



Al-25Si-5Fe-XCo (X=0, 1, 2 ve 3) Alaşımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu

Production and Characterization of Al-25Si-5Fe-XCo (X= 0, 1, 3 and 5) Alloys

M. Fatih Kılıçaslan¹ , Seyit Çağlar² , Orhan Uzun² 

¹Kastamonu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Kastamonu, Türkiye

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye,

Öz

Bu makalede geleneksel döküm Al-25Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 ve 5) alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerine kobalt katkısının etkileri incelenmiştir. Al-25Si-5Fe-XCo (X=0, 1, 3 ve 5) master alaşımları, Al (%99.99 saflıkta), Si (%99.999 saflıkta), Fe (%99.999 saflıkta) ve Co (%99.999 saflıkta) elementleri kullanılarak induksiyon eritme ocağında başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Bütün üretim süreçleri Ar atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X-ışını difraktometresi (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik test cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; Al-Si-Fe alaşımlarına yapılan yeterli miktardaki Co katkısı Fe-içeren intermetaliklerin morfolojilerini uzun çubuk/iğne benzeri yapıdan kısa çubuk benzeri yapıya dönüştürmekte ve onların mikroyapı içerisinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktadır. Kobalt aynı zamanda, Al-Si alaşımlarında yüksek yapısal aşırı soğumaya neden olduğundan ve silisyum ile yüksek karışım entalpisine sahip olduğundan birincil silisyum fazlarını inceletebilir ve onların morfolojilerini değiştirebilir. Geleneksel döküm Al-Si alaşımlarına yapılan ağırlık %5 Co katkısı hem birincil silisyum fazlarının hem de Fe-içeren intermetaliklerin ortalama boyutlarının azalmalarına neden olmaktadır. Yapılan kobalt katkısı ile birlikte, alaşımların mikrosertlik değerleri genellikle artış göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Al-Si alaşımları, Fe-içeren intermetalik bileşikler, Geleneksel döküm, Mikroyapı

Abstract

In this article, effects of cobalt addition on the microstructure and mechanical properties of Al-25Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 and 5) alloys were investigated. Al-25Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 and 5) master alloys, Al (99.99% pure), Si (99.999% pure), Fe (99.999% purity) and Co (99.999% purity) elements have been successfully synthesized in the induction melting furnace. All production processes were performed in Ar atmosphere. The microstructures of samples were investigated by using X-ray diffractometry (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). A Vickers microhardness tester was used for microhardness measurements. The results showed that sufficient amount of Co addition alters morphology of Fe-bearing intermetallic compounds (IMCs) from long rod/needle-like to short rod-like, and provides a more homogenous distribution of them in the microstructure. In the Al-Si alloys, Cobalt can also refine primary Si particles and change their morphology because it causes higher constitutional under cooling and has large mixing enthalpy with Si. Addition of 5 wt.%Co leads to a decrease in both average size of the primary silicon and Fe-bearing intermetallic phases in as-cast Al-Si alloys. Microhardness values of alloys generally shows an increase with the obtained addition of Co.

Keywords: Al-Si alloys, Fe-bearing intermetallics, Traditional casting, Microstructure


1. Giriş


Al alaşımları arasında Al-Si alaşımları, sahip oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranı, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi üstün özelliklerden dolayı otomotiv endüstrisi, savunma ve

havacılık sanayii gibi ileri teknoloji gerektiren alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Srivastava vd. 2004, Wang vd. 2009). Al-Si alaşımları, içerdikleri silisyum miktarı bakımından ötektikaltı, ötektik ve ötektiküstü şeklinde gruplandırılırlar. Silisyum içeriği %11-13 arasında olanlar ötektik, %11'den daha az oranda Si içerenler ötektikaltı ve %1'den daha fazla oranda Si içeren alüminyum alaşımları ise ötektiküstü mikroyapıya sahiptirler. Ticari olarak kullanılan alüminyum-silisyum alaşımlarının sahip olduğu silisyum oranı %5-23 arasında değişmektedir (Hegde ve Prabhu 2008).

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: caclar.s@beun.edu.tr

M. Fatih Kılıçaslan  orcid.org/0000-0001-8507-3900

Seyit Çağlar  orcid.org/0000-0002-0701-3029

Orhan Uzun  orcid.org/0000-0001-7586-9075

Geleneksel döküm teknikleri ile üretilen ötektiküstü Al-Si alaşımlarında yavaş soğumadan dolayı, ana yapı içerisinde büyük taneli ve kırılğan birincil Si kristalleri bloklar şeklinde oluşur. Uçları ve kenarları keskin bu bloklar iğnemsiz, lamelli, yıldız-şekilli veya plaka şekilli yapılarda olabilirler. Bu yapılardan dolayı ana alaşım içindeki gerilimli bölgelerde prematüre çatlaklar ve kırıklar oluşabilmektedir (Chang vd. 1998). Bu yüzden geleneksel döküm ötektiküstü Al-Si alaşımları zayıf mekanik özelliklere sahiptirler (Wang vd. 2009, Chang vd. 1998, Lu vd. 2007). Ayrıca sert ve büyük Si kristalleri, işlenebilirliği de olumsuz yönde etkilemektedir (Seok vd. 2005). İşlenebilirliğin zorlaşması ve mekanik özelliklerde meydana gelen zayıflama dolayısıyla, ötektiküstü Al-Si alaşımlarının potansiyel kullanım alanlarındaki uygulamaları da sınırlı hale gelir. Bu sebeplerden ötürü, ticari uygulamalarda, geleneksel döküm Al-Si alaşımlarındaki Si miktarı genellikle %20 civarında sınırlandırılır (Tomida vd. 2003).

Genel olarak, Al-Si alaşımlarının özellikleri, tane boyutunun küçültülmesi, ötektik modifikasyon ve birincil silisyum fazlarının inceltilmesi işlemlerinden biri veya daha fazlasının uygulanmasıyla geliştirilebilir (Dwivedi vd. 2005). Dolayısıyla, üstün fiziksel ve mekaniksel özelliklerin oluşmasında alüminyum alaşımlarına yapılan yüksek Si katkısının işe yarayabilmesi için, yapı içerisinde oluşan bu büyük Si tanelerinin küçültülmesi ve şekillerinin modifiye edilmesi büyük bir önem arz etmektedir (Rao vd. 2009, Zhang vd. 2009).

Al-Si-Fe alaşımlarında yüksek dayanım ve iyi bir süneklik elde edebilmek için birkaç strateji önerilmektedir. Bu stratejilerin ilki alaşıma, heterojen çekirdeklenmeyi artırmak ve birincil Si bloklarının oluşumunu azaltmak amacıyla Na, Sr, Nd, Ca, P, Sb gibi modifiye edici elementlerin katılmasıdır. İkincisi, Fe içerikli fazların olumsuz etkilerini nötrlemek amacıyla “nötrleyiciler” diye isimlendirilen Mn, Cr, Be, Sr, Ca, Co, K vb. elementlerin alaşıma az miktarda katılmasıdır. Üçüncüsü ise, katılma esnasında soğuma hızının artırılmasıdır (Hou vd. 2009).

