

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN AA2124/SiCp/25 KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TAKIM AŞINMASININ ETKİSİ

Yahya BOZKURT*, Hüseyin UZUN**, Serdar SALMAN*

*Metal Eğitimi Bölümü, Tek. Eğt. Fak., Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü 34722, Kadıköy/İstanbul

**Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya.

ybozkurt@marmara.edu.tr, huzun@sakarya.edu.tr, ssalman@marmara.edu.tr

(Geliş/Received: 09.04.2010; Kabul/Accepted: 28.06.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek hız çeliğinden imal edilen takım kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilen AA2124/SiCp/25 kompozit levhaların karışım bölgesi içerisinde takım aşınmasından dolayı oluşabilecek metal veya fazların varlığı incelenmiştir. Takım aşınma kaybı üzerine düşük ve yüksek takım ilerleme hızının (40 mm/dak ve 100 mm/dak.) etkisi araştırılmıştır. Karışım bölgesinin analizi, SEM, BEI ve XRD çalışmaları ile yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sabit takım dönme hızında takım ilerleme hızının 40 mm/dak.'dan 100 mm/dak.'ya arttırılmasıyla, karıştırıcı ucun uç kısmında %10, kök kısmında ise %5' lik bir aşınma kaybı belirlenmiştir. Ayrıca karışım bölgesi içerisinde karıştırıcı uçtan kopmuş metal parçacıkları, SiO₂ ve Cu₂FeAl₇ metallerarası fazların var olduğu XRD analizi ile tespit edilmiştir. Bu etkenlere bağlı olarak, kaynak performansı % 42 oranında düşüş göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), takım aşınması, AA2124/SiCp/25 kompozit.

EFFECT OF TOOL WEAR ON MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED AA2124/SiCp/25 COMPOSITE PLATES

ABSTRACT

In this study, the presence of metals or compounds which might have been caused by the rotational tool wear tool manufactured from high speed steel in the stirring zone of FSWed similar AA2124/SiCp/25 composite joints has been investigated. The effects of low and high tool transverse speeds (40 and 100 mm min⁻¹) on the tool wear were also evaluated. Microstructure investigations of the stirring zone by SEM, BEI and XRD were carried out. The experimental results show that the tool wear increased with increasing the tool transverse speed at the constant tool rotation speed. While the tool wear of the joints at 40 mm min⁻¹ was nearly unchangeable, the tool wear of the joints at 100 mm min⁻¹ clearly increased to 10% on the top and 5% on the root sections. In addition, XRD analysis shows that metallic particles broken down off from the stirring tool, SiO₂ and Cu₂FeAl₇ intermetallic phases were detected in the stirring zone. It was concluded that the joining efficiency decreased to the rate of 42%.

Keywords: Friction stir welding (FSW), tool wear, AA2124/SiCp/25 composite.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

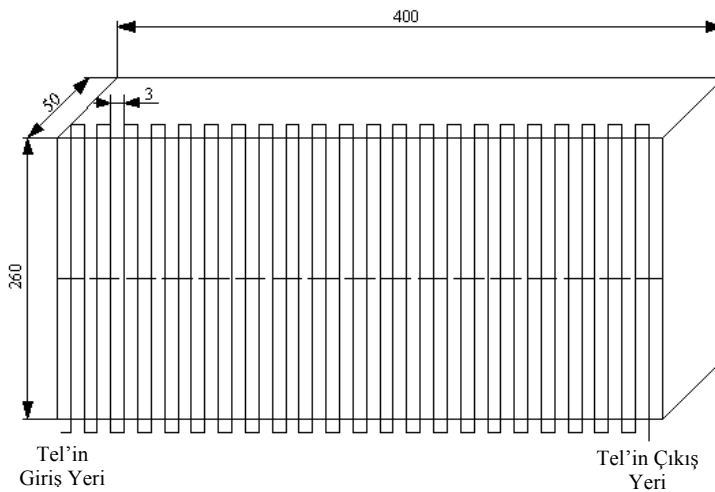
Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) havacılık, otomotiv, askeri ve ulaşım sanayi gibi endüstriyel sektörlerde yüksek sertlik, mukavemet, aşınma ve korozyon direncine sahip olmaları sebebiyle tercih edilen önemli yapısal

malzemeler olarak kabul edilmektedirler. MMK malzemelerden büyük ve karmaşık yapıları parçalar üretmek için, MMK malzemelerin birbirleriyle ya da farklı metallerle birleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan, TIG, MIG, lazer v.b. geleneksel ergitmeli kaynak teknikleri [1-5] kullanılarak MMK malzemelerin birleştirilmesi yönünde çalışmalar

yapılmıştır. Fakat partiküllerin ergimesi, segregasyon ya da takviye fazlarının tepkimeye girmesi gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıktığı için beklenen mekanik özellikler elde edilememiştir [6,7]. Bu istenmeyen sonuçlar, düşük birleştirme sıcaklığı, kaynak süresinin kısa olması ve düşük çarpılma gibi önemli avantajlara sahip bir katı hal kaynak tekniği olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile elimine edilebilmekte ve partiküllerin homojen dağılımı sağlanabilmektedir [8,9]. SKK, farklı hızlarda dönen bir omuz ve karıştırıcı uca sahip takımın iki levha arasına daldırılması ve birleştirme hattı boyunca hareket ettirilmesi ile gerçekleşir [10]. SKK'da değişik karıştırıcı uçlu takım geometrileri kullanılmaktadır. Bunlardan çoğu vida dişli şeklindedir [11]. Takım geometrisi, SKK için en etkili parametredir ve bölgesel ısınma ile malzemenin karıştırılması ve taşınması sonucu malzeme akışını sağlar.

MMK malzemelerin SKK ile birleştirilmesinde sert seramik takviyelerin varlığından dolayı takımın aşınması kritik bir sorundur. Nelson ve ark. H13 takım çeliğinden imal edilen ve ısıtma işlemiyle 52 HRC sertliğe ulaştırılan vida dişli takım ile birleştirilen Al 6061/B₄C takviyeli MMK levhaların SKK'sında takım aşınmasından dolayı birleşmenin mekanik özelliklerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir [12]. Ayrıca, Prado ve ark. %20-Al₂O₃ partikül takviyeli Al 6061 [13,14], Fernandez ve Murr, %20 SiC partikül takviyeli Al 359 [15], Lee ve ark. %10 SiC partikül takviyeli AZ91 MMK levhaların [16] SKK ile birleştirme işlemlerinde takım aşınmasının meydana geldiğini açıklamışlardır.

Bu çalışmada, %25 SiC partikül takviyeli AA2124-T4 kompozit levhaların, SKK ile farklı ilerleme hızlarında birleştirilmesi sonucunda meydana gelen takım aşınmasının mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Takım aşınması nedeniyle takımdan ayrılan metalik parçacıkların karışım bölgesindeki mevcudiyetinin analizi sonucu, kaynak performansının nasıl etkilendiği araştırılmıştır.



