ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.

ISSN: 2564-6605
doi: 10.28948/ngumuh.517188
Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, (2019), 549-558
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 8, Issue 1, (2019), 549-558

Araştırma / Research

In-Bi-Cd ÖTEKTİK ALAŞIMININ MİKROYAPISAL DEĞERLENDİRİLMESİ VE MEKANİK DAVRANIŞI

Uğur BÜYÜK[1] (ORCID: 0000-0002-6830-8349)[*]
Sevda ENGİN[2] (ORCID: 0000-0001-8746-8770)
Semra DURMUŞ ACER[2] (ORCID: 0000-0002-6790-2792)
Aynur AKER[3] (ORCID: 0000-0001-5932-5449)
Necmetttin MARAŞLI[4] (ORCID: 0000-0002-1993-2655)

[1] Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Kayseri, Türkiye
[2] Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kütahya, Türkiye
[3] Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Bölümü, Siirt, Türkiye
[4] Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: *02.04.2018*
Kabul / Accepted: *17.10.2018*

ÖZ

In–%30.8Bi–7.5Cd (ağ.) ötektik alaşımı Bridgman tipi kontrollü katılaştırma fırınında farklı katılaştırma hızlarında (V=2.9–173.8 μm/s) tek yönlü katılaştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde In–Bi–Cd ötektik alaşımının mikroyapısında; In_2Bi lamelsel, In–esaslı (ε) ve Cd fazları gözlenmiştir. Kontrollü katılaştırma deneyleri yapılan her bir numune için gözlenen mikroyapılar arası mesafeler, mikrosertlikleri ve maksimum çekme–dayanım değerleri ölçülmüştür. Deneysel olarak elde edilen değerler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için ise lineer regrasyon analizi ve Hall–Petch tipi bağıntılar kullanılmıştır. Kontrollü katılaştırma deneylerinde 80 μm/s'nin üzerinde katılaştırma hızına sahip numunelerde birincil In_2Bi fazları etrafında bölgesel olarak lamelsel ve çubuksal fazların oluştuğu gözlenmiştir. Çünkü katılaştırma hızı arttıkça In_2Bi fazının hacim yüzdesi de artmıştır. Ayrıca katılaştırma hızı 2.9 μm/s'den 173.8 μm/s'e kadar artırıldığında mikrosertlik ve maksimum çekme–dayanım değerlerinin yaklaşık iki kat arttığı belirlenmiştir. In–Bi–Cd alaşımı için elde edilen mikroyapılar arası mesafeler, mikrosertlik ve maksimum çekme–dayanım değerleri benzer deneysel çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Katılaştırma, mikroyapı, maksimum çekme–dayanım testi, sertlik testi

MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND MECHANICAL BEHAVIOR OF In–Bi–Cd EUTECTIC ALLOY

ABSTRACT

In–30.8%Bi–7.5%Cd (wt.) alloy was directional solidified at different growth rates (V=2.9–173.8 μm/s) in a Bridgman type equipment. The microstructure of In–Bi–Cd alloy was observed, which resulted lamellae of In_2Bi phase, In–rich (ε) phase, and Cd phase from quenched samples. The eutectic spacing, microhardness and ultimate tensile strength of alloy were measured from directionally solidified samples, and the relationships between them were experimentally obtained using both linear regression analysis and Hall–Petch type correlations. The local lamellae and rod–like phase structures which were grown around primary In_2Bi phase have been observed in the microstructure of the solidified alloys larger than 80 μm/s growth rate. As growth rate increases, the volume percentage of primary In_2Bi phases increase. And also it was found that, as the growth rate increases from 2.9 to 173.8 μm/s, the values of microhardness and ultimate tensile strength increases about

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 352 2076666; e-mail / e-posta: buyuk@erciyes.edu.tr

two times. The values of the eutectic spacing, microhardness and ultimate tensile strength for In–Bi–Cd eutectic alloys were compared with similar eutectic alloys.

Keywords: Solidification, microstructure, tensile test, hardness test

1. GİRİŞ

Ülkemizde 2006 yılına kadar üstün ıslatma özellikleri, düşük erime sıcaklığı ve düşük maliyeti nedeniyle mikroelektronik endüstrilerde yaygın olarak kalay–kurşun (Sn–%37Pb) lehimi kullanılmaktaydı. Son on yılı aşkındır kurşunun sağlık ve çevre için zehirli olduğu belirlenmesi nedeniyle kurşunsuz alternatif lehimler geliştirilmeye başlanmış ve bu kapsamda birçok metalik alaşım sistemi önerilmiştir. [1–7]. Sn–Bi, Sn–Cu, Sn–Sb, Sn–Ag, Sn–Zn ve Au–Sn yanı sıra bu sistemlerin bazı üçlü ve dörtlü katkılanmış türevleri de literatürde tanımlanmıştır [8–16]. Kalay esaslı kurşunsuz lehimlerle ilgili çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen, geleneksel Sn–Pb alaşımı tarafından sağlanan özelliklerin spektrumunu kapatabilecek henüz standart bir lehim alaşımı mevcut değildir [17].

Alternatif lehim alaşımları içinde en çok ilgi gören ve ticari olarak kullanılan Sn–Ag ve Sn–Ag–Cu lehim alaşımlarının erime sıcaklıkları sırasıyla 221 ve 217°C olup elektronik montaj sırasında sıcaklığın geleneksel Sn–Pb alaşımına göre 30–40°C artırılması gerekmektedir. Bu sıcaklık artışı birçok mikroelektronik bileşen için zararlı olup montajı zorlaştırmasının yanı sıra Sn–Pb alaşımına göre maliyeti de artırmaktadır [2,18]. Bu bağlamda kalayın dışında düşük erime sıcaklığına sahip, özel ihtiyaçlara uygun gelişmiş özellikler sunabilen, indiyum, altın ve bizmut gibi elementler de temel bileşen olarak seçilerek farklı alternatif lehimlere seçenekler genişletilmiştir [17]. Özellikle indiyum, bizmut ve galyum elementleri düşük erime sıcaklıklarına sahip olmaları nedeniyle bu elementlerden oluşturulacak alaşımında erime sıcaklığını düşürmektedir [17]. Literatürde düşük erime sıcaklığına sahip Sn–Bi [15, 19–21], Sn–In [22], Bi–Zn [17], Bi–Cd [23], In–Bi–Sn[2, 24–25], In–Bi–Zn [26] lehim alaşımlarının özellikleri birçok araştırmacı tarafından halen araştırılmaktadır.

