

T.C
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ FARKLI TAKVİYE ORANLARINA
SAHİP KOMPOZİT MALZEMELERİN
KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAHADIR İŞCAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2021

T.C
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ



ALÜMİNYUM MATRİSLİ FARKLI TAKVİYE ORANLARINA
SAHİP KOMPOZİT MALZEMELERİN
KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAHADIR İŞCAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2021

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2021FEBE016 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

BAHADIR İŞCAN

ÖZET

ALÜMİNYUM MATRİSLİ FARKLI TAKVİYE ORANLARINA SAHİP KOMPOZİT MALZEMELERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BAHADIR İŞCAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ VOLKAN ONAR)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2021

Gelişen teknolojiyle birlikte piyasada daha yüksek mukavemetli, daha estetik ve aynı zamanda maliyet açısından daha uygun malzeme arayışları ortaya çıkmıştır. Bu gibi durumlarda saf malzemeleri çeşitli takviye elemanları ile güçlendirerek istenilen değerlere ulaşılmaktadır. Bu çalışmada, tasarımcılar tarafından estetik ve hafif olması gibi avantajları nedeniyle çokça tercih edilen AA6082 alüminyum alaşımı, en yaygın olarak kullanılan takviye elemanlarından biri olan SiC ile güçlendirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, SiC takviyeli alüminyum kompozit malzemeler karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiş ve ardından deneysel çalışmalar için numuneler çıkarılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda, karıştırmalı döküm yöntemiyle SiC takviyesi kullanılarak üretilen malzemelerin, CMT kaynağı yöntemi ile farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmelerinde kaynaklanabilirliği ve takviye elemanlarının birleştirmelere etkileri incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: CMT, SiC, KOMPOZİT, ALÜMİNYUM

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT REINFORCEMENT RATIOS

**MSC THESIS
BAHADIR İŞCAN
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
AUTOMOTIVE ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. VOLKAN ONAR)

DENİZLİ, AUGUST 2021

With the developing technology, necessities for more durable, more aesthetic and at the same time more cost-effective materials have arisen in the market. In such cases, the desired values are achieved by strengthening pure materials with various reinforcement elements. In this study, AA6082 aluminum alloy, which is widely preferred by designers due to its advantages such as aesthetics and lightness, is reinforced with SiC which is one of the most used reinforcement elements. In the study, aluminum composite materials reinforced with SiC were produced by the stir casting method and then samples have prepared for experimental studies. As a result of the experimental studies, the weldability of aluminum matrix composites, reinforced with different SiC ratios, that produced by using the stir casting method in the CMT welded joints made by using different parameters, and the effects of the reinforcement elements on the joints were investigated.

KEYWORDS: CMT, SIC, COMPOSITES, ALUMINIUM

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
GRAFİK LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUMLAR VE ALAŞIMLARI.....	2
2.1 Alüminyum ve Önemi	2
2.2 Alüminyum Alaşımının Gruplandırılması	3
2.3 Alüminyum Alaşımının Kaynaklanabilirliği.....	4
2.4 Alüminyum Alaşımının Otomotiv Endüstrisinde Kullanım Alanları	4
3. KOMPOZİT MALZEMELER	5
3.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	5
3.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	5
3.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
3.3.1 Yapı Bileşenlerinin Şekillerine Göre	6
3.3.2 Matris Malzemesine Göre.....	6
3.3.2.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	6
4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	8
4.1 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	9
4.1.1 Karıştırma Döküm	9
5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	10
5.1 Ergitme Kaynağı Yöntemleri	10
5.1.1 Gaz Altı (MIG/MAG) Kaynağı	10
5.1.2 Tungsten Ark (TIG) Kaynağı	11
5.1.3 Lazer Kaynağı.....	11
5.1.4 Soğuk Metal Transferi Kaynağı (CMT)	12
5.2 Katı Hal Kaynağı Yöntemleri.....	12
5.2.1 Difüzyon Kaynağı.....	12
5.2.2 Sürtünme Karıştırma (FSW) Kaynağı	13
6. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	14
7. MATERYAL METOD.....	64
7.1 Kum Kalıp Hazırlama.....	64
7.2 Takviye Elemanı İlavesi	65
7.3 Kaynaklı Birleştirme için Numune Hazırlanması	66
7.4 Kaynaklı Birleştirme İşlemi	67
7.5 Çekme Testi, Mikroyapı, XRD ve Sem Analizleri.....	68
8. SONUÇLAR.....	70
8.1 Çekme Deneyi Sonuçları.....	70
8.2 Mikro Yapı Sonuçları.....	83

8.3	Makro Yapı Sonuçları.....	97
8.4	SEM Sonuçları.....	101
8.5	EDS Sonuçları.....	103
8.6	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	107
9.	TARTIŞMA	110
10.	KAYNAKLAR	114
11.	ÖZGEÇMİŞ.....	125

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Döküm yöntemiyle imal edilen bazı alüminyum otomobil parçaları	4
Şekil 2. Metal matrisli kompozitlerden yapılmış F16 gövde arkası kanatları	7
Şekil 3. Partikül takviyeli MMK kompozit fren elemanları	7
Şekil 4. Kum kalıp hazırlama işlemi.....	65
Şekil 5. Döküm fırını ve karıştırıcı uç	65
Şekil 6. Takviye elemanı hazırlanması (SiC)	66
Şekil 7. Kaynaklı birleştirme için hazırlanan numuneler	66
Şekil 8. Yapılan kaynaklı birleştirmeler	67
Şekil 9. Çekme testi numunelerinin şematik gösterimi	68
Şekil 10. Çekme testi işlemi	68
Şekil 11. Çekme testi görüntüsü	68
Şekil 12. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri.....	83
Şekil 13. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	83
Şekil 14. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	84
Şekil 15. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	84
Şekil 16. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	85
Şekil 17. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	85
Şekil 18. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	86
Şekil 19. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	86
Şekil 20. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	87
Şekil 21. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	87
Şekil 22. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	88
Şekil 23. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	88
Şekil 24. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	89
Şekil 25. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	89
Şekil 26. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	90
Şekil 27. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	90

Şekil 28. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	91
Şekil 29. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	91
Şekil 30. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri	92
Şekil 31. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	92
Şekil 32. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	93
Şekil 33. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	93
Şekil 34. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	94
Şekil 35. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	94
Şekil 36. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	95
Şekil 37. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	95
Şekil 38. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	96
Şekil 39. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri.....	96
Şekil 40. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların EDS analizleri	103
Şekil 41. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	103
Şekil 42. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	104
Şekil 43. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	104
Şekil 44. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların EDS analizleri	105
Şekil 45. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	105
Şekil 46. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	106
Şekil 47. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri	106
Şekil 48. Sertlik ölçümü gerçekleştirilen noktaların şematik gösterimi	107
Şekil 49. Sertlik ölçme işlemi	107
Şekil 50. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen saf numunelerin sertlik değerleri.....	108
Şekil 51. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %3 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri	108
Şekil 52. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %6 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri	109
Şekil 53. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %9 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri	109

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Saf alüminyumun genel özellikleri	2
Tablo 2. Alüminyum Alaşımlarında Temper Numaralarının Açıklamaları	3
Tablo 3. AA6082 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.....	64
Tablo 4. AA6082 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	64
Tablo 5. AlMg4,5Mn kaynak telinin kimyasal bileşimi	67
Tablo 6. AlMg4,5Mn kaynak telinin mekanik özellikleri.....	67
Tablo 7. Kaynaklı birleştirmelerin ısı girdisi değerleri	68
Tablo 8. Kaynaklı birleştirmeleri yapılmış numunelerden ölçülen çekme deneyi değerleri.....	70
Tablo 9. Farklı yöntemlerle birleştirilen 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri	97
Tablo 10. Farklı yöntemlerle birleştirilen %3 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri	98
Tablo 11. Farklı yöntemlerle birleştirilen %6 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri	99
Tablo 12. Farklı yöntemlerle birleştirilen %9 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri	100
Tablo 13. Farklı yöntemlerle birleştirilen farklı oranlarda SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerde kaynak geçişlerinin SEM görüntüleri.....	101
Tablo 14. Farklı yöntemlerle birleştirilen farklı oranlarda SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerde kaynak bölgelerinin SEM görüntüleri.....	102

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa

Grafik 1. CMT kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	71
Grafik 2. CMT kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	71
Grafik 3. CMT kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	72
Grafik 4. CMT kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	72
Grafik 5. CMT kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	73
Grafik 6. CMT kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	73
Grafik 7. CMT kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	74
Grafik 8. CMT kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	74
Grafik 9. PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	75
Grafik 10. PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	75
Grafik 11. PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	76
Grafik 12. PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	76
Grafik 13. PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	77
Grafik 14. PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	77
Grafik 15. PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	78
Grafik 16. PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	78
Grafik 17. CMT ve PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	79
Grafik 18. CMT ve PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	79
Grafik 19. CMT ve PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	80
Grafik 20. CMT ve PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması	80
Grafik 21. CMT ve PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	81

Grafik 22. CMT ve PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması.....	81
Grafik 23. CMT ve PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması	82
Grafik 24. CMT ve PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması.....	82

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bana desteklerini esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve tecrübesi ile her anlamda yardımcı olan, danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR'a ve sayın hocam Doç. Dr. Arzum İŞİTAN'a, tez çalışmasının kaynaklı birleştirmelerinde sonsuz destek sağlayan İstanbul Fronius firmasına, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, hep yanımda olan, bir an olsun bile umutsuzluğa kapılmama izin vermeyen aileme ve kız arkadaşşıma yürekten teşekkür ederim.

BAHADIR İŞCAN

Denizli,2021

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde en çok bulunan 3. element olan alüminyum, başlarda doğada oksit ve oksit karışımları biçiminde bulunmaktaydı. Alüminyum, 19.yy'ın ilk yarısında metal olarak elde edilmeye başlanmış ve ikinci yarısında teknik olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bauxit adı verilen cevherden kimyasal ön arıtma işlemi ile elde edilen alüminanın elektrolitik indirgenmesiyle saf alüminyum üretilebilmiştir. Alüminyum alaşımlarının çökelme yoluyla sertleşmesiyle arttırılması mümkün olduktan sonra alüminyum esaslı malzemelerin çok yaygın bir şekilde kullanılmasına başlanmıştır. Günümüzde çelikten sonra en çok kullanılan metal alüminyum olmuştur. Alüminyum alaşımlarında daha belirgin olan yoğunluğun dayanıma oranının yüksek olması, hafif malzeme kullanımının öncelikli olduğu konstrüksiyonların (uçak, otomobil, silah ve kamp donanımları vb.) çoğu için alüminyumun uygun bir malzeme olmasını sağlamaktadır.

Elektrik iletkenliği konusundaki avantajından dolayı alüminyum alaşımları, yüksek gerilim hatlarında da bakıra karşı güçlü bir rakip olmaktadır. Hava ve diğer birçok ortamda korozyona karşı olan dayanıklılığından dolayı estetik görünüş istenilen ev aletleri imalatı ve mimari tasarımlar gibi alanlarda sıkça tercih edilmektedir. Elektrokimyasal gerilim serisindeki durumundan dolayı, asal metal sınıfında olmayan alüminyumun korozyona karşı olan dayanıklılığı, yüzeylerini kaplayan oksit tabakasından ileri gelmektedir. Bu koruyucu tabakanın bozulması durumunda, doğal oksitlenme sayesinde yeniden oluşabilir ve ayrıca ortamdaki asitlerin oksitleyici olma durumlarının yüksekliğine bağlı olarak, aynı oranda kararlı davranış sergilemektedir. Örnek olarak; nitrik asitin, alüminyum kaplarda nakil işlemlerinin sağlanabilmesi. Alüminyumdaki doğal koruyucu tabakasını kuvvetlendirmek için, kromatlama ve kimyasal fosfatlama yapılabilmektedir. Ancak alüminyumun elektrolitik olarak oksitlenmesi aynı amaçla daha yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Sülfürik veya kromik olmak üzere çeşitli asitli banyolarda gerçekleştirilen bu işlemde aynı zamanda, yoğunluğu arttırılan saydam yüzey tabakasının renkli olması, değişik elektrolit katkılarıyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntem, alüminyum veya alaşımlarının kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmasında büyük önem arz etmektedir.

2. ALÜMİYUMLAR VE ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyum ve Önemi

1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmasıyla yeryüzünde üçüncü en yaygın olarak bulunan alüminyumun endüstriyel olarak üretimine başlanmıştır. (Assan)

Alüminyumun kolay soğuma ve ısıyı emebilme özelliklerinden dolayı soğutma sanayisinde kullanımı geniştir. Bir çok sektörde kullanılması, alüminyumun kolay/çok bulunabilirliği ve bakır gibi malzemelerden daha ucuz olması, malzeme yumuşaklığı nedeniyle işlenebilirliğinin de yüksek ve kolay olması ile bağdaştırılabilir.

Hafif metal kategorisinde bulunan alüminyum, uzay araçları ve uçaklar gibi üst seviye araçlarda kullanıldığı gibi inşaat sektöründe de iletkenlik özelliği sayesinde elektronik araç ve gereçlerin üretiminde de kullanılmaktadır.

Görünümünün parlak olması alüminyumun bazı tarz mobilya, hobi malzemeleri vb. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Ağırlıklarına oranlara yüksek dayanıklılık oranlarına sahip olan alüminyumlar bu özelliklerinden dolayı cephe kaplaması olarak da tercih edilir. 21. Yüzyılın en yaygın kullanılan metalleri arasında olan alüminyum, inşaat, havacılık ve mutfak sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. (Sahin 2009).

Tablo 1: Saf alüminyumun genel özellikleri (Tımaç 2006).

Sembol	Al	Elastik Modül	7.2
Atom Numarası	13	Kayma Modülü	2.7
Atom Ağırlığı	26.97 g/mol	Çekme Dayanımı	4-9 kg/mm ²
Kristal Yapısı	YMK	Akma Sınırı	1-3 kg/mm ²
Yoğunluğu(25°C)	2.7 g/cm ³	Uzama%	60
Ergime Nok.	650°C	Kopma Uzaması%	30-40
YK. Sıcaklığı	150-300°C	ÇD. Tokluğu	10 kg/cm ²
Buharlaşma Nok.	2450°C	Sertlik(BHN)	17
Özgül Isısı	0.224 cal/g(100°C)		

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması

Üretim yöntemlerine göre döküm ve dövme olarak iki alt grupta incelenen alüminyum alaşımlarının bu iki yöntemle birlikte üretim şekillerinin farklı gereksinimlere dayandığı görülmektedir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımları, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikroyapı ve kimyasal bileşime sahiptirler.

Tablo 2: Alüminyum Alaşımlarında Temper Numaralarının Açıklamaları (Sahin 2009).

Temper No	Açıklama
F	İmal Edildiği şekilde
O	Tavllanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda)
H	Soğuk Şekillendirilmiş
H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş
H12	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar
H2X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavllanmış
H3X	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
W	Çözelti ısı işlemi görmüş
T	Yaşlandırılmış
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözelti ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısı işlemi görülmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısı işlemi görmüş ve kararlaştırılmış
T8	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında; gerçekleştirilen ısı işlemine bağlı olarak alaşımların dayanımını arttıran bir çökeltme sertleşmesi gerçekleşmektedir. Alüminyum alaşımlarında sahip olunmak istenilen mukavemet değerlerini, uygulanan çeşitli tarzdaki ısı işlemlerle elde edebilmek mümkündür. Isıl işleme elverişli alüminyum alaşımları serilerinin 2000, 6000 ve 7000 olarak üç ana grubu bulunmaktadır. Isıl işlemin kullanılması uygun olmayan bazı alüminyum alaşımları ise çökeltme yoluyla sertleştirilemediği için, başka bir yöntem olan soğuk işleme yöntemi ile dayanımlarının arttırılabilmektedir. Katı eriyik mukavemetlendirmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlendirmesiyle

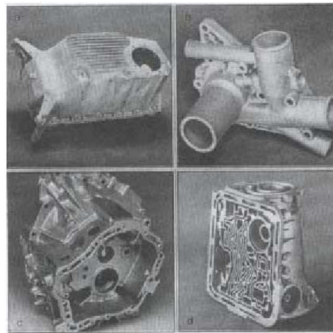
mukavemetlendirilirler. 1..., 3... ve 5... serileri olmak üzere ısıtım işlem yönteminin gerçekleştirilemediği alüminyum alaşımları ise üç gruba ayrılmaktadır. (Sahin 2009).

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği

Alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliği yüksek olan serileri, ısıtım işlem uygulanamayan 1xxx, 3xxx ve 5xxx serileridir. Isıtım işlem uygulanabilen 2xxx ve 4xxx serilerinin kaynak edilebilirlikleri imkansız olmasa da bu durum bazı özel metodlarla mümkün olabilmektedir. Bu durum alüminyumun, kaynak sonrasında düşük süneklik değerlerine sahip olmasına neden olabilmektedir. Dayanım değerleri yüksek ve ısıtım işlem uygulanabilen 6xxx ve 7xxx serisi alüminyumlar da kaynaklanabilirler ancak bu numunelerin ITAB (Isıtım tesiri altındaki bölge)'lerinde gevreklik meydana gelir.

2.4 Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endüstrisinde Kullanım Alanları

Günümüzde birçok otomobil markası çeliğin yanında alüminyum ve alaşımlarına da yer vermektedir. Bunların en başında genellikle döküm ile üretilen dişli kutuları, silindir kafaları, yağ karterleri, su pompası kutuları, debriyaj kutuları ve otomatik vites kutuları gibi ürünler yer almaktadır. Alüminyumun bu gibi yerlerde kullanımının başlıca nedeni, emniyet ve güvenilirlik gibi hayati konulardan ödün vermeden ağırlığın azaltılmasına olanak sağlamasıdır. Hafif malzeme olarak alüminyum ve alaşımlarının kullanılması aynı zamanda, yakıt tüketiminin azaltılması ve daha düşük egzoz emisyon değerleri gibi avantajlar sağlamaktadır. Alüminyumun korozyona karşı dirençli olması aynı zamanda, çelikte olduğu gibi boyanın çizilmesi durumunda paslanma sorununu ortadan kaldırmaktadır. (Sahin 2009).



Şekil 1: Döküm yöntemiyle imal edilen bazı alüminyum otomobil parçaları

a) yağ karteri, b) su pompası kutusu, c) debriyaj kutusu, d) otomatik vites kutusu (Sahin 2009).

3. KOMPOZİT MALZEMELER

En az iki değişik türdeki malzemenin birbirinin zayıf özelliklerini minimize ederek değişik yöntemlerle bir araya getirilmesiyle oluşan malzeme sistemine kompozit denir.

3.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzemelerin en genel özelliklerinden birincisi ağırları ciddi oranda azaltabilmesine imkân tanınmasıdır. Bu nedenle havacılık sektörü kompozitlerin en çok kullanıldığı yerlerden biridir. İç yapı bileşenlerinin türünden dolayı çok yüksek dayanımlara erişebilmektedirler.

3.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

İyi iç yapı özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler;

- Yüksek mukavemet
- Yüksek Elastisite modülü
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek sürünme dayanımı
- Yüksek ısı dayanımı
- Korozyona karşı yüksek dayanım özellikleri bakımından güçlü oranlara sahiptirler.

Bununla birlikte kompozit malzemelerin;

- Yüksek üretim ve hammadde maliyetleri
- Sınırlı raf ömürleri
- Çok sayıda ekstra ekipman
- Değişik doğrultuda değişik mekanik özelliklere sahip olmaları gibi bazı nedenler gibi dezavantajları da mevcuttur. (Ünal 2011).

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerini sınıflandırılmasında, yapı malzemeleri ve bileşen şekilleri ana iki sınıflandırma kriterleridir.

