

Doğrusal katılaştırılmış Al-%13ağ.Mg₂Si alaşımının mikroyapı karakterizasyonu

Yusuf KAYGISIZ^{*,1}

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Konya

Makale Gönderme Tarihi: 20.12.2016

Makale Kabul Tarihi: 17.04.2017

Öz

Bu çalışmada, sabit bir sıcaklık gradyanında tek yönlü (doğrusal) katılaştırılmış Al-%13ağ.Mg₂Si yalancı ötektik (pseudoeutectic) alaşımı için mikroyapı üzerine büyüme oranlarının (hızlarının) etkisi çalışılmıştır. Al-Mg-Si sisteminde Al - %13ağ.Mg₂Si yalancı ötektik alaşımının bileşimi üçlü sıvıdan ötektik faz büyütmek için, ağırlıkça % 8.25 magnezyum ve ağırlıkça % 4.75 silisyum olarak seçilmiştir. Doğrusal katılaştırma işlemi Bridgman tipi doğrusal katılaştırma fırınında sabit sıcaklık gradyanında (6.68 K/mm) farklı hızlarda çalışabilen senkron motorlar kullanarak beş farklı büyüme hızında (V=8.33–175.0 µm/s) yapılmıştır. Doğrusal katılaştırılmış Al-%13ağ.Mg₂Si alaşımının mikroyapısı, faz diyagramı ve EDX analiz sonuçlarına göre, birincil α-Al matris yapısının içerisine dağılmış şekilde sıvı faz ve ötektik mercan benzeri yapı şeklinde Mg₂Si fazı gözlenmiştir. Büyütme hızı 8.33 µm/s den 175 µm/s ye artırıldığında, λ_{Mg₂Si} için ortalama ötektik mesafe 7.12 µm den 1.70 µm ye azalmıştır. En büyük ötektik mesafe sabit sıcaklık gradyanında (G=6.68 K/mm) ve minimum büyüme hızında (V=8.33 µm/s) gözlenmiştir. Başka bir ifadeyle sabit sıcaklık granyanında (G=6.68 K/mm), en küçük ötektik mesafe büyüme hızının maksimum (V=175.0 µm/s) olduğu durumda gözlenmiştir. Al - %13ağ.Mg₂Si yalancı ötektik alaşımı için lameller arası mesafenin (ötektik mesafe) (λ), büyüme oranına (V) bağlılığı λ_{Mg₂Si} = 16.95 V^{-0.45} olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda hacim büyüme oranı, ölçülmüş olan lameller arası mesafe (λ_{Mg₂Si}) ve büyüme oranı (V) kullanılarak λ²_{Mg₂Si}V = 408.96 µm³/s şeklinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal katılaştırma; Alüminyum alaşımlar; Mikroyapı; Ötektik mesafeler;

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Yusuf KAYGISIZ. ykaygisiz@konya.edu.tr; Tel: (332) 777 00 30 (8908)

Giriş

Ötektik alaşımlar pek çok alaşım dökümlerinin temelini oluşturur. Literatürde ötektik alaşımlar üzerine çok sayıda çalışma vardır (Souza vd., 2005; Kurz vd., 1992; Kaygısız vd., 2015).

Ötektik yapılar bir sıvıdan iki veya daha fazla fazın eş zamanlı olarak büyümesi şeklinde karakterize edilir. Üç veya dört faz dahi eriyikten eş zamanlı olarak büyümesi gözlemlenebilir. Bununla birlikte ötektik alaşımların teknolojik kullanımında iki fazlı büyüme tercih edilir (Bhattacharya, 2014).

Birçok sistemdeki ötektik alaşımların katılma davranışı ve mikroyapısal özellikleri, ötektik bileşenleri içeren malzemelerin özellikleri ve performansı üzerindeki etkileri nedeniyle ilgi çekmeye devam etmektedir (Rios et al. 2005). Ötektik alaşımlarda mikroyapı iki kontrol parametresiyle kontrol edilebilir (sıcaklık gradyanı ve büyüme hızı).

Son yıllarda, taşıt üreticileri karbon emisyonunu azaltmak ve enerjinin daha etkin kullanımı için hafif malzemeleri kullanmaya yönelmişlerdir. Bu bağlamda alüminyum esaslı malzemeler çok önemli hale gelmişlerdir.