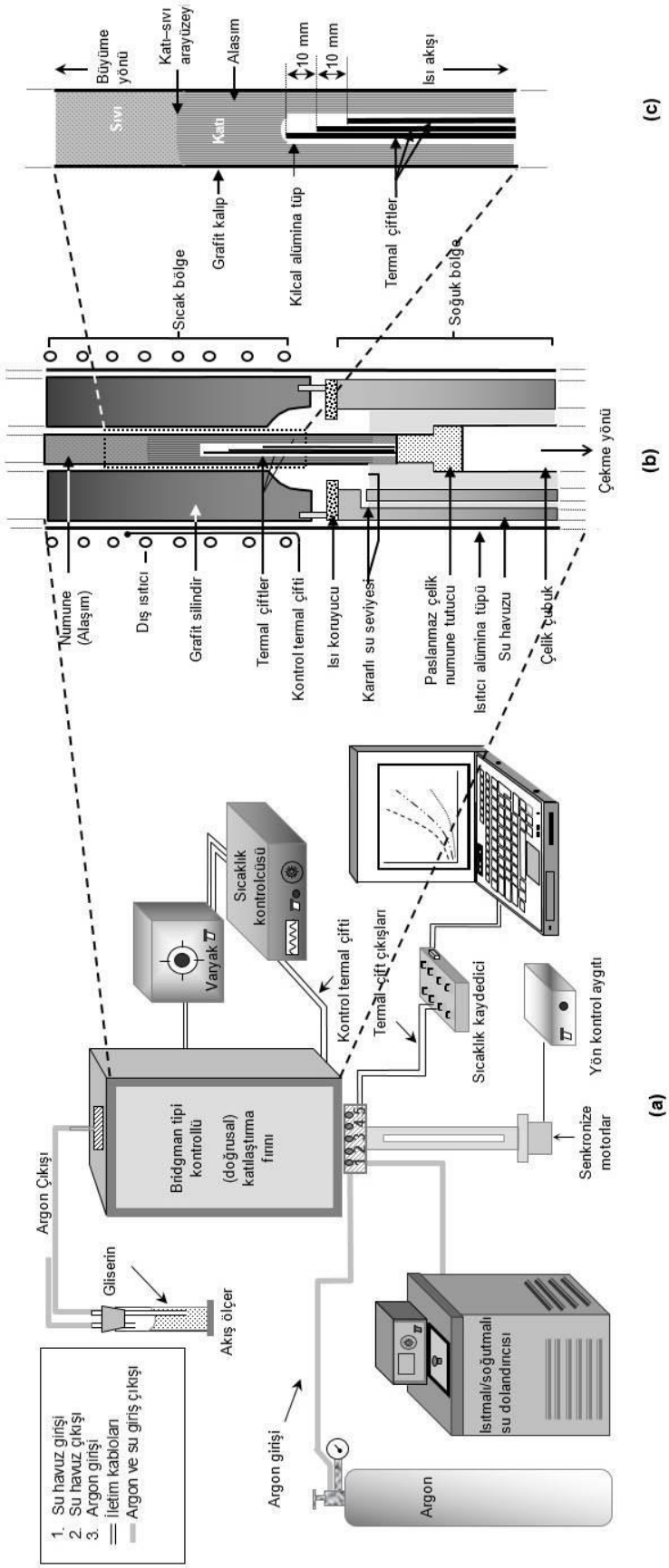
Bu çalışma kapsamında ise 62°C erime sıcaklığına sahip aday lehim olarak In–Bi–Cd ötektik alaşımı seçilerek Bridgman tipi fırın vasıtasıyla sabit sıcaklık gradyentinde yedi farklı hızda kontrollü doğrusal katılaştırma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca lehim işleminde oldukça büyük öneme sahip In–Bi–Cd ötektik alaşımının mikroyapı (λ), mikrosertlik (HV) ve maksimum çekme–dayanım (σ_{uts}) değerlerinin katılaştırma hızına bağlı olarak değişimi bir bütün halinde belirlenmiştir. Ayrıca deneysel veriler arasındaki ilişki hem lineer regrasyon analizi kullanılarak hem de Hall–Petch tipi bağıntılarla ortaya çıkarılmış ve sonuçlar benzer deneysel çalışmalarla kıyaslanmıştır.

2. DENEYSEL SÜREÇ

2.1 Alaşımın Hazırlanması Doğrusal Katılaştırma ve Metalografi

In–%30.8Bi–7.5Cd (ağ.) ötektik bileşimi için faz diyagramı yardımıyla bileşen oranları tanımlanmış, stokiyometrik hesaplamalar yapılarak elementlerin kütle miktarları belirlenmiştir. Miktarı belirlenen %99.99 saflıklardaki indiyum, bizmut ve kadmiyum elementleri hassas terazi ile tartıldıktan sonra sırayla vakumlu eritme fırını içindeki grafit potaya yerleştirilmiştir. Fırın içinde indiyum, bizmut ve kadmiyum elementlerinin vakumlanarak oksitlenmeden eritilmesi sağlandıktan sonra belirli aralıklarla grafit çubuk yardımıyla karıştırılarak alaşımın homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Döküm fırını içindeki grafitten yapılmış 200 mm uzunluğunda 4 mm iç çapa ve 6.35 mm dış çapa sahip 14 adet silindir şeklindeki numune kalıpları içine homojen hale getirilen alaşımın dökümü yapılmıştır. Döküm fırını yardımıyla eriyik haldeki alaşımın özel numune kalıpları içerisine dökümünün yapılması ve alaşımın kalıpların içerisinde alttan üste doğru kontrolsüz katılaştırılarak numune kalıbının içinde hava boşluğu kalmasına izin verilmeden tamamen doldurulması sağlanmıştır.

Hazırlanan numune kalıplarının her biri sabit sıcaklık gradyentinde (G = 2.07 K/mm) yedi farklı katılaştırma hızında (V = 2.9 - 173.8µm/s) tek yönlü kontrollü katılaştırılmak üzere Şekil 1'de şematik gösterimi verilen Bridgman tipi fırın içine yerleştirilmiştir. Bridman tipi fırın içindeki numune üzerinde sabit sıcaklık gradyentini sağlayabilmek için yeterli süre beklenildikten sonra kontrollü katılaştırmayı gerçekleştirmek üzere senkronize motorlar vasıtasıyla her bir numune ayrı ayrı Şekil 1b'de tanımlanan sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru çekilmiştir.