3.3.1. Yapı Bileşenlerinin Şekillerine Göre

Kompozit malzemeler, yapı bileşenlerinin şekillerine göre;

- Partikül Takviyeli Kompozitler
- Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler
- Tabaka Yapılı (Lamine) Kompozitler
- Dolgu Yapılı Kompozitler olarak 4 başlık altında incelenirler.

3.3.2. Matris Malzemesine Göre

Kompozit malzemelerin yapılarını oluşturan matris malzemelerine göre ise;

- Seramik Matrisli Kompozitler
- Polimer Matrisli Kompozitler
- Metal Matrisli Kompozitler olarak 3 başlık altında incelenirler. (Onat 2015).

3.3.2.1. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler, metalik fazın bazı takviye elemanları sayesinde sıcak presleme, difüzyon kaynağı ve vakum emdirme gibi ileri teknikler uygulanarak elde edilirler. (Ünal 2011).

Metal matrisli kompozit malzemeler ek alaşımlarla elde edilemeyen bazı özelliklere sahip olmak için matris ile sürekli/kısa fiber, whisker/partikül şeklinde takviye fazlarına sahiptirler. (Onat 2015).



Şekil 2: Metal matrisli kompozitlerden yapılmış F16 gövde arkası kanatları (Onat 2015).



Şekil 3: Partikül takviyeli MMK kompozit fren elemanları (Onat 2015).

Döküm yöntemiyle metal matrisli kompozit üretimi, takviye elemanlarının ergiyik haldeki ana alaşım ile harmanlanması yoluyla, matris parçacıkları ve kısa lifler ile makro oranda güçlendirilerek üretilir. (Kaczmar ve diğ. 2000).

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan takviye fazları kullanım oranlarına göre sırasıyla SiC, Al₂O₃, TiC, C, B₄C, TiB₂, Gr, Cr₃C₂ şeklindedir. Metal matrisli kompozitlerin üretimindeki takviye fazı ve matrisler arasında güçlü arayüzey oluşumunun, metal matrisli kompozitlerin yüksek esneklik modülü ve dayanıma sahip olma konusunda önemli bir rol oynadığı yapılan literatür çalışmalarınca görülmektedir. (Kalemtaş 2014).

4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemeler, alışlagelen malzemelere karşı son yıllarda kazandıkları üstünlükleri ve popüliteleriyle daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Bu nedenle kompozit malzemelerin üretim teknikleriyle ilgili yöntemler her geçen gün daha da gelişmektedir. Metal matrisli kompozit bir malzemenin üretimi, üretim sonunda istenilen parçanın şekli, matris ve takviye elemanları ve türlerine göre değişiklik göstermektedir.

Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri;

1. Katı Faz Üretim Yöntemleri

- Difüzyon Bağı Yöntemi
- Toz Metalurjisi Yöntemi

2. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

- Sıkıştırma Döküm
- Karıştırma Döküm
- Plazma Püskürtme
- Sıvı Metal İnfiltrasyon

3. Diğer Yöntemler

- Vidalı Ekstrüzyon
- In-Situ Tekniğı
- XD Tekniğı
- Rheocasting ve Compcasting Döküm Teknikleri olarak ayrılmaktadır. (Onat 2015).

4.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin sıvı faz üretim yöntemi ile üretilmesinin diğer üretim yöntemlerinden daha avantajlı noktaları olması, bu üretim yöntemini günümüze kadar birçok üretim hattında ve akademik çalışmada tercih edilir hale getirmiştir. Bu yöntemi diğer yöntemler karşısında bir adım öne çıkaran en önemli avantajın, üretim maliyetleri üzerindeki etkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada ise sıvı faz üretim yöntemlerinden olan karıştırma döküm yöntemi uygulanmıştır.

4.1.1. Karıştırma Döküm

Karıştırma döküm yönteminde, karıştırılan ergimiş metal içerisine öncelikle seramik partiküllerin katılması, katılan partiküllerin homojen dağılımları sonrasında karışımın devam ettirilerek farklı takviye elemanı eklenmiş bir kompozitin belirtilen ve daha önceden belirlenen kalıplara dökülmesi işlemleri esas alınmaktadır.

Karıştırma döküm yöntemi, endüstriyel açıdan çok tercih edilen bir yöntemdir. Seri üretime olanak sağlaması, düşük üretim maliyetleri ve proses basitliği gibi konular bu yöntemin avantajları arasındadır. Bu tekniğin aynı zamanda çok büyük boyutlardaki parçaların döküm işlemlerine de elverişli olduğu bilinmektedir.

Karıştırma döküm yönteminde dikkat edilmesi gereken başlıca konular;

- Bu yöntemle üretilen malzemelerin mikroyapılarında görülen gözeneklilik
- Matris malzemesi ve kullanılan takviye elemanları arasındaki kimyasal reaksiyonlar
- Kullanılan takviye elemanının homojen dağılımında yaşanabilecek zorluk
- Matris malzemesi ve kullanılan takviye arasındaki ıslatılabilirlik şeklindedir.

Bu yöntemle üretilen kompozit malzemelerden kusursuz sonuçlar alabilmek için, matris alaşımındaki takviye elemanının homojen olarak dağılımının ve aralarındaki ıslatılabilirliğin önemli bir rol oynadığı yapılan literatür araştırmaları ile desteklenmektedir.

5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanlarının son yıllarda gittikçe yaygınlaşmasından sonra birleştirme yöntemleri de çok önemli hale gelmiştir. Kompozit malzemelerdeki takviye elemanlarına bağlı olarak sertlik, aşınma gibi özellikler kaynak edilebilirliği de etkilemektedir. (Ünal 2011).

Metal matrisli kompozit malzemelerin kaynaklanabilirliğinde ergitme kaynağı ve katı hal kaynağı yöntemleri tercih edilebilmektedir.

5.1. Ergitme Kaynağı

Geleneksel kaynak yöntemlerinden gaz altı, tungsten ark ve lazer kaynağı yöntemleri ergitme kaynağı olarak metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

5.1.1 Gaz Altı (MIG/MAG) Kaynağı

Eğer kaynaklı üretim, kalın malzemeli veya çok sayıda parçalı bağlantılara sahipse, dolu veya metal özlü teller ile gerçekleştirilen MIG kaynağı optimum yöntem olacaktır.

MIG kaynak yönteminde yüksek oranda metal yığıma hızları sağlayan dolu veya metal özlü tellerin, ilave güç kaynakları, tel sürme ekipmanları ve bir koruyucu gaz kullanılmasını gerektirmesi bu yöntemin maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bunlara rağmen kaynaklı birleştirmelerde, gerçekleştirilen her paso sonrasında cüruf temizle zorunluluğunun olmaması, bu yöntemin avantajlarından birisi olarak görülmektedir.

MIG kaynağı yöntemi genellikle, 6.5 mm'den kalın parçaların kaynaklanmasında kullanılır. Bu kaynaklı birleştirmeler, çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynak yöntemleri ile benzerlik göstermektedir.

Koruyucu gaz olarak, % 1-2 oranında oksijen içeren argon kullanılan kaynak yönteminde, yüksek ısı girdisi gereken anlarda ise oksijen içeren argon gazı yerine

helyum ve argon gazları karışımları da kullanılabilir. Kaynak gazında kullanılan düşük orandaki oksijen ilavesi, neden olabileceği oksidasyondan dolayı metal transferi sırasında, alüminyum ve titanyum gibi bazı alaşım elementlerinin oranca azalmasına sebep olabilmektedir. Bu durum, kaynak metallere gerçekleştirilen ısı işlemlere karşı, kaynak metalinin davranışlarında azalmalara neden olabilmektedir. (Odabaş 2007).

5.1.2 Tungsten Ark (TIG) Kaynağı

Manuel ya da otomatik olarak yapılabilen TIG kaynağı yöntemleri, 6.5 mm'ye kadar kalınlıklara sahip olan ve çökme ile sertleşmeye uygun tarzdaki paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Genellikle, doğru akım ve negatif kutuplu elektrot tercih edilmektedir. Buna ek olarak, alüminyum içeren paslanmaz çeliklerin kaynağında, ark temizleme etkisinin yüksek olmasından dolayı alternatif kaynak akımı da tercih edilebilmektedir. (Odabaş 2007).

5.1.3 Lazer Kaynağı

Bu kaynak yöntemi temassız bir şekilde ışın kullanarak yapılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak sonrası nüfuziyetinin iyi olması, ince ve düzgün bir kaynak dikişi sağlaması, oldukça hızlı yapılabilmesi, az ya da hiç oluşmayan deformasyon ve çarpıklıkları sağlayan dar alandaki ısı girdisi en önemli özelliklerindedir.

Bu kaynak yönteminin dezavantajları ise en başta maliyetinin yüksek olması, sert malzemelerin kaynağında darbeli lazer kullanılmasından dolayı kaynağın kırılma olmasına sebep olması ve yansıtma özelliği yüksek olan metallerin kaynağının güç olmasıdır.

5.1.4. Soğuk Metal Transferi Kaynağı (CMT)

Son zamanlarda kaynaklı birleştirmelerdeki yüksek ısı girdilerinin azaltılabilmesi adına gerçekleştirilen çalışmalarda MIG kaynak yöntemi ile birlikte entegre bir şekilde çalışabilen yeni bir kaynaklı birleştirme türü haline gelen soğuk metal transferi kaynağı (CMT), sahip olduğu düşük ısı girdisi özelliği ile havacılık, uzay ve otomotiv sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sahip olduğu özellikler sayesinde bu yöntem, çok ince malzemelerin ya da birbirinden farklı metallerin kaynaklanabilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu kaynak işleminde, metal transferinin ve ısı girdisinin kontrolü için bir tel elektrod sürme düzeneği bulunmaktadır. Bu düzenek, geleneksel kaynak yöntemleri olan MIG/MAG yöntemlerindeki yüksek ısı girdisi ve sıçratma gibi istenmeyen durumların önüne kaynaklı birleştirme sırasında oluşan yüksek akımı düşürerek ve tel elektrodu geri çekerek engel olmaktadır. Bu yöntemle birlikte kaynak bölgesindeki yüksek ısı büyük ölçüde azaltılıp yüksek ısı girdisinden dolayı gerçekleşebilecek olan kaynaklı birleştirme hatalarının önüne geçilmiş olmaktadır.

5.2. Katı Hal Kaynağı

Metal matrisli kompozitlerin kaynağında yüksek ısı girdisinin etkisiyle takviye ve partiküllerin reaksiyona girmesinden dolayı mikroyapıda değişiklikler meydana gelmektedir. Katı hal kaynak yöntemleri, maliyetli yöntemler olmasına karşın bu ve bunun gibi olası kaynak hatalarını gidermek için metal matrisli kompozitlerde uygulanabilirliği daha yüksektir. (Ünal 2011).

5.2.1 Difüzyon Kaynağı

Belirli bir basınç altında aynı veya farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemi olan difüzyon kaynağı, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Deformasyon oranının düşük olması ve karmaşık

parçaların kaynaklanabilirliğinin yüksek olması difüzyon kaynağının avantajlarındandır. (Keskin ve diğ. 2019).

5.2.2 Sürtünme Karıştırma (FSW) Kaynağı

Katı hal birleştirme yöntemlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynaklı birleştirmelerin gerçekleştirilmesi zor olan malzemelerde, düşük kaynaklı birleştirme süresi, çok az oranda ön hazırlık gerekmesi ve otomasyon uygulanabilirliği gibi özel avantajlarından dolayı tercih edilen bir kaynak yöntemidir. (Şık 2005).

Yüksek oranda enerji verimliliği, kaynaklı birleştirme sırasında oluşmayan kaynak gazı gibi nedenlerden dolayı çevre dostu ve yeşil teknolojiye uygun olarak görülen sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin uygulanması sırasında duman ve ışınl oluşmamasının yanı sıra, ilave tel, toz ya da koruyucu gaz gibi ek elemanlara ihtiyaç duyulmaması, neredeyse tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi ve otomasyon ile tam uyumlu bir şekilde gerçekleştirilebilme olanağı gibi çok sayıda avantajının bulunması, bu yöntemin uygulama alanlarını ve kullanım sıklığını daha da genişletmektedir. (Şık 2005).

6. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Yahya Bozkurt ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilen 2124/SiCp/25 alüminyum kompozit levhaların mekanik özelliklerine, takım aşınmasının etkisini incelemişlerdir. 130x50x3 mm ebatlarında kesilerek levha haline getirilen plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 900 dev/dk takım dönme hızı, 40-100 mm/dk ilerleme hızları ve 2 derecelik takım açısı değerlerini parametre olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, düşük ilerleme hızı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde karıştırıcı ucun aşınmadığını ve yüksek ilerleme hızı ile yapılan kaynaklı birleştirme sonucunda ise karıştırıcı ucun uç ve kök kısımlarının sırasıyla % 10 ve % 5 oranında aşındığını, takım aşınması olmayan kaynaklı birleştirmede, çekme mukavemetini 357,12 MPa, takım aşınması olan kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda ise çekme mukavemeti değerinin 262,93 MPa olarak elde edildiğini ve kaynak performansı değerlerinin de %78,5' den % 58' e düştüğünü gözlemlemişlerdir. (Bozkurt ve diğ. 2011).

Ganapathy T. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum matris kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde sırasıyla, 700, 900, 1120 rpm takım dönme hızları ve 40-63 mm/dk ilerleme hızlarını kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirmeler sonrasında sertlik testi, çekme testi ve mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmişler ve bu incelemelerin sonucu olarak, Cu-Zn-Mg içeren alüminyum alaşım matrisinde %19'a varan Al₂O₃ partiküllerinin çekme mukavemetini ve uzamayı arttırdığını, dönme hızı, kaynak hızı gibi işlem parametrelerinin, kaynak bağlantılarının gerilme mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini, kaynaklı Al kompozitin mikroyapısının, kaynak dikişi bölgesinde Al₂O₃ partiküllerinin homojen dağılımına sahip ince ve yeniden kristalize edilmiş Al matris taneleri sergilediğini gözlemlemişlerdir. (Ganapathy ve diğ. 2015).

K. K. Alaneme ve arkadaşları yaptıkları çalışmada alümina takviyeli alüminyum 6063 metal matris kompozitlerin korozyon davranışını incelemişlerdir. Alüminyum 6063 alaşımına 28 mikron boyutunda alümina takviye etmişlerdir. 250 derecede ön ısıtmada 5 dk boyunca karıştırılarak yapılan işlemin ardından 750 dereceye kadar çıkmışlardır. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, Al(6063)-Al₂O₃ kompozitlerinin NaCl ortamında NaOH ve H₂SO₄ ortamına göre mükemmel korozyon direnci sergilediğini, takviyesiz alaşımın, NaCl ve NaOH ortamındaki kompozitlerden biraz daha üstün korozyon direnci sergilediğini, ancak kompozitlerin, H₂SO₄ ortamında daha iyi korozyon direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir. (Alaneme ve Bodunrin 2011).

Mahmut Can Şenel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada SiC takviyesinin alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapısı ve sertliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada matris malzemesi olarak %99 saflıkta ve 7-15 mikron boyutlarında saf alüminyum tozu kullanmıştır. Toz metalurjisi metoduyla sırasıyla ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 30 SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitleri mekanik karıştırma, öğütme, sinterleme yöntemleri ile üretmişlerdir. Üretilen kompozitlere uygulanan deneysel çalışmaların sonuçları olarak, kompozit yapı içerisinde SiC oranının artmasıyla kompozitin %hacimsel olarak küçülme miktarının, yoğunluğunun ve mikro sertliğinin arttığını, saf allüminyumda sertlik 28HV iken, ağırlıkça %30 SiC katkılı kompozitin sertliğinin 79.3 HV'ye yükseldiğini gözlemlemişlerdir. En iyi sertlik değerine %30 SiC kompozit yapıda ulaştıklarını bildirmişlerdir. Al-SiC kompozit yapısında, SiC partiküllerinin homojen bir yapıda dağılım gösterdiğini, bu partiküllerin dislokasyon hareketini engelleyerek mekanik özellikleri iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. (Şenel ve diğ. 2017).

Hülya Durmuş ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Al-SiC kompozitinin lazer kaynağı ile birleştirilmesini incelemişlerdir. 500 MPa basınç kullanarak 60x10x4 mm boyutlarındaki parçaları toz metalurjisi yöntemiyle üretmişlerdir. . Kaynak işleminde gücü 2300 W ve koruyucu gaz hızını 20 l/dk olarak sabit tutmuşlar ve değişken olarak SiC oranları ve sinterleme sıcaklıkları seçmişlerdir. Kaynak hızını 0.3 m/dk, koruyucu

gazı ise helyum olarak seçmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, kaynaklı AA2014/SiC kompozitlerinde artan takviye oranıyla birlikte çekme dayanımında düşme olduğunu, kaynak metalinde gaz kabarcıklarının olduğunu, en yüksek çekme dayanımının SiC içeren numunelerden 600°C’de sinterlenen %5 SiC takviyeli AA2014 kompozitinde olduğunu gözlemlemişlerdir. (Durmuş ve diğ. 2006).

Nurettin Yavuz yaptığı çalışmada, alüminyum alaşımlarında silisyumun kaynak dikişi mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada seçtikleri Etial 7 alüminyum malzemesine %1 bakır ve %2, 3, 4, 5 silisyum takviyesi yapılarak elde edilen malzemeleri MIG kaynağı ile birleştirmiştir. Kaynaklı birleştirmelerden sonra deneysel araştırmalar için numuneleri hazırlamış ve bu deneylerin sonucu olarak, alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirmelerinde, ITAB’ın, mikroyapı incelemelerinde, ergime çizgisinden ana malzemeye doğru geniş bir alana yayılmadığını, çekme mukavemeti sonuçları bakımından en elverişsiz bölgenin ITAB olduğunu, genel olarak alaşımlarda çekme mukavemetlerinin, kaynaklı bölgelerde düşük, geçiş bölgelerinde yüksek, saf malzemede ise ikisi arasında bir değerde olduğunu gözlemlemiştir. Sertlik değerlerinde ise ısı girdisinin en yüksek olduğu bölgelerde en düşük sertlik değerini, diğer bölgelerde de ısıdan etkilenme derecesine göre sertliğin yükseldiğini tespit etmiştir. (Yavuz 1997).

Emre Ansal yaptığı çalışmada toz metalurjisi ile üretilmiş Al esaslı partikül takviyeli kompozit malzemelerin kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde FeB_x takviye elemanının oranlarını ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 30, 40 ve SiC takviye elemanının oranlarını ağırlıkça %2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 olarak belirlemiştir. SiC_p ve FeB_x tozlarını 1 saat süreyle bilyeli değirmende Al tozları ile homojen olarak karıştırmıştır. Bu işlemlerden sonra kaynaklı birleştirmeleri yapılacak numunelere 60 derecelik kaynak ağızları açtıktan sonra 85 A kaynak akımı ile TIG kaynağı yöntemini kullanarak kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirmiştir. Kaynak işleminden sonra gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucu olarak, metalografik incelemelerde kompozit malzemeler ile kaynak metali arasında çok iyi birleşme

gerçekleştirdiğini, mikrosertlik dağılımlarında kaynak bölgesinde ana malzemeye oranla daha fazla sertlik değerleri görüldüğünü, saf alüminyum numunelerde ana malzemede 25HV sertlik değeri bulunurken kaynak bölgesinde 50 HV sertlik değeri olduğunu gözlemlemiştir. Çekme deneylerinde 40-60 MPa arası gerilme değerleri elde ederek, çekme dayanımları dikkate alındığında Feerbor ve SiC takviyeli kaynaklı numunelerde takviyesiz örneğe göre artış gözlemlemiştir. (Ansal 2008).