Şekil 1. Kütük haldeki AA2124/SiCp/25-T4 metal matrisli kompozitin tel erozyon ile kesilmesi (ölçüler mm) (Cutting of AA2124/SiC/25p-T4 composite billet by wire electrical discharge machine (dimensions in mm))

2. DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD USED IN EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Denejde Kullanılan Malzeme (Material Used in Experimental Study)

SKK tekniği ile birleştirilen kompozit malzeme; Al-2124 matris içerisine %25 SiC partikül takviyesi yapılmış ve kısaca AA2124/SiCp/25 simgesiyle gösterilen metal matrisli kompozittir. Bu kompozit uçak sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Denej malzemesi, 400x260x50 mm ebatlarında bir kütük halinde İngiltere'nin AMC firmasından satın alınmıştır. Kütük halindeki MMK, Şekil 1'de gösterildiği gibi tel erozyon ile hassas bir şekilde 130x50x3 mm ebatlarında kesilerek levha halinde elde edilmiştir. Levha yüzeyleri, Taksan TYT-400 marka düzlemsel yüzey taşlama tezgahında taşlanarak 3 mm kalınlığına getirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhaların kimyasal bileşimi (The chemical composition of AA2124/SiCp/25-T4 MMC plate (mass %))

Malzeme	Kimyasal İçerik (% Kütlesel)				
	Cu	Mg	Mn	Si	Al
AA2124/SiCp/25-T4	3,86	1,52	0,65	0,17	93,8

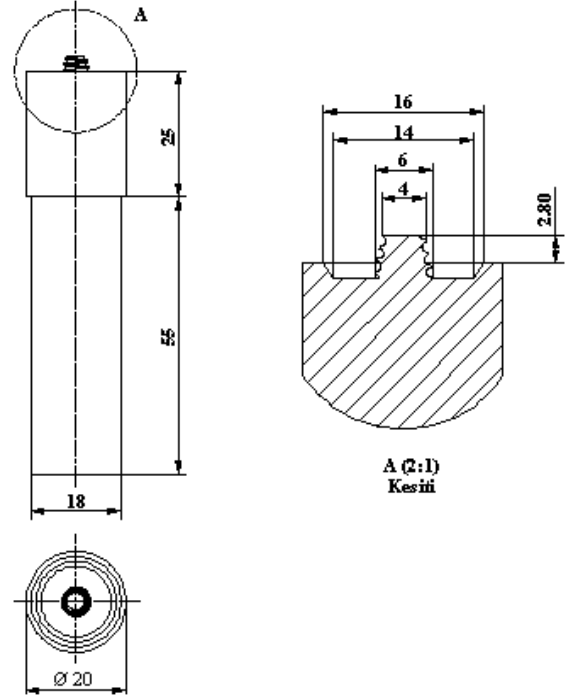
Tablo 2. AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhaların mekanik özellikleri (Mechanical properties of AA2124/SiCp/25-T4 MMCs)

Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Sertlik (HV)
AA2124/SiCp/25-T4	454	390	1,38	190

SKK sonrası birleştirme bölgesinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla, çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deneyi, Zwick marka Z010 üniversal tip çekme cihazında ISO/TTA2 standart'ına uygun olarak [17] yapılmıştır. SKK yapılan numuneler üzerinde geleneksel metalografik uygulamalardan sonra hem kaynak bölgesini, hem de çekme deneyi sonrası kırık yüzeylerini incelemek için Jeol marka JSM 5910-LV cihazında; SEM, BEI ve EDS incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca, SKK bölgesinin faz yapısında herhangi bir değişikliğin olup olmadığını tespit etmek için $20^\circ < 2\theta < 90^\circ$ aralığında 40 kV ile 40 mA voltaj ve Cu K α radyasyon ışını kullanılarak $0,02^\circ \text{ mm}^{-1}$ tarama hızı ile XRD karakterizasyonu, Bruker-AXS marka D8 Advance cihazı ile yapılmıştır.

2.2. Deneysel Malzemesi için Kullanılan Kaynak Metodu (Welding Method Used for Experimental Material)

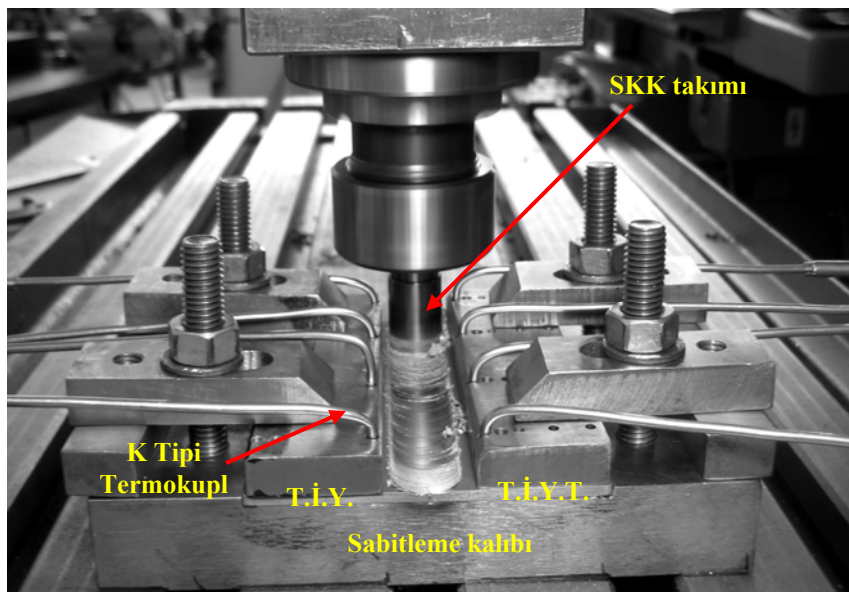
Şekil 2'de şematik olarak şekil ve boyutları gösterilen karıştırıcı takım, 1,3343 yüksek hız çeliğinden (HSS) imal edilerek su verme ısıl işlemi ile 62 HRC sertlik değerine ulaştırılmıştır. SKK işlemi, küt alın pozisyonda Tablo 3'de gösterilen kaynak parametrelerinde Taksan marka FU 400x1600 V/2 üniversal tip dikey freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te birleştirme işleminin uygulama aşaması gösterilmektedir.