Şekil 1. (a) Bridgman tipi kontrollü katılaştırma fırınının şematik gösterimi, (b) fırının içyapısı, sıcak ve soğuk bölgeleri, (c) numune kalıbı

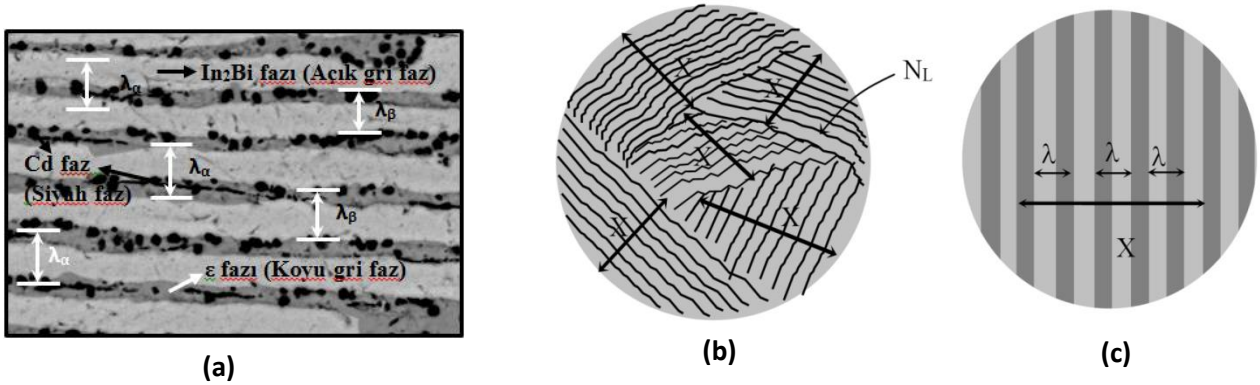
Her bir numunenin yaklaşık 100-120 mm kontrollü katılaşması sağlandıktan sonra numuneler senkronize motordan bağımsız olarak çok hızlı bir şekilde soğuk bölgeye çekilerek ani soğutma (quench) işlemi gerçekleştirilmiştir. Kontrollü katılaştırma deneyleri tamamlanan her bir numunenin 10-12 mm uzunluğunda katı-sıvı arayüzeyine en yakın kısımları kesilerek epoxy-resin ile kalıplanmıştır. Numunelerin mikroskop altında mikroyapılarını tayin edebilmek ve fotoğraflarını alabilmek için sırasıyla ***Struers TegraPol–15*** cihazından faydalanılarak zımparalama ve parlatma metalografik işlemleri yapılmıştır. Numuneler üzerindeki mikroyapıları tam olarak ortaya çıkarabilmek için ise 25 ml HCl + 8 g $FeCl_3$ + 100 ml su ile hazırlanan çözeltiyle 15–20 saniye kadar dağlanmıştır.

LEO model taramalı elektron mikroskobu (SEM Scanning Electron Microscope) ve ***Olympus BX51*** model optik mikroskop yardımıyla her bir numune fotoğraflanarak mikroyapısı belirlenmiştir. In–Bi–Cd alaşımının mikroskop altında düzenli lamelsel ötektik mikroyapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

2.2 Katılaştırma Parametrelerinin Ölçümü ve Mikroyapının Gözlenmesi

Numunelerin Bridgman tipi fırında katılaştırma işlemine geçilmeden önce K–tipi 0.25 mm çapındaki üç termal çift numune içine 10 mm aralıklarla yerleştirilerek deney süresince numune üzerindeki sıcaklık gradyenti ve katılaştırma hızları belirlenmiştir (Şekil 1c). Sıvı fazın sıcaklık gradyenti ($G = \Delta T/\Delta X$) ve katı–sıvı arayüzeyinin katılaştırma hızı ($V = \Delta X/\Delta t$) her bir numune için ΔT, ΔX ve Δt değerlerinin belirlenmesiyle hesaplanmıştır. ΔT, ΔX ve Δt değerleri sırasıyla termalçiftlerin ölçtüğü sıcaklık, termalçiftler arası mesafe ve katı–sıvı arayüzeyinin iki termal çift aralığını tamamlama süresi olarak tanımlanmıştır. Katılaştırma parametrelerinin ölçümlerinin ayrıntılı bilgisi Kaynak 27'de verilmektedir.

Her bir numune için farklı büyütme oranlarında çekilen fotoğraflardan ***Image ProPlus*** programı yardımıyla yan yana dizilen düzenli yapılardan tekrar eden fazların toplam genişliği olarak tanımlanan ötektik mesafeler (λ) **"*linear intercept*"** metodu olarak tanımlanan yöntemle ölçülmüş ve ayrıntıları Şekil 2'de gösterilmiştir [28]. Ölçme işlemi en az 30 defa tekrarlanıp ortalama değer alınarak ölçümün güvenilirliği sağlanmıştır.



Şekil 2. (a) Doğrusal katılaştırılmış In–Bi–Cd ötektik alaşımı için lamelsel mesafelerin ölçümü, (b) şematik geniş bölge görüntüsü, (c) şematik dar bölge görüntüsü (lineer intercept metodu: $\lambda = X/(N_L - 1)$. Burada X, lamellerin toplam genişliği, N_L ise toplam lamel sayısıdır