Al-Mg-Si üçlü sistem içerisinde Al-Mg₂Si ikili alaşım sistemi, uzay endüstrisi ve otomotiv endüstrisinde kritik öneme sahip uygulamalarda kullanımı giderek artmaktadır (Furui vd., 2011; Tolnai vd., 2012; Brito vd., 2015). Çünkü Al-Mg₂Si alaşım sistemi içerisindeki Mg₂Si intermetalik fazı, yüksek erime sıcaklığı (1085 °C), düşük yoğunluk ($1.99 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$), yüksek sertlik ($4.5 \times 10^3 \text{ Nm}^{-2}$), düşük ısıl genleşme katsayısı ($7.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ve yüksek elastik modülü (120 GPa) gibi takviye için arzu edilen özelliklere sahiptir (Qin vd., 2007).

Yönlü katılaştırma işlemleri ile hacim küçülmesi nedeniyle çöküntüler, çatlama ve çarpılmalar ve üniform olmayan dağılımlar gibi iç kusurlardan sakınmak mümkün olabilmektedir. Kabul edilebilir kalitede ürün elde etmek için sürecin dikkatli şekilde kontrol edilebilir olması gereklidir.

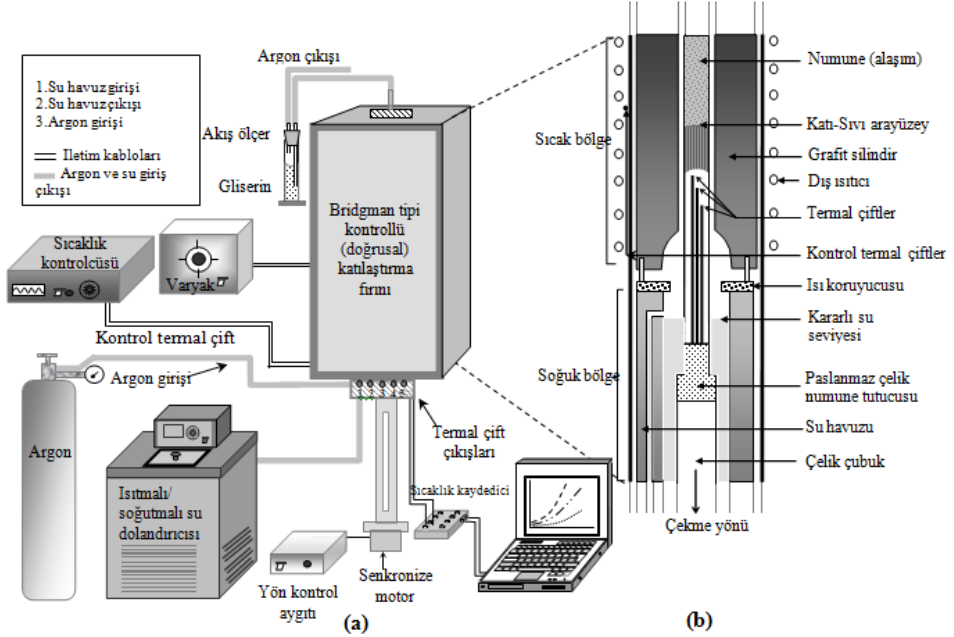
Yönlü katılaştırılmış yapılar elde edebilmek için sıvılaştırma sıcaklığı ile katılma sıcaklığı arasında güçlü bir sıcaklık gradyanı oluşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı doğrusal olarak katılaştırılmış yalancı ötektik Al-%13ağ.Mg₂Si (Al-%8.25ağ.Mg-%4.75ağ.%Si) alaşımı için sabit sıcaklık gradyanında (G), büyüme hızı (V) üzerine mikroyapının (ötektik mesafeler(λ)) bağıllığının deneysel olarak incelenmesi ve önceki deneysel yapılmış çalışma sonuçları ile kıyaslamalarının yapılmasıdır.

Materyal ve Yöntem

Alaşımın Hazırlanması ve Doğrusal Katılaştırma İşlemi

Bu çalışmada, Al-Mg-Si sistemi içerisinde yalancı ötektik Al-Mg₂Si alaşımının kompozisyonu üçlü sıvıdan ötektik faz büyütmek için Al-%13ağ.Mg₂Si (Al-8.75ağ.Mg-%4.25ağ.Si) olarak seçilmiştir. Bundan dolayı, Al-%13ağ.Mg₂Si alaşımı oluşturmak için saflık oranı %99.99 olan alüminyum, silisyum ve magnezyum kullanılarak vakum altında ilk olarak erime noktası en düşükten başlayarak sırayla alüminyum, silisyum ve son olarak da magnezyum ilave edilmiş, eriyik oluştuktan sonra alaşım sistemi grafit çubuk yardımıyla birkaç defa karıştırılarak alaşımın homojenliği sağlanmıştır. Ötektik sıcaklığın üstündeki bir sıcaklığa ($T_E = 595 \text{ }^\circ\text{C}$) önceden ısıtılmış döküm fırını içerisine yerleştirilmiş 13 adet grafit kalıp (200 mm uzunluk, 6.35 mm dış çap ve 4 mm iç çap) içerisine dökülerek grafit kalıpların dolumu yapılmıştır. Sonra, her bir numune Bridgman tipi doğrusal katılaştırma fırını içerisine yerleştirildi. Numunelerin aşağıdan yukarıya doğru doğrusal olarak katılaştırılması farklı hızlarda çalışabilen senkron motorları kullanarak sabit sıcaklıkta gradyanında ($G=6.63 \text{ K/mm}$) beş farklı katılaştırma hızında ($V=8.33-175.0 \mu\text{m/s}$) gerçekleştirildi. Bridgman tipi doğrusal katılaştırma fırınının blok diyagramı ve detayları Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Deney sisteminin blok diyagramı, (b) Bridgman tipi doğrusal katılaştırma fırınının detayları.