Kang ve arkadaşları Al-50Si-10Mg, Al-50Si-10Cu ve Al-50Si-10Co alaşım sistemlerinde, sertlik ve aşınma direnci en yüksek olan alaşımın Co katkılı Al-50Si-10Co alaşımı olduğunu tespit etmişlerdir (Kang vd. 2007). Kobaltın alüminyum alaşımlarında, mekanik özellikler açısından çok zararlı olarak görülen demir içerikli β -AlFeSi fazını, daha az zararlı α -AlFeSi fazına dönüştürdüğü de literatürden teyit edilebilir (Mulazimoglu vd. 1996). Literatürde, demir içerikli fazların olumsuz etkilerini nötrlemek üzere alüminyum alaşımlarına yapılan kobalt katkısının diğer

nötrleyici elementlere göre daha fazla olması gerektiği öne sürülmektedir. Örneğin; bu tür alaşımlarda nötrleyici element olarak Cr düşünüldüğünde, Fe/Cr oranı yaklaşık olarak 3'e eşit iken, Co söz konusu olduğunda Fe/Co oranı yaklaşık olarak 1'dir. Yani ne kadar demir katılırsa o kadar da kobaltın katılması önerilmektedir (Seifeddine 2007). Bununla birlikte literatürde Al-Si-Co alaşımları üzerine yapılmış çok az sayıda araştırmaya ulaşılabilmektedir (Kang vd. 2007).

Yukarıda anlatılanların ışığında kısaca bu çalışmada, yüksek miktarda silisyum içeren, son derece ince mikroyapılı, üstün fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip Al-Si-Fe alaşımlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. İnce ve homojen bir mikroyapı elde etmek amacıyla alaşımlara kimyasal katkı yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, Al-25Si-5Fe alaşımına ağırlık %1, 3 ve 5 oranlarda Co katkısı yapılmıştır. Söz konusu alaşımlar yukarıda bahsedilen kompozisyonlarda mastır alaşım olarak elde edilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı analizleri optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) teknikleri ile mekanik karakterizasyonları ise Vickers mikrosertlik testleri ile gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Bu makalede incelenen alaşımların üretilmesinde kullanılan elementler şunlardır; Al (%99,999), Si (%99,999), Fe (%99,999), Co (%99,999). Kullanılan elementlerin saflıkları her elemente ait simgeden sonra parantez içerisinde verilmektedir. Mastır alaşımlar bir indüksiyon fırını (MTI) yardımı ile Al-25Si-5Fe-XCo(X= 0, 1, 3 ve 5) bileşimlerine sahip olacak şekilde toplam 4 adet olarak üretilmiştir. Ergitme işlemine başlamadan önce sistemin haznesi önce rotary pompa ile vakumlanmıştır. Mastır alaşımlar Ar gazı altında üretilmiştir. Üretilen alaşımların homojenliğinden emin olmak için, eritme işlemi her bir numune için üç kez tekrarlanmıştır.

Çizelge 1'de üretilen mastır alaşımlar ve bunlar için kullanılan kodlamalar verilmektedir. Üretilen numunelerin kodlanmasında, mastır alaşımlar için İngilizcede geleneksel döküm manasına gelen Traditional Cast (TC) terimini oluşturan kelimelerin baş harfleri ile kodlanmıştır.

3. Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, materyal yöntem kısmında üretim ve karakterizasyon süreçleri anlatılan numuneler

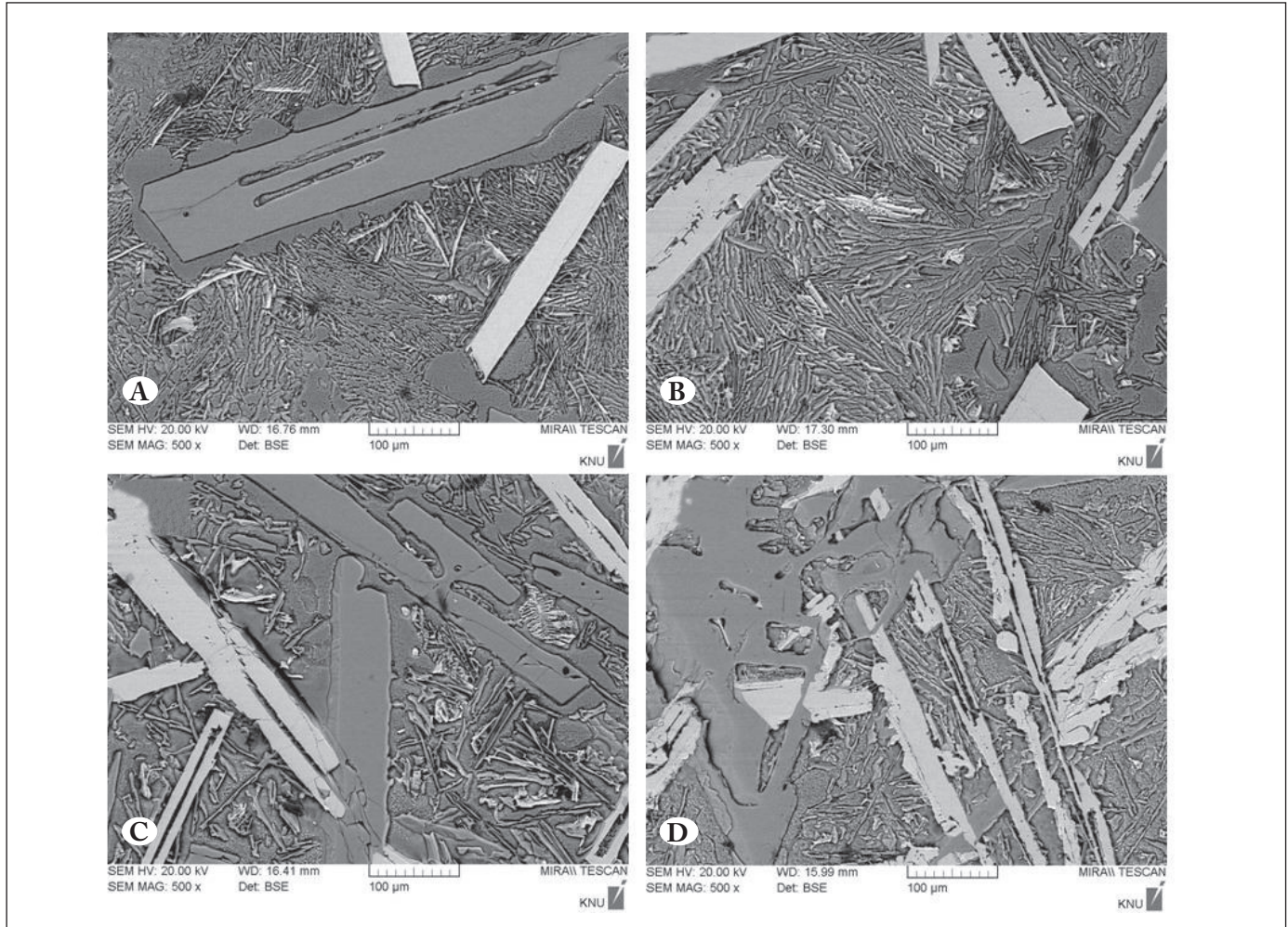
üzerinde yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Bu numuneler artan miktarlarda yapılan kobalt katkılarının (ağ. %1, 3 ve 5) her bir alaşım üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Şekil 1'de ağırlıkça %25 oranında silisyum içeren ve farklı oranlarda kobalt katkıları yapılmış mastır alaşımlardan alınmış 500X büyütme SEM mikrografları verilmektedir. Bu şekilde daha çok alaşımların ötektik yapıları, silisyum ve intermetalik fazlarının morfolojileri karşılaştırılmaktadır.