Şekil 2. SKK işleminin gerçekleştirildiği takımın şematik görünümü (ölçüler mm) (Schematic view of the friction stir welding tool (dimensions in mm))

Tablo 3. SKK'da kullanılan kaynak parametreleri (Welding parameters used at FSW)

Takım Dönme Hızı (dev/dak)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak.)	Takım Eğim Açısı	Takım Dönme Yönü
900	40	2°	Saat yönünde
	100		



Şekil 3. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanış yöntemi (Applying method of friction stir welding)

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Makro ve Mikro Yapı İncelemeleri (Macro and Microstructure Examinations)

AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhaların SKK tekniği ile 900 dev/dak. sabit takım dönme hızı, 40 ve 100 mm/dak. farklı takım ilerleme hızları kullanılarak yapılan birleştirme işlemleri, başarıyla gerçekleştirilmiştir. Birleştirme yüzeyleri incelendiğinde düzgün, çapaksız ve çok az pürüzlü olduğu görülmüştür (Şekil 4). Birleştirme yüzeylerinin düzgünlüğü (a) karıştırıcı ucun omuz kısmının levha yüzeylerine uygun bir şekilde temas ettirilmesine, (b) levha kalınlığının tüm yüzey boyunca eşit olmasına ve (c) kaynak esasında parçaların yukarıya doğru hareket etmeyecek şekilde bir sabitleme kalıbı üzerinde sıkıca tespit edilmesine atfedilmektedir [18]. Dolayısıyla yapılan bu çalışmadaki birleştirmelerde neredeyse çapaksız düzgün kaynak yüzeylerinin elde edilmesi literatürde de vurgulanan etkenlerin başarıyla uygulandığını göstermektedir. SKK ile birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 levhaların, kaynak bölgesine ait makroyapı görüntüleri incelendiğinde, literatürle de uyum içerisinde olan [19] genelde dört farklı bölgenin var olduğu tespit edilmiştir: (1) karışım bölgesi, (2) termo-mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB), (3) ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve (4) ana metal. Bu bölgelerin detayları Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen 1 nolu bölge; karışım bölgesi, 2 nolu bölge; takım ilerleme yönünün ters (TİYT) tarafındaki TMEB, 3 nolu bölge TİYT tarafındaki ITAB, 4 nolu bölge; takım ilerleme yönündeki (TİY) TMEB, 5 nolu bölge; TİY'deki ITAB ve 6 nolu bölge ana metalden oluşmaktadır.

Şekil 6a'da AA2124/SiCp/25-T4 kompozit levhanın, SEM mikroyapısı gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi AA2124 matrisi içerisinde, SiC partikülleri nispeten üniform olmayan dağılım sergilemektedir. Ayrıca bazı yerlerde de SiC

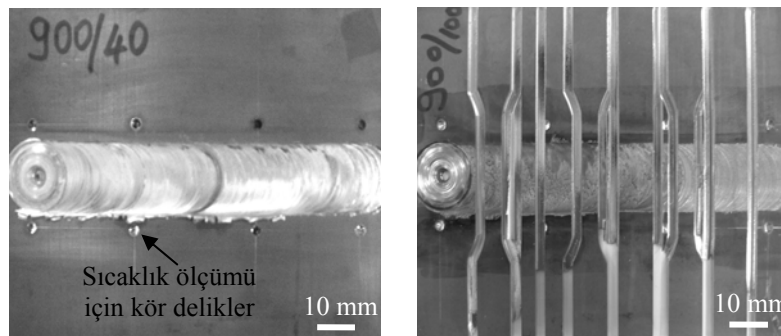
partiküllerinin yer almadığı serbest bölgeler görülmektedir. Şekil 6b'de dönme hızı 900 dev/dak ve ilerleme hızı 40 mm/dak. (900/40) ve Şekil 6d'de ise dönme hızı 900 dev/dak ve ilerleme hızı 100 mm/dak. (900/100) kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen kompozit levhaların karışım bölgesinin SEM mikroyapıları gösterilmektedir. Şekil 6c ve e'de ise her iki mikroyapının BEI görüntüleri gösterilmektedir. Karışım bölgeleri incelendiğinde (Şekil 6b,d), SiC partiküllerinin dağılımı ana MMK levhaya nazaran daha homojendir. Bunun sebebi, takımın dönme ve ilerleme hareketi ile yüksek deformasyon ve karıştırmadan dolayı Al matris ile SiC partiküllerinin, bu deformasyon sayesinde farklı bir geometrik görünüme kavuşmasıdır [18, 20-22].

900/100 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmenin karışım bölgesinin SEM görüntüsüne bakıldığında, takım ilerleme hızının yüksek olmasından dolayı daha şiddetli bir karıştırma gerçekleşmiş ve 900/40 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmeye nazaran, SiC partiküllerinin kısmen kırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 6d).

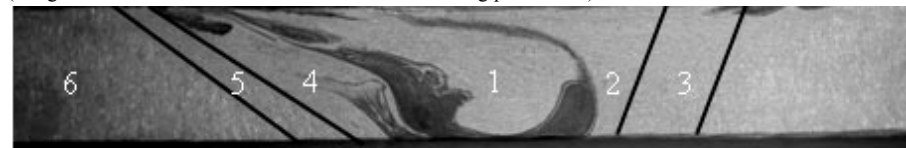
3.2 Karıştırıcı Takım Ucu Aşınması (Wear of Stirring Tool)

AA2124/SiCp/25-T4 kompozit levha içerisinde sert ve keskin SiC partiküllerin varlığı, birleştirme esnasında karıştırıcı takım ucunun aşınmasına sebep olmaktadır. 900/100 kaynak parametrelerinde yapılan SKK sonrası karıştırıcı uç çapının 4 mm'den 3,6 mm'ye düşmesi, bu bölgedeki aşınma oranının %10 olduğunu göstermektedir. Karıştırıcı ucun kök kısmındaki çapın da 6 mm'den 5,7 mm'ye düşmesi bu bölgedeki aşınma oranının %5 olduğunu göstermektedir (Şekil 7).

Benzer sonuç, A.H.Feng ve arkadaşlarının, yaptıkları bir çalışmada AA2009/SiCp kompozit levhaları SKK yaparken takım çeliğinden imal edilmiş karıştırıcı uç çapının 6 mm'den 5,6 mm'ye düşmesi ile %7'lik bir



Şekil 4. 900/40 ve 900/100 kaynak parametreleri ile birleştirilen MMK levhaların kaynak dikiş görüntüleri (Image of FSWed MMC at 900/40 and 900/100 welding parameters)