Doğrusal olarak katılaştırılmış numune, grafit potadan çıkarıldı ve tipik olarak her biri 10 mm uzunluğunda kesildi. Sonra soğuk kalıplama (epoxy-resin) ile kalıplandı, **StruersTegraPol-15** marka parlatma makinesinde boyuna ve enine kesitler SiC kâğıdı (180, 500, 1000, 2500 gritli) ile zımparalandı ve elmas pasta kullanılarak parlatıldı. Sonra, her numunenin mikroyapılarını ortaya çıkarmak için 2 ml hidroflorik asit, 6 ml nitrik asit ve 92 ml damıtılmış su ile hazırlanmış karışımda 30 saniye boyunca bekletilerek dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

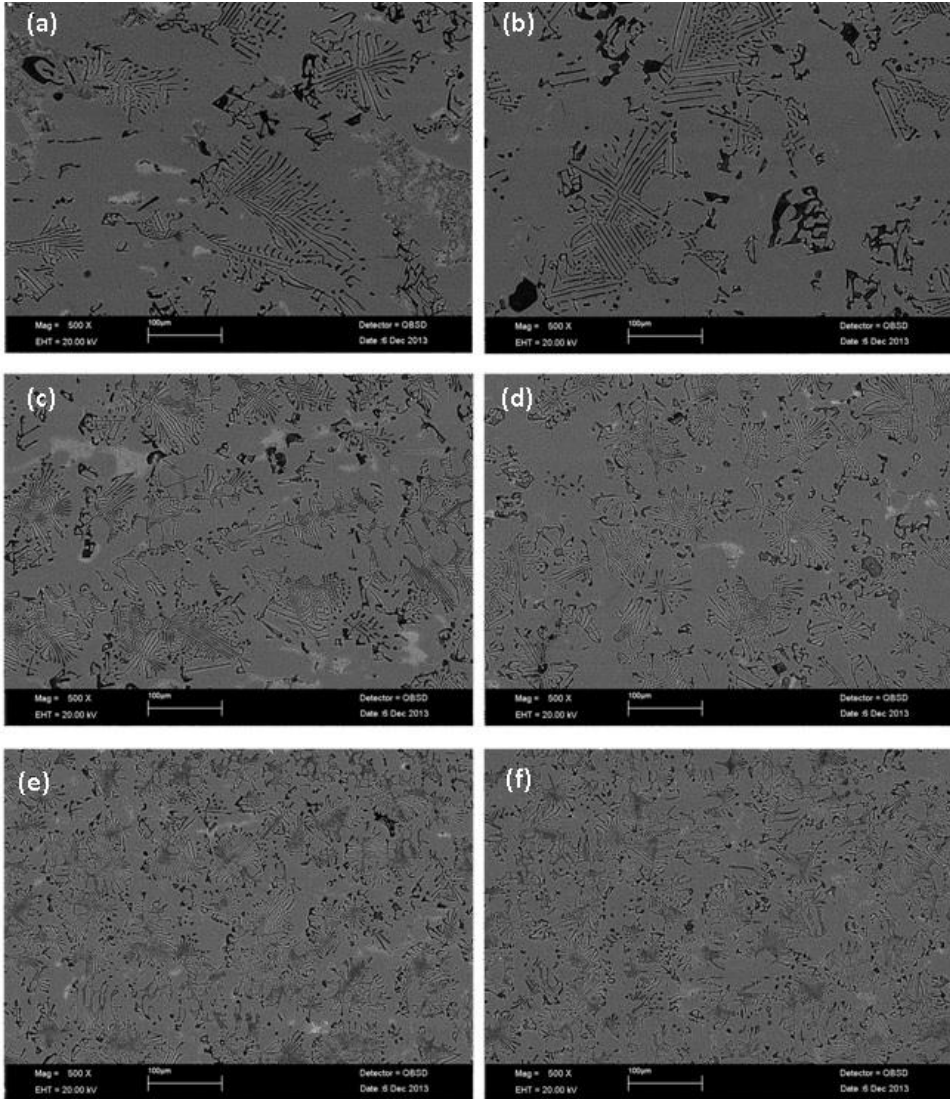
Mikroyapıların Gözlenmesi ve Fazların Belirlenmesi