Ancak, alaşımların silisyum fazlarının morfolojileri karşılaştırılırken TC25-1 numunesinin ilave başka bir mikrografına ihtiyaç duyulmuş ve bu mikrograf Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 1'deki SEM mikrografları incelendiğinde ağırlıkça %25 silisyum içeren mastır alaşımların mikroyapılarının genel olarak, büyük çubuksu Fe-içeren intermetalikler (açık gri renkte olan yapılar), büyük plaka şekilli birincil silisyum fazları (koyu gri), α -Al fazı ve ötektik silisyum fazlarından oluştuğu görülebilir. Bütün numunelerde ötektik yapıdaki

Çizelge 1. Üretilen alaşımlar ve bunlara ait kodlar

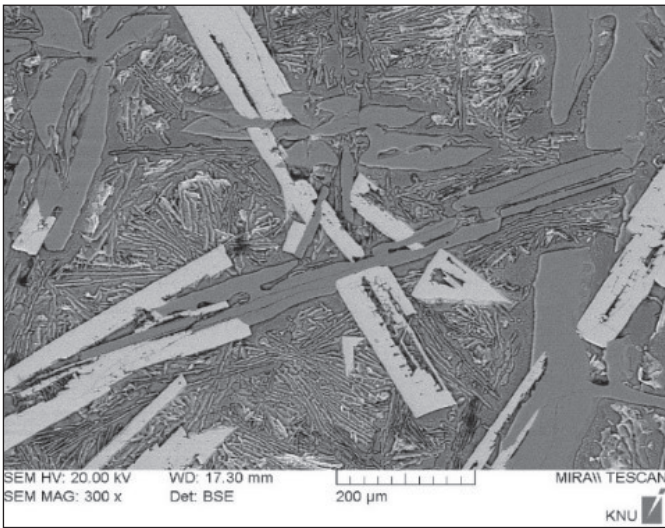
		Numune Kodu	Alaşım
Mastır Alaşımlar	Ağ. %25 Si içeren numuneler	TC25	Al-25Si-5Fe
		TC25-1	Al-25Si-5Fe-1Co
		TC25-3	Al-25Si-5Fe-3Co
		TC25-5	Al-25Si-5Fe-5Co



Şekil 1. Geleneksel Döküm TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 numunelerinin ötektik mikroyapılarının farklı miktarlarda eklenen Co ile genel değişimini gösteren taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.

silyum fazları ve intermetalik fazları iğnemi morfolojidedir. Numunelerin ötektik mikroyapısı, yapılan kobalt katkısı (%3'e kadar) ile birlikte önce kabalaşmakta ve daha sonra (%3 den daha fazla) tekrar incelmektedir (Şekil 1A-D). Öteyandan, şekilden kobalt katkısının intermetalik ve birincil silyum fazlarının morfolojileri üzerinde de etkili olduğu görülmektedir. TC25 numunesinde birincil silyum fazları kenarları pürüzsüz/saçaksız faset yapılı plaka (plate) şeklinde iken, intermetalik fazlar da yine kenarları saçaksız çubuk şeklinde bir morfolojiye sahiptirler (Şekil 1A). TC25-1 numunesinde ise intermetaliklerin morfolojilerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken, birincil silyum fazları kenarları kısmen yuvarlaklaşarak gelişigüzel bir hale gelmişlerdir (Şekil 2). TC25-3 numunesinde gözlenen birincil silyum fazlarının kenarları yine kısmen yuvarlaklaşmış olmakla birlikte, morfolojileri plaka benzeridir (Şekil 1C). TC25-5 numunesindeki hem silyum hem de intermetalik fazların morfolojileri, diğer numunelerden oldukça farklıdır. Bu numunede intermetalikler, bir ağ şeklinde ve/veya gelişigüzel plaka şekilli morfolojilere sahiptirler. Ayrıca silyum fazları faset yapılı (kenarları keskin/köşeli) da değişimlerdir. İntermetalik fazlar yine çubuk benzeri bir morfolojide olsalar da, kenarlarında saçaklar meydana gelmiştir.

Şekil 3 ağırlıkça %25 silyum içeren alaşımların mikroyapılarının eklenen kobalt katkısı ile genel değişimini göstermektedir. Şekilde, silyum fazlarının ve d-intermetaliklerinin boyutları sırasıyla TC25 alaşımında 343-1373 ve 132-1100 mm, TC25-1 alaşımında 300-1280 mm ve 91-759 mm, TC25-3 alaşımında 387-108 ve 171-464 mm ve son olarak



Şekil 2. TC25-1 numunesindeki birincil silyum ve intermetalik fazların SEM görüntüsü.

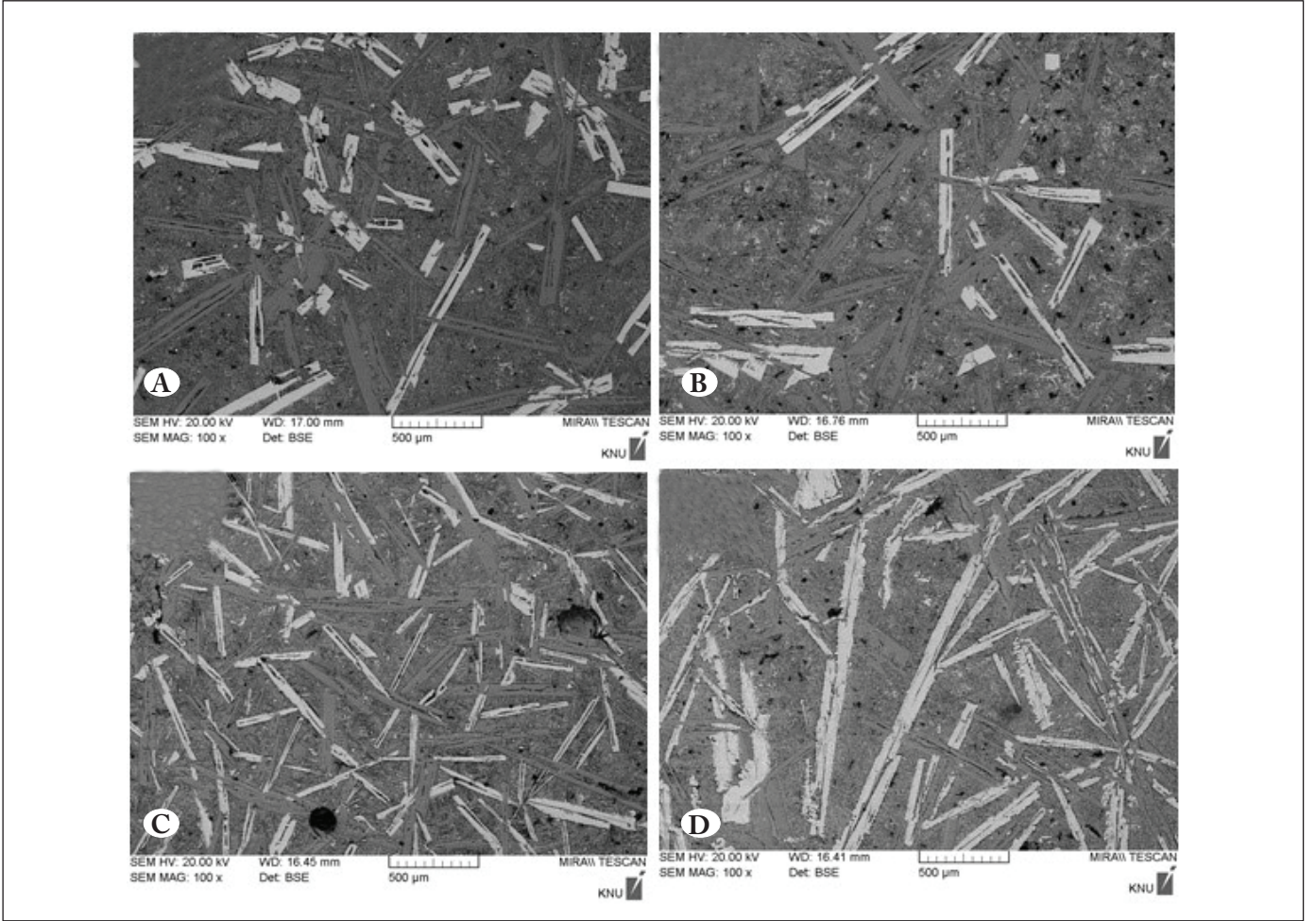
TC25-5 alaşımında ise 331-663 ve 131-1700 mm aralığında değişmektedir.