2.3 Mikrosertlik ve Maksimum Çekme–Dayanım Değerinin Ölçülmesi

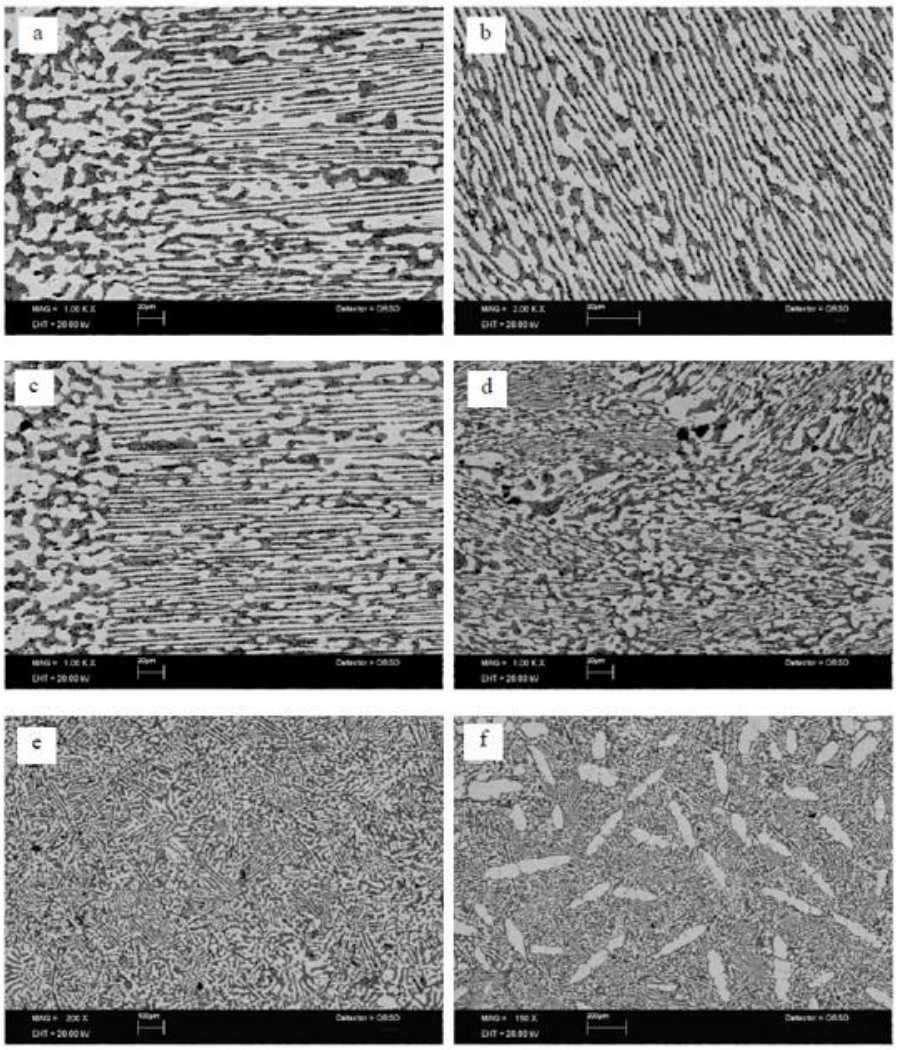
Bu çalışmanın amaçlarından biri de katılaştırma hızına bağlı olarak değişen mikroyapının mekanik özelliklere etkisini ortaya koymaktır. Bu nedenle ötektik bileşimde hazırlanan In–Bi–Cd alaşımının kontrollü katılaştırılması ve metalografi işlemleri yapıldıktan sonra ***Future–Tech FM–700*** model Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılarak numune üzerine 500 g'lık yükün 10 s uygulanmasıyla meydana gelen 40–60 μm'lik iz yardımıyla her bir numunenin mikrosertlik değeri ölçülmüştür. Bu işlem en az 20 kez tekrarlanıp ortalama değer alınarak ölçümün güvenilirliği sağlanmıştır.

Diğer taraftan farklı hızlarda kontrollü doğrusal katılaştırılan ve 4 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda hazırlanan numuneler için ***Shimatzu Universal Testing Instrument*** yardımıyla 10^{-3} s gerilim uygulanarak maksimum çekme–dayanım değerleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Katılaştırma Hızının Ötektik Mikroyapıya Etkisi

Yapılan kontrollü katılaştırma deneyleri neticesinde Şekil 3 ve Şekil 4'te de görüldüğü gibi katılaştırma hızı arttıkça lameller arası mesafe (λ) değerinin azaldığı görülmektedir. En büyük mikroyapı değeri en düşük katılaştırma hızında (V = 2.9 µm/s, G = 2.07 K/mm) ve en küçük mikroyapı değeri ise en yüksek katılaştırma hızında (V = 173.8 µm/s, G = 2.07 K/mm) elde edilmiştir. Peretti [29] ve Snugovsky ve ark. [30] çalışmalarında In–Bi–Cd ötektik alaşımının In_2Bi (açık gri faz), In-esaslı (ε) (koyu gri faz) ve Cd çözelti (siyah faz) fazlarının oluştuğunu belirtmişlerdir. In_2Bi, In-esaslı (ε) düzenli lamelsel yapılar olarak büyürken Cd fazı genellikle ε fazı içinde kesikli çubuksal yapılar halinde tek yönlü olarak büyümüştür. Katılaştırma hızının artmasıyla (80 µm/s'den daha fazla) In_2Bi birincil fazları etrafında bölgesel lamelsel ve çubuksal ötektik yapılar büyümeye devam etmiştir (Şekil 3e-f). Çünkü katılaştırma hızı arttıkça In_2Bi fazının hacim oranı da artmıştır [30].



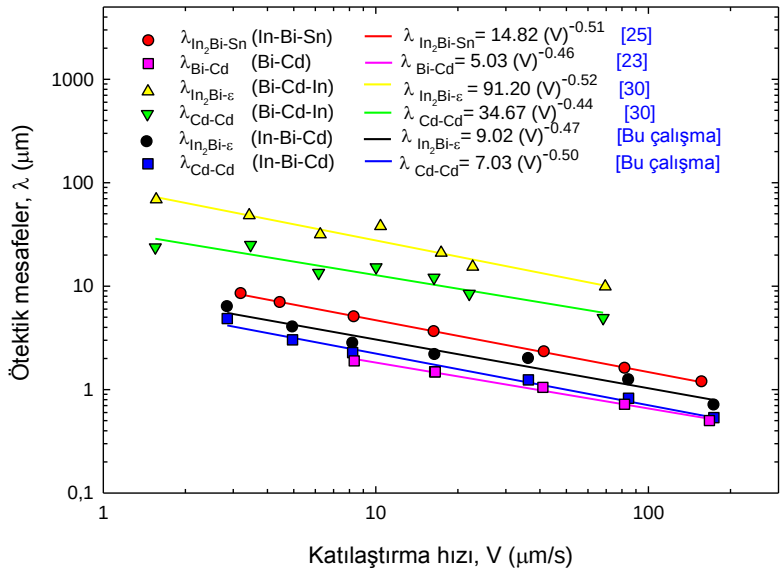
Şekil 3. Doğrusal katılaştırılmış In–Bi–Cd ötektik alaşımı için sabit sıcaklık gradyenti (G=2.07 K/mm) farklı katılaştırma hızlarında (V=2.85–173.81 µm/s) oluşan mikroyapıların bazı enine ve boyuna kesit SEM fotoğrafları (a) boyuna kesit – (b) enine kesit (V=2.85 µm/s), (c) boyuna kesit – (d) enine kesit (V=8.22 µm/s), (e) boyuna kesit – (f) enine kesit (V=173.81 µm/s)

Katılaşma sırasındaki sıcaklık düşüşü, alaşımın termodinamik ve kinetik parametreleri için önemli bir faktör olan sıvının kinetik aşırı soğutmasına neden olmaktadır. Kinetik aşırı soğutmanın değişimi ise alaşımın mikroyapısını ve faz oluşumunu etkilemektedir. Dolayısıyla katılaştırma hızı değiştikçe numune üzerindeki alt soğuma miktarı da değişmektedir.