Soner Buytoz yaptığı çalışmada alüminyum matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin katı hal birleştirme teknikleri ile kaynak edilebilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada takviye elemanlı kompozit malzemeleri, 10x10x10 mm boyutlarında ve 550-600°C kaynak sıcaklıkları, 1-2 Mpa kaynak basınçları ve 90 dk'lık kaynak süreleri parametreleri ile difüzyon kaynağı tekniğiyle birleştirmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin sonucu olarak, mikroyapıda siyah noktalar şeklinde Mg ve Si bileşiği içeren Al'u gözlemlemiştir. Karıştırma ve döküm sonrası katılaşmadan dolayı yapıda boşluk ve gözenekler gözlemlemiş, katılaşmanın kısmen dentritik olduğunu ve küçük Al₂O₃ dentrit kolları arasına yerleştiğini, büyük boyutlu olanların ise matris tarafından mekanik olarak tutulduğunu belirtmiştir. (Buytoz 1999).

Halil Karakoç ve arkadaşları yaptıkları çalışmada B₄C takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin TIG kaynağı ile kaynaklanabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada üç boyutlu karıştırıcı yardımıyla, AA6061 tozları ile ağırlıkça %10 oranında B₄C tozlarını 45 dakika boyunca karıştırmışlar, karışım tozlarını sırasıyla 300 MPa basınçla soğuk olarak preslemiş ve preslenen numuneleri ise 550°C sıcaklıkta 60 dakika sinterleme işlemi uygulamışlardır. 4 mm kalınlıklarında üretilen kompozit levhaları TIG kaynağı yöntemiyle birleştirmek için 100-130-160-190 A olarak 4 farklı kaynak akımı seçmişlerdir. Kaynak işleminden sonra, mikroyapı, sertlik ve çekme gerilmesi değerlerini analiz etmişler ve bu deneylerin sonuçları olarak, yüksek akım değerlerinde daha gözenekli bir kaynak yapısı oluştuğunu, 130 ve 160 A akım değerlerinde yüksek çekme ve darbe dayanımları, düşük ve yüksek akım değerlerinde ise bu değerlerin daha da düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. (Karakoç ve Çıtak 2017).

Arzum Uluköy yaptığı çalışmada SiC takviye elemanı ile güçlendirilmiş alüminyum matrisli kompozit malzemenin pulse akımlı MIG kaynağı mikroyapı ve eleman dağılımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sinerjik kontrollü MIG kaynak makinesi kullanarak kaynaklı birleştirmelerini gerçekleştirdiği numunelerde parametreleri sırasıyla, 100, 120 amper kaynak akımı, 1 mm çapında SG-ALSi5 kaynak teli kullanmıştır. Kaynaklı birleştirmeler sonrasında mikroyapıları, enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) spektroskopisi ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelemiş ve faz analizlerini, X-ışını kırınım analizörü (XRD) ile gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, SiC oranının artmasının, Al₄C₃ fazının oluşumu üzerinde ısı girdisi değerlerini arttırmaktan daha büyük bir etkiye sahip olduğunu, Al₄C₃ oluşumunun iğneye benzer bir yapı olarak oluşmadığını belirtmiştir. 2014Al/SiC/14p'nin kaynak havuzunda Al₄C₃ oluşumunun gerçekleşmediğini, ayrıca artan ısı girdisi değerlerinin Al₄C₃ fazının oluşumunu etkilemediğini, artan SiC oranına bağlı olarak kaynak havuzunda Al₄C₃ fazı elde edildiğini gözlemlemiştir. Kaynak akımı değeri arttıkça, kaynak havuzunda Mg, Fe ve Mn difüzyonu sonucu intermetalik fazların oluşumunun arttığını, füzyon bölgesinde artan kaynak akımı ile ana malzemedan kaynak havuzuna Mn ve Fe difüzyonunun arttırıldığını ve füzyon bölgesinde darbeli akımdan kaynaklanan Al₄C₃ oluşumunun belirlenmediğini gözlemlemiştir. (Uluköy 2017).

Rohan Ande ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma işlemiyle işlenmiş AA7075/SiC takviyeli alüminyum kompozitin mikroyapısal ve aşınma karakteristiklerini incelemiştir. 120x100x6 mm boyutlarındaki alüminyum plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 1200-1400 rpm takım dönme hızları, 30-40 ilerleme hızları ve 1-3 geçişli kaynak parametrelerini benimsemiştir. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, takım dönüş hızlarının, kaynak dikişi bölgesindeki dönme hızlarına kıyasla SiC parçacıklarının dağılımı üzerinde daha az önemli etkiye sahip olduğunu, sürtünme karıştırma işlemi kullanılarak üretilen AA7075-T651/SiC kompozitin ortalama sertliğinin, temel malzemenin 1,65-2,15 katı arttığını, yani 78 VHN olduğunu gözlemlemiştir. 6 numaralı numunede en yüksek sürtünme kuvveti 10.42 N olduğundan, sürtünme kuvveti için ters eğilim gözlemlemiştir, bundan daha fazla sürtünme kuvvetinin daha fazla güç anlamına

geldiğini belirtmişlerdir. Mikroyapı çalışması yardımıyla, 4 numaralı numunenin karıştırma bölgesinde, daha düşük çapraz hızda işlenmiş, ince dağılmış partiküller gözlemlenmişler, ayrıca, takım dönme hızı, ilerleme hızları, kompozit parçacıkları homojenize etmenin diğer modları, her geçişin yönü, aletin eğim açısı ve geçiş sayısı gibi daha fazla parametre değiştirilerek karıştırmanın ve dolayısıyla parçacık dağılımının iyileştirilmesi için deneyler yapılabileceğini gözlemlenmişlerdir. (Rohan ve diğ. 2019).

K. Sekar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karıştırma ve sıkma döküm ile üretilen AA6082-SiC-ZrO₂ hibrit kompozitin mekanik ve kaynak özelliklerini incelemişlerdir. 220x45 mm boyutlarındaki plakaların döküm yöntemlerinde, 300 rpm dönme hızını 10 dk boyunca kullanmışlardır. Döküm işlemlerinden sonra gerekli deney numunelerini hazırlamışlar ve bu deneylerin sonucu olarak, SEM mikro yapılarının, seramik partiküllerinin homojen dağılımını gösterdiğini, kompozit malzemelerin Charpy testindeki darbe dayanımının ZrO₂ eklenmesiyle baz metale kıyasla %60 oranında olduğunu belirtmişlerdir. Ağırlıkça %1 SiC ve ağırlıkça %0,5 ZrO₂ ile güçlendirilmiş A6082 alaşımı ve hibrit kompozitlerin, temel alaşımla karşılaştırıldığında maksimum gerilme mukavemetlerinin artmış olduğunu, çekme mukavemetinin, baz alaşımlara oranla %33'e kadar arttığını gözlemlenmişlerdir. Kaynaklı kompozitlerde sertlik mukavemetinin, ağırlıkça %1 SiC ve ağırlıkça %1 ZrO₂ içeren numunelerde arttığını, baz alaşımlara kıyasla sertliğin %17'ye kadar arttırıldığını belirtmişlerdir. (Sekar ve diğ. 2018).

S. Venkata Ravi Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada SiC ve Al₂O₃ takviye elemanları ile güçlendirilmiş alüminyum alaşımlarını incelemişlerdir. Farklı araştırmacıların yaptıkları çalışmalara da değinen Ravi Kumar ve arkadaşları, edindikleri bilgilerde diğer araştırmacıların SiC ve Al₂O₃ takviye elemanlarını karıştırma döküm, basınçlı döküm, mekanik ve elektromanyetik karıştırma döküm, savurma döküm ve ultrasonik oda methodlarını kullandıklarını belirtmişlerdir. Araştırmaların sonucu olarak, bilim insanlarının takviye elemanlarına yaptıkları çalışmalarda çok önem verdiklerini, takviye elemanlarının türü ve oranlarının

malzemenin mekanik özelliklerine doğrudan etki ettiğini ve karıştırma döküm yönteminin, partiküllerin alüminyum matris haline getirilmesi için en iyi yöntem olduğu gözlemlenmiştir. (Kumar ve diğ. 2020).

M.B.A. Shuvho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nano boyutlardaki Al₂O₃, SiC, TiO₂ takviye elemanları ile güçlendirilmiş alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin yüzey karakterizasyonu ve mekanik davranışlarını incelemiştir. Yüzey ve parçacık dağılımlarını görmek için mikroyapı ve yüzey morfolojik çalışmaları gerçekleştirmişler ve elementlerin içeriğini belirlemek için Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) ve XRD analizlerini kullanmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, Al₂O₃, SiC, TiO₂ ile takviye elemanları ile takviye edilmiş, 400 rpm dönme hızında 8 dk boyunca karıştırılarak üretilmiş alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin, saf AA6063'e göre daha yüksek sertlik, çekme dayanımı ve akma dayanımına sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca, SiC partikül oranı arttıkça malzemelerin sertliğinin, gerilme mukavemetinin ve akma mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Metal matrisli kompozit numuların SEM cihazıyla incelenmesinin sonucunda mikro aşınma, mikro çatlak, kırılma, boşluk ve sıyrılma gibi oluşumları gözlemlenmiştir. Takviye elemanlarının mikroyapıdaki dağılımının, metal matrisli kompozitlerin nihai özelliklerini etkileyebileceğini gözlemlenmiştir. (Shuvho ve diğ. 2020).

Oğuz Tuncel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada FSW yöntemiyle birleştirilen 6082-T6 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini incelemiştir. Deneysel 3 mm kalınlığındaki numunelere 1000-1500-2000-2500 dev/dk takım devri, 50-43-38 ve 32 dalma hızlarında, 4.5-5 ve 5.5 dalma derinliklerinde 0-2-4-7-9 sn karıştırma süreleriyle gerçekleştirilen birleştirmelerin sonucunda yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre en yüksek çekme kuvvetinin 7,89 kN olduğunu gözlemlenmiştir. En düşük sertlik değerlerine ITAB bölgesinde ulaşılmış ve ITAB sertlik değerinin 60-80 HV arasında değiştiğini gözlemlenmiştir. Takım dalma derinliğinin, karıştırma süresi ve takım dalma hızı değişimlerinde çekme değerleri ısı girdisine bağlı olarak

sertlik değerleri aksine kaynak edilmiş bölge genişliği ile paralellik gösterdiğini gözlemlenmişlerdir. (Tuncel ve diğ. 2015).

Alaaddin Toktaş ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 6063 alüminyum alaşımına FSW kaynak yönteminin uygulanması ve kaynak parametrelerinin malzemelerin iç yapısı ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Ekstrüzyondan çıkan ilk grup malzemelere 70 gün boyunca doğal yaşlandırma uygulamışlar, ikinci grup malzemelere 520 derecede 1 saat çözeltiye alındıktan sonra 185 derecede 4 saat süreyle yapay yaşlandırmışlardır. Son grubu ise 185 derecede 7 saat yaşlandırma uygulamışlardır. Kaynak işleminde dalma derinliğini 3,55 mm olarak sabit tutmuş, 800,1120, 1600 dev/dk takım devri, 200-315 kaynak hızı parametrelerini kullanarak kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda takım devirleri arttıkça ve ilerleme hızı azaldıkça kaynak sıcaklıklarının arttığını, 800 dev/dk takım devrinde kaynak havuzlarının daha küçük olduğunu, 185 derecede 7 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerde esas metaldeki sertliklerin düştüğü, kaynak merkezlerindeki yumuşama bölgelerindeki sertliklerde ise önemli değişiklik olmadığını gözlemlenmişlerdir. (Toktaş ve Tayanç 2006).

Güllü Akbaş ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 6013-T651 alüminyum alaşımının FSW yönteminin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 5 mm'lik parçalara 900-1400 dev/dk, 125-250-315 mm/dk ilerleme hızları parametreleri uygulanarak kaynaklı birleştirmeleri yapılmıştır. Üçgen profilli karıştırıcı pimden dolayı düşük devirlerde daha düşük mukavemet değerine ulaşmışlardır. Devir sayısı arttıkça mukavemet değerlerinin de arttığını gözlemlenmişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler sonrası çıkarılan çekme deneyi numunelerinde kopmaların düşük devirlerdeki çalışmalarda yeniden kristalleşen bölgede, yüksek devirlerdeki çalışmalarda ise ITAB' da meydana geldiğini gözlemlenmişlerdir. Yapılan kaynaklı birleştirmelerde sabit devir kullanıldığında ilerleme hızı arttıkça daha düzgün kaynak yüzeylerine ulaşmışlardır. Sabit devir sayısında kaynak yapılan ilk yüzeyde ilerleme hızı arttıkça mikro sertlikte artış olduğunu belirlemişlerdir. Çekme numunelerinin kopma özelliklerini incelemek için

çekilen SEM fotoğraflarının sonucunda düşük devirlerde gevrek kırılmalar, yüksek devirlerde ısı girdisinin artmasıyla sünek kopmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. (Akbaş ve Kılık 2012).

Beytullah Güngör ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AW 5083-H111 ve AW 6082-T651 alüminyum alaşımlarının FSW ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirmiş ve kaynak sonrası numunelerin mekanik ve metalürjik özelliklerini incelemiştir. 6 mm kalınlığındaki alüminyum alaşım levhaların robotik CMT-MIG kaynak yöntemiyle 1.2 mm'lik ER 5183 kaynak teli kullanarak yapılan birleştirmelerinde 194 A akım, 19.5 V, 0.4 m/dk ve 11 m/dk tel besleme hızı parametreleri kullanılmıştır. FSW yönteminde ise omuzda 48 HRC sertlik değerine ulaşmışlardır. 1250 d/dk devir ile 36 ve 64 mm/dk ilerleme hızıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerde 5083-6082, 6082-6082 çiftlerinin mukavemet değerlerinde literatür değerlerine ulaşılmış ancak 5083-5083 çiftinde çatlakların olduğunu gözlemlenmiştir. Freze ile çıkarılan deney numunelerine çekme, eğilme, sertlik ve yorulma deneyleri yapılmıştır. FSW yönteminde meydana gelmeyen açılma çarpılmanın, robotik CMT-MIG kaynak yönteminde meydana geldiğini gözlemlenmiştir. Ancak robotik CMT-MIG kaynak yönteminde FSW yöntemine göre daha üstün hızlara ulaşmışlardır. En iyi yorulma değerine FSW uygulanan AW 5083-H111 alüminyum alaşımında ulaşan Beytullah Güngör ve arkadaşları, geleneksel kaynak yöntemlerinde ulaşılan mukavemet değerlerini FSW yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirmelerde daha üst seviyelerde ulaşmış ancak robotik CMT-MIG uygulanan numunelerin FSW metoduna yakın değerlerde hatta daha iyi olduğunu saptamışlardır. (Güngör ve diğ. 2014).

Onur Akyel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5 mm kalınlığındaki 5083-H111 alüminyum alaşımı levhaları FSW metoduyla 600, 1200, 1600 devirler ve 50, 100, 200 kaynak hızları ile birleştirmişlerdir. Kaynak parametreleri optimizasyonu için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçları olarak, omuz çapı 15 mm, pim çapı 5 mm olan uç ile FSW yöntemiyle kaynaklanabildiğini gözlemlenmiştir. FSW yönteminde kaynak hızı etkisinin daha fazla olduğunu

belirleyen Onur akyel ve arkadaşları, kaynak devrinin 1200 rpm' e kadar mikro sertlik üzerinde olumlu etkisi olduğunu ancak bu devirden sonra olumsuz sonuçlar doğurduğunu görmüşlerdir. En yüksek mukavemet 600 rpm, 50 mm/dk parametrelerinde görülürken, en düşük mukavemet değerini ise 1600 rpm, 200 mm/dk parametrelerinde belirlemişlerdir. (Akyel ve Aydın 2020).

Onur Kırıcı ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1.5 mm kalınlığındaki AW-5005 alüminyum alaşımı levhaları FSW metodundan yararlanarak üçgen, kare ve pimsiz karıştırıcı takımlar ile birleştirmişlerdir. Yapılan kaynaklı birleştirmede 4 farklı takım dönme hızı ve 2 farklı ilerleme hızından yararlanmışlardır. Kaynaklı birleştirmelerin sonucu olarak en yüksek mukavemet değerine sahip olan numunelerin kare profilli karıştırıcı takımla yapılan kaynaklı birleştirme numuneleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Pimsiz profilli takımla yapılan kaynaklı birleştirmelerde yorulma mukavemeti değeri kare ve üçgen profilli takımlara göre belirgin üstünlük sağladığını belirlemişlerdir. Yorulma deneylerinin sonucunda ise SEM cihazından elde ettikleri görüntülerin ışığında gevrek kırılmaların olduğunu belirlemişlerdir. (Kırıcı ve Kaluç 2012).

Kadir Gündoğan ve Alperen Özşarı yaptıkları çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen 2024 ve 6061 alüminyum matrisli, B4C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin ısı iletkenlik, mekanik ve mikro yapı özelliklerine basıncın etkisini incelemişlerdir. 48 µm B4C tozlarını veya 37 µm SiC tozlarını kullanarak çelik borular içerisine 50x8 mm ölçülerinde preformlar oluşturulmuşlardır. Elde ettikleri kompozitlerin mikro yapı analizleri için SEM mikroskobunu kullanarak inceleme yapmışlardır. Sonuç olarak basınç miktarındaki artışların numunelerin porozite analizi hacimlerinin ciddi anlamda azaldığını gözlemlemişlerdir. Mekanik özellikler bakımından vardıkları sonuçlarda ise B4C takviyeli elemanların SiC takviyeli numunelere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. (Gündoğan ve Özşarı 2019).

Nilay Çömez ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA5754-AA5754, AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 kaynak çiftlerinin ve AA5754, AA6061, AA7075 ve galvanizli çelik sacların (TS EN 10346 DX 51D+Z) kombinasyonundan oluşan farklı metal çiftlerinin CMT kaynağı gerçekleştirmiştir. Değişen ısı girdisine bağlı olarak bağlantının mukavemetinde (çekme, eğme, sertlik), korozyon direncinde ve intermetalik tabaka oluşumunda meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Mikroyapı ve SEM-EDX incelemeleri ile intermetalik tabaka kalınlığı ve kimyasal kompozisyonu belirlenmiştir. İntermetalik bileşiklerin mekanik özellikleri nano indentasyon ile belirlenmiştir. Alüminyum çiftlerinden oluşan bağlantıların korozyon hızları Tafel yöntemi ile tespit etmişlerdir. Artan ısı girdisi ile AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 ve AA6061-AA7075 çiftlerinde mukavemet azalırken, AA5754-AA5754, AA7075-AA5754 ve AA5754-AA6061 çiftlerinin mukavemetinde değişim gözlemlenmiştir. Kaynak sonrası AA5754 ana malzemesinin ITAB'ında sertlik değişmezken, AA6061 ve AA7075 ana malzemelerinin ITAB'ında sertlik düşüşü gözlemlenmiştir. AA5754-AA5754, AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 çiftlerinin eğme dayanımı artan ısı girdisi ile azalmıştır. Farklı alüminyum alaşımlarından oluşan kaynak çiftlerinde ise ısı girdisine bağlı olarak eğme dayanımında düzenli bir artma ya da azalma gözlemlenmiştir. Alüminyum-çelik bağlantılarında, artan ısı girdisi hem çekme hem de eğme dayanımını artırmıştır. Isı girdisinin intermetalik tabaka oluşumunu desteklediği, intermetalik bileşiklerin sertlik ve elastisite modülünü artırarak kaynaklı bağlantının dayanımını artırdığı tespit etmişlerdir. AA7075-AA5754 ve AA7075-AA7075 çiftleri haricinde diğer tüm alüminyum çiftlerinde en düşük korozyon hızı, ısı girdisinin en az olduğu numunelerde görmüşlerdir. (Durmuş ve diğ. 2017).