Numunelerin mikroyapıları hem enine hem de boyuna kesitten olmak üzere **LEO** model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Olympus BX51 optik mikroskobu ile fotoğraflandı. Yalancı Ötektik Al-Mg₂Si alaşımı olası fazlarını belirlemek için farklı katılaştırma parametreleri uygulandı. Doğrusal katılaştırıl-

mış yalancı ötektik Al-%13ağ.Mg₂Si (Al-%8.25ağ.Mg-%4.75ağ.Si) alaşımı için büyüme morfolojisinin SEM fotoğrafları Şekil 2. de gösterilmiştir. Sabit sıcaklık gradyanında (G=6.63K/mm) ve düşük büyütme hızında (V=8.33µm/s) katılaştırılmış numunelerin mikroyapısı Şekil 2a ve 2b'de gösterildiği gibi, α-Al matris yapı içerisine dağılmış şekilde mercan benzeri yapıda Mg₂Si fazı ve hızlı soğutulmuş sıvı fazından oluşmaktadır.

Numune içerisindeki fazların nicel kimyasal bileşim analizi X-ışını analizi (EDX) kullanılarak yapılmıştır.

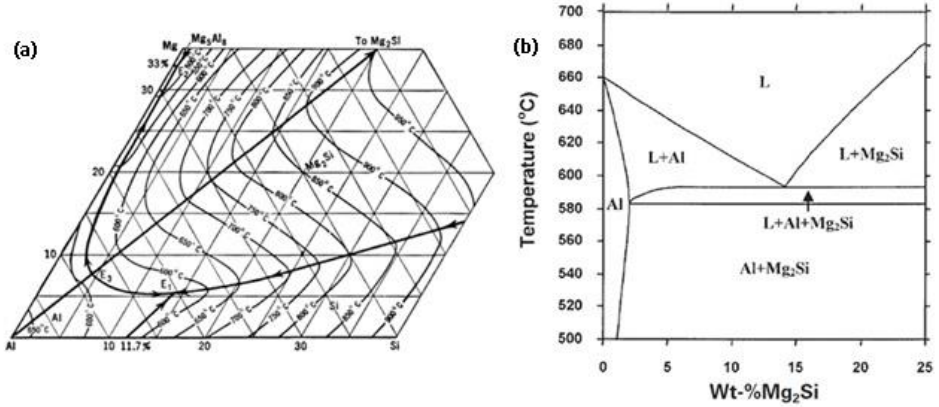
Üçlü Al-Mg-Si ve ikili Al-Mg₂Si alaşım sistemlerinin denge faz diyagramları Şekil 3'te verilmiştir (Mondolfo, 1943; Zhang vd., 2001). Şekil 3a da görüldüğü gibi faz diyagramının alüminyum köşesi, iki üçlü ötektik reaksiyon L→Al+Si+Mg₂Si (E1) ve L→Al+Mg₂Si+Al₈Mg₅ (E2) ve bir yalancı ötektik (pseudobinary) (E3) reaksiyondan oluşmaktadır.



Şekil 2. Sabit sıcaklık gradyanında ($G=6.68$ K/mm), farklı büyüme hızlarında ($V=8.33-175$ $\mu\text{m/s}$), doğrusal katılaştırılmış yalancı ötektik (pseudoeutectic) Al-%13ağ.Mg₂Si alaşımının büyüme morfolojisinin SEM fotoğrafları. (a) Boyuna kesit, (b) enine kesit ($V=8.33$ $\mu\text{m/s}$), (c) boyuna kesit, (d) enine kesit ($V=42.60$ $\mu\text{m/s}$), (e) boyuna kesit, (f) enine kesit ($V=175.0$ $\mu\text{m/s}$).

Bu çalışma yalancı ötektik (E3) reaksiyon ile sınırlandırılmıştır. Al-%13ağ.Mg₂Si yalancı ötektik alaşımın bileşimi, ağırlıkça % 8.25

magnezyum ve ağırlıkça % 4.75 silisyumdan oluşmaktadır (Mondolfo, 1943).