Elde edilen sonuçlar neticesinde mikroyapı ve katılaştırma hızı arasındaki ilişkiyi tam olarak ortaya çıkarabilmek için lineer regrasyon analizinden faydalanılmıştır. Şekil 4'te belirtildiği gibi mikroyapı ve katılaştırma hızını ifade eden lineer regrasyon analizi;

$$\boldsymbol{\lambda = k_1 V^{-n_1}} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada k_1 denklem sabiti, n_1 ise katılaştırma hızının üstel değeridir. Elde edilen sonuçlarda dikkat edilmesi gereken husus n_1 üstel değeri olup Jackson–Hunt teorik modeline göre düzenli mikroyapı gözlenen alaşımlar için bu değerin 0.50 olması gerekmektedir [31].



Şekil 4. Doğrusal katılaştırılmış In–Bi–Cd ötektik alaşımı için ötektik mesafelerin katılaştırma hızı ile değişimi

In–Bi–Cd ötektik alaşımı için bu değerler Jackson–Hunt teorik modeline oldukça yakın değer olan In_2Bi – In-esaslı (ε) fazları için 0.47, Cd – Cd fazları için 0.50 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında oldukça uyum içinde olduğu Şekil 4'te verilen grafikte net bir şekilde görülmektedir.

In–Bi–Cd ötektik alaşımının özellikle düşük katılaştırma hızlarında homojen düzenli yapılar oluşturmaları lehim uygulamaları sırasında kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca In–Bi–Cd ötektik alaşımın erime sıcaklığının oldukça düşük olması kademeli lehim uygulamasında alttaki lehimi eritmeyeceğinden tercih edilebilir olduğu düşünülmektedir.

3.2. Katılaştırma Hızının Mikrosertlik ve Maksimum Çekme–Dayanıma Etkisi

Şekil 5 ve Şekil 6'da katılaştırma hızı arttıkça mikrosertlik ve maksimum çekme–dayanım değerlerinin de arttığı görülmektedir. Mikrosertlik değerinin, mikroyapı ve katılaştırma hızı ile aralarındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılan lineer regranyon analizleri;

$$\boldsymbol{HV = k_2 V^{-n_2}} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{HV = k_3 \lambda^{n_3}} \quad (3)$$

ve maksimum çekme–dayanım değerinin, mikroyapı ve katılaştırma hızı ile aralarındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılan lineer regranyon analizleri;

$$\boldsymbol{\sigma_{uts} = k_4 V^{-n_4}} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\sigma_{uts} = k_5 \lambda^{n_5}} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada k_2, k_3, k_4 ve k_5 denklem sabitleri, n_2, n_3, n_4 ve n_5 ise mikroyapı ve katılaştırma hızının üstel değerleridir. Mikroyapı ve katılaştırma hızı ile mikrosertlik değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir başka analiz ise Hall–Petch tipi bağıntılardır. Mikrosertlik değerinin mikroyapı ve katılaştırma hızı ile aralarındaki ilişkiyi ortaya koyan Hall–Petch tipi bağıntılar;

$$\boldsymbol{HV = HV_o + k_6 V^{0.25}} \quad (6)$$

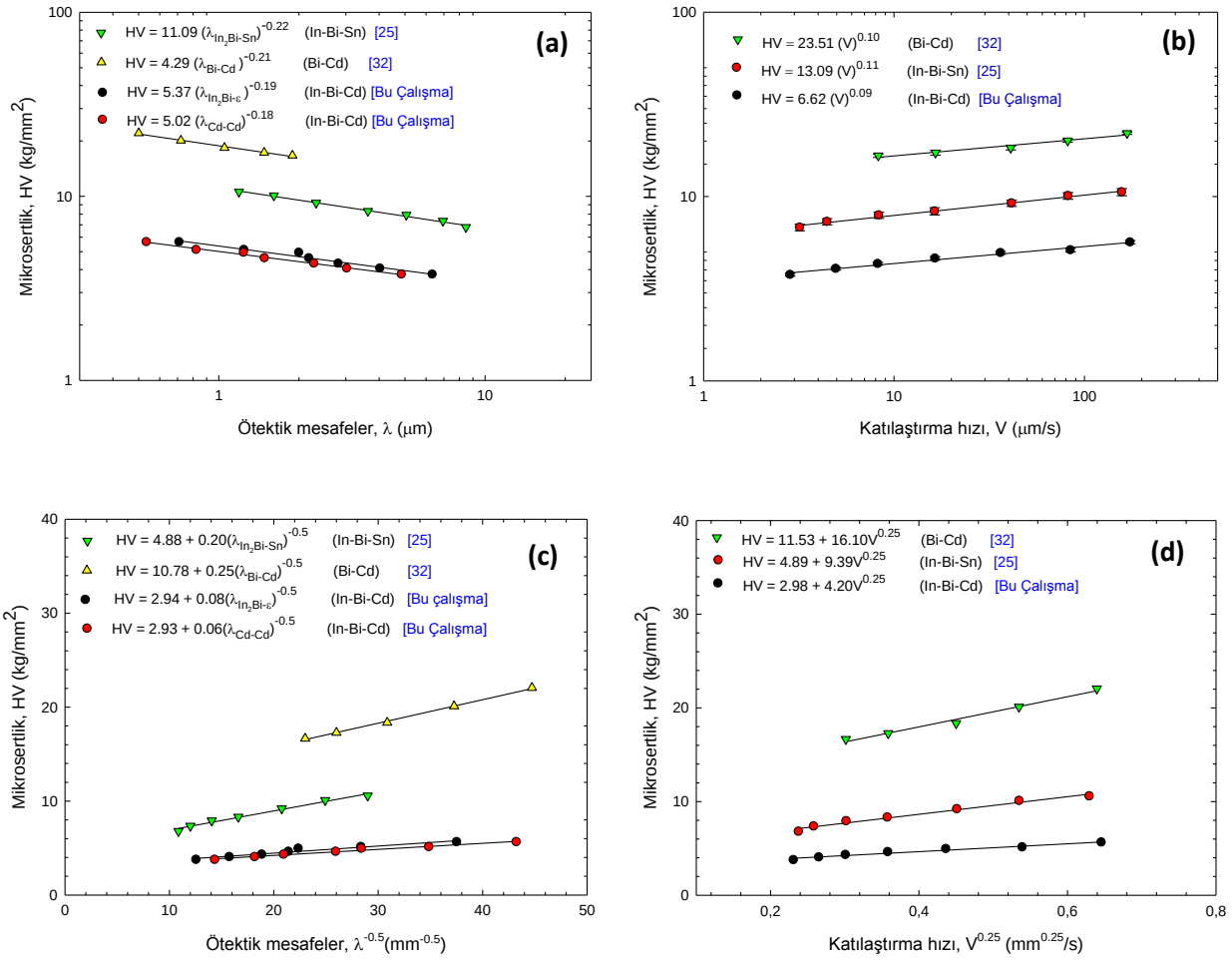
$$\boldsymbol{HV = HV_o + k_7 \lambda^{-0.50}} \quad (7)$$

