

Demir Esaslı İntermetalik Malzemelere Paslanmaz Çelik, Çelik ve Alüminyum Saplamların Kondansatör Deşarjlı Saplama Kaynağı ile Birleştirilmesi

Serhat GÜLEÇ¹ Mehmet ÇAKMAKKAYA²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

e-posta: cakmakkaya@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:30.04.2013; Kabul Tarihi:12.09.2013

Özet

Fe-Al intermetalik malzemeler, seramikler ve metallerin sahip olduğu karakteristik özelliklere sahip olan bir malzeme sınıfıdır. Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon dirençleri intermetalik malzemeleri yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu dizaynlar için en iyi aday malzemeler haline getirmiştir, fakat üretimlerinin zorluğu ve kaynak kabiliyetlerinin kötü oluşundan dolayı Fe-Al intermetalik malzemelerin mühendislik malzemeleri olarak kullanımı sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmada, Fe₂₆Al, Fe₃₀Al, Fe₃₃Al ve Fe₅₀Al intermetalikleri ark ergitme yöntemi ile üretilmiştir. Bu malzemeler kondansatör Deşarjlı Saplama kaynağı yöntemiyle farklı kaynak gerilimleri kullanılarak Ø 4 mm çapında paslanmaz çelik, alüminyum ve çelik saplamlarla birleştirilmiştir. Üretilen Fe-Al intermetaliklerin mikroyapı ve XRD analizleri yapıldıktan sonra kaynaklı bölgelerin de analizleri yapılmıştır. Bununla birlikte kaynaklı birleştirmelerin mekanik testleri yapılarak en yüksek mukavemetin Fe₂₆Al intermetalik malzeme ile paslanmaz çelik saplama kaynağında olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Fe₃Al intermetalikler
FeAl intermetalikler,
saplama kaynağı,
paslanmaz çelik, çelik,
Alüminyum alaşımı

Joining of Fe Based Intermetallics to Stainless Steel, Steel, Aluminum Stud by Using Capacitor Discharge Stud Welding

Abstract

Fe-Al intermetallics materials are unique class of materials having characteristics of both metals and ceramics. The high temperature strength and their superior oxidation resistance make intermetallic materials excellent candidates for the use in high temperature component design, however, the use of intermetallics as engineering materials are still limited because of difficulty in production and bad weldability of these materials. In this study, Fe₂₆Al, Fe₃₀Al, Fe₃₃Al and Fe₅₀Al intermetallics were produced by arc melting method and joined to 4 mm Ø stainless steel, aluminum alloy and steel stud by using stud welding method with different welding voltage. XRD and microstructural analysis were conducted to characterize Fe-Al intermetallics and their welding zones formed with stud welding. Weldability of samples was investigated by examining the microstructure of the welding zone. Also, the mechanical testing of welding was performed and it is found that the best joining was between Fe₂₆Al and stainless steel studs.

Key words

Fe₃Al intermetallics
FeAl based
intermetallics, Stud
welding, stainless Steel,
Steel, Aluminum Alloy

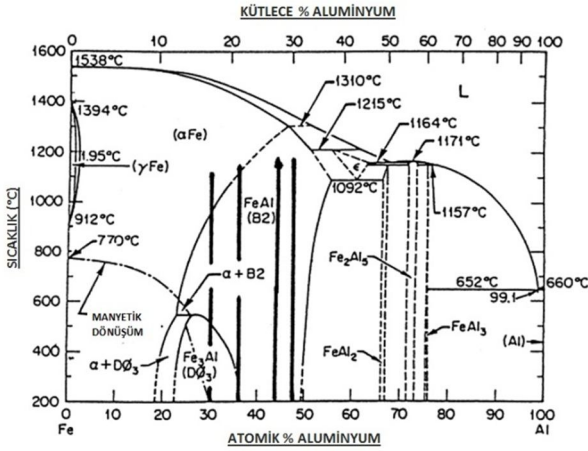
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

FeAl intermetalikler alaşım sistemi içerisinde talep edilen özelliklerde çeşitliliği sahip bir çok alışılmışın dışında malzeme kombinasyonları oluşturulabilir (Bahadır, 1991). Bu tür malzemeler yüksek dayanım, düşük yoğunluk, oldukça yüksek

oksitlenme direnci sahip olmakla birlikte süneklik özellikleri zayıftır. Fakat süneklik özellikleri artırılarak düşük maliyet gibi özelliklerinden dolayı potansiyel olarak günümüzde birçok alanda özellikle yüksek sıcaklık ve yüksek korozyon direnci gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanda

kullanılan paslanmaz çelikler ve demir esaslı süper alaşımlarla birlikte ya da onların yerine kullanılması mümkün malzemeler arasında yerini almıştır (Ikeda, 2001). İntermetaliklerin başlıca potansiyel uygulama alanları, otomotiv ve havacılık endüstrisidir. Ayrıca biyomedikal uygulamalarda diğer bir potansiyel uygulama alanında da kullanılır (Stoloff, 1998). Fe-Al ikili faz diyagramı dikkatle incelendiğinde Fe_3Al , $FeAl$, $FeAl_2$, Fe_2Al_5 ve $FeAl_3$ gibi intermetalik bileşiklerin mevcut olduğu görülür. Bu intermetalik bileşiklerden, Fe-Al faz diyagramının demirce zengin kısmında bulunan, B2 yapısı ile $FeAl$ ve $D0_3$ yapısı ile Fe_3Al , Fe-Al sisteminin en kararlı yapıları olup; fiziksel, ısıl, elektrik ve mekanik yönden cazip özelliklere sahiptir (Metals Handbook, 1990). Fe-Al alaşımları %25-50 oranlarındaki Al bileşiminde hacim merkezli kübik kristal yapıya sahiptir. Fe_3Al 540 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda düzenli $D0_3$ yapısında, 540-760 °C arasında ise B2 kafes yapısına sahiptir. 760 °C sıcaklığı üzerinde ise Fe_3Al alaşımı düzensiz bir yapıya sahiptir (Devi et al. 1996).



Şekil 1. Fe-Al ikili faz diyagramı (Massalski TB, SENE)

Fe-Al alaşımları; yüksek ergime noktasına ve yüksek mukavemete sahiptirler. Ayrıca, Fe esaslı malzemelere göre düşük yoğunluğa, nispeten düşük malzeme maliyetine, yüksek sertliğe, mükemmel korozyon ve oksidasyon direncine, yüksek elastik modüle ve ticari metalik alaşımlardan farklı olarak yüksek elektrik direncine sahiptirler (Liu et al. 1997). Bunun için Fe-Al intermetalik malzemelerin Kaynaklanabilirliğinin geliştirilmesi mühendislik malzemesi olarak kullanımının önünü açacaktır. Bu alaşımların başlıca

dezavantajları; zor elde edilmeleri, oda sıcaklığında düşük süneklığe ve kırılma tokluğuna sahip olmalarıdır. Bununla birlikte 500-600 °C civarındaki sıcaklıklarda mukavemetinin düşmesi, rutubete maruz bırakıldığında oda sıcaklığında bölgesel gevrekleşme hassasiyeti, atmosferik su buharı ve metaller arasında, hidrojenle kimyasal reaksiyon sonucu gevrekleşme meydana gelmesidir (Torun, 2008).

Bu sebeplerden dolayı Fe-Al intermetalik malzemelerin birleştirilmesinde oldukça düşük ısı girdisi sağlayan kaynak yöntemleri büyük önem arz etmektedir. Bu yöntemlerden en önemlisi yaygın kullanım alanı olmasının yanında uygulama kolaylığı ve hızı ile öne çıkan saplama kaynak tekniğidir. Bu çalışmada bir kondansatörde depolanmış enerjinin çok kısa süre içerisinde boşaltılması sırasında akım değerinin teorik olarak sonsuz değere sahip olması esasına dayanan saplama kaynak yöntemi kullanılmıştır. Bu işlem için saplama ucu kondansatörün boşalma akımını taşıyamayacak kesitte silindirik bir çıkıntıdan oluşan uç kısmı özel olarak biçimlendirilmiş standart saplama kullanılmıştır. Saplama ucu kaynaklanacağı levhaya dokununca, ya da yay kuvveti ile basılı tutulurken tetiğе basıldığında, kondansatördeki enerjiyi boşaltan bir akım geçer; bu akım, ucun tümü ile buharlaşıp iyonlaşmasına neden olur. Birbirine hızla yaklaşmakta olan iki yüzey arasında oluşan bu iyonize ortam sonuçta iki yüzeyin eriyip kaynaklanmasını sağlayan arkı başlatır. Bu yöntem de ark ve dolayısıyla kaynak süresi çok kısadır. (birkaç mili saniye); bu nedenle çok ince sacların bile arka yüzlerinde deformasyon ve kararma olmaksızın kaynak işlemi tamamlanır. Bu amaç için $Fe_{26}Al$, $Fe_{30}Al$, $Fe_{33}Al$ ve $Fe_{50}Al$ dört farklı bileşimde Fe-Al intermetalikler üretilmiştir. Üretilen intermetalikler farklı kaynak gerilimleri kullanılarak (100, 130, 150, 170 ve 200V), paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır kaplı saplama, kondansatör Deşarjlı saplama kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikroyapı analizi ve 4 N kapasiteli dijital göstergeli manuel torkmetre kullanılarak kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır.