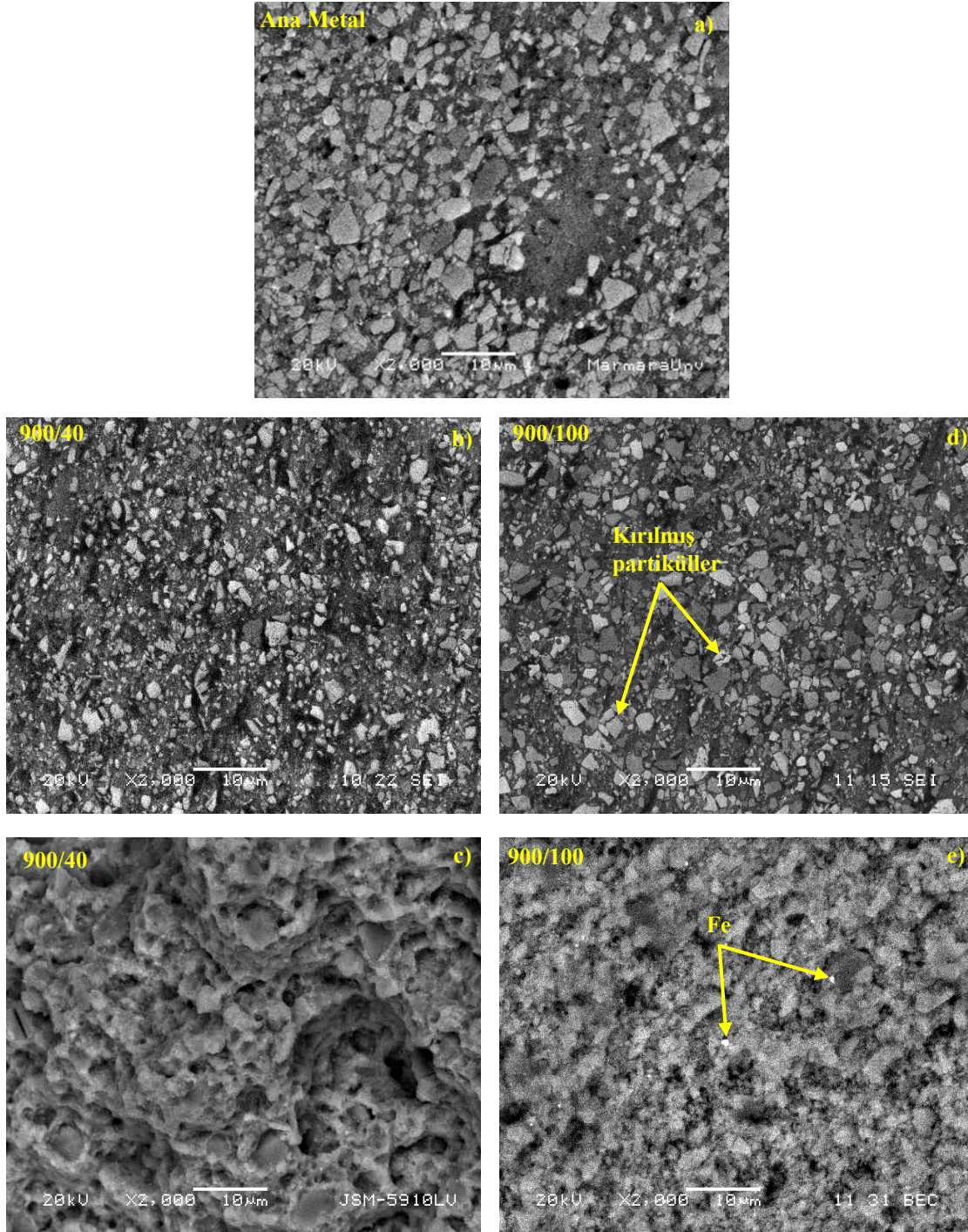


Şekil 5. Farklı bölgelere ait makroyapı görüntüsü (Macrostructure images for different regions)

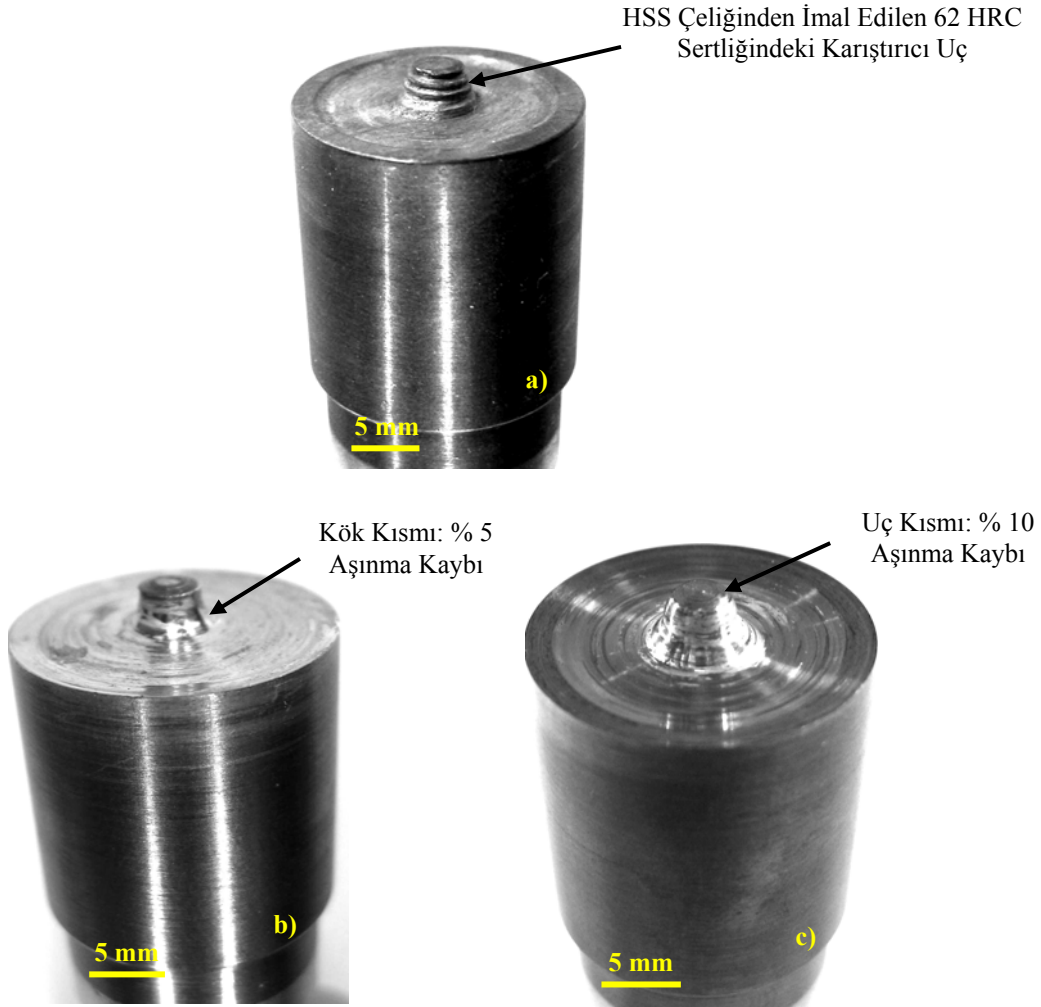
aşınma kaybı olduğunu açıklamışlardır [21]. Ayrıca çeşitli çalışmalarda 6061/Al₂O₃p/10, A359/SiCp/20 ve AZ91/SiCp/10 kompozit levhaların SKK'larında takım aşınması meydana geldiği belirtilmiştir [14-16]. Karıştırıcı takım ucunun aşınması, aşınma direnci yüksek olan çok kristalli kübik boron nitritli (PCBN) takımlar kullanılarak en aza indirilebileceği ifade edilmektedir [21].