Şekil 3. (a) Al-Si-Mg üçlü alaşım sisteminin Alüminyumca zengin kösesinin sıvılaşma diyagramı. Diyagramın bu kesitinde, iki adet üçlü ötektik reaksiyon ($L \rightarrow Al + Si + Mg_2Si$ (E1) ve $L \rightarrow Al + Mg_2Si + Al_3Mg_5$ (E2)) ve bir adet yalancı-ikili (pseudo-binary) reaksiyon ($Al-Mg_2Si$ (E3)) (Mondolfo, 1943) görülmektedir. (b) Al-Mg₂Si yalancı-ikili denge faz diyagramı (Zhang vd.)

Al-Mg₂Si yalancı ikili alaşım sisteminin denge faz diyagramı Şekil 3.b.'de verilmiştir. J. Zhang, ve ark. (Zhang vd., 2001) ve H. Feufel, ve ark. (H. Feufel vd., 1997) tarafından Al-Mg₂Si yalancı ikili faz diyagramı içerisinde Al+Mg₂Si+ sıvı faz alanı tespit edilmiştir.

α -Alüminyum matris fazı, hızlı soğutulmuş sıvı faz ve ötektik Mg₂Si fazları için nicel kimyasal bileşim analizi, X- ışını (EDX) analizi kullanılarak belirlenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Faz diyagramına ve EDX sonuçlarına uygun olarak, açık gri fazın hızlı soğutulmuş (quench edilmiş) sıvı faz, gri fazın α -Alüminyum matris fazı ve siyah fazın mercan yapıdaki Mg₂Si fazı olduğu belirlenmiştir.

Ötektik sıcaklıkta (593.5-595°C) katı alüminyum içerisinde magnezyumun çözünebilirliği yaklaşık olarak ağırlıkça %1.85-1.91 oranındadır (Mondolfo, 1943; Zhang vd., 2001).

Katılaştırma Parametreleri ve Ötektik Mesafelerin Ölçümü

Büyütme oranları sıcaklık kaydedici (data-logger) kullanılarak numunelerin doğrusal olarak büyütme süresince bilgisayar vasıtasıyla kaydedilmiştir. Numunenin iç sıcaklığı 0.25 mm çapında üç adet K-tipi izole edilmiş termal çift

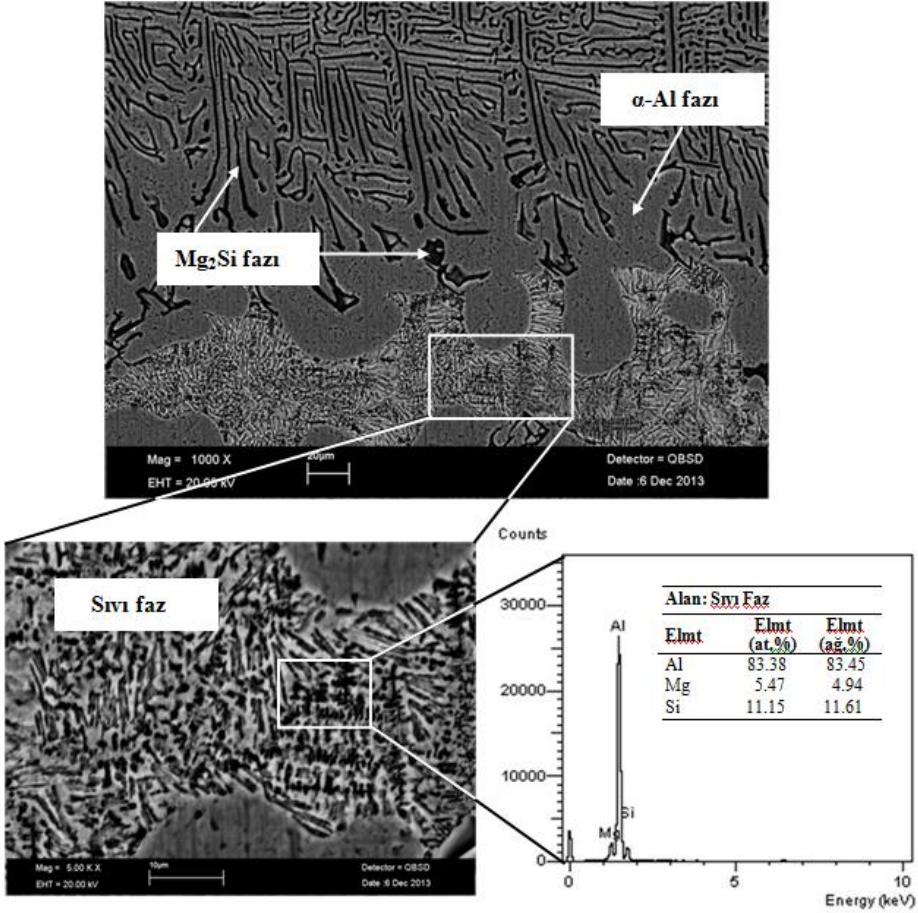
yardımıyla ölçülmüştür. Her bir numune için büyütme oranı ($V = \Delta X / \Delta t$) ve sıcaklık gradyanı ($G = \Delta T / \Delta X$) ayrı ayrı belirlendi. ΔT , ΔX ve Δt ölçümlerinin detayları referanslarda verilmiştir (Koçak vd., 2013). Ötektik mesafe ölçümleri doğrusal kesişim metodu yardımıyla mikroyapı fotoğrafları üzerinden yapılmıştır (Koçak vd., 2013).

Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımı için, sabit sıcaklık gradyanında (G), büyütme hızının (V) bir fonksiyonu olarak ölçülen ötektik mesafe (λ_{Mg_2Si}) değerleri ve benzer çalışmalar (Kaygısız ve Maraşlı, 2015) ile kıyaslaması Şekil 5'te verilmiştir.

Bulgular

Ötektik Mesafe Üzerine Büyütme Hızının Etkisi

Farklı büyütme oranları için Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımı için ötektik mesafeler (λ_{Mg_2Si}) ölçülmüş ve şekil 5'te verilmiştir. Beklendiği gibi, sabit sıcaklık gradyanında (G) büyütme hızındaki değişim ile mikroyapı değişmiştir. Büyütme hızı arttığında ötektik mesafe azalmıştır.



Şekil 4. SEM ve EDX kullanılarak Al-%13ağ. Mg_2Si yalancı ötektik alaşımın kimyasal kompozisyon analizi

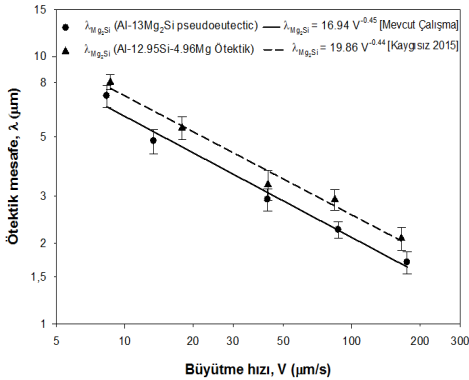
Büyütme hızı $8.33 \mu\text{m/s}$ den $175 \mu\text{m/s}$ ye artırıldığında, λ_{Mg_2Si} için ortalama ötektik mesafe $7.12 \mu\text{m}$ den $1.70 \mu\text{m}$ ye azalmıştır. En büyük ötektik mesafe sabit sıcaklık gradyanında ($G=6.68 \text{ K/mm}$) ve minimum büyütme hızında ($V=8.33 \mu\text{m/s}$) gözlenmiştir (Şekil 2a. ve 2b.). Başka bir ifadeyle sabit sıcaklık gradyanında ($G=6.68 \text{ K/mm}$), en küçük ötektik mesafe Şekil 2e. ve 2f. de olduğu gibi büyütme hızının maksimum ($V=175.0 \mu\text{m/s}$) olduğu durumda gözlenmiştir.

Büyütme hızına (V) bağlı olarak ötektik mesafenin (λ) değişimi logaritmik ölçekte doğrusaldır. Şekil 5'te görüldüğü gibi, veriler düz çizgiler oluşturur. Lineer regresyon analizi denklemi;

$$\lambda = k_1 V^{-n} \text{ (sabit } G \text{ için)} \quad (1)$$

şeklinde verilir. Burada k_1 sabit, n büyütme oranının üstel değeridir. Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımı için büyütme hızı ve ötektik

mesafe arasındaki bağıntı lineer regresyon analizi yardımıyla $\lambda_{Mg_2Si} = 16.95 V^{-0.45}$ olarak hesaplandı. Bu çalışmada, Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımında mercan benzeri yapıdaki Mg₂Si fazı için büyüme oranına bağlı olarak bulunan üstel değer (0.45) Jackson- Hunt tarafından geliştirilen ötektik teoride (Jackson ve Hunt, 1966) verilen (0.50) değerine çok yakındır. Aynı zamanda, Kaygısız ve Maraşlı tarafından Al-Si-Mg üçlü ötektik alaşım (Kaygısız ve Maraşlı, 2015) için, bulunan 0.44 üstel değeri, Büyük ve arkadaşları tarafından Al-Si-Ni ötektik alaşımları (Büyük vd., 2011) için deneysel olarak bulunan 0.47, Wilde ve arkadaşları (Wilde vd., 2004) tarafından Al-Cu-Ag ötektik alaşımı için bulunan 0.46 ve Engin ve arkadaşları tarafından Al-Ni-Fe ötektik alaşım (Engin vd., 2016) için deneysel olarak bulunan 0.53 değerleri ile uyum içerisindedir.