Yine TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 alaşımlarında silyum fazlarının ortalama boyutları sırasıyla ~766, 677, 655 ve 523 mm şeklindedir. Demir içeren d-intermetalik fazlarının ortalama boyutları ise sırasıyla ~529, 451, 331 ve 994 mm şeklindedir. Buna göre eklenen kobalt ile birlikte birincil silyum fazlarının morfolojilerinde önemli bir değişim gözlenmezken (TC25-5 hariç) boyutlarında bir azalma gözlenmektedir. Benzer bir şekilde, TC25-1 ve TC25-3 alaşımlarında yapılan kobalt katkılarının Fe-içeren intermetalik fazların morfolojileri üzerinde de önemli bir etkiye sahip olduğundan söz edilemez. Bununla birlikte, Co miktarındaki artışa paralel olarak Fe-içeren intermetalik fazların boyutları TC25-5 numunesi hariç diğer numunelerde azalmaktadır. Yani, %5 oranındaki kobalt katkısı Fe-içeren intermetaliklerin hem morfolojilerini değiştirmiş hem de boyutlarını önemli ölçüde arttırmıştır.

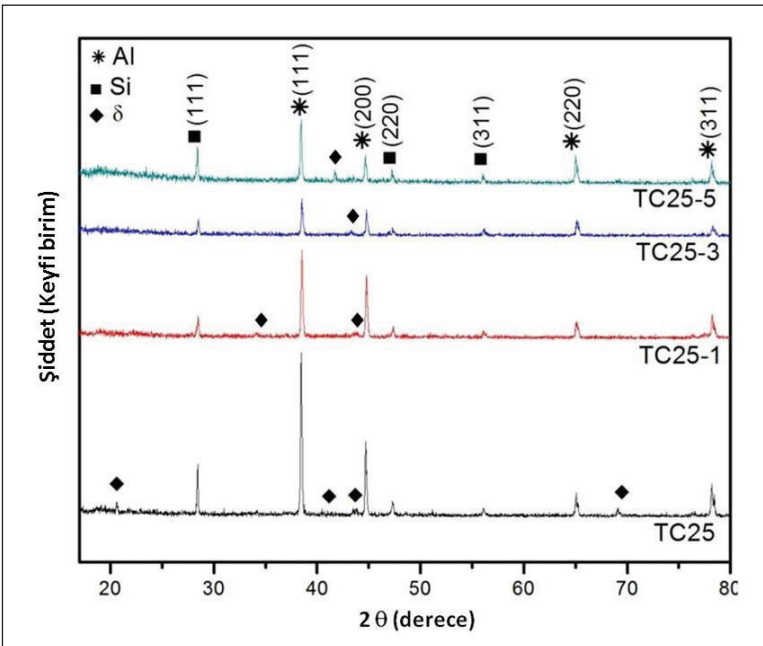
Şekil 4'te verilen X-ışınları analizlerine göre ağırlıkça %25 oranında silyum içeren mastır alaşımların mikroyapılarında 3 farklı faz belirgin bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bunlar daha önce de belirtildiği gibi birincil silyum, α -Al ve δ -Al₄FeSi₂ intermetalik fazlarıdır.

Geleneksel döküm Al-25Si-5Fe alaşımlarında β -Al₃FeSi fazının bulunması beklenen bir durumdur. Ancak, yapılan XRD analizlerinde, β -Al₃FeSi fazına ait belirgin bir pik gözlenmemiştir. XRD yönteminin mikroyapı içinde az oranda bulunan fazların tespitindeki yetersizliği, β -Al₃FeSi fazının tespit edilemeyişinin nedeni olarak düşünülmektedir.

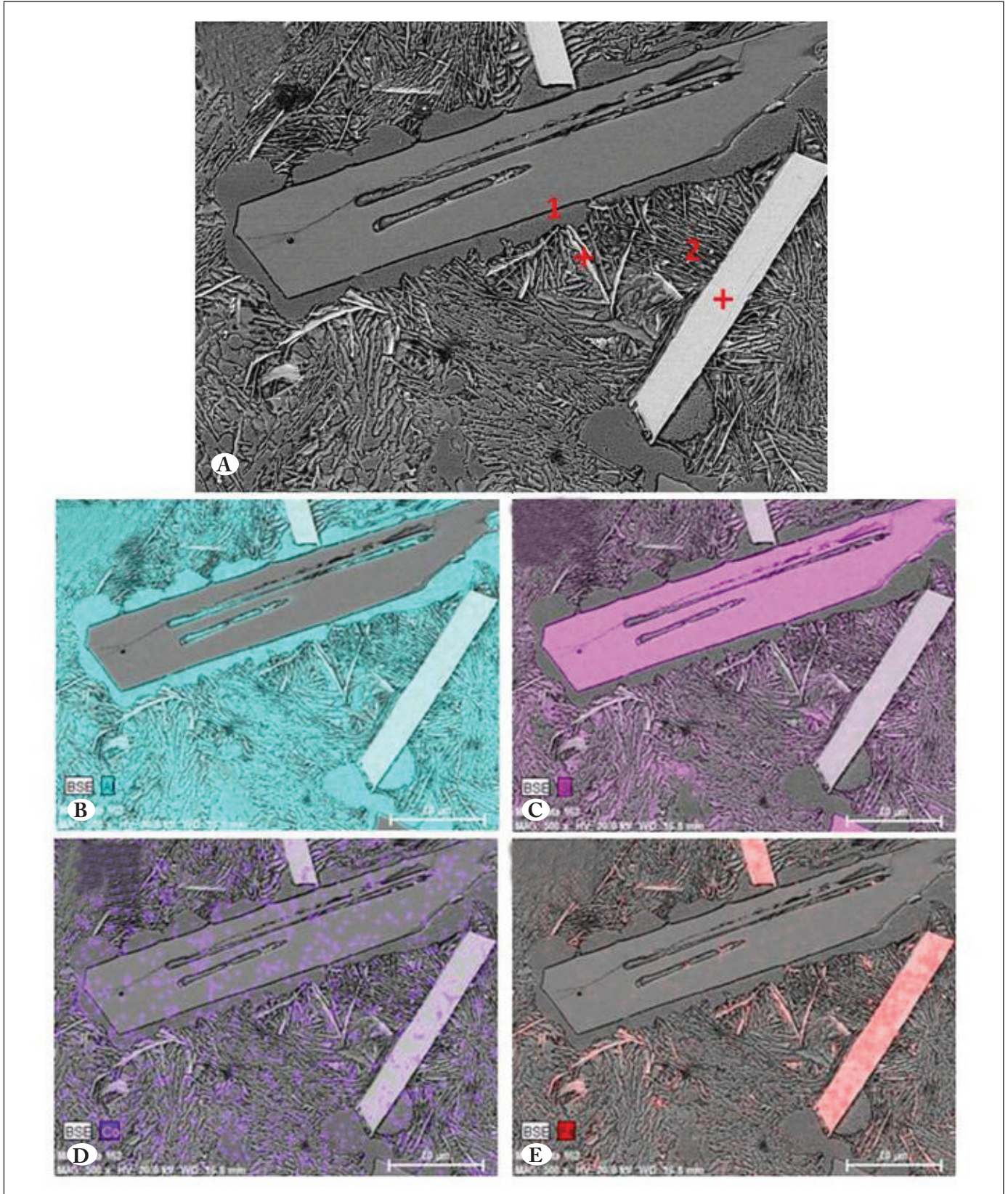
Şekil 5 ve 8'de, Çizelge 1 ve 4'de ağırlıkça %25 oranında silyum içeren mastır alaşımlarından alınan SEM-MAPing ve EDS nokta analizleri verilmektedir. EDS analizlerinde mikroyapı içerisindeki intermetaliklerin kompozisyonları incelenmektedir. Buna göre bütün alaşımlarda koyu gri renkte görülen fazlar silyum fazları, açık gri renkte görülenler ise intermetalik fazlardır. Şekil 5'te TC25 numunesinin mikroyapısında küçük boyutlu iğnemi ve büyük boyutlu çubuk/kiriş şeklinde olmak üzere iki farklı morfolojiye sahip intermetalik fazlar gözlenmektedir. Küçük boyutlu intermetalik fazın (1 numaralı faz) stokiyometrik oranı Al_{5,08}Fe_{1,3}Si_{0,66} şeklinde olup, bu oran β -Al₃FeSi fazının stokiyometrik oranına oldukça yakındır. Büyük boyutlu çubuk/kiriş benzeri morfolojideki intermetalik fazın (2 numaralı faz) stokiyometrik oranı ise Al_{3,4}Fe_{1,6}Si_{1,75} şeklindedir ve bu oranda δ -Al₄FeSi₂ fazının stokiyometrik oranına yakındır. Şekil 5'ten de görülebileceği üzere TC25