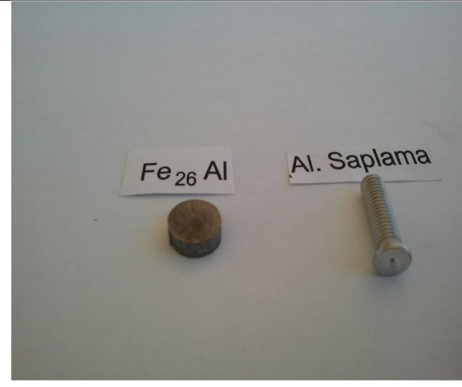
2. Materyal ve Metot

2.1. Fe-Al intermetalik alaşımların üretimi ve sertlik ölçümü

İntermetalik üretiminde genellikle üç metottan biri kullanılmaktadır. Bunların yaygın olanları ergitme ve döküm, toz metalurjisi ve yanma sentezidir. Bu çalışmada vakum ark ergitme yöntemi kullanılmıştır (Ergin, 2007). Çünkü bileşenlerin ergime sıcaklıkları ve yoğunlukları arasındaki farklar bu yöntemin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Şekil 1’de verilen Fe-Al faz diyagramında görüldüğü gibi %26, 30, 33, 50 Al geri kalanı Fe olan %99,9 Fe ve Al (Alfa Aesar) ürünler belirtilen oranlarda karıştırılarak 40 g ağırlığında karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar, daha sonra, Osmangazi üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında ölçüleri $\varnothing 8\text{mm} \times 50\text{mm}$ olan silindirik çubuklar üretilmiştir. Bu numunelere 850 °C’de normalizasyon ısıl işlemi yapıldıktan sonra, mikrosertlikleri ölçülmüştür. Bu işlemde, 4 farklı bölgeden alınan mikrosertlik değerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan değerler Tablo 1’de verilmiştir. Mikro sertlik deneylerinde, Shimadzu HV 2000 marka mikrosertlik ölçüm cihazı ve 500 g yük kullanılmıştır.

2.2. Kaynak numunesi hazırlama

Üretilen intermetaliklere döküm sonrası içyapı gerilimlerinin giderilmesi ve bununla birlikte Fe₃Al bileşimindeki DO₃ ve FeAl bileşimlerinde bulunan B2 yapılarının oluşumunu sağlamak amacıyla tüp fırın ve argon atmosferinde 850 °C sıcaklığında 1 h Normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Kesme işleminde düzgün kesme yüzeyi elde edebilmek için tel erozyon yöntemi kullanılmıştır. Dilimlenerek kesilen 3 mm ölçülerindeki numunelerin yüzey temizliği yapılarak saplama kaynağı yapılabilir duruma getirilmiştir (Şekil 2).

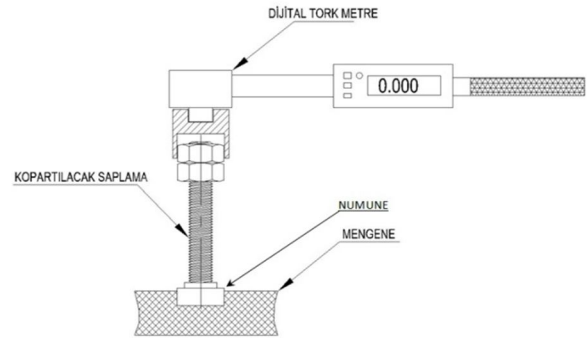


Şekil 2. Kesilmiş Fe₂₆Al numune ve standart saplama.

2.3. Saplama kaynak uygulaması ve kaynağın mekanik özellikleri

Hazır standart ölçülerde üretilmiş olan paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır kaplanmış çelik esaslı saplama seçilmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin mukavemet değerinin ölçülmesinde 4N kapasiteye sahip Şekil 3’de gösterilen dijital manuel torkmetre kullanılmıştır.



Şekil 3. Mukavemet testinde kullanılan dijital torkmetre.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Birleştirme deneyi sonuçları

Tablo 1’de görüldüğü gibi, paslanmaz çelik saplama kaynağında 100 ve 130V da Kaynaklanabilirliğinin yeterince olmadığı görülmüştür. Fe₃₀Al alaşımında alüminyum saplama 150 ve 170V da birleştirmede sağlanamazken, Fe₃₃Al alaşımında 100V gerilimde alüminyum saplama hariç diğer saplama birleşme sağlanmıştır. Diğer bir esas metal olan

Fe50Al alaşımında ise alüminyum saplama da 130 ve 170V da, bakır kaplı çelik saplama da 100, 130 ve 150V'larda birleştirme başarısız olmuştur.

Tablo 1. Alaşımların saplama kaynak kabiliyetleri.

	YAPILDI	YAPILMADI	100 V	130 V	150 V	170 V	200 V
Fe ₂₆ Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe ₃₀ Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	√	X	X	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe ₃₃ Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	X	√	√	√	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe ₅₀ Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	X	√	X	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	X	X	X	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	X	X	√	√	√	√

3.2. Sertlik Ölçümleri

Üretilen intermetaliklerin mikrosertlikleri tablo 2'de verilmiştir. En yüksek sertlik değeri Al ilavesi en fazla olan Fe50Al alaşımında ölçülmüştür. Fe-Al sisteminde oluşan intermetalik miktarının artması sertlik değerini arttırmakta ve artan Al oranı intermetalik faz miktarının artmasına sebep olmaktadır.