Şekil 5. Sabit sıcaklık gradyanında, Al-Mg₂Si yalancı ötektik ve Al-Si-Mg ötektik alaşımları için büyüme hızının fonksiyonu olarak ötektik mesafelerin değişimi.

Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımı için hacimsel büyüme oranı değeri λ_{Mg_2Si} ve V için ölçülmüş değerler kullanılarak $\lambda_{Mg_2Si}^2 V = 408.9 \mu m^3/s$ olarak hesaplandı. Bu çalışmada, Mg₂Si fazı için elde edilen hacimsel büyüme oranı değeri Kaygısız ve Maraşlı ((Kaygısız ve Maraşlı, 2015) tarafından Al-Si-Mg ötektik alaşım için deneysel olarak elde edilen $\lambda_{Mg_2Si}^2 V = 597.5 \mu m^3/s$ değerinden biraz küçüktür. Buna karşın,

Li ve arkadaşları (Li vd., 1997) tarafından $\alpha(Al)$ -Mg₂Si ötektik alaşımı elde edilen $\lambda^2 V = 71.0 \mu m^3/s$ değerinden yaklaşık altı kat daha büyüktür.

Sonuçlar ve Tartışma

Katılaştırma süreçleri alaşımın mikroyapılarını etkiler ve mikroyapı ise doğrudan alaşımın mekanik özelliklerini etki eder. Bu sebepten dolayı, Mg₂Si fazının morfolojisi doğrusal katılaştırma sürecinde büyüme oranına kuvvetli şekilde bağlıdır; düşük büyüme oranlarında mercan benzeri yapıda olan Mg₂Si ötektik fazının ötektik mesafe değerlerinin artışı ile sonuçlanırken, ince mikroyapılara daha yüksek büyüme hızlarında ulaşılabilir. Bu çalışmada, Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşımın mikroyapısında α -Al matris fazı içerine dağılmış şekilde sıvı faz ve mercan benzeri yapıda olan ötektik Mg₂Si fazları gözlenmiştir. Al-%13 ağ. Mg₂Si alaşım sistemi, Şekil 3b de verilen faz diyagramında gösterildiği gibi tamamen yalancı ötektik değildir. Çalışılan bileşimde, büyüme hızı arttığı zaman sıvı fazın azaldığı görüldü. Al-Mg₂Si yalancı ötektik alaşım için hacimsel büyüme oranı λ_{Mg_2Si} ve V kullanılarak $\lambda_{Mg_2Si}^2 V = 408.96 \mu m^3/s$ olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Bhattacharya, A., Kiran, A., Karagadde, S., Dutta, P. (2014). An enthalpy method for modeling eutectic solidification, *Journal of Computational Physics*, 262, 217–230.
- Büyük, U., Engin, S., Maraşlı, N., (2011). Microstructural characterization of unidirectional solidified eutectic Al–Si–Ni alloy, *Materials Characterization*, 62, 844 – 851.
- Brito, C., Costa, T.A., Vida, T.A., Bertelli, F., Cheung, N., Spinelli, N.E., and Garcia, A., (2015). Characterization of Dendritic Microstructure, Intermetallic Phases, and Hardness of Directionally Solidified Al-Mg And Al-Mg-Si Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46, 3342.