Şekil 3. TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 numunelerinin mikroyapılarının farklı miktarlarda eklenen eklenen Co ile genel değişimini gösteren SEM mikrografları.



Şekil 4. TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 numunelerinden alınan X-ışını desenleri.



Şekil 5. TC25 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri.

numunesinin mikroyapısındaki intermetaliklerin çok az bir kısmı β -Al₅FeSi intermetalik fazı, çoğunluğu ise δ -Al₄FeSi₂ fazıdır.

Şekil 6 ve Çizelge 2'de verilen TC25-1 numunesine ait SEM-MAPing ve EDS analizlerine göre de yine, mikroyapı içerisinde büyük boyutlu çubuk benzeri intermetaliklerin yanı sıra az bir miktar da küçük boyutlu iğnemsiz intermetalik fazlar mevcuttur. Şekil 6C ve D'den görülebileceği üzere, mikroyapı içerisinde demir ve kobalt elementleri aynı yerde bulunmaktadır. Yani, Fe- içeren intermetalik fazlar aynı zamanda Co'da içermektedirler. Söz konusu fazların Çizelge 2 ve 4'de verilen analizlerinde de hem demir hem de kobalt içerdikleri tespit edilebilmektedir. Bu durum Co katkılı diğer numunelerde de gözlenmektedir (Şekil 7B, C), Şekil 8C, D). Böylece geçmişte yapmış olduğumuz çalışmaların ışığında, kobalt katkılı numunelerdeki küçük boyutlu

iğnemsiz fazın β -Al₅(FeCo)Si fazı, büyük boyutlu çubuk benzeri fazın ise δ -Al₄(FeCo)Si₂ fazı oldukları sonucuna varılmıştır (Kılıçaslan vd. 2012, 2014). Zaten TC25-1 numunesinde görülen 1 ve 2 numaralı fazların stokiometrik oranları hesaplandığında da sırasıyla Al_{4,4}(FeCo)_{0,9}Si_{1,1} ve Al_{4,8}(FeCo)_{1,0}Si_{1,3} şeklinde oldukları ve bu oranların β -Al₅(FeCo)Si ve δ -Al₄(FeCo)Si₂ fazlarının stokiometrik oranlarına oldukça yakın oldukları görülmektedir.

TC25-3 numunesindeki 1 ve 2 numaralı fazların stokiometrik oranları ise Al_{4,5}(FeCo)_{1,6}Si_{10,7} ve Al_{3,8}(FeCo)_{1,7}Si_{1,5} şeklindedir (Şekil 7). Bu durumda, TC25-3 numunesindeki 1 numaralı fazın β -Al₅FeSi fazı ve 2 numaralı fazın ise δ -Al₄(FeCo)Si₂ fazı olduğu düşünülmektedir. TC25-5 numunesinin mikroyapısında küçük boyutlu iğnemsiz intermetalikler gözlenmemektedir. Bu alaşımın mikroyapısındaki tüm intermetalikler büyük çubuk benzeri morfolojiye sahip

Çizelge 2. TC25 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri

Al-25Si-5Fe (Faz 1)	Al	Si	Fe
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	72.15	9.3	18.6
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	59.9	7.99	30.02
Al-25Si-5Fe (Faz 2)	Al	Si	Fe
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	50.22	26.1	23.7
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	39.73	21.5	38.77

Çizelge 3. TC25-1 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri

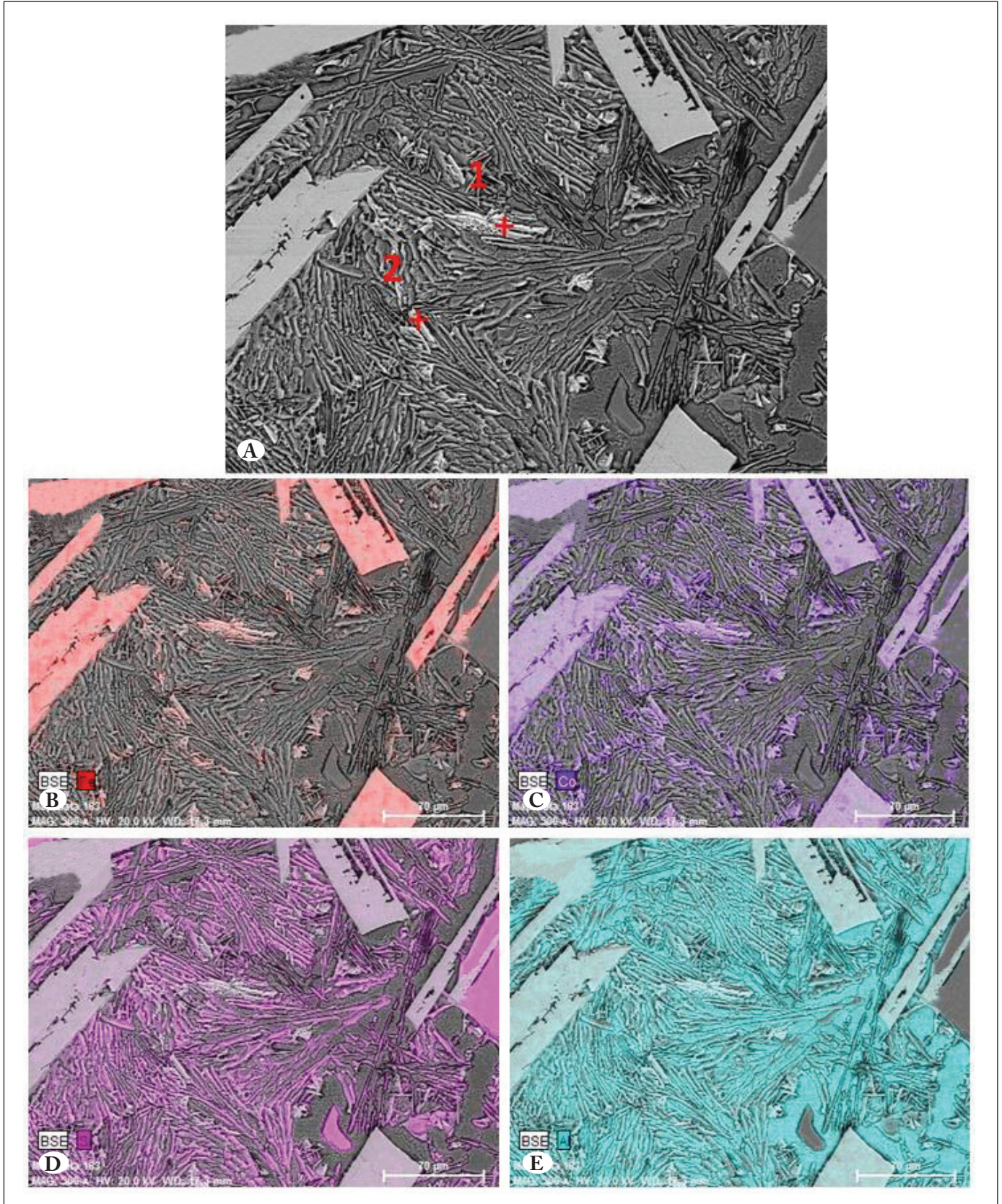
Al-25Si-5Fe-1Co (Faz 1)	Al	Si	Fe	Co
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	61.60	15.67	7.70	5.30
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	58.44	15.45	15.07	11.02
Al-25Si-5Fe-1Co (Faz 2)	Al	Si	Fe	Co
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	67.40	18.40	7.40	6.80
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	57.80	16.42	13.08	12.69