ve maksimum çekme–dayanım değerinin mikroyapı ve katılaştırma hızı ile aralarındaki ilişkiyi ortaya koyan Hall–Petch tipi bağıntılar;

$$\boldsymbol{\sigma_{uts} = \sigma_{uts_o} + k_8 V^{0.25}} \quad (8)$$

$$\boldsymbol{\sigma_{uts} = \sigma_{uts_o} + k_9 \lambda^{-0.50}} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

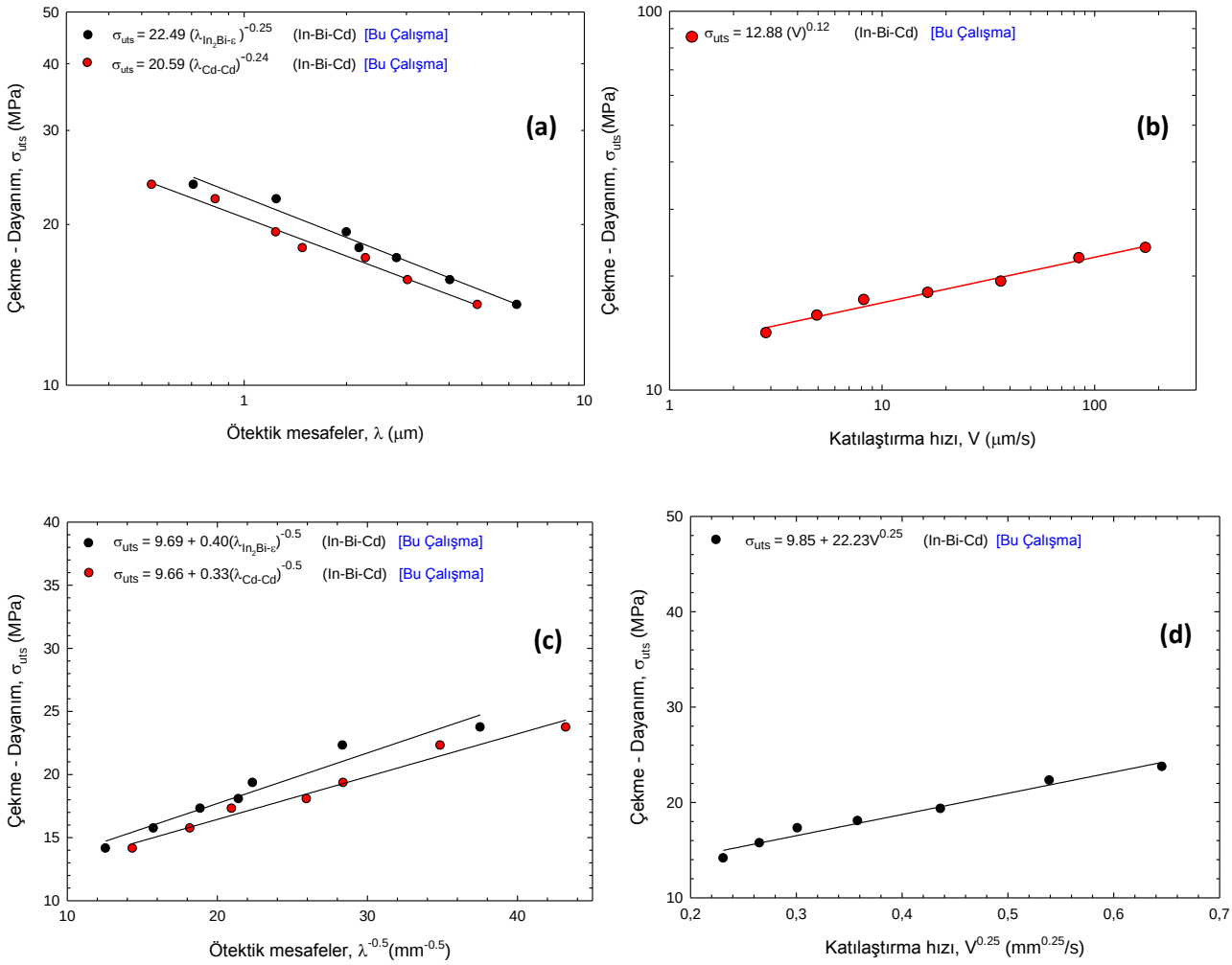


Şekil 5. Doğrusal katılaştırılmış In–Bi–Cd ötektik alaşımı için; (a) mikrosertlik değerlerinin mikroyapı ile değişimi ve lineer regrasyon bağıntısı, (b) mikrosertlik değerlerinin katılaştırma hızı ile değişimi ve lineer regrasyon bağıntısı, (c) mikrosertlik değerlerinin mikroyapı ile değişimi ve Hall–Petch tipi bağıntısı, (d) mikrosertlik değerlerinin katılaştırma hızı ile değişimi ve Hall–Petch tipi bağıntısı

şeklinde tanımlanır. Burada $\boldsymbol{HV_o}$ erime sıcaklığındaki sıvı faz ile dengede bulunan katı fazın başlangıç mikrosertlik değeri, benzer şekilde $\boldsymbol{\sigma_{uts_o}}$erime sıcaklığındaki sıvı faz ile dengede bulunan katı fazın başlangıç maksimum çekme–dayanım değeri ve k_6, k_7, k_8 ve k_9 denklem sabitleridir.