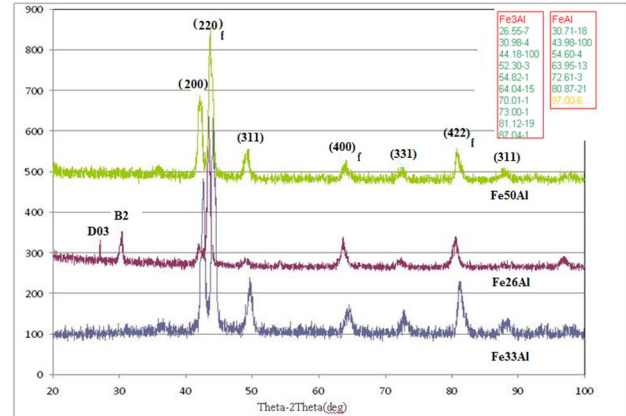
Tablo 2. Üretilen intermetaliklerin sertlik değerleri

Numune Adı	Fe26Al	Fe30Al	Fe33Al	Fe50Al
Mikrosertlik (HV)	307	283	268	369

3.3.XRD ve mikroyapı analizi

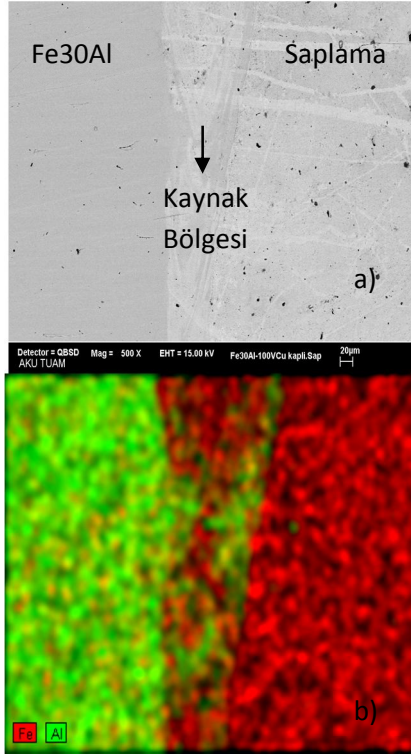
Ark ergitme yöntemi ile üretilen Fe-Al alaşımlarının ihtiva ettikleri fazları belirlemek amacıyla X-ışınları Difraksiyon cihazı yardımıyla numunelere XRD analizleri yapılmıştır. XRD pikleri aşağıda Şekil 3' de verilen tipik XRD deseninde gösterilmiştir. Burada f ana pikleri temsil etmektedir ve diğer pikler ise alaşımda görülen süperlatis pikleridir. Kırınım deseninde verilen kutucuklarda sadece DO₃ (Fe₃Al)

ve B2 (FeAl) alaşımlarında görülen pik pozisyonları verilmiştir. Şekil 4'de Fe26Al intermetalik bileşiminde FeAl(B2) kristal yapısına sahip intermetalik faza ait Bragg piki, XRD spektrogramında yaklaşık 2θ=30° de, bununla birlikte 2θ=26.56° de ise Fe₃Al (DO₃) intermetalik fazı XRD analiz sonuçlarında görülmektedir. Fakat Fe50Al ve Fe33Al intermetalik bileşiminde bu fazlar görülmemiştir.



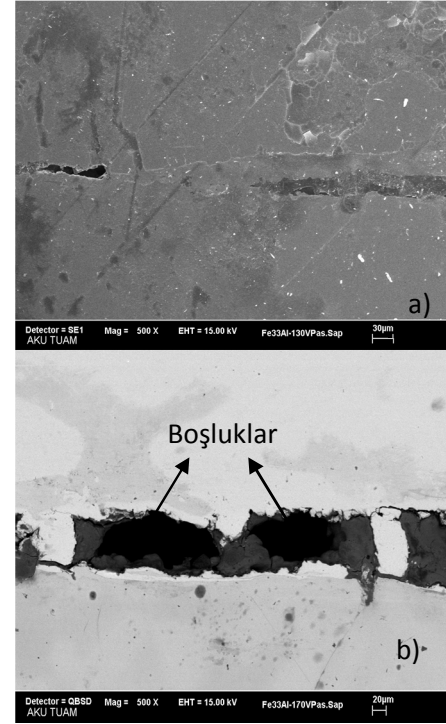
Şekil 4. Üretilen alaşımları XRD analiz sonuçları.

Tablo 2'de verilen kaynak parametreleri kullanılarak yapılan saplama kaynaklarının kaynak bölgeleri SEM ve optik mikroskop görüntüleri alınarak mikroyapıları analiz edilmiştir. Şekil 5a'da Fe30Al alaşımı için 100V kaynak geriliminde bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynağa ait mikroyapı resmi görülmektedir. Fe30Al alaşımı için söz konusu saplama ile yapılan kaynağın SEM görüntüsü incelendiğinde kaynağın başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Kaynak bölgesinde boşluk, porozite vb. kaynak dayanımını olumsuz etkileyen etmenlerin olmadığı görülmektedir. Ayrıca şekil 5b'deki EDX haritalama analizinde, kaynak gerilimi etkisinin kaynak metali dağılımında etkili olduğu saplama ile esas metal arasında oluşan element geçiş dağılımında görülmektedir.