Uğur Özaraç ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1mm kalınlığına sahip AA6082-T6 levhalar soğuk metal transferi yöntemiyle birleştirmiştir. Çalışmada 1mm kalınlığında AlMg5 ve AlSi5 telleri kullanılmıştır. Numuneler alın alına olacak şekilde hazırlanmıştır. Kaynaklı birleştirme işleminde gaz debisi, kaynak hızı, akım şiddeti, torç açısı ve farklı teller olmak üzere beş farklı parametre kullanmıştır. CMT ile birleştirilmiş numunelerin çekme mukavemeti ve birleşme bölgesi arasındaki mikrosertlik değerleri incelemiştir. Mikro ve makroyapı incelemelerinde optik

mikroskop, noktasal element analiz cihazı EDS ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. Bu çalışmada kaynak hızı, torç açısı, akım şiddeti, gaz debisi ve farklı tellerin kaynaklı birleşme bölgesi ve AA 6082 arasındaki geçiş bölgesinin mikrosertlikleri ve mikroyapılarındaki dağılımları araştırılmıştır. (Özsaraç ve diğ. 2017).

Qing-wei GAO ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Al-Zn-Mg alaşım levhalarının TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Kaynak bölgesinin farklı noktalarındaki faz değişimi ve mikroyapısı tarama elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve enerji dağılım spektrumu (EDS) ile karakterize edilirken mekanik özellikleri darbe testi ile değerlendirilmiştir. Kaynak dikişinde dağılmış bir biçimde küresel ve iğne benzeri bir η ($MgZn_2$) fazı olduğunu gözlemlemişlerdir. Isı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) faz bileşimi α (Al) + η ($MgZn_2$) + Al_6Mn olduğu ve çok sayıda dağılmış nano ölçekli çökelti parçacıkları gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak; darbe testi neticesinde kaynak bölgesinin darbe dayanımının ana metale göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Kaynak bölgesindeki $MgZn_2$ fazı alaşımın tokluğuna katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. (Gao ve diğ. 2019).

Lütfiye Feray Güteryüz ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 550 °C'de sinterlenmiş, bor-karbür (B4C) takviyeli 63- μ m çaplı alüminyum toz matrisinden elde edilmiş olan alüminyum bor-karbür kompozitlerin (Al-B4C) mikro yapıları ve mekanik özellikleri çalışılmıştır. Takviye partikül büyüklüğü ve takviye yüzdesinin yüzey sertlik, basma dayanımı ve mikro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Değişik partikül boyutlarında (22, 77, ve 120- μ m) ve değişik kütle yüzdelerinde (3, 6, ve B4C alüminyum matrise eklenip, 550°C argon atmosferinde sinterlenmiştir. Bunların sonucunda elde edilen mikro yapılar, yoğunluk ve basma testi davranışları çalışılmıştır. Takviye parça büyüklüklerinin ve yüzdelerinin basma dayanımını ve sertlik değerleri üzerinde önemli oranda etkili olduğu gözlenmiştir. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri kompozitlerin mikro yapılarının da bu parametreler

tarafından etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, kimyasal kompozisyonun güvenilir bir biçimde belirlenmesi amacıyla EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) ve X-Işını kırınımı analizleri de yapılmıştır. (Gülyüz ve Çıblak 2010).

Emine Mercan ve arkadaşları AA5754 ve AA6013 serisi alüminyum alaşımların otomatik MIG (Metal İner Gaz) kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin mekanik, korozyon ve mikroyapı üzerine etkisini incelemişlerdir. 5 mm kalınlığında ki alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmelerinde argon koruyucu gazı altında farklı akımlar (125 A, 140A, 155A), farklı kaynak hızları (2.5 mm/s, 3 mm/s, 3.5 mm/s) ve farklı tel ilerleme hızları (3m/dk, 3.5m/d, 4m/dk) kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirme işlemini tek pasoda sola kaydırma yöntemi kullanılarak Fronius TransSynergic 4000 Comfort tipi kaynak makinesi ile gerçekleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra kesilen numuneleri; üç nokta eğme deneyine, çentik darbe deneyine, çekme deneyine, korozyon deneyine, mikrosertlik ölçümüne ve mikroyapı incelemesine tabi tutmuşlardır. Bu çalışma neticesinde; kaynak akımının ve kaynak hızının doğrudan ısı girdisine etkisi nedeniyle, alaşımın mukavemetini etkilediğini gözlemlemişlerdir. (Mercan ve Kahraman 2018).

Sadrettin Tezcan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada alüminyum matrisli bor karbür parçacık takviyeli kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretilmiş, üretilen kompozitlerde mekanik özelliklerinin ve TIG kaynak kabiliyetinin parçacık oranı ile değişimi incelenmiştir. Kompozit üretimi için 40 µm tane boyutunda bor karbür kullanılmıştır. Bor karbürün ıslatmasını iyileştirmek için matrise Ti ilave edilmiştir. Üretilen kompozitlere sertlik ve çekme deneyleri yapılmıştır. Numunelerin mikro yapısı ile kırılma yüzeyleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Üretilen kompozitlerde parçacık oranı artışı ile sertliğin arttığı çekme mukavemetinin ise azaldığı görülmüştür. Al-Ti matrisin sertliği 29,85 HB iken, %5 ve %10 bor karbür içeren kompozitlerin sertliği sırasıyla 43,56 HB ve 46,60 HB olarak bulunmuştur. Partikül miktarının artması ile çekme mukavemetleri 95,6 MPa'dan 84,01 MPa'a düşmüştür. %5 bor karbür içeren kaynaklı kompozitin çekme mukavemeti 67,05 MPa, %10 bor karbür içeren kaynaklı kompozitin çekme

mukavemeti 62,41 MPa olarak bulunmuştur. Parçacık miktarı arttıkça gevrek kırılma yüzeyleri de artmıştır. (Tezcan ve Gürler 2012).

Emel Taban ve arkadaşları 6,45 mm kalınlığındaki AW-5083 ve AW-5086 alüminyum alaşımı levhalarının birleştirilmesinde kullanılan TIG (Tungsten Inert Gas), MIG (Metal Inert Gas) ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemlerinin mekanik ve mikroyapı üzerine etkilerini incelemişlerdir. AW-5083 ve AW-5086 alüminyum alaşım levhalarını eş ve farklı alaşım çiftleri olarak belirtilen kaynak yöntemleri kullanılarak uygun parametrelerde birleştirmişlerdir. Birleştirmelerin neticesinde tüm numuneler çekme deneyi, eğme deneyine tabi tutulmuştur. Alüminyum levhaların TIG ve MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmelerinde ER5356 kaynak teli ve koruyucu gaz olarak argon gazı kullanmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağında ise ilerleme hızını 1.25 cm/dk ve 1600 d/dk devir parametrelerini kullanmışlardır. Bu çalışma neticesinde; TIG ve MIG kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklı birleştirilmelerde ısı girdisinden dolayı çarpılmaların olduğunu ve sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirilmelerde ise çarpılma olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerinin, TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. (Taban ve Kaluç 2004).

Ying Liang ve arkadaşları 6061-T6 alüminyum alaşımı plakalarının birleştirilmesinde kullanılan TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak ve CMT (Cold Metal Transfer) kaynak yöntemlerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 6061-T6 alüminyum levhaların birleştirilmesinde kullanılan TIG ve CMT kaynak yöntemlerini ayrı ayrı uyguladıkları gibi bu kaynak yöntemlerini birlikte de uygulamışlardır. Birleştirilen 6061-T6 alüminyum levhalarının üst kısmına farklı akımlarda TIG kaynak yöntemi uygulanırken eşzamanlı olarak alt kısmına sabit akımda CMT kaynak yöntemi uygulanmıştır. Yaptıkları çalışma neticesinde; amper (A) arttıkça ısı girdisinin arttığını ve bu sebeple nüfuziyetin amperle doğru orantılı olduğunu fakat 6061-T6 alüminyum alaşımındaki sertleşme fazının ısı girdisine karşı hassas olmasından dolayı ısı tesiri

altındaki bölgede (ITAB) mekanik özelliklerin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca ısı tesiri altındaki bölgede Mg₂Si fazının olduğu, kaynaklı birleştirmelerin sertlik eğrisinin kabaca W tipi dağılım gösterdiğini gözlemlemişlerdir. (Ying ve diğ. 2017).

Abdurrahman Aydın ve arkadaşları 5 mm kalınlığındaki AA7075-T651 alüminyum alaşımı levhaların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin yorulma ömrüne etkisini incelemişlerdir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde; farklı dönme hızları (500 rpm, 630 rpm, 800 rpm, 1000 rpm) ve farklı ilerleme hızları (50 mm/dk, 63 mm/dk, 80 mm/dk, 100 mm/dk) kaynak parametresi olarak kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirmeleri yapılan numuneleri, mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme deneyi, eğme deneyi ve yorulma testine tabi tutmuşlardır. Çekme deneyi sonucunda maksimum çekme dayanımının 1000 rpm dönme hızı ve 100 mm/dk kaynak hızı parametrelerinin kullanıldığı numunelerden elde etmişlerdir. Yaptıkları üç nokta eğme deneyi neticesinde tüm numunelerde çatlak oluştuğunu ve kırılmaların kaynak bölgesinden olduğunu gözlemlemişlerdir. Ana malzemenin, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelere göre yorulma dayanımının daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Metalografik incelemeler neticesinde kaynaklı birleştirmelerde boşluk hataları gözlemlemişlerdir. (Aydın ve diğ. 2017)

Gürsoy Arslan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada üretim maliyeti düşük ve seri üretime uygun olan sızdırma yöntemi ile hafif, yoğun ve tok B4C-AI kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu incelenmiştir. B4C-AI kompozitlerinin Ar atmosferi altında ve 985°-1370°C sıcaklık aralığında reaktif ıslatma ile üretilebileceği görülmüştür. Üretilen kompozitlerde oluşan fazlar ve miktarları kantitatif x-ışınları analizi ile sistematik olarak tespit edilmiştir. B4C ile Al arasındaki tepkime hızının sızdırma koşullarının, B4C tozlarının tane boyutunun ve yüzey kimyasının değiştirilerek kontrol edilebileceği görülmüştür. Bor karbürün alüminyum ile reaksiyonu sonucu, sırası ile, Al₃BC ve AlB₂ fazları oluşmakta ve Al₃BC fazı alüminyumun bor karbürü ıslatmasına yol açmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri süreç koşullarına bağlı olarak değişmekte ve kontrol edilebilmiştir.

Kompozitlerin tokluğunun artan serbest alüminyum miktarı ve ligament boyutu ile arttığı görülmüştür. Yapılan balistik deneyler, üretilen B4C-AI kompozitlerinin çoklu çarpmalara dayanıklı zırh malzemesi olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. (Arslan ve diğ. 2001).

Yong Zhao ve arkadaşları 5083 serisi alüminyum alaşımının TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi ile birleştirilmesindeki parametrelerin etkisini incelemiştir. 6 mm kalınlıklarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinde 140 A kaynak akımı, 125 mm/s ilerleme hızı ve parçalar arası 4, 6, 8 mm boşluklar kullanmışlardır. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, beş aktive edici akıda SiO₂'nin, kaynak penetrasyonunun artmasında en belirgin etkiye sahip olduğunu, akı aralığı 4 mm olduğunda, kaynak penetrasyon derinliği 5 mm'ye ulaşabileceğini, ark geriliminin en dikkat çekici dalgalanmasının, SiO₂ akısı ile TIG kaynak işlemi sırasında gözlemlenebildiğini ve ark SiO₂ ile akı bölgesine girdiğinde, belirgin ark daralması gözlemlenebildiğini belirtmişlerdir. Kaynak penetrasyonundaki önemli artışın, sıvı metaldeki ark büzülmesi ve yüzey gerilimi gradyanının tersine çevrilmesi yoluyla kapsamlı etkinin sonucu olduğunu gözlemlemiştir. (Zhao ve diğ. 2011).

Haldun Nüman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 0,65 mm kalınlığa sahip BH 20/34 çelik sac ile 2 mm kalınlığında 5005- H24 alaşımı alüminyum levha CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (ER 4043) teli ile birleştirilmiştir. 2 metalin birleşme arayüzeyleri arasına değişen miktarda boşluk verilerek kaynak işlemi yine değişen tel besleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan numuneler, otomotiv üretimindeki boya fırınlarında olduğu gibi, 180 C sıcaklığa değişen sürelerde maruz bırakılmışlardır. Optimum kaynak parametrelerini belirlemek için L16 Taguchi deney tasarımı yönteminden faydalanılmıştır. Bağlantıların en yüksek çekme dayanımlarını tespit etmek için çekme testi uygulanmış ve buna göre ideal kaynak parametreleri; Tel besleme hızı: 5,5 metre/dakika, parçalar arası boşluk: 0,3 mm ve fırınlama süresi: 0 dakika olarak belirlenmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi amacıyla yorulma testleri uygulanmış, numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji

Dağılım Spektrometresi (EDS) ile analiz edilmiştir. Bağlantıların kaynak bölgelerinden alınan numuneler mikroskobik ve makroskobik olarak incelenmiş, mikro sertlik taraması yapılmıştır. (Nüman ve Taban 2018).

Giovanna Cornacchia ve arkadaşları AA6005-T6 serisi alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan MIG (Metal Inert Gas), CMT (Cold Metal Transfer) ve fiber lazer kaynak yöntemlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Fraktografik gözlemler ve kaynak sonrası mikroyapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımı spektroskopisi (EDS) cihazlarını kullanmışlardır. Bu çalışma neticesinde AA6005 alüminyum alaşımının birleştirmesinde CMT ve fiber lazer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin, MIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelere göre üstün mekanik özellikler gösterdiğini gözlemlemiştir. Gözeneklilik miktarını en fazla MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde tespit etmişlerdir. Yaptıkları birleştirmelerin kaynak bölgesi sertliğinin, geçiş bölgesi ve ana metalden daha düşük olduğunu sertlik testi neticesinde elde etmişlerdir. (Cornacchia ve diğ. 2018).

Chuang Cai ve arkadaşları 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan Laser – MIG (Metal Inert Gas) hibrit kaynak yönteminde kullanılan koruyucu Argon (Ar) – Helyum (He) gazlarının karışım oranlarının kaynaklı birleştirmeye etkisini incelemiştir. Bu çalışmada A7N01P-T4 alüminyum alaşımını, ER5356 kaynak teli ile ve farklı Argon-Helyum gaz karışımlarında (%0 He - % 25 He - %50 He - %75 He - %100 He) Laser – MIG hibrit kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Belirtilen farklı gaz karışımlarında yapılan kaynaklı birleştirilmelerin plazma sıcaklığı, elektron yoğunluğu, kaynak nüfuziyeti ve gözeneklilik üzerine inceleme yapmışlardır. Sonuç olarak Laser – MIG hibrit kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde; He koruyucu gazın hacmi %0'dan %50'ye çıkartıldığında penetrasyon derinliğinin yaklaşık 4,7 mm'den 6,3 mm'ye yükseldiğini gözlemlemiştir. Gözeneklilik oranı %100 Ar gazı kullanılırken % 5,2 iken, %50 He -%50 Ar kullanıldığında %1,0 olduğunu gözlemlemiştir. (Chuang ve diğ. 2019).

Yangyang Guo ve arkadaşları 5083 alüminyum alaşımının Plasma – MIG (Metal Inert Gas) hibrit kaynak yöntemi ile birleştirebilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada 6 mm kalınlığındaki 5083 alüminyum alaşımının kaynaklı birleştirilmesinde ER5356 kaynak teli kullanmışlardır ve kaynak hızı, plazma akımı, MIG akımı, gaz debisi parametrelerinin kaynak oluşumuna etkisini gözlememişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; kaynak hızı arttıkça penetrasyon derinliğinin ve kaynak genişliğinin azaldığını, kaynak akımının artmasıyla her iki yöntemde de nufuziyetin ve kaynak genişliğinin arttığını, plazma gaz debisinin artmasıyla nufuziyetin önce arttığını daha sonra azaldığını gözlemlemişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde ise kaynak bölgesinin üst kısmı ile alt kısmı arasında katılaşma sırasında oluşan dentritik kol mesafesinin üst kısımda daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çekme deneyi neticesinde çekme dayanımının 274 MPa olarak belirlemişlerdir. (Guo ve diğ. 2018).

Shude Ji ve arkadaşları 6061 alüminyum alaşımı ve ultrasonik destekli AZ31 magnezyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilmesini incelemişlerdir. Yüzey birleştirmesi uzunluğunu ve karıştırma derecesini arttırmak için sürtünme karıştırma kaynağına yardımcı olması amacıyla ultrasonik yöntemini kullanmışlardır. 3 mm kalınlıklarındaki 6061 alüminyum ve AZ31 magnezyum alaşımlarının birleştirilmesinde sabit omuzun iç ve dış çaplarını sırasıyla 11 mm ve 16 mm, pim altı ve iç rotasyon takımının üst çaplarını sırasıyla 10 mm, 5 mm ve 3 mm, eğim açısını ise 2.5 derece olarak seçmişlerdir. Kaynaklı birleştirme hızını 40 mm/dk olarak seçen Shude Ji ve arkadaşları mikroyapı ve mekaniksel özellikleri incelemek için kaynaklı bağlantıları 175x37 mm olacak şekilde kesme işlemine tabi tutmuşlardır. Mikroyapı numunelerini, alüminyum ve magnezyum alaşımları için iki farklı dağlama seçeneği ile dağlamışlardır. Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerini gözlemek için SEM cihazı kullanmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, ultrasonik kullanılan kaynaklı bağlantıların çekme mukavemeti ve yüzde uzamasının sırasıyla 120 Mpa ve %1.5'e ulaşabildiğini gözlemlemişlerdir. Bu değerlerin ultrasonik olmayan kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmelerden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. (Shude ve diğ. 2017).

Yahya Bozkurt ve arkadaşları AA2024-T3 ve AA5754-H22 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağıyla birleştirilmesindeki parametreleri optimize etmek için Taguchi methodunu uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmalarda kaynak öncesi plaka konumlandırmalarının bindirme kaynaklarının mekanik özelliklerine etkilerini de incelemişlerdir. Numunelerin kaynaklı birleştirmelerinde, çeşitli takım dönüş hızı, bekleme süresi, takım dalma derinliği ve eğim açısı parametrelerini kullanmışlardır. Taguchi tekniğinin yardımıyla optimize edilen işlem parametrelerinde, optimum kaynak parametrelerini, bu parametrelerin katkı yüzdesini, sinyal/gürültü oranını ve varyans analizini kullanılarak tahmin etmişlerdir. Sırasıyla 1.6 mm ve 1.5 mm olan AA2024-T3 ve AA5754-H22 alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynaklarında 1500, 2100 ve 3000 rpm takım dönüş hızları, 2.45, 2.55, 2.65 mm dalma derinliklerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçları olarak “the pull-out nugget” ve “cross-nugget” hatalarının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Birinci durum numunelerinin kaynaklı bağlantılarında en yüksek büyüme değerini gözlemlemişlerdir. Bu durumda, takım dönme hızının %53.66, eğim açısının %23.74, takım dalma derinliğinin %12.54 ve bekleme süresinin %5.45 katkısı olduğunu gözlemlemişlerdir. (Bozkurt ve Bilici 2013).