Mikrosertlik değerleri için lineer regrasyon analiz sonuçlarından da görüldüğü üstel değerler benzer çalışmalarla oldukça uyumludur. In–Bi–Cd ötektik alaşımı için katılaştırma hızının yaklaşık 60 kata kadar artırılması mikroyapı üzerine etkisini 9 kat küçülterek göstermiştir. Mikroyapı üzerindeki bu değişim ise doğrudan mikrosertlik ve maksimum çekme–dayanım değerlerini etkilemiştir. Mikroyapı değerlerinin artan katılaştırma hızına bağlı olarak 6.34 μm'den 0.71 μm'ye değişimi, mikrosertlik değerlerinin 3.77 kg/mm^2'den 5.65 kg/mm^2'e artmasına ve maksimum çekme–dayanım değerlerinin ise 14.15 MPa'dan 23.74 MPa'a artmasına

sebep olmuştur. Hall–Petch tipi bağıntı sonuçlarına göre ise In–Bi–Cd ötektik alaşımının erime sıcaklığındaki sıvı faz ile dengede bulunan katı fazın başlangıç mikrosertlik değeri benzer çalışmalara göre küçük çıkması yumuşak bir malzeme olduğunu göstermektedir. Bu durum lehim uygulamaları esnasında kırılganlığı minimum seviyeye indirecektir. Ayrıca benzer sonuçlar maksimum çekme–dayanım değerleri için elde edilmiştir. Fakat



Şekil 6. Doğrusal katılaştırılmış In–Bi–Cd ötektik alaşımı için; (a) maksimum çekme–dayanım değerlerinin mikroyapı ile değişimi ve lineer regrasyon bağıntısı, (b) maksimum çekme–dayanım değerlerinin katılaştırma hızı ile değişimi ve lineer regrasyon bağıntısı, (c) maksimum çekme–dayanım değerlerinin mikroyapı ile değişimi ve Hall–Petch tipi bağıntısı, (d) maksimum çekme–dayanım değerlerinin katılaştırma hızı ile değişimi ve Hall–Petch tipi bağıntısı

Yüksek sıcaklığa maruz kalması mümkün olmayan ürünlerde düşük sıcaklıklı lehimlerin uygulanması önemli bir konudur. Lehim uygulaması kapsamında evrensel tek bir lehim alaşımı kullanmak çok mümkün olmayıp, yerine uygulama şartlarına göre farklı alaşım ve bileşimin seçilerek montajlama işleminin yapılması daha faydalı olacaktır [33]. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada düşük sıcaklık uygulamaları için aday lehim alaşımı olan In–Bi–Cd ötektik alaşımının bazı fiziksel özellikleri incelenmiş ve sonuçlar literatürdeki benzer sonuçlarla kıyaslanmıştır

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, In–Bi–Cd ötektik alaşımı, Bridgman tipi kontrollü katılaştırma fırını yardımıyla, sabit sıcaklık gradyenti (*G*), farklı katılaştırma hızlarında (*V*), doğrusal olarak katılaştırılmış, katılaştırma parametresine (*V*)

bağlı olarak mikroyapı parametresi (λ), mikrosertlik (*HV*), maksimum çekme–dayanım *(σ_{uts})* değerlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapılan araştırmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada In–%30.8ağ.Bi–7.5ağ.Cd ötektik alaşımının kontrollü katılaştırma deneyleri neticesinde In_2Bi lamelsel faz, In–esaslı (ε) ve Cd fazları gözlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda;

Katılaştırma hızı ile mikroyapı arasındaki ilişki lineer regrasyon analizi ile $\lambda_{In_2Bi-\varepsilon} = 9.02V^{-0.47}$, $\lambda_{Cd-Cd} = 7.03V^{-0.50}$ olarak elde edilmiştir.

Katılaştırma hızı ve mikroyapı ile mikrosertlik aralarındaki ilişki lineer regrasyon analizi ile $HV = 5.37(\lambda_{In_2Bi-\varepsilon})^{-0.19}$, $HV = 5.02(\lambda_{Cd-Cd})^{-0.18}$ ve $HV = 6.62V^{0.09}$, Hall–Petch tipi bağıntı ile $HV = 2.94 + 0.08(\lambda_{In_2Bi-\varepsilon})^{-0.50}$, $HV = 2.93 + 0.06(\lambda_{Cd-Cd})^{-0.50}$ ve $HV = 2.98 + 4.20V^{0.25}$ olarak elde edilmiştir.

Katılaştırma hızı ve mikroyapı ile maksimum çekme–dayanım aralarındaki ilişki lineer regrasyon analizi ile $\sigma_{uts} = 22.49(\lambda_{In_2Bi-\varepsilon})^{-0.25}$, $\sigma_{uts} = 20.59(\lambda_{Cd-Cd})^{-0.24}$ ve $\sigma_{uts} = 12.88V^{0.12}$, Hall–Petch tipi bağıntı ile $\sigma_{uts} = 9.69 + 0.40(\lambda_{In_2Bi-\varepsilon})^{-0.50}$, $\sigma_{uts} = 9.66 + 0.33(\lambda_{Cd-Cd})^{-0.50}$ ve $\sigma_{uts} = 9.85 + 22.23V^{0.25}$ olarak elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] MANKO H.H., "Solders and Soldering Materials: Design Production, Analysis for Reliable Bonding", (fourth ed.), McGraw–Hill, New York, 2001.

[2] NOOR E.E.M., SHARİF N.M., YEW C.K., ARİGA T., ISMAİL A.B., HUSSAİN Z., "Wettability and strength of In–Bi–Sn lead–free solder alloy on copper substrate." Journal of Alloys and Compounds 507, 290–296, 2010.

[3] McCORMACK M., CHEN H.S., KAMMLOTT G.W., JİN S., "Significantly improved mechanical properties of Bi-Sn solder alloys by Ag-doping" Journal of Electronic Materials 26, 954–958, 1997.

[4] TAO D.P., "Prediction of activities of all components in the lead-free solder systems Bi-In-Sn and Bi-In-Sn-Zn" Journal of Alloys and Compounds 457, 124–130, 2008.

[5] JIN S., McCORMACK M., "Dispersoid Additions to a Pb-Free Solder for Suppression of Microstructural Coarsening" Journal of Electronic Materials 23, 735–739, 1994.

[6] ACOFF V.L., ARENAS M.F., "Contact angle measurements of Sn-Ag and Sn-Cu lead-free solders on copper substrates" Journal of Electronic Materials 22, 1452–1458, 2004.