3.3 EDS ve XRD Analiz Sonuçları (Result of EDS and XRD Analysis)

Şekil 6c' de 900/40 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmelerin karışım bölgesindeki BEI görüntüsü incelendiğinde, herhangi bir parlak görüntünün olmaması bu bölgede karıştırıcı uçtan kopan metal



Şekil 6. a) AA2124/SiCp/25-T4 MMK ana levhanın SEM görüntüsü, b,c) 900/40 kaynak parametrelerinde SKK yapılmış MMK levhanın karışım bölgesinin SEM ve BEI görüntüsü, d,e) 900/100 kaynak parametrelerinde SKK yapılmış MMK levhanın karışım bölgesinin SEM ve BEI görüntüsü (a) SEM image of AA2124/SiCp/25-T4 base MMC, b,c) SEM and BEI images of stir zone of FSWed AA2124/SiCp/25-T4 MMC sheets at 900/40 welding parameters, d,e) SEM and BEI images of stir zone of FSWed AA2124/SiCp/25-T4 MMC sheets at 900/100 welding parameters)



Şekil 7. SKK öncesi ve 900/100 kaynak parametrelerinde yapılan birleşme sonrası karıştırıcı uç görünümleri; a) SKK öncesi takımın görünümü, b ve c) SKK sonrası aşınmış haldeki takımlar (Tool images of before and after FSW; a) Tool image before FSW, b and c) Worn tools after FSW)

parçacıklarının olmadığını göstermektedir. Şekil 6e'deki BEI görüntüsü incelendiğinde, takım dönme hızı (900 dev/dak) sabit tutulup, takım ilerleme hızı 100 mm/dak.'ya (900/100) çıkarıldığında, karıştırıcı uçtan kopan metal parçacıkları görülmüştür. Bu durum, çekme deneyi sonrası SEM ve EDS incelemeleri ile yapılan kırık yüzey analizinde daha belirgin olarak göze çarpmaktadır (Şekil 8). Şekil 8a ve b)'de karıştırıcı uç'tan kopan metal parçacıkları gösterilmektedir. Şekil 8a üzerindeki A bölgesinden yapılan EDS analizinde, AA2124/SiCp/25-T4 ana kompozit levhada rastlanmayan Fe, Cr, C ve V gibi elementlerin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 8c). Bu durum HSS çeliğinden imal edilen SKK takımının aşınarak, karışım bölgesi içerisine karıştığını göstermektedir.

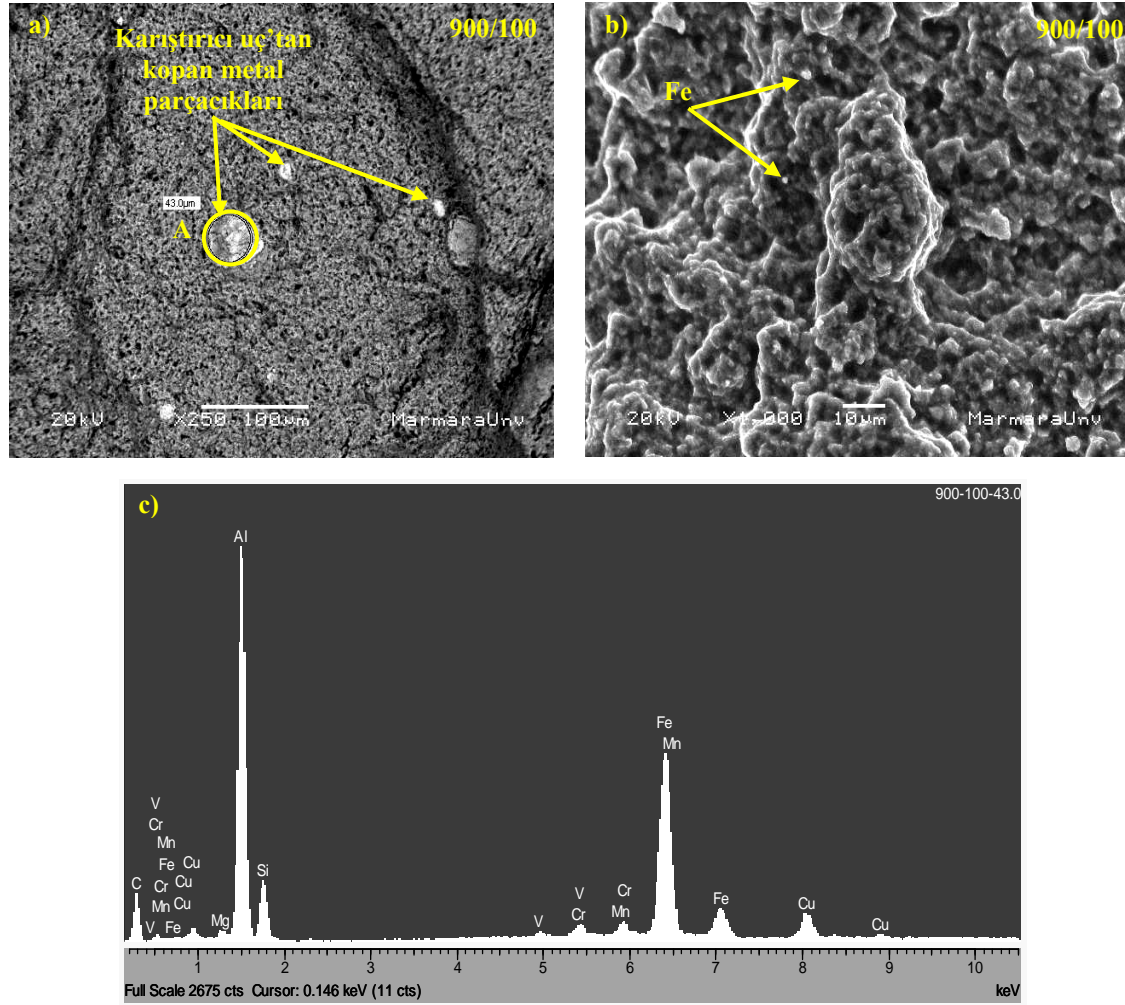
Karıştırıcı ucun aşınmasından dolayı kopan Fe parçacıklarının durumu XRD karakterizasyonu yapılarak açıklığa kavuşturulmuştur.

AA2124/SiCp/25-T4 ana kompozit levhaların XRD karakterizasyonunda, CuAl_2 ve Al_2CuMg fazlarının

yanı sıra Al ve α SiC difraksiyon piklerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 9).

Yapılan XRD incelemelerinde, Şekil 10 ve 11'de gösterildiği gibi Cu_2FeAl_7 intermetalik fazının varlığı tespit edilmiş, saf Fe fazına rastlanmamıştır. SiC ara yüzeyinde oluşan Cu_2FeAl_7 partikülleri, SiC ve Al matris arasındaki ara yüzey bağlantısını azalttığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, A.H. Feng, ve Z.Y. Ma tarafından da belirlenmiştir [20,21].