Martin Kadlec ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA7475 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmelerinde “kissing bond defect” adı verilen öpüşen kenarlar kusuru ile mekaniksel davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada KB kusurlarının AA7475 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerinde çekme ve yorulma dayanımları üzerindeki etkilerini niceliksel olarak değerlendirmişlerdir. 6.5 mm’lik levhaların sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmelerinde takım çıkıntıları 5.6 mm ve 6.1 mm olarak seçilmiş ve takım açısını 0 derece olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kusurlu ve kusursuz kaynaklı numunelerin farklı gerilme mukavemeti ve akma mukavemeti değerleri sergilediklerini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte uzama değerlerinin kusurlu bölgelerden önemli ölçüde etkilendiklerini gözlemlemişlerdir. Kaynak metali etrafındaki bölge mikroyapısındaki değişikliklerin ana metale kıyasla yorgunluk sınırında da önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Diğer bir sonuç olarak, sürtünme karıştırma kaynaklı numunelerin temel malzemeye kıyasla

gerilme mukavemetinin yaklaşık %15 daha düşük olduğunu, akma mukavemetinin yaklaşık %25 daha düşük olduğunu, yüzde uzama değerinin 50 mm'lik bir uzunluk için %60 daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. (Kadlec ve diğ. 2015).

R. Srinivasan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilen alüminyum hibrit metal matrisli kompozitlerin sürtünme karıştırma kaynağında takım dönüş hızının mikroyapısal ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirme işlemi için 1100 rpm takım dönüş hızının parametre olarak belirlendiği numunelerde maksimum gerilme mukavemetini 123.67 Mpa, maksimum mikro sertlik değerini ise 79.18 HV olarak gözlemlemişlerdir. Karıştırma döküm yöntemiyle üretilen hibrit metal matrisli AA6063 kompozitleri 100 x 50 x 6 mm olacak şekilde keserek numuneler hazırlamışlardır. Bu numunelerin kaynaklı birleştirme işlemlerinde, takım dönüş hızlarını 100-4000 rpm arasında, takım ile iş parçası arasındaki baskı kuvvetini 2.5-50 kN arasında seçmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, 1100 rpm olarak seçilen takım dönüş hızının kaynaklı birleştirmelerde eşit dağıtılmış takviye parçacıklarını sağladığını gözlemlemişlerdir. Daha düşük ya da daha yüksek takım dönüş hızıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerde daha düşük sertlik değerlerinin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. (Srinivasan ve diğ. 2020).

C. Leitão ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ısıtılmayan AA5083-H111 ve ısıtılmayan AA6082-T6 alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki plastik davranışlarının analizini ve sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliklerine ilişkilerini incelemişlerdir. Farklı test koşulları altında plastik davranışları analiz edilen malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı sonrasındaki farklılıklarını gözlemlemişlerdir. Yüksek sıcaklıklardaki gerilme yüklemesi sırasında yoğun akış yumuşaması sergileyen ve yoğun, homojen olmayan deformasyon altında aşırı yaşlanmaya duyarlı AA6082 alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında iyi kaynaklanabilirlik özelliği gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ancak aynı kaynak parametreleri altında, yarı statik koşullarda sabit akış davranışı gösteren AA5083 alaşımının artan sıcaklıklarda ve yüksek gerilme oranlarında orta derecede sertleşmeye

karşı hassas olduğunu, zayıf kaynaklanabilirlik özellikleri gösterdiğini gözlemlemiştir. (Leitão ve diğ. 2012).

M. Simoncini ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA5754 ve AZ31 ince levhalarda kaynak parametrelerinin ve takım konfigürasyonunun benzer ve farklı sürtünme karıştırma kaynağıyla yapılan birleştirmelerinin yüzey görünümü, mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağını pimli ve pimsiz olarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin ana malzemeye oranla daha düşük süneklik ile kayda değer bir boyun verme değeri göstermediğini gözlemlemiştir. Sürtünme karıştırma kaynaklarında, pimsiz takımın pimli takıma kıyasla daha yüksek çekme mukavemeti ve süneklik değerleri elde etmeye neden olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca kaynak ekseninde yakınlarında tamamen yeniden kristalleşmiş bir mikroyapı gözlemlemiştir. (Simoncini ve Forcellese 2012).

A. Kouadri-David ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 6082 alüminyum alaşımı ve DP600 galvanizli çeliğin lazer kaynaklı heterojen birleştirmelerinin metalurjik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 300 x 100 x 1.2 mm ölçülerinde kaynaklı birleştirme işlemine hazırlanan DP600 ve 6082 alüminyum alaşım malzemeleri SiC 1200'lük aşındırıcı kağıt ile (galvenize çelik hariç tutularak) parlatarak hazırlamış ve aseton ile de yağdan arındırmışlardır. Tüm lazer kaynağı işlemi, sürekli dalga modunda 4 kW Nd: YAG lazer kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kaynak hızını 1 m/dk ve 3 m/dk arasında belirlemiş ve 0.6 mm nokta çapı olan 200 mm odak uzunluklu lens kullanmışlardır. Sonuç olarak, ana metale kıyasla elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kesme mukavemetlerinin alüminyumun %60'ına ve DP600 çeliğinin %30'una karşılık geldiğini gözlemlemiştir. Bu tekniğin temel avantajının kaynak hızı ve galvanizli çeliğin kaynaklanması için lehimleme örtüsünün kullanılmasına gerek olmaması olduğunu gözlemlemiştir. (Kouadri David 2014).

Hamed Jamshidi Aval ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı AA6082 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının alın birleştirilmesinde pim profilinin mekanik ve mikroyapısal davranışlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan 6082 ve 7075 alüminyum alaşımlarının ölçülerini 300 x 100 x 8 mm olarak belirlemişlerdir. Tek geçişli sürtünme karıştırma alın kaynaklarını, yük kontrolünde bir sürtünme karıştırma kaynak makinesi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirmelerde 3 farklı takım kullanmışlardır. Birinci takım, 2 konik boşluklu 23 mm çapında bir omuza ve 3–9 mm çapında ve 7,9 mm uzunluğunda bir kare kesiksiz proba sahip, ikinci takım, 2 konik boşluklu 23 mm çapında bir omuza ve 4,5–9 mm çapında ve 7,9 mm uzunluğunda bir kare frustum proba sahip, üçüncü takım, 2 konik boşluklu 23 mm çapında bir omuza ve 4,5–9 mm çapında ve 7,9 mm uzunluğunda üç yivli bir konik proba sahiptir. Kaynaklı birleştirmelerde 1000 ve 1200 rpm dönme hızları, 9-12 cm/dk kaynak hızları belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, üç oluklu konik sondalı takım ile yapılan kaynaklı birleştirmelerdeki tepe sıcaklığın, kare kesik uçlu sondalı takımlarla yapılanlardan daha yüksek olduğunu, tüm kaynaklardaki sertlik düşüşünün AA7075 tarafında AA6082 tarafındakinden daha keskin olduğunu, AA6082 ve AA7075 taraflarındaki sertlik varyasyonundaki değişimin, esas olarak kaynak hattındaki ve ısıdan etkilenen bölgedeki çökeltilerin boyutuna, hacim oranına ve dağılımına ve ayrıca kaynak sonrası yaşlanma süresine bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Her bir kaynak serisinde, kaynak adımıdaki azalmanın, kaynaklı birleştirmelerin mukavemetinin azalmasına neden olduğunu ve kaynak bölgesinde daha iri tane boyutlarına yol açtığını gözlemlemişlerdir. (Aval 2015).

P. Venkateswaran ve arkadaşları yaptıkları çalışmada alüminyum ve magnezyum alaşımlarının birleştirmesinde kullanılan sürtünme karıştırma kaynaklarının özelliklerini etkileyen faktörleri gözlemlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada, ekstrüze yöntemiyle üretilen 3.25 mm'lik 6063 alüminyum alaşımı ve haddeleme yöntemiyle üretilen 3.25 mm'lik AZ31B magnezyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmesinde, 18 mm düz kenarlı, H13 takım çeliğinden konkav omuz ve 5 mm yivli kobalt bazlı süperalaşım probunu (MP159) kullanarak işlemişlerdir. Takım dönme hızlarını 900–2700 rev/min⁻¹, kaynak hızlarını 1.69–6.4 mm/s⁻¹ ve baskı

kuvvetlerini 14-30 kN olarak belirlemişlerdir. Yüksek hızlı su jetiyle kesilen kaynaklı numuneleri sırasıyla 180, 240, 400, 600 ve 800 tane boyutlarında silikon karbür aşındırıcı zımpara kağıtlarla, ardından 5 mikron ve 3 mikron alümina tozlarıyla ve son olarak 0.3 mikron koloidal silika ile parlatmış ve mikroyapı incelemesine hazırlamışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, daha yüksek dönme hızlarında (>900 devir/dk⁻¹), kaynak bağlantılarının, kavisli arayüzlerle birlikte bir iç içe geçme özelliği geliştirdiği gözlemlenmiştir. 900–1680 devir/dk⁻¹ dönme hızı aralığı ve 1.69-4 mm/s⁻¹ kaynak hızı aralığında karmaşık arayüzlerin oluştuğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca iç içe geçme kapsamını en üst düzeye çıkarmanın ve dolayısıyla metalik fazlar arasında mekanik kenetlenmeyi teşvik etmenin, Al-Mg alaşımları kaynaklarında makul enine mukavemet elde etmenin anahtarı olduğunu belirlemişlerdir. (Venkateswaran ve Reynolds 2012).

R.R. Ambriz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynağıyla yapılan AA6061-T6 alüminyum alaşımlı birleştirmelerin orta gerinim oranında çekme davranışlarının belirlenmesini incelemiştir. Modifiye edilmiş dolaylı elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirmeleri yapılan alüminyum alaşımlarını kaynak için 150 x 140 x 9.5 mm plakalar halinde hazırlamışlardır. Birleştirmelerde gerilim değerini 24 V, akım değerini 230 A olarak belirlemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler sonrasında 130 x 20 mm x 7 mm'lik çekme testi numuneleri hazırlamışlardır. Sonuç olarak, ana metal ve kaynaklı bağlantıların, mekanik mukavemet (akma ve maksimum gerilim) açısından belirli gerilim hızı aralığında (1500 s⁻¹'den az) düşük gerinim oranı hassasiyeti sergilediğini, kırılmaya kadar uzama açısından sünekliğin, hem ana metal hem de kaynaklı bağlantılarda artma eğiliminde olduğunu, çatlak yüzeylerinin morfolojisinin ve çukur boyutunun, yarı statik durumdaki baz metal dışında hemen hemen aynı olduğunu gözlemlenmiştir. (Ambriz ve diğ. 2013).

J.F. Guo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA 6061 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ve farklı parametreleriyle birleştirilmesini incelemiştir. 300 x 50 x 6.3 ölçülerindeki alüminyum alaşım

levhaların, 12 kN'luk maksimum baskı kuvvetiyle, 15 mm çapında bir omuza ve prob tabanında üç düz ve 5 mm çapında dişli bir konik proba sahip kaynak takımıyla, 1200 rpm'lik dönüş hızı ve 2.5 derecelik açıyla kaynaklı birleştirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, kaynaklı birleştirmelerin yapısında soğan halkası yapıların oluştuğunu gözlemlemiş ve bu soğan halkası alt katmanlarının kalınlıklarını, devir başına ilerlemenin kabaca üçte biri olan 30-100 µm civarında ölçmüşlerdir. Hem AA6061 hem de AA7075 alaşımlarının dinamik yeniden kristalleşme yaşadığını ve her iki alaşımdaki tane boyutu kaynak hızının artmasıyla önemli ölçüde azaldığını gözlemleyip AA7075 alaşım alt tabakasının tane boyutunun, aynı kaynaktaki AA6061 alt tabakasından çok daha küçük olduğu kanısına varmışlardır. Hem AA6061 hem de AA7075 alaşımlarının, karşılık gelen baz metallerine kıyasla kaynaktaki belirli mikro sertlik düşüşü sergilediklerini gözlemlemişlerdir. Ayrıca tüm birleştirmelerin, minimum sertliğin bulunduğu ve çok iyi gerilme mukavemetleri ve süneklik sergileyen AA6061 tarafındaki ITAB'daki pozisyonlarda başarısız olduklarını gözlemlemişlerdir. (Guo ve diğ. 2014).

M.A. Mofid ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5083 Al alaşımı ve AZ31C – O Mg alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle yapılan birleştirmelerinde su soğutmanın etkilerini incelemişlerdir. 150 x 50 x 3 mm boyutlarındaki alüminyum ve magnezyum plakalarını, 300 rpm'lik bir dönüş hızında ve 50 mm/dk. ilerleme hızında sürtünme karıştırma kaynağı ile oda sıcaklığında ve tozaltı sürtünme karıştırma kaynağı ile suda birleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirme sonrasında ise SEM, XRD, EDS analizleri ve sertlik, çekme testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, karıştırma bölgesinde yapısal sıvılaşma nedeniyle oluşan kırılğan metaller arası fazların, kaynağın çatlamasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Sualtı kaynaklı numunenin karıştırma bölgesinin, çok daha yumuşak bir arayüz ve daha az karıştırılma gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Daha düşük tepe sıcaklıkları nedeniyle karıştırma bölgesinde dinamik olarak yeniden kristalize edilmiş Mg alaşımında tane büyümesi fark edilmediğini gözlemlemişlerdir. Oda sıcaklığındaki kaynaklı numunenin karıştırma bölgesinde oldukça yüksek sertlik değerleri gözlemlemiş, bunun da kırılğan metaller arası bileşiklerin çökelme olasılığını meydana getirdiğini ancak sualtı kaynak

numunesinde bu yüksek değerler gözlenemediğini belirtmişlerdir. (Mofid ve diğ. 2012).

A.Heidarzadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen AA6061-T4 alüminyum alaşımlarının kaynak sonrası çekme davranışlarını incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmelerin mikroyapısal karakterizasyonunu ve fraktografisini, optik ve taramalı elektron mikroskoplarını kullanarak incelemişlerdir. Ayrıca, kaynak parametrelerinin sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin çekme özelliklerine etkisini detaylı olarak incelemiş ve maksimum gerilme mukavemetini elde etmek için optimum dönme hızı, ilerleme hızı ve baskı kuvveti gibi parametrelerin sırasıyla 920 devir/dk, 78 mm/dk ve 7.2 kN olduğunu, maksimum gerilme uzamasının ise belirli parametrelerin sırasıyla 1300 devir/dk, 60 mm/dk ve 8 kN değerlerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. (Heidarzadeh ve diğ. 2012).

Javier A. Vargas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-T6 alaşımların gazaltı kaynak yöntemiyle gerçekleştirilen birleştirmelerinde ısı girdisinin mekanik özellikler üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. 300 x 100 x 4.8 mm boyutlarındaki plakaları 1.19 mm'lik ER4043 dolgu teli kullanarak birleştirmişlerdir. 6061-T6 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerindeki değişimi değerlendirmek için, kaynak işleminden önce ve sonra akma dayanımı ve mikrosertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, minimum sertlik değerinin çekme testindeki kırılma bölgesine denk geldiğini gözlemlemişlerdir. Akma dayanımı ve mikro sertliğe bağlı olarak mekanik özelliklerdeki azalma aralığının % 38-45 civarlarında olduğunu gözlemlemişlerdir. (Vargas ve diğ. 2013).

J.M. Snchez-Amaya ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5083-T0 ve 6082-T6 alüminyum alaşımlarının iletim rejimi (sistemi) altında gerçekleştirilen lazer kaynağını incelemişlerdir. Yapılan deneyde, 5083-T0 ve 6082-T6 alüminyum alaşımlarının sırasıyla 70 x 14 x 3mm ve 70 x 14 x 4 mm numunelerini, yüksek güçlü

bir diyot lazeri kullanarak iletim rejimi (sistemi) altında kaynaklamışlardır. Lazer gücü ve doğrusal kaynak hızı gibi deneysel değişkenlerin alın kaynak dikişlerinin boyutları ve özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunların yanı sıra kaynaklı birleştirmelerin, mikroyapısını, mikro sertlik profilini ve korozyon direncini analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, iletim rejimi (sistemi) altında yayınlanan benzer literatürlerden daha yüksek penetrasyona sahip kaliteli alın kaynaklarını sağlayan deneysel koşulların olduğunu gözlemlemişlerdir. 5083 ve 6082 alaşımları için sırasıyla 3 ve 2.3 mm maksimum penetrasyon değerleri elde etmişlerdir. Son olarak, kaynak dikişlerinin mikroyapısını, mikro sertliğini ve korozyon direncini incelemişlerdir. Farklı dikişlerin mikro yapısının hem alaşımlar için hem de incelenen tüm koşullar için benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. (Sánchez-Amaya ve diğ. 2013).

Manjhi S.K. ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada alüminyum alaşımlarının katı hal kaynak yöntemiyle birleştirilmesi üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerde 15 mm, 18 mm ve 21 mm olmak üzere üç farklı takım çapı, 800, 1200 ve 1600 rpm olmak üzere üç farklı hız ve silindirik, konik silindirik ve konik olmak üzere üç farklı takım profili kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, 1200 rpm'de, 15 mm silindirik takımın mükemmel çekme özellikleri sağladığını belirlemişlerdir. Analizde dikkate alınan kaynak sonrası ısıl işleminin, yapay yaşlandırma işlemi ile AA6061 alüminyum alaşımının çekme özelliklerini ve ayrıca akma verimliliğini % 77'ye kadar arttırdığını gözlemlemişlerdir. Diğer geleneksel ergitme kaynağı teknikleri ile karşılaştırıldığında sürtünme karıştırma kaynağının, yüksek mukavemet, yeterli süneklik, yorulma ve kırılma tokluğu gibi malzemede mükemmel mekanik özellikler sağlayan en iyi kaynak tekniği olduğunu gözlemlemişlerdir. (Manjhi ve diğ. 2020).

R. Palanivel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA5083-H111 ve AA6351-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında takım dönme hızının ve pim profilinin mikroyapı ve çekme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 100 x 50 x 6 mm boyutlarındaki farklı alüminyum alaşımlarının kaynağında, 600 rpm, 950 rpm ve 1300 rpm'lik üç farklı takım dönüş hızı ve düz kare, düz altıgen, düz sekizgen, konik

kare ve konik sekizgen olmak üzere beş farklı takım pimi profili kullanarak benzer olmayan birleştirmeler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda, düz takım profilleri kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir kusur bulunmazken, konik takım profillerinin, dikkate alınan deneysel koşullar altında kaynaklı birleştirmelerde bir tünel kusuruna neden olduğunu gözlemlemişlerdir. 950 rpm'lik takım dönüş hızı ve düz kare pim profili kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde, 273 MPa'lık en yüksek mukavemet değerini elde etmişlerdir. (Palanivel ve diğ. 2012).

S. Malarvizhi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061 alüminyum ve AZ31B magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynaklı farklı birleştirmelerin karıştırma bölgesi oluşumu ve gerilme özellikleri üzerindeki takım omuz çapı/plaka kalınlığı oranının etkilerini incelemişlerdir. 200x150x6 mm'lik Al ve Mg alaşım plakaları alın birleştirmelerini yapmak üzere konumlandırmışlardır. Kaynaklı birleştirmelerde takımın omuz çapı 12 ila 24 mm arasında ve probun çapını 6 mm ve yüksekliğini 5,7 mm olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı omuz çaplarına sahip takımlar kullanılarak yapılan beş birleştirmeden, 21 mm'lik bir takım omuz çapı ile gerçekleştirilen birleştirmenin, maksimum 192 MPa çekme mukavemeti sağladığını ve bağlantı verimliliğinin, daha düşük mukavemet tabanına kıyasla % 89 olduğunu gözlemlemişlerdir. (Malarvizhi ve Balasubramanian 2012).