[7] BANG W.H., MOON M.W., KİM C.U., KANG S.H., JUNG J.P., OH K.H., "Study of fracture mechanics in testing interfacial fracture of solder joints" Journal of Electronic Materials 37, 417–427, 2008.

[8] SEO S., KANG S.K., SHIH D., LEE H.M., "An investigation of microstructure and microhardness of Sn–Cu and Sn–Ag solders as functions of alloy composition and cooling rate" Journal of Electronic Materials 38, 257–265, 2009.

[9] SUGANUMA K., KIM S., KIM K., "High–temperature lead–free solders: properties and possibilities" JOM–J. Met. 61, 64–71, 2009.

[10] ÇADIRLI E., KAYA H., BOYUK U., MARAŞLI N., "Effects of solidification parameters on the microstructure of directionally solidifed Sn–Bi–Zn lead–free solder" Metals and Materials International, 18, 349–354, 2012.

[11] SHEN L., SEPTİWERDANİ P., CHEN Z., "Elastic modulus, hardness and creep performance of SnBi alloys using nanoindentation" Materials Science and Engineering A– Struct. 558, 253–258, 2012.

[12] SANTOS W.L.R., BRİTO C., QUARESMA J.M.V., SPİNELLİ J.E., GARCİA A., "Plate–like cell growth during directional solidification of a Zn–20 wt% Sn high–temperature lead–free solder alloy" Materials Science and Engineering, B 182, 29–36, 2014.

[13] DİAS M., COSTA T., ROCHA O., SPİNELLİ J.E., CHEUNG N., GARCİA A., "Interconnection of thermal parameters, microstructure and mechanical properties in directionally solidified Sn–Sb lead–free solder alloys" Materials Characterization,106, 52–61, 2015.

[14] SİLVA B.L., GARCİA A., SPİNELLİ J.E., "Cooling thermal parameters and microstructure features of directionally solidified ternary Sn–Bi–(Cu,Ag) solder alloys" Materials Characterization, 114, 30–42, 2016.

[15] MOON K., BOETTİNGER W.J., KATTNER U.R., Handwerker C.A., Lee D., "The effect of Pb contamination on the solidification behavior of Sn–Bi solders" Journal of Electronic Materials 30, 45–52, 2001.

[16] SİLVA B.L., BERTELLİ F., CHEUNG N., GARCİA A., "Solder/substrate interfacial thermal conductance and wetting angles of Bi–Ag solder alloys" J. Mater. Sci.– Mater. El. 27, 1994–2003, 2015.

[17] SEPTİMİO R.S., COSTA T.A., VİDA T.A., GARCİA A., CHEUNG N., "Interrelationship of thermal parameters, microstructure and microhardness of directionally solidified Bi–Zn solder alloys" Microelectronics Reliability 78, 100–110, 2017.

[18] CHRİAˇSTEL'OV´A J., OˇZVOLD M., "Properties of solders with low melting point" Journal of Alloys and Compounds 457, 323–328. 2008.
[19] SİLVA B.L., XAVİER M.G.C., GARCİA A., SPİNELLİ J., "Cu and Ag additions affecting the solidification microstructure and tensile properties of Sn–Bi lead–free solder alloys" Materials Science & Engineering A 705, 325–334, 2017.
[20] SILVA B.L., SILVA V.C.E., GARCIA A., and SPINELLI J.E., "Effects of Solidification Thermal Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Sn–Bi Solder Alloys" Journal of ELECTRONIC MATERIALS, 46, (3), 1754-1769, 2017.
[21] MOKHTARİ O., NİSHİKAWA H., "Correlation between microstructure and mechanical properties of Sn–Bi–X solders" Materials Science & Engineering A 651, 831–839, 2016.
[22] MEI Z. and MORRIS J.W., "Superplastic Creep of Low Melting Point Solder Joints" Journal of Electronic Materials, Vol. 21, (4), 401-407, 1992.
[23] KAYA H., ÇADIRLI E., GÜNDÜZ M., "Eutectic growth of unidirectionally solidified bismuth-cadmium alloy" J Mater Process Tech, 183, 310-320, 2007.
[24] HUANG M.L., ZHOU Q., ZHAO N., CHEN L.D., "Interfacial microstructure and mechanical properties of In–Bi–Sn lead–free solder" J Mater Sci: Mater Electron 24, 2624–2629, 2013.
[25] ÇADIRLI E., BÖYÜK U., KAYA H., MARAŞLI N., KEŞLİOĞLU K., AKBULUT S., OCAK Y., "The effect of growth rate on microstructure and microindentation hardness in the In–Bi–Sn ternary alloy at low melting point" Journal of Alloys and Compounds 470, 150–156, 2009.
[26] NOOR E.E.M., ZUHAİLAWATİ H., RADZALİ O., "Low temperature In–Bi–Zn solder alloy on copper substrate" J Mater Sci: Mater Electron, 27,1408–1415, 2016.
[27] ENGİN S., "Kontrollü Katılaştırılan Çok Bileşenli Ötektik Alaşımların, Mekanik ve Elektriksel Özelliklerinin Katılaştırma Parametrelerine Bağlılığının İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Katıhal Fiziği, Kayseri, 2013..
[28] OURDJİNİ A., LİU J. and ELLİOTT R., "Eutectic Spacing Selection in Al–Cu System", Mater Sci Tech–Lond 10, 312, 1994.
[29] PERETTI E.A.J., "The ternary system cadmium-bismuth-indiyum", Trans Am Soc Met, 53, 95-107, 1961.
[30] SNUGOVSKY L., PEROVİC D.D., RUTTER J.W., "Microstructures formed by directional solidification of two ternary eutectic alloys of Bi-Cd-In system", Mater Sci Tech-Lond 16, 979-983, 2000.
[31] JACKSON K.A., and HUNT J.D., Lamellar and Rod Eutectic Growth, Trans. Metall. Soc. A.I.M.E. 236, 1129, 1966.
[32] KAYA H., ÇADIRLI E., GÜNDÜZ M., UZUN O., "Effect of growth rate and lamellar spacing on microhardness in the directionally solidified Pb–Cd, Sn–Zn and Bi–Cd eutectic alloys", J Mat Sci 39, 6571–6576, 2004.
[33] MEİ., HOLDER H.A., AND VANDER PLAS H.A., "Low-Temperature Solders", Hewlett-Packard Journal (Artical 10) 1-10, 1996