Oluşan CuAl_2 fazı, Al_2CuMg fazının çözünmesiyle oluşmaktadır. Ayrıca, takımın dönme ve ilerleme hareketi ile meydana gelen sürtünme sonucunda açığa çıkan sıcaklık, ortamdaki O_2 ' nin varlığından dolayı kaynak bölgesinin oksitlenmesine sebep olmuş ve SiO_2 fazı oluşmuştur. Kaynak merkezinden 15 mm uzaklıktaki farklı bölgelerden ölçülen sıcaklıklara göre, takım ilerleme hızının 40'dan 100 mm/dak.'ya artırılmasıyla sıcaklığın 190 °C' den 260 °C' ye çıktığı belirlenmiş ve karışım bölgelerindeki sıcaklığın düşük ilerleme hızlarında 500 °C civarında olduğu, yüksek ilerleme hızlarında ise 400°C civarına



Kaynak Parametresi ve Bölgesi	Kimyasal Element (%)									
	C	Mg	Al	Si	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Toplam
900/100 A Bölgesi	27,28	0,58	22,08	3,87	0,43	1,11	1,66	34,08	8,91	100,00

Şekil 8. 900/100 kaynak parametrelerinde SKK yapılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhaların çekme deneyi sonrası karışım bölgesindeki kırık yüzey kesitleri; a,b) SEM görüntüleri, c) EDS analizi (Fracture surface cross-section in stir zone after tensile test of FSWed AA2124/SiCp/25-T4 MMC sheets at 900/100 welding parameters; a,b) SEM images, c) EDS analysis)

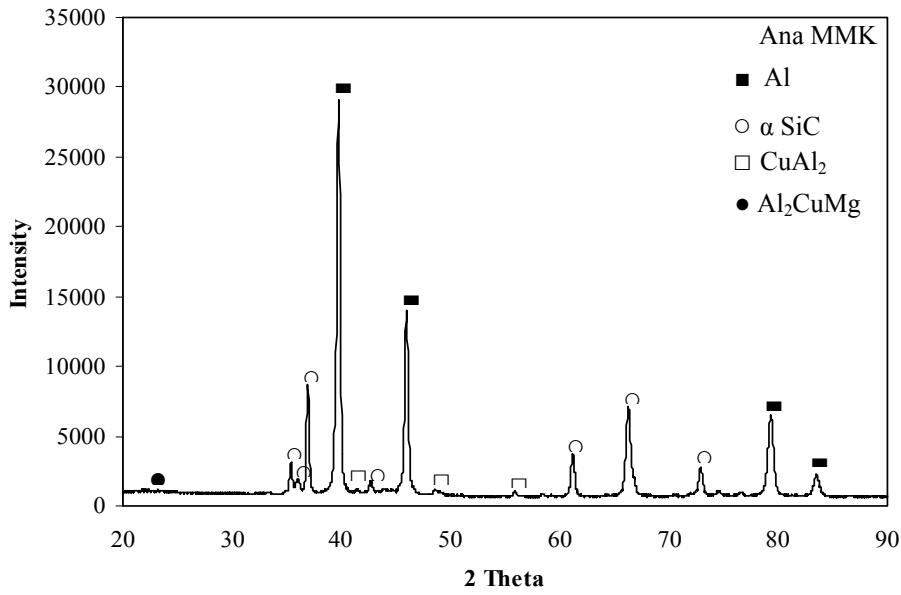
düşüğü belirtilmiştir [19]. 900/100 kaynak parametrelerinde yapılan SKK'da, karışım bölgesindeki düşük sıcaklığın karıştırıcı uç aşınmasını arttırdığı düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu kaynak parametreleri ile yapılan SKK'da Al, α SiC CuAl₂ ve SiO₂ fazlı difraksiyon piklerine ilaveten kaynağın hem kök (Şekil 10) hem kaynak yüzeyi kısmında (Şekil 11), Cu₂FeAl₇ fazının varlığı tespit edilmiştir. Kaynağın kök kısmından kaynak yüzeyine gidildikçe difraksiyon piklerinin şiddetinde azalma bölgesel çözünmenin sonucudur.

3.4 Çekme Deneyi Sonuçları (Tensile Test Results)

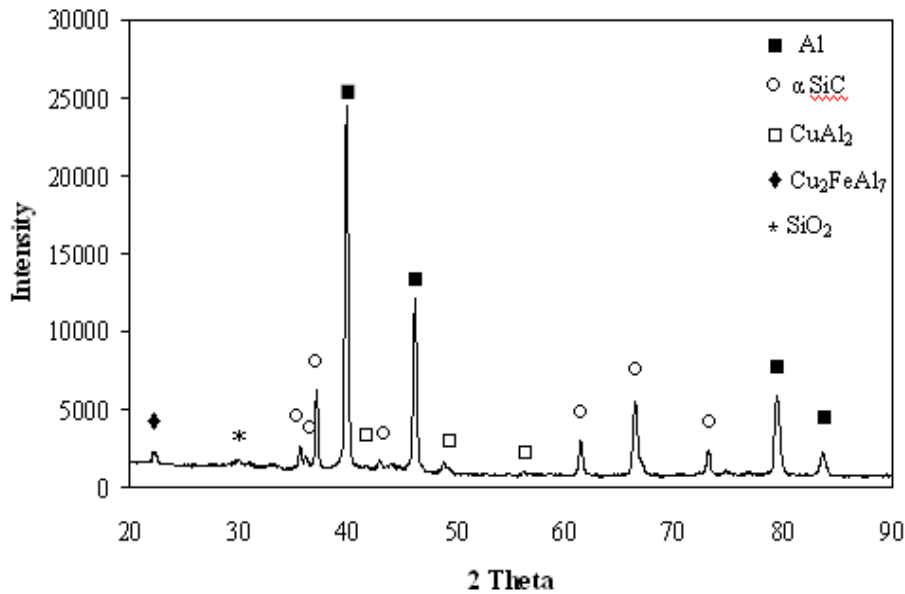
Ana MMK levha ve SKK sonrası yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen mukavemet değerleri Tablo 4'de, kopma tipleri ise Şekil 12'de gösterilmektedir. Ana MMK'nın kopma bölgesi Şekil 12a' da, 900 dev/dak. takım dönme ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızında (900/40) yapılan birleştirmeler sonrası kopma bölgesi Şekil 12b' de, 900 dev/dak. takım dönme ve 100 mm/dak. takım ilerleme hızında (900/100) yapılan birleştirmeler sonrası kopma bölgesi ise Şekil 12c' de gösterilmektedir. Tablo 4'de görüldüğü gibi takım ilerleme hızının artmasıyla

mukavemet değerlerinde azalma belirlenmiştir. Birim alanda meydana gelen sıcaklık düşüşü karışım bölgesinin hızlı soğumasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, bu hızlı soğuma karıştırıcı ucun aşınmasını arttırmış ve mukavemet azalmıştır. 900/40 kaynak parametrelerinde yapılan birleştirme sonrası kaynak performansı (SKK'lı çekme mukavemeti/ana kompozitin çekme mukavemeti) % 78,5, % uzama ise 1,72 olarak belirlenmiştir. L.M.Marzoli ve arkadaşlarının [8], AA6061/Al₂O₃/20p MMK levhalara yaptığı SKK sonucunda optimum kaynak performansının % 70,7; L. Ceschini ve arkadaşlarının [9], AA7005/Al₂O₃/10p MMK levhalara yaptığı SKK' da ise % 80 civarında olduğu dikkate alınırsa geçerli bir mukavemet değeri elde edildiği ortaya çıkmaktadır. 900/100 kaynak parametrelerinde