J.Q. Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 2219-T6 alüminyum alaşımının ters çift dönüşlü sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerinde kaynak özelliklerini incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler için 300x80x5 mm ölçülerinde levhalar hazırlamışlar ve alın kaynak pozisyonunda birleştirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirme işleminde destekli omuzun optimize edilmiş dönüş hızını, takım pimi dönüş hızını ve kaynak hızını sırasıyla 800 rpm, 800 rpm ve 150 mm/dk olarak belirlemişlerdir. Kaynak işleminden sonra, metalografik analizler, çekme testleri ve Vickers sertlik testleri için numuneleri, kaynak yönüne dik olarak kaynaklı bağlantıdan enine kesitlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, termo-mekanik olarak etkilenen bölgedeki tanelerin maksimum kayma gerilmesi

yönünde uzatıldığını, ancak omuzdan etkilenen bölgedeki tane boyutunun daha büyük olduğunu ve sadece kaynak termal döngüsünden etkilenen ITAB'daki mikro yapıların ana metalinkine benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. (Li ve Liu 2013).

H.J. Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kaynak hızının, kendiliğinden tepkimeye giren sürtünme karıştırma kaynaklı 6061-T6 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sıcak haddelenmiş ve daha sonra 175°C'de 10 saat boyunca yapay yaşlandırma uygulanmış 6061-T6 alüminyum alaşımlarını haddeleme yönlerine dik bir şekilde kaynaklanmak üzere konumlandırmışlardır. Kaynaklı birleştirme esnasında 600 rpm sabit dönüş hızı ve 50-250 mm/dk arasında değişen çeşitli kaynak hızlarını kullanmışlardır. Deneysel araştırmanın sonucu olarak, 50-200 mm/dk arasında değişen kaynak hızlarında hatasız kaynakların elde edildiğini ve ilerleme yönünde 250 mm/dk kaynak hızında boşluk hatası oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak sırasındaki yüksek gerilme ve termal maruziyet nedeniyle külçe bölgede dinamik yeniden kristalleşme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Öte yandan, daha az ısı girdisinin daha ince yeniden kristalleşmiş tanelere yol açtığını, bu nedenle, külçe bölgenin nihai tane boyutunun hangi faktörün baskın olduğuna bağlı olduğunu ve çalışmanın sonucu olarak malzeme deformasyonunun tane boyutunu belirlediği sonucunu gözlemlemişlerdir. (Liu ve diğ. 2013).

Beytullah Güngör ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımlarının robotik soğuk metal transfer kaynağı(CMT) ve MIG kaynağı yöntemleriyle gerçekleştirilen birleştirmelerinde mikroyapı ve mekaniksel özellikleri incelemişlerdir. 330x150x6 mm boyutlarındaki alüminyum levhaları alın kaynak pozisyonuna getirerek 1.2 mm çapında ER5183 dolgu metali kullanarak kaynaklı birleştirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerini sırasıyla 194±5 A kaynak akımı, 19.5±1 V kaynak voltajı, 0.4 m/dk⁻¹ kaynak hızı ve 11±0.2 m/dk⁻¹ tel besleme hızı olacak şekilde belirlemişlerdir. Kaynak işlemi sonrasında görsel ve radyolojik analizlerini gerçekleştirerek muhtemel yüzey hatalarını belirlemişler ve daha sonra çekme, bükme ve sertlik gibi mekaniksel testleri

gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, düşük ısı girdisi ve yüksek tel erime katsayısı ile CMT yöntemi, pulse akımlı ve yüksek kaynak hızlı (400mm/dk^{-1}) MIG yöntemiyle karşılaştırıldığında kaynaklı plakalarda ihmal edilebilir bir çarpılma gözlemlenmiştir. Tüm kaynaklı birleştirmelerde sertlik değerlerinin birbirine yakın değerlerde olduklarını gözlemlenmiştir. Geleneksel GMA kaynak yönteminin, gaz Tungsten Ark Kaynağı (GTAW) veya SKK ile karşılaştırıldığında daha düşük mekanik test sonuçları göstermesine rağmen, CMT Pulse'ın, robotik uygulama sayesinde SKK'ya yakın sonuçlar gösterdiğini gözlemlenmişler ve bunun da daha yüksek kaynak hızı ve çok düşük ısı girdisi sayesinde literatürdeki örneklerden çok daha yüksek akma dayanımı değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. (Güngör ve diğ. 2014).

Dongxiao Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-T6 alüminyum alaşımlarının, sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerinde mikroyapı ve mekaniksel özelliklerini incelemişlerdir. $320 \times 105 \times 5$ mm boyutlarındaki alüminyum plakaların sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı (SSFSW) yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan parametrelerin sırasıyla, 750-1500 rpm takım dönüş hızları ve 100-300 mm/dk kaynak hızları olduğunu belirtmişlerdir. Kaynaklı birleştirmelerin sonucunda gerçekleştirilen görsel muayene teknikleri ile ince ve pürüzsüz yüzeye sahip numuneler elde ettiklerini belirtmişlerdir. 1500 rpm takım dönüş hızında gerçekleştirilen kaynaklı numuneler için kaynak hızının 100-300 mm/dk arasında değiştirilmesinin açık bir şekilde çekme dayanımını arttırdığını gözlemlenmiştir. AA6061-T6 SSFSW birleştirmelerinde kaynak enine kesitlerinin, geleneksel FSW birleştirmelerinden açıkça farklı olduğunu ve AA6061-T6 alaşımlarının SSFSW birleştirmelerindeki kaynak bölgesinin mikro yapılarında daha simetrik ve homojen bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir. (Li ve diğ. 2014).

D.K. Yaduwanshi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı malzemelerin plazma destekli hibrit sürtünme karıştırma kaynağı üzerinde sayısal modelleme ve deneysel araştırmasını incelemişlerdir. 5'er mm'lik AA1100 alüminyum ve saf bakır levhaların birbirine sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesiyle oluşturulan

kaynak prosesi sonrası deneysel numuneleri oluşturmuş ve incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmede kullanılan ve H13'ten imal edilen takımın, omuz ve pim çaplarını sırasıyla 20 mm ve 6 mm olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucu olarak, kaynaklı birleştirme öncesinde gerçekleştirilen ön ısıtma işleminin, farklı iki malzeme kaynağı sırasında takım piminin önündeki daha sert iş parçasının sıcaklığını artırmak için faydalı olduğunu, bunun da malzemenin kaynaklanmasını kolaylaştırıp akış gerilimi değerindeki farklılık nedeniyle takım aşınmasının azalmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. Saf bakır tarafındaki ön ısıtmanın, iki farklı malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde yardımcı bir unsur olduğunu gözlemlemişlerdir. (Yaduwanshi ve diğ. 2016).

I.A. Kartsonakis ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nano boyutta takviye elemanlarına sahip olan 6082-T6 ve AA5083-H111 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerin korozyon davranışlarını incelemişlerdir. Birbirine benzemeyen sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum alaşımları olan AA6082-T6 ve AA5083-H111 plakalarını titanyum karbür (TiC) nanopartiküller, çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve korozyon inhibitörü 2 yüklü seryum molibdat (CeMo) kaplar kullanarak üretmişlerdir. 200x100x3 mm boyutlarındaki levhaların sürtünme karıştırma kaynağının parametrelerini sırasıyla, dönme hızı 1180 dev/dk, ilerleme hızı 85 mm/dk ve aynı yönde üç geçiş uygulaması olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucu olarak, nano katkı içeren ve içermeyen numunelerin korozyon direncini elektrokimyasal yöntemlerle incelemişler ve sürtünme karıştırma kaynağı sırasında merkaptobenzotiyazol (MBT) ile yüklenmiş seryum molibdat (CeMo) kaplarının dahil edilmesinin, MoO₄⁻² iyonlarının hem alüminyum alaşımlarının yüzeyinde hem de oluşumun adsorpsiyonu yoluyla nihai malzemenin korozyon direncini artırdığını ortaya koymuşlardır. (Kartsonakis ve diğ. 2016).

J.M. Gomez de Salazar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Al₂O₃ takviye elemanları ile güçlendirilmiş AA7020 alüminyum alaşımının füzyon kaynağı ile birleştirilmesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan

çalışmada %10 hacim oranında Al_2O_3 takviye edilmiş AA7005 alüminyum alaşımını takviye elemanı kullanılmamış AA7020 alüminyum alaşımı ile MIG kaynağı yöntemini kullanarak birleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirmede ER5356 (AlMg5) ve ER4043 (AlSi5) olmak üzere iki farklı dolgu teli kullanılmıştır. Kaynak işleminde %99.9 oranında saf argon gazı kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirme sonrası SEM ve EDX analizlerini yapmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucunda, düşük ısı iletkenliği nedeniyle daha büyük bir ITAB olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, bir kaynak sonrası ısıl işlemi olan T6 (3 saat süreyle $5609/0.5^{\circ}C$ 'ye ısıtma, buzlu suda söndürme ve 8 saat $1759/0.5^{\circ}C$ 'de yaşlandırma) uygulandığında, kaynaklı bağlantı yerlerinin direncinin, ana malzemelerin % 95'i seviyesindeki mekanik özelliklerine ulaştığını gözlemlemişlerdir. (Salazar ve Barrena 2003).

H. Jamshidi Aval ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA5086 ve AA6061 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmelerin mikroyapılarının ve mekanik özelliklerinin gelişimini incelemişlerdir. Öncelikle, sürtünme karıştırma kaynağı işlemleri sırasında malzemelerin termo-mekanik davranışlarını üç boyutlu sonlu elemanlar yazılımı olan “ABAQUS” kullanılarak tahmin etmişler, daha sonra kaynaklı numunelerin mikroyapısal özelliklerini gerekli deney teçhizatları ile incelemişlerdir. Sürtünme karıştırma kaynağının parametrelerini sırasıyla, 840-900 rpm dönme hızı ve 10-15 cm/dk ilerleme hızı olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, AA6061 ve AA5086 alaşımlarında sertlik değerlerinin birbirinden farklı olduklarını, AA5086 tarafındaki sertliğin esas olarak yeniden kristalleşmeye ve kaynak metalinde ince tanelerin oluşumuna bağlı olduğunu, AA6061 tarafındaki sertliğin ise kaynak metalindeki ve ITAB'daki çökeltilerin boyutuna, hacim oranına, dağılımına ve ayrıca kaynak sonrası yaşlanma süresine göre değiştiğini gözlemlemişlerdir. (Aval ve diğ. 2011).

A.Dorbane ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AZ31B magnezyum alaşımı ve Al6061 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerinin mekanik, mikroyapısal ve kırılma özelliklerini incelemişlerdir. 250x50x3 mm boyutlarındaki plakaların sürtünme karıştırma kaynağıyla

birleştirilmesinde belirlenen takımın özelliklerinin sırasıyla, 2,96 mm uzunluğunda dişli bir pim ile 10 mm'lik bir omuz çapına sahip olduğunu, dişli pimin maksimum ve minimum çaplarının sırasıyla 3,6 mm ve 2,9 mm olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tüm sürtünme karıştırma kaynağının, 3°'lik bir takım eğim açısı ile gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, SKK'nın kaynak ilerleme yönünde alüminyum bulunan kaynak dikişinin kesit olarak incelenmesiyle, karıştırma bölgesinde daha az kusurla daha iyi kaynak yapıldığı sonucuna varmışlardır. İnceledikleri kaynak işlemi parametreleri arasında, 1400 rpm dönme hızı ve 500 mm/dk ilerleme hızının, kaynak bütünlüğü ve mikroyapı analizine dayalı olarak optimum birleştirme kalitesi ile sonuçlandığını gözlemlemişlerdir. Karıştırma bölgesinin hem Mg bakımından zengin hem de Al bakımından zengin taraflarında tane inceliği oluştuğunu belirtmişlerdir. Çekme numunelerinde, yük altında test edilen numunelerde gevrek kırılma gözlemlemiş ve kırılma yüzeyinin zikzak desene sahip olduğunu belirtmişlerdir. (Dorbane ve diğ. 2016).

Landry G. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA7020-T651 ve AA6060-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerini araştırmışlardır. 300x150x5 mm boyutlarındaki plakaların sürtünme karıştırma kaynağı sırasıyla, konik, dişli ve 4.8 mm uzunluğunda prob ile 15 mm çapında kaydırılmış bir omuz ile parametrelerini kullanmışlardır. 1000, 1500 ve 2000 dev/dk⁻¹ dönme devirlerinde gerçekleştirilen birleştirme işlemlerinden sonra AA6060-T6 ile AA7020-T651 alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynaklarının, temel malzemenin konumu ne olursa olsun bazı kusurlara rağmen tatmin edici bağlantı verimliliği ile birleştirilebileceğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca proses parametrelerinin malzeme karıştırma, kaynak bütünlüğü ve mekanik davranış üzerinde etkisi olduğunu, ilerleme hızı arttığında, her iki ana metal arasındaki arayüzün kaynağa çapraz yönde bozulduğunu, ancak kaynak yönünde döngüsel hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Yüksek kaynak hızları veya soğuk koşulların da AA6060-T6 kaynak metalinde tane inceltmesini arttırdığını belirtmişlerdir. (Landry ve diğ. 2016).

Prakash KumarSahu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı kalınlıktaki alüminyum alaşımlarının tek ve çift geçişli sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 220x100 mm ve farklı kalınlıklardaki AA1050 alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmelerinde 50-1500 rev/min dönme hızlarında, 22-550 mm/dk kaynak hızlarında, H13 çelik malzemenen imal edilen 6 mm çap ve 25 mm omuz çapındaki takım kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirmelerden sonra 190x20 boyutlarında çekme testi ve bükme testi numuneleri oluşturmuşlardır. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, takım dönme hızının kaynağın mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğunu, kaynaklı birleştirmelerin en yüksek gerilme ve akma dayanımının, ana metal dayanımının % 99'u kadar olduğunu, levha kalınlık oranının artmasıyla birlikte tek geçişli alt yüzey numunelerinde progresif asimetrik ısı oluşumuna bağlı olarak kaynak kalitesinde önemli bir azalma gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca tek geçişli üst yüzey numunelerinin, çift geçişli alt yüzey numunelerine kıyasla daha az sünek olduğunu belirtmişlerdir. (KumarSahu ve Sukhomay 2017).

Xueqi Lv ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA 6061-T4 alüminyum alaşımının AZ31B magnezyum alaşımına ultrasonik geliştirilmiş sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesinin kaynak mikroyapısı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 200x50x3 mm boyutlarındaki plakaların ultrasonik sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, sağ diş, 4.2, 3.2 ve 2.8 mm takım ucu çapları 400 ve 500 rpm dönme hızlarını kullanmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucunda, ultrasonik titreşimlerden dolayı proses sıcaklığındaki artışın 145°'ye kadar ulaştığını, kaynak arayüzündeki intermatlik bileşikler (IMC) katmanının kalınlığının ve kaynak metali bölgesi-termomekanik olarak etkilenmiş bölge sınırındaki IMC bantlarının ve ayırık IMC'lerin miktarının ultrasonik titreşimler tarafından azaltıldığını, ancak bileşimleri etkilenmeden kaldığını gözlemlemişlerdir. Kaynaklı parçaların gerilme mukavemetinin ultrasonik titreşimler sayesinde iyileştiğini, çekme mukavemetindeki gelişmenin ise, çok düşük dönüş hızlarında daha belirgin, ancak daha yüksek dönüş hızlarında daha az fark edilir olduğunu gözlemlemişlerdir. (Lv ve diğ. 2018).

Ying Liang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada TIG ve soğuk metal transfer(CMT) kaynağı ile birleştirilen 6061-T6 alüminyum alaşımlarının mikroyapı ve mekaniksel özelliklerine TIG akımının etkilerini incelemiştir. 200x100x4 mm boyutlarındaki plakaların birleştirilmesinde uygulanan CMT yöntemi için, 96 ve 100 A kaynak akımları, TIG yöntemi için ise 80, 100, 120, 140 ve 160 A kaynak akımları kullanmış ve her iki yöntem için de kaynak hızını 5 mm/s olarak belirlemiştir. Kaynaklı birleştirmeler ve deneysel analizlerin sonuçları olarak, CMT kaynak akımının 100 A'nın altında olduğunda, kontrollü bir kısa devre geçişi garanti edilebildiğini, eklenen TIG arkının daha fazla nüfuziyet ve tercih edilebilecek kaynak formasyonu ile sonuçlandığını, birleştirmelerin mikro yapılarının kabalaştığını ve bir çökeltme güçlendirme fazı ortaya çıktığını, ITAB'daki yumuşatılmış bölgenin, mekanik özelliklerde önemli bir azalmaya neden olduğunu gözlemlemiştir. Son olarak kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini arttırmak için TIG kaynağında düşük akımlar seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. (Liang ve diğ. 2018).

M. Kianezhad ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nano boyuttaki Al_2O_3 partiküllerinin ve sürtünme karıştırma kaynak işleminin 5083 malzenin TIG kaynağı özelliklerine etkilerini incelemiştir. Nanopartiküllerin homojen dağılımını sağlamak için gerçekleştirilen sürtünme karıştırma işlemini, 210x28x6 mm boyutlarındaki 5083-H111 alüminyum alaşımlarına, H13'ten imal edilen silindirik dişli, 5 mm çap, 4.5 mm uzunluk ve 16 mm omuz çapı parametrelerine uyarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, SKK sayesinde nanopartiküllerin eşit dağılımının, kaynak kusurlarının giderilmesi ve tane boyutunun iyileştirilmesi, kaynak bölgesinin gerilme özelliklerinde ve sertliğinde önemli iyileştirmelere yol açtığını gözlemlemiştir. Ayrıca SKK'nın ve nano boyutta Al_2O_3 parçacıkları kullanılmasının, kaynak bölgesinin sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini gözlemlemiştir. Partiküllerin etrafındaki dislokasyon yoğunluğundaki artışın, dislokasyon yığılması, dislokasyonlar arasındaki etkileşimin artması, matrisin tane boyutunun iyileştirilmesi ve sürtünme karıştırma prosesi sırasında kaynak kusurlarının giderilmesinin, kaynak bölgesinin mukavemet özelliklerinde bir iyileşmeye yol açtığını belirtmiştir. Son olarak nano partiküller

içeren numunelerde akma dayanımında (% 29) ve gerilme mukavemetinde (yaklaşık% 17.5) maksimum gelişme sağlandığını gözlemlemişlerdir. (Kianezhad ve Raouf 2019).

E. Sharghi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061 alüminyum alaşımının ve AlMg₂Si kompozitinin farklı sürtünme karıştırma kaynağı sırasında gerilme hızı, malzeme akışı ve kaynak dikişi şekli simülasyonunu incelemişlerdir. Kaynak sırasında visko-plastik malzeme akışını incelemek için hesaplamalı akışkan dinamiğine (CFD) dayalı üç boyutlu bir model geliştirmişlerdir. Oluşturulan modelleri 720, 920 ve 1120 rpm'lik üç dönüş hızı için araştırmışlardır. 150x100x5 mm boyutlarındaki plakaların kaynağında kullanılan kaynak tertibatlarının sırasıyla, H13'ten imal edilen 15 mm omuz ve 5 mm pim ölçülerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, karıştırma bölgesi (SZ) şeklinin, simüle edilmiş hacim kesir konturları aracılığıyla tahmin edilebilir olduğunu, 1120 rpm dönme hızında ve 0,002 m/s kaynak hızında, ilerleme yönünde meydana gelen tepe sıcaklığı ve maksimum gerinim hızının sırasıyla 887 K (yaklaşık 614°C) ve 975 s⁻¹ olduğunu gözlemlemişlerdir. Viskozitedeki değişimin, gerilme hızının tersi olduğunu ve viskozitenin artmasıyla plastik deformasyon miktarı azaldığını belirtmişlerdir. (Sharghi ve Farzadi 2018).