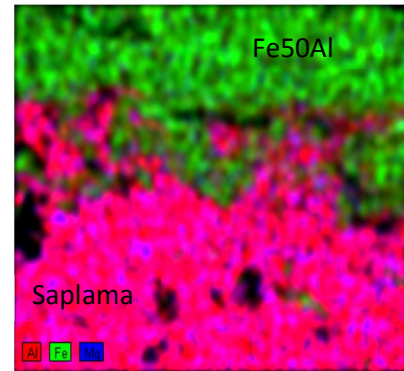
Şekil 5. Fe30Al alaşımının 100V kaynak geriliminde çelik saplama ile yapılmış kaynağın a)SEM görüntüsü b) EDX Haritala

Fe33Al alaşımı için paslanmaz saplama ile yapılan kaynakların SEM görüntüleri incelendiğinde 130V kaynak geriliminde yapılan saplama kaynağının 170V da yapılan saplama kaynağına göre daha başarılı olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Burada kaynak voltajının yükselmesi kaynak bölgesinde kaynak metali tabaka kalınlığının azalmasından yani kaynak bölgesi kesit alanının azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bununla birlikte 130 V gerilimde yapılan kaynağın geçiş bölgesinde çok az boşluk görülürken 170 V gerilimde yapılan kaynakta kaynak bölgesinde daha çok boşlukların oluşmasında kaynak gerilimi artışının sebep olduğu görülmektedir. Kurt ve Gündoğdu çalışmalarında (Gündoğdu ve Kurt 2012) kaynak voltajını 100 V'dan 130 V'a yükselttiklerinde kaynak bölgesinde kaynak metali tabaka kalınlığında azalmanın olduğunu belirlemiş, kaynak metalinin kaynaklanmamış bölgenin dışına çıktığını göstermişlerdir.



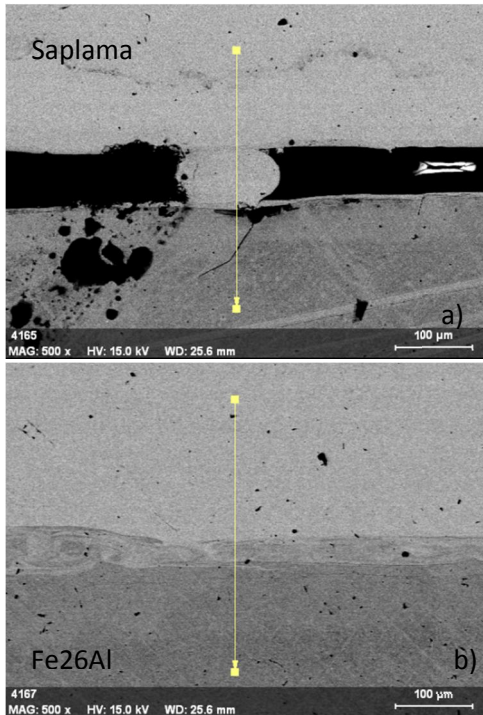
Şekil 6. Fe33Al alaşımı için a)130V ve b)170V kaynak gerilimlerinde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynakların SEM görüntüsü.

Fe50Al alaşımı için 100 V kaynak geriliminde Al saplama ile yapılan kaynağın kaynak bölgesi incelendiğinde kaynak voltajının etkisinde kalan bölgede esas metal ve saplama arasında bölgesel bir erimenin oluşmasından kaynak bölgesinde homojen olmayan birleştirmenin olduğu Şekil 7'de verilmiştir. EDX haritalama analizinde, kaynak voltajının etkisiyle saplama ucunun erimesi ile esas metal tarafına homojen olmayan element geçişinin meydana geldiği görülmektedir. Bu dağılımdaki yetersiz erime kaynaklı birleştirmenin mukavemetini düşürmektedir.

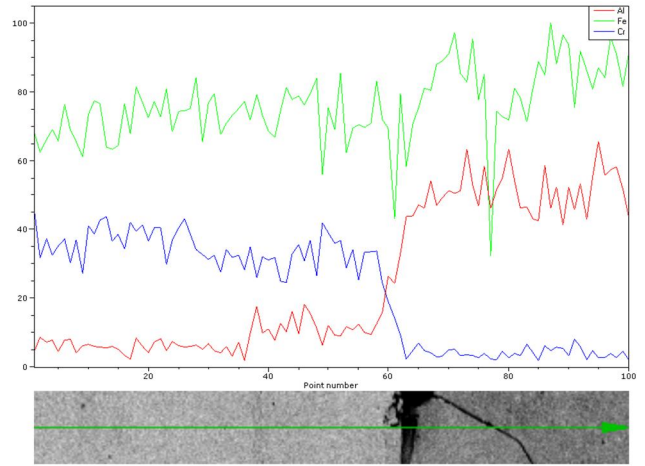


Şekil 7. Fe50Al alaşımı için 100V kaynak geriliminde Al saplama ile yapılan saplama kaynağı EDX haritalama.

Fe26Al alaşımı ile paslanmaz çelik saplama farklı kaynak gerilimlerinde birleştirmelerin nüfuziyet analizleri için yapılan kaynak bölgesindeki çizgi analizleri sonuçları Şekil 8’de görülmektedir. 150V da yapılan birleştirmede kaynak voltunun düşük kaldığı yetersiz bir erimenin olduğu fakat 200V da daha iyi bir erimenin varlığı ile beraber daha mukavemetli bir birleştirme meydana gelmiştir. Kaynak bölgesinde kaynak mukavemetini düşürücü boşluk ve kalıntıların olmadığı, iki malzeme arasında düzgün bir kaynak birleştirme bölgesinin olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesi boyunca yapılan çizgisel element analiz sonucunda paslanmaz çelik bölgesinden Fe26Al intermetalik bölgesine doğru geçildikçe Al miktarının arttığı, paslanmaz çelik kaynaklı Cr miktarının azaldığı Şekil 9’da görülmektedir. Kaynak bölgesi boyunca yapılan çizgisel element analiz sonucunda paslanmaz çelik bölgesinden Fe26Al intermetalik bölgesine doğru geçildikçe Al miktarının arttığı, paslanmaz çelik kaynaklı Cr miktarının azaldığı görülmektedir. Kaynak geçiş bölgesinde ise Fe miktarı kararlı iken ısı etkisiyle az da olsa yapıda var olan Al ve Cr elementlerin difüzyonunun meydana geldiği tespit edilmiştir.

