.Yazman, B.Bakırcıoğlu ve D.Dışpınar, Al–Si Alaşımlarında Si Morfolojisinin İşlenebilirliğe Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 381–385, 2014. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.66933>.
- [20] E. Karaköse ve M. Keskin, Effect of solidification rate on the microstructure and microhardness of a melt-spun Al–8Si–1Sb alloy, Journal of Alloys and Compounds, 479, 230–236, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.01.006>.
- [21] Z. L. Zhao, S. Q. Yin, Y. D. Liu, Z. Q. Zhang and R. F. Ren, Microstructures and corrosion resistance of as-cast aluminum–10 wt.% silicon and aluminum–20 wt.% silicon alloys, Material wissenschaft und Werkstofftechnik 50.9 (2019): 1124–1130. <https://doi.org/10.1002/mawe.201800124>.
- [22] T. Stefania, Optimization of A354 Al–Si–Cu–Mg alloy heat treatment: Effect on microstructure, hardness, and tensile properties of peak aged and overaged alloy, Metals 8.11 (2018): 961. <https://doi.org/10.3390/met8110961>.
- [23] X. Zeng, W. Liu, B. Xu, G. Shu and Q. Li, Microstructure and mechanical properties of Al–SiC nanocomposites synthesized by surface-modified aluminium powder, Metals, 8, 253, 2018. <https://doi.org/10.3390/met8040253>.
- [24] O. Prach, O. Trudonoshyn, P. Randelzhofer, C. Körner and K. Durst, Effect of Zr, Cr and Sc on the Al–Mg–Si–Mn high-pressure die casting alloys, Materials Science and Engineering: A, 759, 603–612, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.05.038>.