Rajneesh Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA5083 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında proses parametrelerinin fonksiyonu olarak proses kuvvetleri ve ısı girdisini incelemişlerdir. 12x100x1000 mm boyutlarındaki levhaların alın kaynaklı birleştirmelerinde 2 derece açılı H13'ten imal edilmiş takım kullanmışlardır. Deneysel çalışmanın sonuçları olarak, takım hızı, kaynak hızı, takım kenarı çapı ve prob çapı gibi parametrelerin, sürtünme karıştırma kaynağı işlem kuvvetlerini ve ısı girişini etkileyen kritik işlem parametreleri olduğunu belirtmişlerdir. Eksenel baskı kuvvetinin (Z) en çok takım çapından, dönme hızından ve kaynak hızından etkilendiğini, yatay kuvvetin ise (X) en çok kaynak hızından, pim çapından ve takım çapı ile dönme hızının etkileşiminden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Sürtünme karıştırma kaynağındaki ısı girdisinin, kaynak hızından, takım çapından ve dönme hızından ve bunların tüm olası iki seviyeli etkileşimlerinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. (Kumar ve diğ. 2012).

K. Kalaiselvan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-B₄C kompozit alaşımlarının çekme dayanımı üzerindeki sürtünme karıştırma kaynak parametrelerinin rolünü incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler için 800, 1000, 1200 r/min⁻¹ dönme devirlerini, 0.3, 1.3, 2.3 mm/s⁻¹ ilerleme hızlarını ve 6, 10, 14 kN eksenel kuvvetleri kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirmeler sonucunda incelenen mikroyapı içeriklerinde pim deliği, tünel kusuru ve sıcak delik olmak üzere 3 farklı hata ile karşılaşmışlardır. Deneysel çalışmanın diğer sonuçları olarak, işlem parametrelerinin, kaynak bağlantılarının gerilme mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini, kaynaklanmış Al-B₄C kompozitin mikroyapısının, kaynak metalinde B₄C partikülünün tekdüze dağılımı ile ince ve yeniden kristalize edilmiş Al matris taneleri sergilediğini gözlemlemişlerdir. (Kalaiselvan ve Murugan 2013).

R. Palanivel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı AA5083-H111 ve AA6351-T6 alüminyum alaşımlarının mekanik ve metalurjik özelliklerini incelemişlerdir. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde 36, 63 ve 90 mm/dk kaynak hızlarını kullanmışlar ve kaynak hızının mekanik ve metalurjik özellikler üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonuçları olarak, mikroyapı fotoğraflarında kaynak bölgesi, termomekanik olarak etkilenen bölge ve ısıdan etkilenen bölge (ITAB) gibi çeşitli bölgelerin varlığını belirtmişlerdir. Kaynak hızının, plastik akış bölgesinin oluşumunu etkilediğini, en düşük veya en yüksek kaynak hızlarında üretilen bağlantıların, karışık akış bölgesinin olmadığını gösterdiğini belirtmişlerdir. 63 mm/dk kaynak hızında gerçekleştirilen bağlantıların daha iyi çekme özellikleri gösterdiğini, gözlenen hata modunun sünek bir fibröz kırılma olduğunu belirtmişlerdir. (Palanivel ve diğ. 2014).

Firouz F. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen birleştirmelerinde dönme hızının kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. 220x140x5 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 8 mm çapında konik başlı pim, 20 mm uzunluğunda omuz, 8 mm çapında sol vidalı, H13'ten üretilmiş bir takım kullanmışlardır. 40 mm/dk

kaynak ilerleme hızında, 900, 1000 ve 1200 dev/dk dönme devirleriyle ve 3 derecelik açıyla gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme sonucunda, farklı kaynak bölgelerinin boyutlarının özellikle kaynak parametreleriyle (dönme hızı) orantılı olduğunu, dönme hızının arttırılmasının, geri çekilme tarafındaki kaynak bölgesi makro sapmasında artışa neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Dönme hızını artırarak, kaynak bölgesinin mikroyapısının daha ince hale getirildiğini, bunun da ITAB'a kıyasla sertliğin artmasına atfedildiğini, omuz baskısı nedeniyle, üst plakadaki taneciklerin alt plakadakilerden daha küçük olduğunu gözlemlemişlerdir. ITAB ve kaynak bölgesindeki minimum sertliklerin, daha yüksek dönme hızlarına ait numunelerde görüldüğünü, en düşük dönme hızında ise (900 dev/dk) üst ve alt plakalarda çok daha yakın sertlik dağılımını gözlemlemişlerdir. (Firouz ve diğ. 2014).

D. Trimble ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA2024-T3 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı sırasındaki hız artışı için takım şeklinin ve dönme hızının karakterizasyonunu incelemişlerdir. 355 mm/dk'ya kadar olan hızlarda, 450 rpm dönüş hızında bir helezon omuz ve üç ağızlı pim ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinin sonucu olarak, belirtilen parametrelerle iyi birer kaynak kalitesi elde etmenin mümkün olduğunu, bu hızlarda üretilen kaynakların, nispeten iyi süneklik (%8.5 gerilme uzaması) ve hiçbir iç veya yüzey kusurunun bulunmaması ile ana malzemenin % 93.9'luk bir gerilme mukavemetine ulaştığını belirtmişlerdir. Artan deformasyon ve yüzeydeki sürtünmeli ısınma nedeniyle, sarmal omuz tasarımının, içbükey omuz tasarımına kıyasla daha yüksek kaynak hızları sağladığını, üç ağızlı pimin, yüksek hızlarda kaynak yapmak için en etkili şekil olacağını, 450 rpm devir ile gerçekleştirilen kaynakların, yüksek kaynak hızlarında optimum miktarda plastik deformasyon ve sürtünmeli ısıtma sağladığını belirtmişlerdir. Bu optimal değerler üzerindeki dönme hızlarında kaynak yapılmasının, aşırı plastik deformasyona ve iş parçasında küçük boşlukların oluşmasına yol açacağına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Son olarak, takım tasarımlarının daha fazla iyileştirilmesinin, daha yüksek kaynak hızları kullanımını sağlayabileceğini gözlemlemişlerdir. (Trimble ve diğ. 2015).

A.Hamdollahzadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nano boyutaki SiC takviye elemanı ile güçlendirilmiş AA7075 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde mikro yapı evrimleri ile mekanik özellikleri ve ikinci geçiş işleminin rolünü incelemişlerdir. 100x60x6 mm boyutlarındaki AA7075 plakalarının kaynaklı birleştirmelerindeki parametreleri sırasıyla, 1250 rpm dönme hızı ve 40 mm/dk ilerleme hızı olarak belirlemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler sonrasında XRD, SEM, çekme testi ve sertlik deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, çift geçişli işlenmiş numunelerdeki partikül dağılımının, tek geçişli işlenmiş numunelerden daha üstün olduğunu, çift geçişli sürtünme karıştırma kaynak numunesinin tek geçişli sürtünme karıştırma kaynağına olan düşük nihai gerilme mukavemetini, ITAB'daki kaba MgZn₂ çökeltilerine atfetmişlerdir. 7075 alüminyum alaşımının ikinci geçiş işleminin, yeniden kristalize edilmiş tanelerin boyutunu arttırdığını ve artık gerilme azalmasının bir sonucu olarak kaynaklı birleştirme sünekliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. (Hamdollahzadeh ve diğ. 2015).

Hasan Jafari ve arkadaşları yaptıkları çalışmada SiO₂ nanopartikülleri ile güçlendirilmiş AA7075-T6 ve AA6061-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak işleminde artık gerilme dağılımlarını incelemişlerdir. Takım malzemesi olarak H13 çeliğini seçmişler ve 30 mm omuz çapı ve 6 mm çapında konik silindirik dişli pim ile hatasız kaynaklar elde etmişlerdir. 25, 31.5, 50, 80 mm/dk kaynak hızları ile sırasıyla 450, 560, 710, 900 rpm dönme hızlarını kaynak işlemlerinde kullanmışlardır. Kaynak bölgesindeki artık gerilme dağılımını belirlemek için kontur yöntemi kullandıklarını belirtmişlerdir. Kalıntı gerilme dağılımının incelenmesi ile kesilen numunenin merkezinde gerilme, kenarlarda sıkıştırıcı olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneysel araştırmanın sonuçları olarak, AA6061-T6 ana metali için en düşük akma dayanımı değeri olan 292 MPa'ı ve en yüksek kalıntı gerilme değeri olan 63.2 MPa'ı göz önüne aldıklarında kalıntı gerilme miktarının, baz AA6061-T6 alaşımının akma dayanımının % 21.6'sı olduğu sonucuna varmışlardır. SiO₂ nanopartiküllerinin eklenmesi ile nihai gerilme mukavemetinin arttığını, ancak akma dayanımının ve artık gerilimin azaldığını gözlemlemişlerdir. (Jafari ve diğ. 2019).

Luca Boccarusso ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6082 ve Mg AZ31 alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında kuvvet analizi ve mikroyapı gelişimini incelemişlerdir. 200x100x3 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla H13'ten imal edilmiş, 13 mm çapında içbükey bir omuz ve 3,7 mm'lik bir uzunluk boyunca 4,2'den 5,5 mm'ye artan bir çapa sahip konik bir sol dişli pim kullanmışlardır. 2200, 2500, 2800 dönme hızlarında, 20, 40, 60 mm/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilen deneysel araştırmanın sonucu olarak, mikro çatlak içermeyen kaynaklı birleştirmelerde, iyi bir metalurjik bağ ancak penetrasyon eksikliğini, bazı mikro çatlaklar tespit edildiğini, literatüre göre intermetalik bileşikler (IMC)'lerin ve mikro çatlakların varlığını, yapısal sıvılaşma olaylarının meydana gelmesine bağlanabileceğini belirtmişlerdir. Kaynak metaline yakın alüminyum levhadaki sertliğin, takviye partiküllerinin çözünmesine yol açan kaynak sırasında yaşanan ısı girdisi nedeniyle temel malzemelerden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. (Boccarusso ve diğ. 2019).

Habibur Rahaman Hazari ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6082 ve AA8011 alüminyum alaşımlarının TIG kaynağının deneysel olarak incelenmesini gerçekleştirmişlerdir. 105x25x2 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirme işlemlerinde sırasıyla, 80, 100, 120 A kaynak akımları, 1.6, 2, 2.5 mm çaplarında ER4043 dolgu teli ve dağlamak için de sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanmışlardır. 105x21 mm ölçülerinde çekme testi numuneleri çıkardıktan sonra yapılan tüm deneysel çalışmanın sonuçları olarak, akımın yoğunluğu arttıkça, nihai gerilme mukavemetinin önemli ölçüde arttığını ve eşzamanlı olarak akma mukavemetinde de önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Dahası, nihai gerilme mukavemetinin, örtüleme etkinliği sayesinde gaz akış hızı ile orantılı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. 2.5 mm çapındaki dolgu teli ile gerçekleştirilen kaynaklı numunelerin en yüksek mukavemet değerlerine ulaştığını belirtmişlerdir. Kaynaklı numunelerdeki en yüksek sertlik değerini ise 6 L/dk gaz akış hızına sahip 80 Amper akım değerlerinde gözlemlemişlerdir. (Hazari ve diğ. 2019).

Velaphi Msomi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmeleri gerçekleştirilen 1050-H14 ve 5083-H111 alüminyum alaşımının mikroyapısal analizini incelemişlerdir. 530x70 mm boyutlarında giyotun makas kullanılarak kesilen plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, H13'ten imal edilmiş, 20 mm omuz çapı ve 6 mm pim çapı olan üçgen dişli bir pim profiline sahip olan takım kullanmışlardır. 1000 rpm dönme hızında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme işlemlerinin sonucu olarak, birleştirmenin gerilme özelliklerinin AA1050-H14 baz metalinin çekme özelliklerinden daha yüksek ancak AA5083-H111 baz metalinin özelliklerinden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Karıştırma bölgesinin mikro sertliğinin AA1050-H14 baz metalinden daha yüksek olduğunu, ancak AA5083-H111 baz metaliyle aynı aralıkta olduğunu, karıştırma bölgesinin tanecik boyutunun AA5083-H111 baz metale yakın aralıkta olduğunu ve mikrosertlik için sonuçların gerilme özellikleriyle uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. (Msomi ve diğ. 2020).

Khaliq Ejaz Ahmed ve arkadaşları yaptıkları çalışmada alüminyum oksit takviye fazı ile takviye edilmiş AA6082 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı için kaynak parametrelerinin etkileri üzerine incelemeler yapmışlardır. %5, 10 ve 15 oranlarında eklenen takviye fazlarının deneysel sonuçları olarak dönme hızının, kaynak bölgesinde kusurların oluşumunu, kaynak bölgesinin sertliğini ve ardından değişen yüzdelerde Al_2O_3 ile takviyelendirilmiş sürtünme karıştırma kaynaklı AA6082 alüminyum alaşımının gerilme mukavemetini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Grafiklerden en yüksek çekme mukavemetinin 1000 rpm dönme hızına kadar yükseldiği ve hız 1000 rpm'nin üzerine çıktıkça azaldığını belirtmişlerdir. Çok yüksek dönme hızlarının, gerilme oranını artırabileceğini ve böylece yeniden kristalleşme sürecini etkileyebileceğini bunun da SKK sürecini etkileyebileceğini, takviyenin (Al_2O_3) hacim yüzdesinin arttıkça, Al_2O_3 partiküllerinin miktarının da arttığını, bunun da akma gerilmesinin ve maksimum gerilme mukavemetinin azalmasına neden olduğunu ve numuneyi daha kırılgan hale getirme eğiliminde olduğunu gözlemlemişlerdir. (Ahmed ve diğ. 2020).

H.M. Anil Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada takım parametrelerinin sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum 5083 ve 6082 alaşımlarının gerilme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. 140x70x4 mm boyutlarındaki alüminyum alaşım plakalarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde sırasıyla, üç omuz çapına (16, 18 ve 20 mm) sahip yüksek hız çeliğinden yapılmış konik, 3.4 mm uzunluğa ve üstte 3 mm genişliğe sahip takım pimi profili kullanmışlardır. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, kaydedilen maksimum gerilme özellikleri, 210 MPa'lık nihai gerilme mukavemeti ve 203 MPa'lık akma mukavemetine, 18 mm'lik takım omuz çapı, 0 mm ofset ve aletin 1° eğim açısı kullanılarak gerçekleştirilen numunelerde rastladıklarını belirtmişlerdir. (Kumar ve Ramana 2020).

V. Preethi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA7075 hibrit alüminyum kompozit alaşımının sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesinde daha iyi sertlik değerleri için kaynak parametrelerinin optimizasyonunu incelemişlerdir. Takviye elemanının yumuşak yapısının, daha yüksek miktarda eklendiğinde kompozit özelliklerini azaltacağını bildiklerinden , AA7075 alaşımına en az %2 molibden disülfid eklemişlerdir. Takviye elemanlarını ekledikten sonra fırında 700°C'ye kadar ısıtılan malzemenin kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 100, 1250, 1500 takım dönme hızlarını ve 3, 6, 9 mm/dk kaynak ilerleme hızını parametreler olarak ayarlamışlardır. Kaynaklı birleştirmelerden sonra elde edilen 9 farklı numunenin deneysel araştırmalarının sonucu olarak, takviye ilavesinin kaynak dikişinin sertliğini arttırdığını, takım dönüş hızının çıkış tepkisinde ana kontrol parametresi olarak hareket ettiğini, sertlik değerine en az katkısı olan parametrenin kaynak hızları olduğunu ve kaynaklı bağlantılarda daha iyi sertlik elde etmek için ağırlıkça %12 oranında takviye elemanı, 1250 dev/dk takım dönme hızı ve 3 mm/dk kaynak hızının en uygun parametre olduğunu gözlemlemişlerdir. (Preethi ve Das 2020).

G. Elatharasan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada “Gri ilişkisel analiz” yöntemi ile AA6061-T6 ve AA5083-H111 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında proses parametrelerinin çoklu yanıt optimizasyonunu incelemişlerdir. 150x150x6 mm boyutlarındaki alüminyum alaşım plakaların kaynaklı

birleştirme işlemlerindeki parametreleri sırasıyla, 800, 1000, 1200 rpm takım dönme hızları, 30, 60, 90 mm/dk ilerleme hızları ve 6 mm pim çapı, 20 mm omuz çapı olarak belirlemişlerdir. Zayıf sosyal araştırmadan yararlanarak çoklu hedeften tek hedef reaksiyona geçiş yapmak için kullanılan gri ilişkisel analiz yönteminin deneysel sonuçları olarak, deneysel değer olarak belirledikleri gerilme dayanımı ve gerilme uzamasını regresyon analizi kullanarak doğrulamışlar, analizin %95 güven seviyesi veren deneysel sonuçlara kıyasla $\pm\%$ 10'luk tolerans farkı ile öngörü değeri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Başlangıçtaki işlem parametrelerinin, farklı kaynak dikişleri için elde edilen çekme dayanımı ve gerilme uzaması değerleri üzerinde etkileri olduğunu, bu analizden de silindir dış profilinin, en yüksek gerilme mukavemetini sağlayıp ve daha düşük uzamalarda iyi bağlar arası mukavemetini sağlamak için malzemenin homojen dağılım oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Altıgen pim profilinin, pim şekli etkisi ve daha düşük ısı girdisi nedeniyle en düşük çekme dayanımı ve zayıf kaynak numuneleri elde edilmesine neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Deney öncesinde kullanılan analiz yönteminin optimum deney sonuçlarının tahmin edilmesinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. (Elatharasan ve diğ. 2020).

Abhishek Chauhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı tekniği ile oluşturulmuş alüminyum matrisli kompozitlerin kaynak dikişlerinin darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada %5 hacimsel oranda SiC takviye elemanlarına sahip alüminyum matrisli kompozitlerden oluşan ince plakaların bağlantı yerlerinin darbe dayanımını incelemişlerdir. Kaynak dikişlerini, değişken ilerleme hızları ve sabit takım dönme hızında üretmişlerdir. Yapılan deneysel araştırmaların sonucu olarak, kaynaklı bağlantıların darbe mukavemetinin 20 mm/dk'lık bir ilerleme hızında 4J olduğunu bulmuşlar, darbe mukavemetinin sırasıyla 25 mm/dk ve 35 mm/dk ilerleme hızlarında 2.8 ve 2.6 J'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Kusursuz kaynak dikişlerinin, daha düşük ilerleme hızlarında elde edilebileceğini, daha düşük ilerleme hızlarında, iş parçasına daha yüksek ısı girdisi oluşması nedeniyle malzemenin yumuşadığını, bunun da uygun plastik deformasyona neden olup iş parçasının sünekliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. (Chauban ve Sanjeev 2020).

M. Bakkiyaraj ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum alaşımlarında ön ısıtmalı TIG kaynağının, birleştirmelerin mekanik özelliklerine etkilerini incelemiştir. 100x50x4 mm boyutlarındaki AA5052 alüminyum alaşımlarının bir yüzeyinden, 4 mm çapında, 3.75 mm uzunluğunda ve 13 mm takım omuz çapına sahip konik dişli pimli HSS malzemeden üretilmiş takım kullanarak SKK kaynağını, diğer tarafından ise ön ısıtmalı TIG kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme karıştırma kaynağında sırasıyla, 1100 rpm dönme hızı, 40 mm/dk ilerleme hızı, 2.5 kN eksenel yük ve 1.5 derecelik takım açısı parametrelerini kullanmışlardır. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, TIG kaynağında ön ısıtma entegrasyonunun, AA5052 kaynak dikişini sürtünme karıştırma kaynağı işleminde imal etmek için başarıyla benimsediğini ve ilerleme yönüne uygulanan ofset ön ısıtmanın, geleneksel sürtünme karıştırma kaynağı dikişine kıyasla birleştirme gücünü %18.1 arttırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca, sürtünme karıştırma kaynağı işlemi ile ön ısıtmanın dahil edilmesiyle geri çekilme yönü ve ilerleme yönü arasındaki sıcaklık gradyanının büyük ölçüde azaldığını, termomekanik olarak etkilenen bölgenin ve kaynak dikişinin ilerleme yönünde ölçülen sertlik değerinin, büyük ölçüde iyileştirildiğini gözlemlemiştir. (Bakkiyaraj ve diğ. 2020).