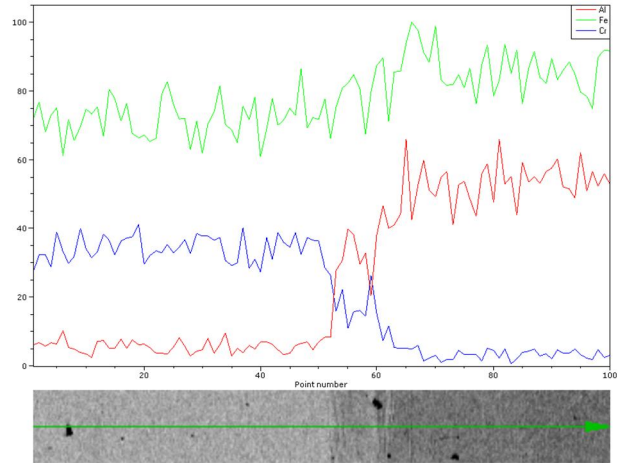


Şekil 8. Fe26Al alaşımı a)150V ve b)200V kaynak gerilimlerinde, paslanmaz çelik saplama kaynakları.



Şekil 9. Fe26Al alaşımının 150 V, paslanmaz saplama ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizi.

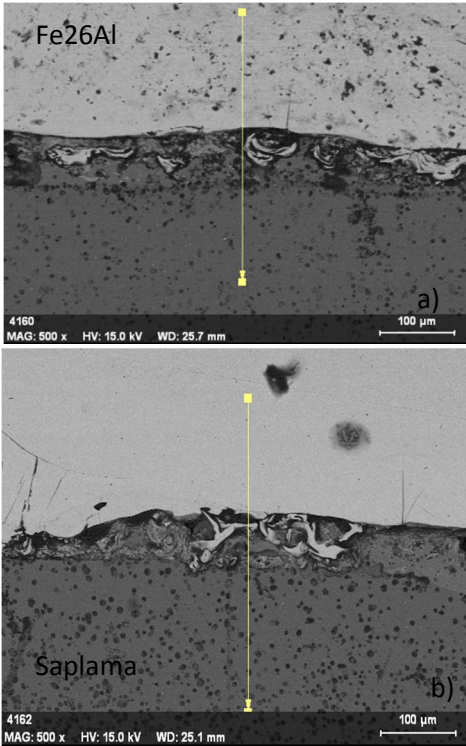
Şekil 10’da Fe26Al için 200V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynak işlemine ait çizgi analizi görülmektedir. Burada da Fe26Al intermetalik bölgesine doğru geçildikçe Al miktarının daha fazla arttığı, paslanmaz çelik kaynaklı Cr miktarının azaldığı görülmektedir. Kaynak geçiş bölgesinde ise Fe miktarı kararlı iken ısı etkisiyle daha fazla Al ve Cr elementlerin difüzyonunun meydana geldiği belirlenmiştir.



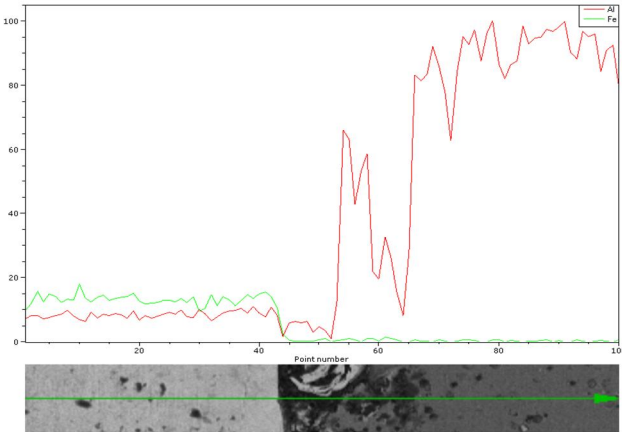
Şekil 10. Fe26Al alaşımının 200 V, paslanmaz saplama ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizi.

Şekil 11’de verilen kaynak mikro yapıları incelendiğinde malzeme yüzeylerinde tam erimenin oluşmadığı, iki malzeme yüzeyi arasında boşlukların varlığı görülmektedir. Çelik saplama ile 150V kaynak gerilimi ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizinde iki malzeme arasında kayda değer bir

difüzyon bölgesinin oluşmadığı görülmektedir. Saplama bölgesine doğru gidildikçe Al miktarı yüksek miktarda artış gösterirken Fe miktarı düşmüştür. Bu durum intermetalik ile saplama arasında difüzyonun meydana gelmesi için gerekli ısı enerjisinin ve sürenin sağlanmadığını göstermektedir. Şekil 12’de Fe26Al için 150 V kaynak geriliminde çelik saplama için yapılan çizgi analizinde Al ve Fe eğrilerinin çakıştığı ve kaynak bölgesinde eğrilerin birbirine daha yakın olarak yerleştiği görülmektedir.