Çizelge 4. TC25-3 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri.

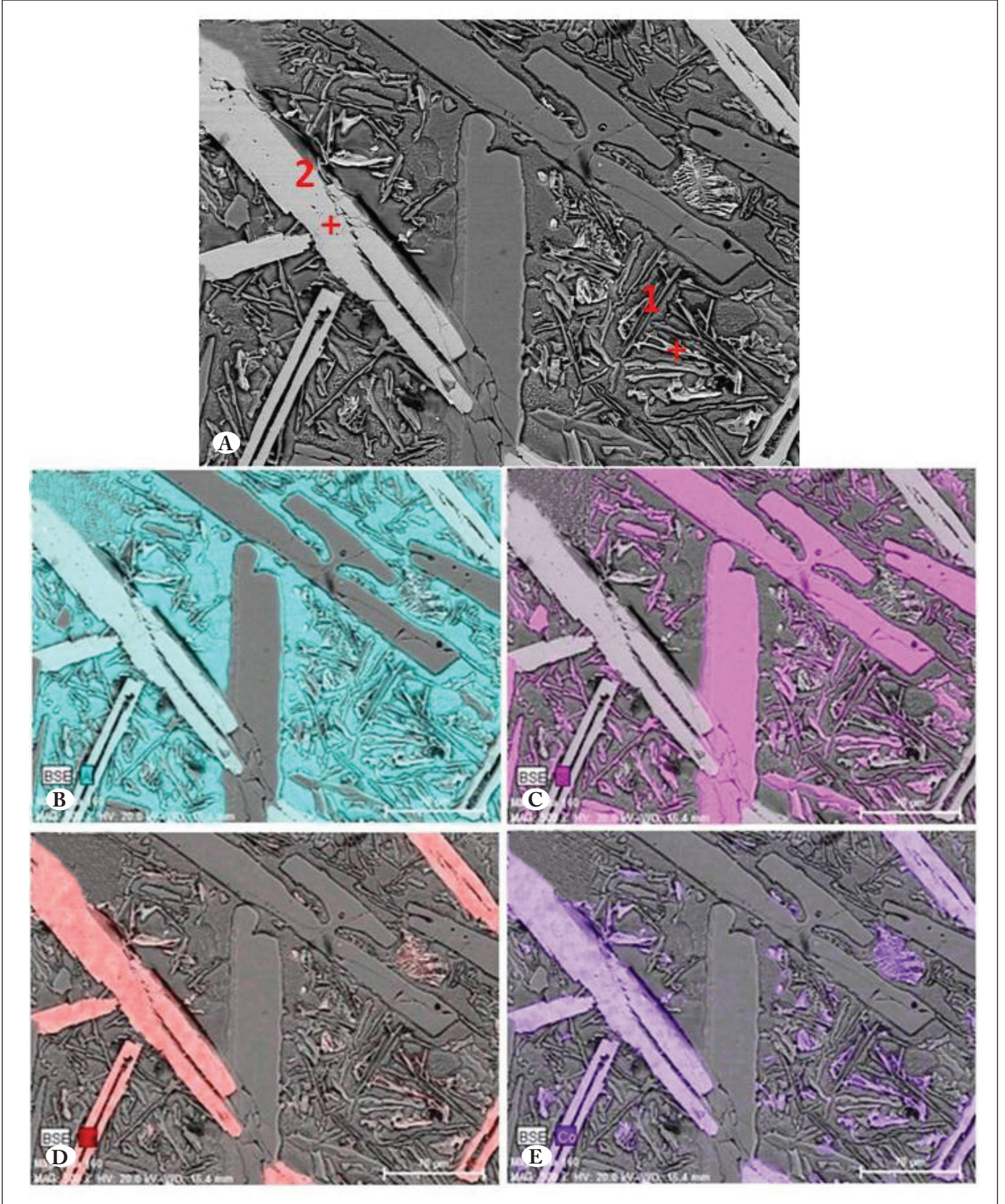
Al-25Si-5Fe-3Co (Faz 1)	Al	Si	Fe	Co
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	62.6	15.1	7.4	14.9
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	49.4	12.4	12.1	26
Al-25Si-5Fe-3Co (Faz 2)	Al	Si	Fe	Co
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	53.4	21.3	17	8
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	41.7	17.3	27.3	13.8