- De Wilde, J., Froyen, L., Rex, S., (2004). Coupled two-phase $[\alpha(\text{Al})+\theta(\text{Al}_2\text{Cu})]$ planar growth and destabilisation along the univariant eutectic reaction in Al–Cu–Ag alloys, *Scripta Materials*, 51, 533-538.
- Engin, S., Büyük, U., Maraşlı, N., (2016). The effects of microstructure and growth rate on microhardness, tensile strength, and electrical resistivity for directionally solidified Al-Ni-Fe alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 660, 23-31.
- Feufel, H., Gödecke, T., Lukas, H. L., Sommer, F. (1997). Investigation of the Al-Mg-Si System by Experiments and Thermodynamic Calculations, *Journal of Alloys Compounds*, 247, 31-42.
- Furui, M., Kitamura, T., Ishikawa, T., Ikeno, S., Saikawa, S., Sakai, N., (2011). Evaluation of Age Hardening Behavior Using Composite Rule and Microstructure Observation in Al-Si-Mg Alloy Castings, *Materials Transaction*, 52, 1163-1167.
- Jackson, K. A., and Hunt, J. D., (1966). Lamellar and Rod Eutectic Growth, *Transactions Metallurgical Society A.I.M.E.*, 236, 1129-1142.
- Kaygısız, Y., and Maraşlı, N., (2015). Microstructural, mechanical and electrical characterization of directionally solidified Al-Si-Mg eutectic alloy, *Journal of Alloys Compounds*, 618, 197–203.
- Koçak, Y., Engin, S., Büyük, U., Maraşlı, N., (2013). The influence of the growth rate on the eutectic spacings, undercoolings and microhardness of directional solidified bismuth-lead eutectic, *Current Applied Physics*, 13, 587-593.
- Kurz, W., Fisher, D. J. (1992). *Fundamentals of Solidification*, 3th ed., Trans Tech Publications, Switzerland.
- Li, S., Zhao, S., Pan, M., Zhao, D., Chen, X., Barabash O. M., and Barabash, R. I., (1997). Solidification and structural characteristics of a (Al)–Mg₂Si eutectic, *Materials Transaction*, 38, 553-559.
- Mondolfo, L.F., (1943). *Metallography of aluminum alloys*, London, Chapman and hall. P. 105.
- Qin, Q.D., Zhao, Y.G., Zhou, W., Cong, P.J., (2007). Effect of phosphorus on microstructure and growth manner of primary Mg₂Si crystal in Mg₂Si/Al composite, *Materials Science Engineering A*, 447, 186–91.
- Rios, C. T., Milenkovic, S., Ferrandini, P. L., Caram, R., (2005). Directional solidification, microstructure and properties of the Al₃Nb–Nb₂Al eutectic. *Journal of Crystal Growth*, 275, 153–158.
- Souza, S. A., Rios, C. T., Coelho, A. A., Ferrandini, P. L., Gamab, S., Carama, R., (2005). Growth and morphological characterization of Al–Cr–Nb eutectic alloys *Journal of Alloys Compounds*, 402, 156.
- Tolnai, D., Townsend, P., Requena, G., Salvo, L., Lendvai, J., Degischer, H.P., (2012). In situ synchrotron tomographic investigation of the solidification of an Al-Mg_{4.7}-Si₈ alloy, *Acta Materialia*, 60, 2568–2577.
- Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y. Q., Zhou, B. L., (2001). Equilibrium pseudobinary Al-Mg₂Si phase diagram, *Materials Science and Technology*, 17, 494-496.

Microstructural characterization of directionally solidified Al-13wt.%Mg₂Si alloy

Extended abstract

In the present work, effect of growth rates on microstructure for directionally solidified Al-13wt.%Mg₂Si pseudoeutectic alloy at a constant temperature gradient were studied.

The composition of pseudoeutectic Al-Mg₂Si alloy in Al-Mg-Si system was chosen to be Al-13wt.%Mg₂Si (Al-8.75wt.%Mg-4.25wt.%Si) to growth the eutectic phases from ternary liquid.

Directional solidification process were carried out with different growth rates ($V=8.33-175.0 \mu\text{m/s}$) at a constant temperature gradient ($G=6.63 \text{ K/mm}$) by using synchronous motors running at different speed by Bridgman-type furnace.

According to phase diagrams and EDX results light grey, black and dark grey phases were identified as quenched liquid phase, Mg₂Si coral-like and α -Al matrix, respectively.

As the growth rate is increased, the eutectic spacings decrease. When the growth rate of samples increases from 8.33 to 175 $\mu\text{m/s}$ the average eutectic spacing for $\lambda_{\text{Mg}_2\text{Si}}$ decrease from 7.12 to 1.70 μm . The highest eutectic spacing was obtained at the minimum growth rate and a constant temperature gradient ($V=8.33 \mu\text{m/s}$, $G=6.68 \text{ K/mm}$). On the other hand, the smallest eutectic spacing was measured at the maximum value of growth rate and a constant temperature gradient ($V=175.0 \mu\text{m/s}$, $G=6.68 \text{ K/mm}$).

The dependency of lamellar spacing (λ) on growth rates (V) were obtained as $\lambda_{\text{Mg}_2\text{Si}} = 16.95 V^{-0.45}$ for Al-Mg₂Si pseudoeutectic alloy.

The bulk growth rate was also determined as $\lambda_{\text{Mg}_2\text{Si}}^2 V = 408.96 \mu\text{m}^3/\text{s}$ by using the measured values of $\lambda_{\text{Mg}_2\text{Si}}$ and V .

Keywords: Directional solidification; Pseudoeutectic alloy; Aluminum alloy; Microstructure; eutectic spacings.

mühendislik dergisi