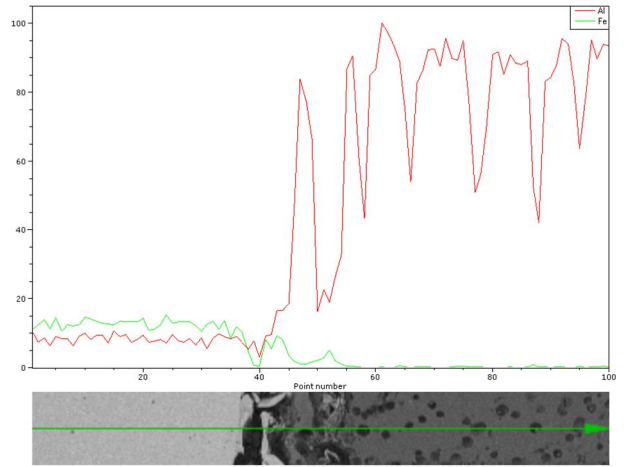


Şekil 11. Fe26Al alaşımının a)150V ve b)200 V kaynak gerilimlerinde, çelik saplama kaynakları.

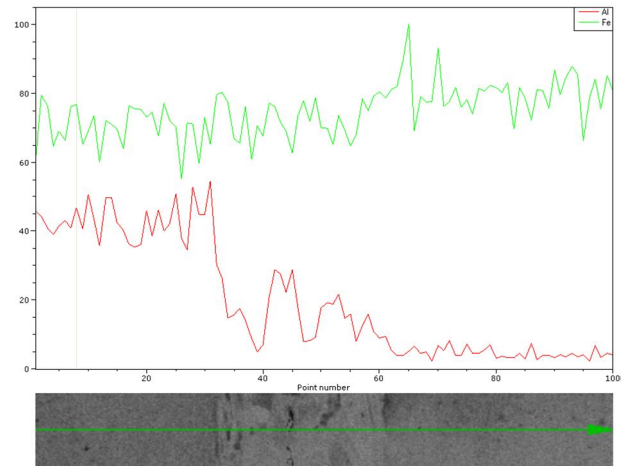


Şekil 12. Fe26Al alaşımının 150 V, çelik saplama ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizi.

Şekil 13’de Fe26Al için 200 V kaynak geriliminde çelik saplama için yapılan çizgi analizi incelendiğinde ise Al ve Fe eğrilerinin çakıştığı bölgenin 150V kaynak geriliminde yapılan kaynağa göre daha yüksekte olduğu ve kaynak bölgesinde eğrilerin birbirine daha yakın olarak yerleştiği görülmektedir. Bu durum aynı saplama için 200V kaynak geriliminde iki malzeme arasında meydana gelen difüzyon işleminin daha etkili olduğunu göstermektedir. Kaynak geriliminin artması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi difüzyon işlemi daha kolay hale getirmiştir. Şekil14’de yapılan çizgi analizi görülmektedir.



Şekil 13. Fe26Al alaşımının 200 V, çelik saplama ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizi.



Şekil 14. Fe26Al alaşımının 150 V, alüminyum saplama ile yapılan saplama kaynağının çizgi analizi.

Çizgi analizinde Fe ve Al ait eğrilerin çakışmadığı ve iki malzeme arasında Fe ve Al elementlerinin kaynak birleşme bölgesinde Fe ve Al çizgilerinin çakışmadan devam etmesi birleştirmede kullanılan

saplama Alüminyumun olmasından ölçüm yapılan çizgi boyunca iki malzemenin aynı elementleri içermesinden birleşme bölgesinde çakışma görülmemektedir.

Tablo 3. Kaynak voltajı ve saplama türüne bağlı alaşımların kopma dayanımı (MPa)

Kaynak Voltajı	100	130	150	170	200
Paslanmaz Çelik Saplama					
Fe26Al	0.0350	0.0380	0.0400	0.0410	0.0410
Fe30Al	0.0330	0.0378	0.0310	0.0450	0.0368
Fe33Al	0.0400	0.0410	0.0300	0.0350	0.0353
Fe50Al	x	x	0.0282	0.0320	0.0349
Bakır Kaplı Çelik Saplama					
Fe26Al	0.0148	0.0152	0.0153	0.0157	0.0160
Fe30Al	0.0146	0.0154	0.0158	0.0156	0.0155
Fe33Al	0.0143	0.0150	0.0153	0.0420	0.0145
Fe50Al	x	x	x	0.0132	0.0139
Alüminyum Saplama					
Fe26Al	0.0125	0.0130	0.0135	0.0139	0.0142
Fe30Al	0.0118	0.0120	x	x	0.0135
Fe33Al	x	0.0115	0.0138	0.0136	0.0105
Fe50Al	0.095	x	0.0115	x	0.0210

3.4. Mekanik Özellikler

Dijital manuel torkmetre kullanılarak ölçülen değerler Tablo 3’de verilmiştir. Fe26Al’ un 150V ve 200V kaynak gerilimlerinde bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynağında sırası ile 1,5 ve 1,7N yüklerde yapılan test sonucunda kopmuştur. İntermetaliklerin alüminyum saplama kaynağında 150V kaynak geriliminde yapılan birleştirmelerde yapılan kopma testinde 1N yüklemde kırılarak en düşük dayanıma sahip olduğu ölçülmüştür.