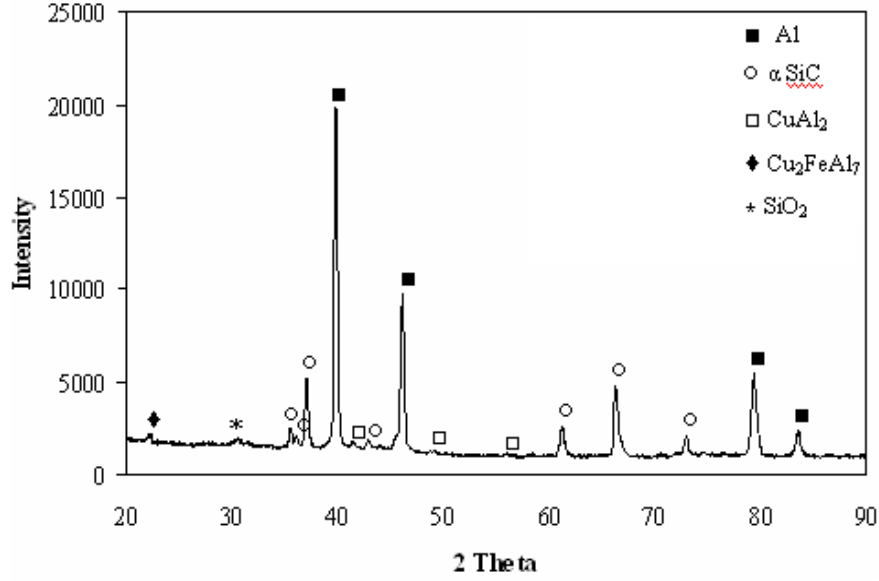
yapılan birleştirme sonrası kaynak performansı ise ancak % 58, % uzama ise 3,33 olarak belirlenmiştir. 900/40 kaynak parametreleri ile birleştirilen MMK levhalar TİY' deki ana metal/ITAB ara yüzey bölgesinden, 900/100 kaynak parametreleri ile yapılan birleştirmelerde ise karışım bölgesinden koptuğu ve tüm kopmaların boyun vermeksizin gevrek kırılma şeklinde olduğu Şekil 12'de görülmektedir. 900/100 kaynak parametreleri ile birleştirilen levhalara çekme deneyi uygulandığında, numunenin karışım bölgesinden koptuğu gözlenmiştir. Bu durum, SKK esnasında sert SiC partiküllerin karıştırıcı ucu aşındırması sonucu karışım bölgesinde % 34,08 gibi yüksek Fe içeriğinin ve Cr, C ve V gibi elementlerin var olması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 9. AA2124/SiCp/25-T4 ana MMK levhanın XRD karakterizasyonu (XRD characterization of base AA2124/SiCp/25-T4 MMC)



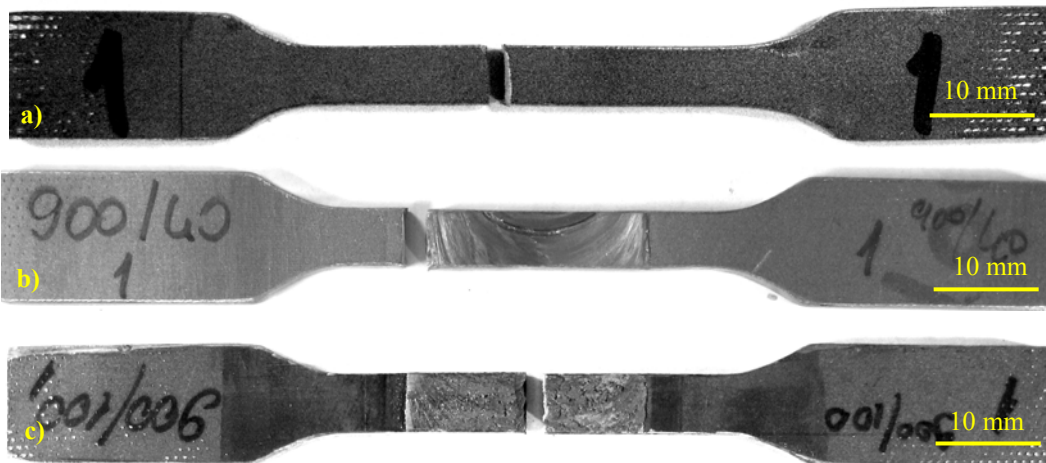
Şekil 10. 900/100 kaynak parametrelerinde SKK yapılan MMK' nın kök kısmındaki XRD karakterizasyonu (XRD characterization in root side of FSWed MMK at 900/100 welding parameters)



Şekil 11. 900/100 kaynak parametrelerinde SKK yapılan MMK'nın kaynak yüzeyindeki XRD karakterizasyonu (XRD characterization in top side of FSWed MMC at 900/100 welding parameters)

Tablo 4. Ana kompozit levha ile SKK sonrası çekme mukavemeti değerleri (Tensile tests results of the base composite and the FSWed joint)

Malzeme	Takım dönme hızı (dev/dak)	Takım ilerleme hızı (mm/dak)	Çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kaynak performansı (%)	Kopma Bölgesi
SKK Yapılmış AA2124/SiCp/25-T4	900	40	357,12	1,72	78,50	TiY'deki ITAB/ana metal arayüzeyi
		100	262,93	3,33	58	Karışım bölgesi



Şekil 12. SKK yapılan ve AA2124/SiCp/25-T4 ana metal matrisli kompozitin çekme deneyi sonrası kopma tipleri; a) Ana MMK'nın kopma bölgesi, b) 900/40 kaynak parametresindeki kopma bölgesi, c) 900/100 kaynak parametresindeki kopma bölgesi (Fracture types of FSWed and AA2124/SiCp/25-T4 base MMC after tensile tests; a) Fracture zone of base MMC, b) Fracture zone at 900/40 welding parameter, c) Fracture zone at 900/100 welding parameter)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

1. AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhaların SKK tekniği ile 900/40 ve 900/100 kaynak parametreleri kullanılarak yapılan birleştirme işlemleri, başarıyla gerçekleştirilmiştir.
2. Düşük takım ilerleme hızı (900/40) ile yapılan SKK' lı birleştirmede karıştırıcı uç aşınmamış ve yüksek ilerleme hızı (900/100) ile yapılan birleştirme sonucunda karıştırıcı ucun uç kısmının % 10, kök kısmının ise % 5 oranında aşındığı tespit edilmiştir.
3. Takım aşınması olmayan 900/40 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmede, çekme mukavemeti 357,12 MPa elde edilirken, takım aşınması olan 900/100 kaynak parametresi ile yapılan birleştirme işlemi sonucunda 262,93 MPa çekme mukavemet değeri elde edilmiştir. Dolayısıyla, kaynak performansı değerleri de % 78,5' den % 58' e düşmüştür.
4. 900/100' lük kaynak parametresi ile yapılan birleştirmelerde elde edilen düşük mukavemet değerinin sebebi olarak, SKK esnasında sert SiC partiküllerin, HSS çeliğinden imal edilen karıştırıcı ucu aşındırması sonucu karışım bölgesinde % 34,08 Fe, % 27,28 C, % 1,11 Cr, ve % 0,43 oranında V elementlerinin varlığından dolayı oluşan Cu_2FeAl_7 intermetalik fazının SiC ve Al matris arasındaki ara yüzey bağlantısını azalttığı belirlenmiştir.
5. Yüksek ilerleme hızlarında yapılacak çalışmalar için aşınma direnci yüksek olan çok kristalli kübik boron nitritli (PCBN) takımlar kullanılarak, ya da birleştirme öncesi ön tavlama ile bu tarz aşınma problemlerinin en aza indirilebileceği düşünülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, FEN-DKR-270306-0053 nolu proje kapsamında verdiği destekten ötürü, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine sonsuz şükranlarını sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Urena A., Escalera MD., Gil L., "Influence of interface reactions on fracture mechanisms in TIG arc-welded aluminum matrix composites", **Composite Science and Technology**, vol. 60, 613–622, 2000.
2. Huang R.Y., Chen SC., Huang J.C., "Electron and laser beam welding of high strain rate superplastic Al-6061/SiC composites", **Metallurgy and Material Transaction A**, Vol. 32A, 2575–2584, 2001.
3. Wang H.M., Chen Y.L., Yu L.G., "In-situ' weld-alloying/laser beam welding of SiCp/6061Al MMC", **Mater. Sci. Eng.**, Vol. A 293, 1–6, 2000.
4. Ellis MBD., "Joining of Aluminium Based Metal Matrix Composites", **International Material Review**, 41(2), 41- 58, 1996.
5. Urena A., Escalera M.D., Gil L.: "Influence of Interface Reactions on Fracture Mechanisms in TIG Arc-welded Aluminium Matrix Composites", **Composite Science. Technology**, Vol. 60, 613-622, 2000.
6. Wert, J.A.: "Microstructures of Friction Stir Weld Joints Between an Aluminum Base Metal Matrix Composite and a Monolithic Aluminum Alloy", **Scripta Materialia**, Vol. 49, 607-612, 2003.
7. Liua H.J., Fenga J.C., Fujiib H., Nogib K., "Wear characteristics of a WC-Co tool in friction stir welding of AC4AC30 vol %SiCp composite", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol. 45, 1635–1639, 2005.
8. Marzoli L.M., Strombeck A.V., Santos J.F.D., Gambaro C., Volpone L.M., "Friction stir welding of an AA6061/Al₂O₃/20p reinforced Alloy", **Composites Science and Technology**, Vol.66, Issue: 2, 363, 2006.
9. Ceschini L., Boromei I, Minak G., Morri A., Tarterini F., "Effect of friction stir welding on microstructure, tensile and fatigue properties of the AA7005/10 vol.%Al₂O₃p composite", **Composite Science and Technology**, Vol.67, 605, 2007.
10. Uzun, H., Done, C.D., Argagnotto, A., Ghidini, T., Gambaro, C., "Friction Stir Welding of Dissimilar Al 6013-T4 to X5CrNi18-10 Stainless Steel", **Materials and Design**, Vol. 26, 41-46, 2005.
11. Yan, J., **Fundamental Study in FSW Processing and FSW Process-Structure-Property Relationship for AA2024 and AA2524**, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering and Information Technology, University of South Carolina, 2004.
12. Mishra, R.S., Ma, Z.Y., "Friction Stir Welding and Processing", **Materials Science and Engineering**, R 50, 57-58, 2005.
13. Prado R.A., Murr L.E. , Soto K.F., McClure J.C., "Self-optimization in tool wear for friction-stir welding of Al 6061-20% Al₂O₃ MMC", **Materials Science and Engineering A349**, 156-165, 2003.
14. Prado R.A., Murr L.E., Shindo D.J., Soto K.F., "Tool wear in the friction stir welding of Al Alloy 6061+20% Al₂O₃ ; a preliminary study" **Scripta Materialia**, Vol.45, 75-80, 2001.
15. Fernandez G.J.; Murr L.E.: "Characterization of Tool Wear and Weld Optimization in the Friction Stir Welding of Cast Aluminum 359 + 20 % SiC Metal Matrix Composite", **Materials Characterization**, Vol.52, 65-75, 2004.
16. Lee W.B., Leea C.Y., Kim M.K, Yoon J.I., Kim Y.J., Yoen Y.M., Jung S.B., "Microstructures and wear property of friction stir welded AZ91Mg/SiC particle reinforced composite",

- Composites Science and Technology**, Vol. 66, 1513–1520, 2006.
17. ISO/TTA 2.: “Tensile Tests for Discontinuously Reinforced Metal Matrix Composites at Ambient Temperatures”, First Edition, **Technology Trends Assessment**, 04-15. 1997.
 18. Uzun, H., Yılmaz, R., Fındık, F., “Alüminyum Alaşımları için Süper Birleştirme Yöntemi: Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ve Uygulamaları”, **Metal Dünyası**, Sayı: 118, 75-82, 2003.
 19. Bozkurt, Y., **Sürtün. Karıştırma Kaynak Tekniği İle Birleştirilen AA2124/SiCp/25 Komp. Levhaların Mekanik Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu**, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
 20. Feng, A.H., Ma, Z.Y., “Formation of Cu_2FeAl_7 Phase in Friction Stir Welded SiCp/Al-Cu-Mg Composite”, **Scripta Materialia**, 57, 1113-1116, 2007.
 21. Feng, A.H.; Ma, Z.Y.: “Effect of Microstructural Evolution on Mechanical Properties of Friction Stir Welded AA2009/SiCp Composite”, **Composites Science and Technology**, Vol.68, 2141-2148, 2008.
 22. Cavaliere P.: “Mechanical Properties of Friction Stir Processed 2618/Al₂O₃/20p Metal Matrix Comp.”, **Composites**, Part A36, 1657-1665, 2005.