Çizelge 5. TC25-5 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri

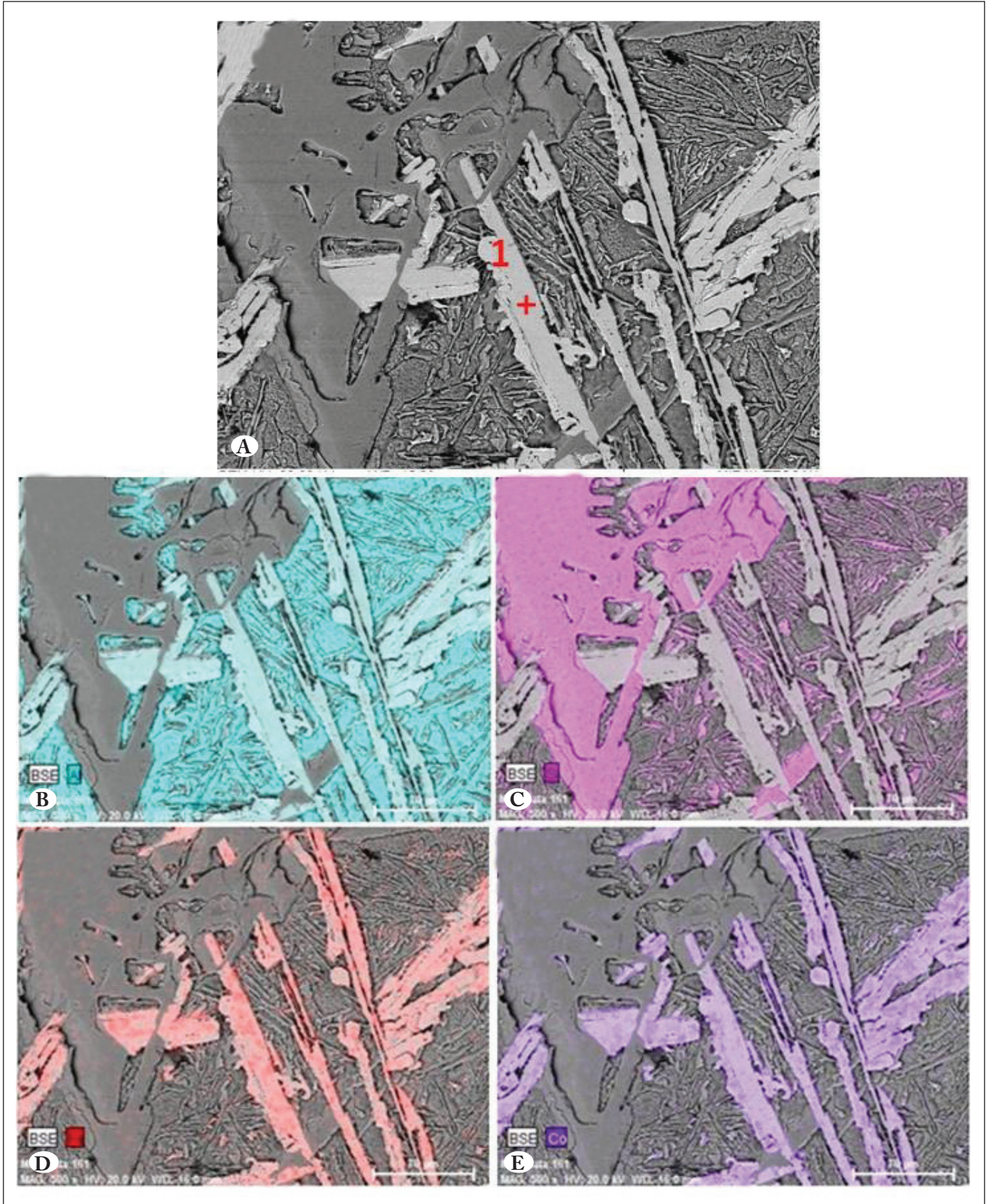
Al-25Si-5Fe-5Co (Faz 1)	Al	Si	Fe	Co
Kimyasal Kompozisyon (at. %)	56.3	19.2	12.4	12.3
Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)	43.4	15.45	20.05	21.1



Şekil 6. TC25-1 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri.



Şekil 7. TC25-3 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri.



Şekil 8. TC25-5 numunesinden alınan SEM- MAPing ve EDS nokta analizleri.

olan intermetaliklerdir. Şekil 6'da 1 numaralı büyük çubuk benzeri morfolojideki intermetalik stokiometrik oranı $Al_{4,01}(FeCo)_{1,37}Si_{1,76}$ şeklinde olup, $\delta-Al_4(FeCo)Si_2$ fazının stokiometrik oranına oldukça benzerdir. Ayrıca burada, daha önce XRD analizlerinde tespit edilemeyen $\beta-Al_5FeSi$ fazı, SEM-EDS analizleri ile tespit edilebilmiştir.

Şekil 9'da ağırlıkça %25 oranında silisyum içeren mastır alaşımlarının mikrosertlik değerlerinin eklenen kobalt ile değişimleri verilmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere yapılan kobalt katkısı ile birlikte mikrosertlik değerlerinde ilk önce bir miktar artış meydana gelmekte (TC25-1 numunesinde) daha sonra kademeli bir azalma tespit edilmektedir. TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 alaşımlarının sertlik değerleri sırasıyla 78,2HV, 82,4HV, 76,3HV ve 68,7HV şeklindedir. TC25-1 numunesinin sertliğinin nispeten yüksek olmasının nedeni olarak sahip olduğu homojen ve ince ötektil yapıları düşünülmektedir.

Ağırlıkça %25 silisyum içeren ingat numunelerden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilirse, yapılan kobalt katkıları sonucunda numunelerdeki birincil silisyum fazlarının boyutları azalmakta, intermetalik fazların boyutları ise önce azalmakta ve sonra artmaktadır (Şekil 3). SEM-MAPing analizlerine göre ise kobalt daha çok demirle aynı yerde yani Fe-içeren intermetalikler de tespit edilmektedir (Şekil 5 ve 8). Daha öncede belirtildiği gibi kobalt, Fe-içeren intermetaliklere düfize olarak onların boyutlarını ve serbest enerjilerini değiştirebilmektedir. Gerçekten de, kobaltın intermetalik fazlarda demir ile birlikte bulunduğu yani difüze olduğu (Şekil 5-8) ve onların boyutlarını değiştirdiği net bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 3). Raghavan (2011) tarafından rapor edilen Al-Fe-Si üçlü faz diyagramına göre, ağırlıkça %22 den fazla oranda silisyum içeren alaşımlarda ilk katılma fazının birincil silisyum fazı olduğu tespit edilmiştir.

Böylece, kobaltın Al-25Si-5Fe alaşımlarında Fe-içerikli intermetaliklerin katılma dinamiklerini etkilediği gibi birincil silisyum fazlarının katılma dinamiklerini de etkileyebileceği çıkarımı yapılabilir. Ayrıca, kobaltın ağırlıkça silisyum içeren numunelerin mikroyapılarına olan etkileri silisyumun oranına göre farklılık gösterebileceği sonucuna varılabilir. Nitekim geleneksel döküm Al-25Si-5Fe numunelerinden alınan SEM (Şekil 3) fotoğrafları incelendiğinde, kobaltın zaman zaman Fe-içeren intermetalik fazların boyutlarının artmasına ve zaman zaman da azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi Fe-içeren intermetalik fazların modifiyesi için alaşımlarda ne kadar demir varsa o kadar da kobaltın olması gerektiği önerilmektedir. Al-25Si-5Fe alaşımlarında ilk katılma faz

birincil silisyum fazı olduğundan, alaşıma katılan kobaltın bir kısmının silisyumun içerisinde çözünmüş olması muhtemeldir. Böylece, Fe-içeren intermetalik fazları modifiye etmeye yetecek kadar kobalt kalmadığından etkin bir modifikasyon gerçekleşmemiştir. Al-25Si-5Fe alaşımlarında intermetalik fazların boyutlarında meydana gelen artışın kobaltın intermetalik fazlara difüzyonu, azalışın ise kobaltın onların iç enerjilerini düşürerek kararlılıklarını arttırması sonucu gerçekleştiği düşünülmektedir. Öte yandan, literatürde kimi yerlerde kobaltın geleneksel döküm alaşımlarında birincil silisyum fazları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ifade edilse de (Sha vd. 2011), başka kaynaklarda da silisyum ile yüksek negatif karışım entalpisine sahip olduğundan dolayı modifiye edici ajan olarak kullanılabileceği de ifade edilmektedir (Zhu vd. 2010). Bizim çalışmamızda da, ağırlıkça %25 silisyum içeren ingat numunelerde, eklenen kobalt ile birlikte birincil silisyum fazlarının boyutlarında bir azalma görülmektedir.