4. Genel Sonuçlar

Saplama kaynağında farklı alaşımlar kullanılarak farklı kaynak voltajlarında yapılan çalışmada mukavemetli birleştirmelerin sağlandığı görülmüştür. Fe26Al alaşımında kaynak voltajını 100 V’ dan 200 V’ a yükseltildiğinde kaynak bölgelerinde kaynak metalinde meydana gelen tabaka kalınlığında azalma eğilimleri gözlemlenmiştir. Kaynak voltajındaki artışa paralel olarak ergimiş kaynak metalin kaynaklanmayan

bölgenin dışına taşıdığı görülmüştür. Kaynak voltajındaki bu artışa paralel olarak oluşan bu olumsuzluk bütün alaşımlarda görülmüştür. Fe30 Al alaşımlarına yapılan alüminyum saplama kaynağında 150 ve 170 V’ da birleştirme sağlanamamıştır. Diğer alaşımlarda da görüldüğü gibi artan alüminyum ve alüminyum saplama kaynağında başarısız sonuçların alınması kaynak havuzunun yüzeyinde oluşan alüminyum oksit tabakasının çok hızlı ortaya çıkması sonucunda yeterli birleşme sağlanamamıştır. Alüminyum oksidin ergime sıcaklığının FeAl alaşımların ergime sıcaklığının yaklaşık 3 katı olmasından dolayı bu tabakanın buharlaşması veya çözünmesi oldukça zor olmakta ve yüzeyde katı bir tabaka olarak kalmaktadır. Sonuç olarak, difüzyonu engelleyen bu tabakanın aynı zamanda metal transferini de engellemesi sonucu kaynak mukavemeti düşüklüğü veya birleşme yetersizliği ortaya çıkmıştır. Saplama kaynağı koruma gazı altında yapılması durumunda birleştirme sağlanabilecektir. Çünkü Selçuk ve arkadaşlarının çalışmalarında alüminyum saplamanın inertgaz koruması altında olmasından dolayı daha iyi sonuçlar almışlardır (Selçuk *et al.* 2012). Paslanmaz çelik saplama alaşımlarına kaynaklanmasında daha başarılı olduğu birleştirmenin kopma mukavemetinin yüksek olmasından anlaşılmaktadır. Kaynak bölgesi ön temizliği oksitlenmeye afinitesi yüksek olan metallerde öne çıkmaktayken diğer alaşımlarda gerekli değildir. Kaynak bölgesine uygulanan gerilimdeki artış kaynak metalini yığılmasını artırmakta fakat saplama kenarlarına doğru kaynak metalini taşması görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 11. FEN. BİL. 35 nolu BAPK projesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Metals Handbook ASM, Metals Park, 1990. Ohio10th ed. **Vol.2**, 913-939.
- Stoloff, N.S., 1998. Iron Aluminides:present status and future prospects. *Materials science and Engineering*, **A258**, 1-4

- Devi, S.C., Sika, V.K., 1996. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications. *Intermetallics*, **4**, 357-375.
- Liu, C.T., Stringer, J., Mundy, J.N., Horton, L.L., P. Angelini, P., 1997. Ordered intermetallic alloys: an assessment. *Intermetallics*, **5**, 579-596.
- Ergin, N., 2007. Fe-Al intermetalik malzemenin basınç destekli yanma sentezi ile üretimi ve özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 102.
- Massalski, T.B., 1986. Binary alloy phase diagrams. *Metals Park, USA: ASM International*, p. 111.
- Morris, D.G., Morris-Munoz M.A., 1999. The influence of microstructure on the ductility of iron aluminides. *Intermetallics*, **7**, 1121-1129.
- Ikeda, O., Ohnuma, I., Kainuma, R. and Ihsida, K., 2001. Phase equilibrium and stability of ordered BCC phase in the Fe-rich portion of the Fe-Al system. *Intermetallics*, **9**, 755.
- Torun, O., Çelikyürek, İ., Gürler R., 2008. Diffusion bonding of iron aluminides Fe72Al28 using copper interlayer. *Material characterization*, **59**, 852-856.
- Bahadur, A. and Mohanty, O. N., 1991. The development of intermetallics. *Journal of Materials Science*, **26**, 2685-2693.
- Gündoğdu, E., Kurt, A., 2012. Saplama kaynağı ile alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde kaynak geriliminin birleşme bölgesine etkisi.2. Uluslararası kaynak teknolojileri konferansı ve sergisi, 108-111
- Selçuk, N., Çakmakkaya, M., ve Talaş,Ş., 2012. Saplama kaynağı ile Farklı Gaz Atmosferinde Bakır kaplı çelik, çelik ve alüminyum saplama saplama AL5754, 304 paslanmaz çelik, bakır ve çelik levhalara kaynaklanabilirliğinin araştırması.2. Uluslararası kaynak teknolojileri konferansı ve sergisi, 96-107.