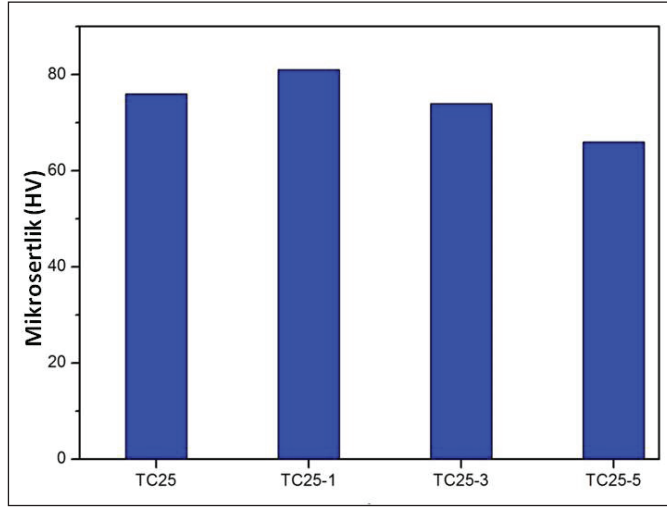
4. Tartışma ve Öneriler

Ağırlıkça %25Si ve %5Fe içeren geleneksel döküm Al-Si alaşımlarına (TC25) yeterli miktarda (ağ.%5) eklenen kobaltın, hem silisyum hem de intermetalik fazların morfolojilerini, diğer numunelerden oldukça farklılaştırdığı anlaşıldı. Bu numunede intermetalikler, bir ağ şeklinde ve/veya geliş güzel plaka şekilli morfolojilere sahip olduğu gözlemlendi.

Ağırlıkça %25Si ve %5Fe içeren geleneksel döküm Al-Si alaşımlarında, iğnemsî yapıdaki Fe-içeren intermetaliklerin mekanik özellikler açısından olumsuz etkilerini nötrlemek için eklenmesi gereken Co miktarının alaşımdaki demir miktarı kadar olması gerektiği tespit edildi.

X-ışınları analizlerine göre ağırlıkça %25 oranında silisyum içeren mastır alaşımların mikroyapılarında birincil silisyum, $\alpha-Al$ ve $\delta-Al_4FeSi_2$ intermetalik fazları belirgin bir şekilde görüldü.

Al-Si-Fe alaşımlarında alaşıma eklenen kobalt, Fe-içeren intermetalik fazların boyutlarının yerine göre artmasına yerine göre ise azalmasına neden olmaktadır. Kobalt, Fe-içeren intermetaliklere nüfuz ederek onların boyutlarının artmasına neden olurken aynı zamanda da iç enerjilerinin düşmesine neden olur. Böylece, intermetalik içerisindeki kobalt miktarının belirli bir orana kadar artmasıyla intermetalik boyutları artmakta, daha sonra iç enerjinin yeteri kadar düşmesi ile birlikte daha kararlı hale gelen intermetalik boyutları azalmaktadır.



Şekil 9. TC25, TC25-1, TC25-3 ve TC25-5 alaşımlarının mikrosertlik değerlerinin farklı miktarlarda eklenen Co ile genel değişimi.

Ağ.%25Si içeren numunelerde en yüksek sertlik değeri ağ.%1 Co içeren TC25-1 numunesinde ölçülmüştür. TC25-1 numunesinin sertliğinin nispeten yüksek olmasının nedeni olarak sahip olduğu homojen ve ince ötektik yapısı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında geleneksel döküm yöntemiyle üretilen alaşıma eklenen kobalt miktarlarının, mikroyapılarını modifiye etmek için yeterli olmadıkları tespit edildi. Ancak, Ağ.%25 numunelerin mikroyapısal modifikasyonları için bu çalışmada uygulananlardan daha fazla oranlarda kobalt ilavelerinin yapılması halinde yeterli modifikasyon elde edilebileceği sonucuna varıldı.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje No: 110M517) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü borç biliriz.

6. Kaynaklar

- Chang, J., Moon, I., Choi, C. 1998.** Refinement of Cast Microstructure of Hypereutectic Al-Si Alloys Through the Addition of Rare Earth Metals. *J. Mater. Sci.*, 33: 5015-2023.
- Dwivedi, DK., Sharma, A., Rajan, TV. 2005.** Influence Of Silicon Morphology And Mechanical Properties Of Piston Alloys. *Mater. Manuf. Process.*, 20: 777-791.
- Hedge, S., Prabhu, KN. 2008.** Modification of Eutectic Silicon in Al-Si alloys. *J. Mater. Sci.*, 43: 3009-3027.
- Hou, LG., Cui, H., Chai, YH., Zhang, JS. 2009.** Effect of (Mn+Cr) addition on the microstructure and thermal stability

of spray-formed hypereutectic Al-Si alloys. *Mater. sci. Eng. A*, 527: 85-92.

- Kang, Z., Nakata, K., Li, Y. 2007.** Hard thick-film and wear resistance of Al-50Si-10M ternary alloys on A6063 aluminum alloy coated by low pressure plasma spraying. *Surf. Coat. Technol.*, 201: 4999-5002.
- Kılıçaslan., MF., Uzun, O., Yılmaz, F., Çağlar, S. 2014.** Effect of different production methods on the mechanical and microstructural properties of hypereutectic Al-Si alloys. *Metall. Mater. Trans. B*, 45: 1865-1873.
- Kılıçaslan., MF., Yılmaz, F., Hong, SJ., Uzun, O. 2012.** Effect of Co on Si and Fe-containing intermetallic compounds (IMCs) in Al-20Si-5Fe alloys. *Mater. Sci. Eng. A*, 556: 716-721.
- Lu, Dehong., Jiang, Yehua., Guan, Guisheng., Zhou, Rongfeng., Li, Zhenhua., Zhou, Rong. 2007.** Refinement of primary Si in hypereutectic Al-Si alloy by electromagnetic stirring. *J. Mater. Proces. Technol.*, 189: 13-18.
- Mulazimoglu, MH., Zaluska, A., Gruzleski, JE., Paray, F. 1996.** Electron microscope study of Al-Fe-Si intermetallics in 6201 aluminum alloy. *Metall. Trans. A*, 27: 929.
- Raghavan, V. 2011.** Al-Fe-Si(Aluminum-Iron-Silicon). *J. Phase Equilib.*, 32-2: 140-142.
- Rao, AG., Rao, BRK., Deshmukh, VP., Shah, AK., Kashyap, BP. 2009.** Microstructural refinement of a cast hypereutectic Al-30Si alloy by friction stir processing. *Mater. Lett.*, 63: 2628-2630.
- Seifeddine, S. 2007.** Vilmer Project-5.2 Casting, Jönköping University The School of Engineering Component Technology, Sweeden, December, pp. 5-6.
- Seok, H.K., Lee, J.C., Lee, HI. 2005.** Extrusion Of Spray-Formed Al-25Si-X Composites And Their Evaluation. *J. Mater. Proces. Technol.*, 160: 354-360.
- Sha, M., WuS., Zhong, G., An, P. 2011.** Variation of Microstructure of RE-containing Al20Si2Cu1Ni0.6RE Alloy with Different Cobalt Contents. *J. Alloys Compd.*, 509: 252-257.
- Srivastava, VC., Mandal, RK., Ojha, SN. 2004.** Evolution of microstructure in spray formed Al-18%Si alloy. *Mater. Sci. Eng. A*, 383: 14-20.
- Tomida, S., Nakata, K., Shibata, S., Zenkouji, I., Saji, S. 2003.** Improvement in wear resistance of hyper-eutectic Al-Si cast alloy by laser surface remelting. *Surf. Coat. Technol.*, 169-170: 468-471.
- Wang, F., Zhang, J., Xiong B., Zhang, Y. 2009.** Effect of Fe and Mn additions on microstructure and mechanical properties of spray-deposited Al-20Si-3Cu-1Mg alloy. *Mater. Charact.*, 60: 384-388.
- Zhang, Q., Liu X., Dai, H. 2009.** Re-formation of AlP Compound in Al-Si melt. *J. Alloys Compd.*, 480: 376-381.
- Zhu, J.M., Fu, H.M., Zhang, HF., Wang, AM., Li, H., Hu, ZQ. 2010.** Synthesis and Properties of Multiprincipal Component AlCoCrFeNiSi_x Alloys. *Mater. Sci. Eng. A*, 527: 7210-7214.