P. Satish Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada takım pimi geometrisinin sürtünme karıştırma kaynaklı AA5083 ve AA6061 alüminyum alaşımları üzerindeki etkisini incelemiştir. Sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmeleri, değişken takım dönme ve ilerleme hızlarında, konik dişli silindirik ve kare profilli takım kullanarak imal etmişlerdir. Parametrelerin ve takım çevresinin, kaynak mükemmelliğinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonuçları olarak, en iyi mekanik özelliklerin 900 rpm dönüş hızında ve 40 mm/dk kaynak hızında mümkün olduğu sonucuna varmışlar ve elde edilen sonuçların mikroyapı ve kırılma özellikleri ile bağlantılı olduğunu gözlemlemiştir. (Kumar ve Chander 2020).

Alireza Masoudian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 6061-T6 alüminyum alaşımları ve AZ31-O magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerinin mikroyapısı ve mekanik özelliklerini

incelemişlerdir. 3 mm kalınlığındaki alüminyum ve magnezyum plakaların sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirme işlemlerinde sırasıyla, 600-1400 dev/dk arasında dönüş hızları, 20-60 mm/dk arasında ilerleme hızları parametrelerini kullanmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, 1000 dev/dk. dönüş hızı ve 40 mm/dk. ilerleme hızlarında hatasız kaynak dikişleri elde ettiklerini, metalografik çalışmalarda, karıştırma bölgesindeki tane boyutunun, baz metallerekinden çok daha ince olduğunu, karıştırma bölgesinde karmaşık akış modeli oluştuğunu ve mikrosertlik ölçümünün, karıştırma bölgesinde eşit olmayan bir dağılım ortaya çıkardığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca çekme testi sonuçlarında, kaynaklı numunenin gerilme mukavemetinin AZ31 Mg alaşımının yaklaşık %76'sı ve çekme mukavemetinin de 6061 Al alaşımının %60'ı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynaklanmış numunelerin SEM kırılma yüzey görüntüsünde, kaynaklı numunenin kırılma mod çatlağından dolayı başarısız olduğunu gözlemlemişlerdir. (Masoudian ve diğ. 2014).

Kwang-Jin LEE ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-T6 ve AZ31 alaşım plakalarının sürtünme karıştırma kaynaklarındaki karıştırma bölgesinin mikroyapısını incelemişlerdir. 150x75x2 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinin sonrasında gerçekleştirilen deneysel araştırmaların sonucu olarak, analiz edilen mikroyapılarda hiçbir belirgin kaynak hatasına rastlamamışlardır. AA6061 ve AZ31 alaşımlarının karıştırma bölgesinin, ince ve yeniden kristalize edilmiş tanelerden oluşan bir mikroyapı sergilediğini, AA6061 alaşımının karıştırma bölgesindeki tanelerin AZ31'inkinden çok daha küçük olduğunu gözlemlemişlerdir. Arayüzün mikroyapısının, Mg veya Al bakımından zengin lamel benzeri kayma bantları ile karakterize edildiğini, mikroyapıda, karıştırma bölgesinde yoğun homojen olmayan malzeme akışına işaret eden, geniş Mg ve Al bantlarının ve bunların dağılmış fragmanlarının dönüşümlü katmanlarını gözlemlemişlerdir. (Lee ve Pyo K. 2014).

Iman HEJAZI ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı AA6061 alaşım birleştirmelerinin mikro sertlik haritası kullanılarak mekanik ve metalurjik karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. 300x200x4 mm boyutlarındaki plakaların sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla,

940 dev/dk dönme hızı, 18mm/dk ilerleme hızı ve H13'ten imal edilmiş, 16 mm omuz çapı, 4 mm çap 3.7 mm uzunluk ölçülerindeki takım pimi parametrelerini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, karıştırma bölgesi için HV 119 maksimum sertlik değerini elde ederken, ilerleyen taraftaki ITAB ve termomekanik olarak etkilenmiş bölge arasındaki sınırın (çekme testinde arıza konumu) HV 81 değeriyle en düşük sertlik değerini sergilediğini gözlemlemişlerdir. Birleştirme alanının tane boyutu dağılımını önerilen denkleme göre modellemiş ve modelleme sonuçlarının, mikroskobik gözlemlerden elde edilenlerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir (ortalama ~%8 farkla). Ayrıca çekme testinden elde edilen deneysel sonuçlar ile tahminler arasında iyi bir uyum olduğunu gözlemlemişlerdir (ortalama ~%6 fark ile). Sonuç olarak mevcut araştırmanın, sertlik haritasının, makroyapı ve mikroyapının tahmininde ve alüminyum alaşımlı SKK bağlantılarının mukavemet özelliklerinin tahmininde başarılı bir şekilde uygulanabilir olduğunu gözlemlemişlerdir. (Hejazi ve Seyyed 2016).

Jamshidi Aval HAMED yaptığı çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı AA7075-AA5086 alüminyum alaşımlarının birleştirmelerinde ısı girdisinin ve kaynak sonrası yaşlandırma süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 15x50x4 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 700, 900, 1100, 1300 ve 1500 dev/dk dönme hızları, 6, 8 and 10 cm/dk ilerleme hızlarını parametre olarak kabul etmişlerdir. Deneysel araştırmanın sonucu olarak, ısı emici olmadan yapılan kaynaklarda, karıştırma bölgesine AA5086 hakim olduğunu ve ısı girdisi arttıkça karıştırma bölgesinde AA7075 miktarının arttığını, her kaynak serisinde, AA5086 tarafındaki karıştırma bölgesinin tane boyutunun, AA7075 tarafındakinden daha kaba olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ısı emici ile yapılan kaynaklardaki karıştırma bölgesinin tane boyutunun, benzer kaynak parametrelerinde ısı emici olmayanlara göre daha ince olduğunu, tüm kaynaklarda, AA7075 tarafındaki karıştırma bölgesi ve termomekanik olarak etkilenmiş bölge içinde doğal yaşlanmanın 1-180 gün arasında kalan gerilimde gözle görülür bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca kaynak ısısı girdisi azaldıkça tüm numunelerin mukavemetinin sürekli arttığını gözlemlemişlerdir. (Hamed 2017).

Woong-Seong Chang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061-T6 alüminyum alaşım ve AZ31 magnezyum alaşımı arasındaki hibrit lazer-sürtünme karıştırma kaynağının mikroyapısı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 200x100x4 mm boyutlarındaki plakaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, fiber optik ışın gönderimli 2 kW darbeli bir lazer, 0.6 mm fiber boyutu ve çıkış optiklerinde 50 mm çaplı lensler kullanmışlardır. 200 mm odak uzaklığına sahip bir lens, paralelleştirilmiş ışını fiberden 600 m'lik bir noktaya odaklamışlardır. Hibrit kaynağı 1,7 ve 2 kW lazer gücü ile gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak, çekme mukavemetinin, hibrit kaynak için magnezyum baz metal gerilmesinin %66'sı, Ni folyolu farklı SKK için %45, Ni folyosuz farklı SKK için %38 olarak gözlemlenmiştir. Bunun, $Al_{12}Mg_{17}$ yerine daha az kırılğan Ni bazlı metaller arası fazların varlığından kaynaklanıyor olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca lazer gücü 1,7 kW olduğunda, Ni folyonun yetersiz ısınması nedeniyle birleştirmenin arayüzünde bazı kusurlar ortaya çıktığını, lazer gücü 2 kW olduğunda eklem mukavemetinin magnezyum baz metal gerilme mukavemetinin %66'sına yükseldiğini gözlemlenmiştir. (Chang ve diğ. 2011).

K. N. Wakchaure ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 6082-T6 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerinde hibrit taguchi-gri ilişki analizi ve yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak çok amaçlı optimizasyonunu incelemişlerdir. 170x95x5 mm boyutlarındaki alüminyum alaşım plakalarının kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 700, 910, 1035 takım dönme hızları, 25.5, 38, 50 mm/sn ilerleme hızları ve 1, 2, 3 derece takım pim açılarını parametre olarak belirlemişlerdir. Ayrıca 15 mm'lik omuz ölçüsü ve 5 mm çapında takım pimi kullanmışlardır. Kaynaklı birleştirmelerden sonra belirtilen araştırma yöntemlerini kullanmış ve bu yöntemlerin sonucu olarak, takım dönüş hızı ve kaynak hızının, eğim açısı ve takım geometrisine kıyasla kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde daha önemli bir etki gösterdiğini, önerilen yaklaşım metodları olan hibrit Taguchi-Gri İlişki Analizi - YSA Metodlarının, 1002 rpm (takım dönüş hızı), 1.5° takım açısı ve 1 25.5 mm/sn (kaynak hızı) değerlerini verdiğini gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçların, konik tabanlı kompozit profile sahip takım kullanılarak gerçekleştirilen

SKK işleminin performans özelliklerinin, önerilen yaklaşım kullanılarak birlikte geliştirildiğini göstermişlerdir. (Wakchaure ve diğ. 2018).

S.T. Azeeza ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çift taraflı sürtünme karıştırmalı kaynaklı AA6082-T6 ve AA7075-T6 alüminyum alaşımlarının mikrosertliği ve mikroyapısı üzerinde işlem parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. 400x100x10 mm boyutlarındaki alüminyum alaşım levhaların kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 950,1000 dev/dk dönme hızları, 80,100 mm/dk ilerleme hızları ve 30 mm omuz çapı, 3.5 mm çap ve 9.8 mm uzunluğundaki prob ölçülerini parametreler olarak belirlemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler sonrasında gerçekleştirilen deneysel araştırmaların sonuçları olarak, vickers mikro sertlik profilindeki artışın, alaşımın çözünmesine, yeniden çökelmeye ve kabalaşmaya karşı güçlendirme tepkisinden kaynaklandığını, kaynaklı birleştirmelerin geri çekme bölümlerinde, yani çift taraflı kaynakların 2. Tarafı olan AA6082 alaşımı üzerinde aşırı flaşlar oluştuğunu, 80 mm/dk çapraz hızda üretilen kaynakların, kaynak külçesinde mükemmel bir malzeme akışı ile daha iyi malzeme karışımı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Karıştırma bölgesinin anormal şeklinin, ilerleyen tarafta konumlandırılan AA7075 alaşımının yüksek mukavemeti ve akış stresi nedeniyle neredeyse tüm numunelerde eşit şekilde fark edildiğini belirtmişlerdir. Çift taraflı kaynakların, homojen malzeme karışımının yanı sıra karıştırma bölgesinde dinamik yeniden kristalleştirme yoluyla mükemmel tane inceltmeleri sağladığını gözlemlemişlerdir. (Azeeza ve Akinlabia 2018).

Subramanya R Prabhu B. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum matris kompozitin mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. 100x50x5 mm boyutlarındaki plakaların SKK'lı birleştirmelerinde sırasıyla, 710, 1000, 1400 rpm takım dönme hızları, 50, 63, 80 mm/dk ilerleme hızlarını parametreler olarak belirlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucu olarak, ince eş eksenli taneciklerin, kaynak dikişinde eşit olarak dağıtıldığını ve kaynak dikişindeki şiddetli karıştırma etkisi nedeniyle, kaynak dikişinde birkaç küçük güçlendirilmiş partikül olduğunu, üst

kaynak dikiş bölgesinin, alttaki kaynak dikiş bölgesine kıyasla daha büyük tane boyutu gösterdiğini, termomekanik olarak etkilenen bölgenin, uzun ve eğimli taneler gösterip, daha küçük güçlendirme partikülü ve yeniden kristalize edilmiş taneler nedeniyle, kaynak dikişinin sertliğinin ana malzemeden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Takım dönüş hızının 1000 rpm ve ilerleme hızının 80 mm/dk olduğu numunelerde %97 verimlilik elde etmişlerdir. (Subramanya ve diğ. 2020).

İlker Eker ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AA6061 alaşımının SKK yöntemiyle kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. Alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirmelerinde değişken parametre olarak takım devri ve kaynak ilerleme hızını belirlemişlerdir. Karıştırıcı ucun devir hızını sabit tutarak ilerleme hızını dört farklı değerinde belirlemişler ve kaynaklı birleştirmeler sonrasında metalografik ve mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel araştırmaların sonuçları olarak, değişken dönme hızı ve ilerleme hızının parametrelerine bakıldığında en düşük sertlik değerlerini kaynak merkezinde, bu bölgeden uzaklaştıkça ise sertlik değerlerinde artmalar olduğunu ve daha sonra ana metalin sertliğine ulaşıldığını, çekme testlerinin sonucunda 1100 ve 1400 devir dönme hızlarında ilerlemeye bağlı olarak hem akma mukavemetinde hem de kesme mukavemetinde 90 mm/dk ilerleme hızına kadar az bir artış olduğunu gözlemlemiş, ilerleme hızı arttıkça da bir azalma olduğunu belirtmişlerdir. (Eker ve Sevim 2009).

Yahya Bozkurt yaptığı çalışmada sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen belirli oranda SiC takviyeli alüminyum 2124/25 kompozit levhaların mekanik özellikleri ve mikroyapı karakterizasyonunu incelemiştir. Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirme işleminde farklı takım dönme (355, 560, 900, 1120 ve 1400 dev/dak.) ve ilerleme (40, 50, 80 ve 100 mm/dak.) hızlarını kullanarak SKK'lı birleştirmelerini gerçekleştirmiştir. Kaynaklı kompozit levhaların, mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla eğme, mikro sertlik ve çekme testlerini gerçekleştirmiş ve bu testlerin sonucu olarak, . Kaynaklı birleştirmelerde takım ilerlemesi arttıkça mukavemet değerlerinde azalmalar meydana geldiğini, en yüksek mukavemet değerini 1120 devir ve 40 mm ilerleme hızları ile yapılan birleştirmede

elde etmiş ve en düşük mukavemet değerini ise, 900 devir 100 mm ilerleme ile yapılan birleştirme sonucunda elde ettiğini belirtmiştir. XRD incelemelerinde, SiC partiküllerin çevresinde bölgesel olarak Cu_2FeAl_7 fazının oluştuğunu belirlemiş, SKK esnasında kompozit levhaların karışım bölgesinde yeniden kristalleşme olayı olduğunu gözlemlemiştir. (Bozkurt ve diğ. 2011).

Enver Atik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AA2024 alaşımının kaynak bölgesini çökelme sertleşmesi açısından incelemiştir. Levha şeklinde üretilmiş olan AA2024 işlem alaşımlarını 60 derecelik V kaynak ağzı açılarak TIG kaynak yöntemi ile ER4043 elektrot kullanılarak argon gazı altında birleştirmiş, kaynaklanmış örnekleri 492 derecede çözeltiye almış ve oda sıcaklığında su vermişlerdir. Daha sonra bir kısmını doğal yaşlandırırken bir kısmını ise 125 derecede 22 saat ve 190 derecede 8.5 saat yapay yaşlandırılmışlardır. Deneysel araştırmaların sonucu olarak, en yüksek çekme ve akma mukavemetinin 190 derecede 8.5 saat yapay yaşlandırma uygulanmış örneklerde olduğunu, doğal yaşlandırılmış örneklerin en yüksek çentik darbe direncine sahip olmalarına rağmen 190 derecede 8.5 saat yapay yaşlandırılmış örneklerin en düşük çentik darbe direncine sahip olduklarını, ITAB, kaynak metali, ve esas metal arasındaki mikrosertlik değerleri arasında en az farkın doğal yaşlandırılmış örneklerde olduğunu gözlemlemiştir. (Atik ve diğ. 2001).

Serdal Numan yaptığı çalışmada alüminyum alaşımı levha çiftinin metal matrisli kompozit ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğini incelemiştir. AA2124/SiCp/25p-T4 metal matrisli kompozit ile 3003-H4 alüminyum alaşımının kaynaklı birleştirmelerinde sırasıyla, 900-1400 dev/dk takım dönme hızları ve 40-125 mm/dk takım ilerleme hızlarını parametre olarak kabul etmiştir. SKK yöntemi ile küt alın şeklinde birleştirilen levhaların deneysel araştırmalarının sonucu olarak, sabit takım dönme hızı ve düşük ilerleme hızlarında kaynak yüzeyinde minimal porozitelere rastlamış, ilerleme hızının artmasıyla kaynağın hem üst hem kök kısmında herhangi bir kusur ya da poroziteye rastlamamıştır. SKK sonrası en yüksek çekme mukavemetini 182 Mpa ve % uzama

değerini ise 11.2 olarak ölçmüş, bu değerlerin 900 devir 125 mm ilerleme parametrelerinde görüldüğünü bildirmiştir. En düşük çekme mukavemetinin ise 162 Mpa ve % uzamanın 8.4 olduğunu belirtmiş ve bu değerlerin 1400 devir 40 mm ilerleme parametrelerinde görüldüğünü bildirmiştir. Tüm kaynak parametrelerinde birleştirilen plakaların karışım bölgelerindeki sertliğin takım ilerleme yönünden takım ilerlemesinin ters yönüne gidildikçe artış gösterdiğini gözlemlemiştir. (Numan 2011).

7. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemi ile kimyasal bileşimi Tablo 3.'te gösterilmiştir. AA6082 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen SiC takviyeli malzemelerin mekaniksel ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Elde edilen döküm parçaları deneysel boyutlara uyularak testere ile kesilmiş ve kaynaklı birleştirmelere hazırlanmışlardır. Bu işlemten sonra, elde edilen saf ve SiC takviyeli numunelerin CMT (Cold Metal Transfer) ve PMC (Pulse Multi Control) yöntemleriyle kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerden çıkarılan çekme testi numuneleri ile çekme testleri gerçekleştirilmiş ve aynı zamanda çıkarılan diğer numuneler ile de mikroyapı, makroyapı, EDS ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3: AA6082 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0,5	0,7-1,3	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,2	0,25	0,15	Kalan

Tablo 4: AA6082 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (mPa) min-max	Çekme Mukavemeti (mPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (brinel) min-max
T0	60	130	26	35

7.1. Kum Kalıp Hazırlama

Gerçekleştirilecek olan karıştırmalı döküm işlemleri için öncelikle AA6082 çubuk malzemeler istenilen boyutlarda kesilerek döküm ocağında 950°C'de ergitilmiştir. Eriyik hale gelen alüminyum malzemeler öncelikle saf olarak döküme hazırlanmış, döküm öncesinde cüruf temizleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Eriyik haldeki alüminyum için hazırlanan kum kalıplarda yolluk ve model yerleştirildikten sonra elek yardımıyla derece içerisine dökülen silis kumları sıkıştırılarak rijit bir yüzey oluşturulmuş ve model kalıptan çıkarılarak döküm için hizalanmıştır.



Şekil 4. Kum kalıp hazırlama işlemi

7.2. Takviye Elemanı İlavesi

Döküm işleminde kullanılacak olan sırasıyla yüzde 3, 6 ve 9'luk SiC F600 boyutundaki (yaklaşık 3-19 μ m) takviyeleri yaklaşık 10 dakika boyunca 200°C'lik fırında ısıtılmıştır. Ön ısıtılan takviye elemanları ergiyik hale gelen ve cüruftan temizlenmiş alüminyumun içine dökülmüştür. Döküm fırını içerisinde bulunan bir paslanmaz çelik karıştırıcı sayesinde takviye elemanı olan SiC'ün eriyik içerisine homojen bir şekilde dağılımı gerçekleştirilmiştir. Takviye elemanının ilave edildiği döküm fırını ve karıştırıcı uç Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Döküm fırını ve karıştırıcı uç



Şekil 6. Takviye elemanı hazırlanması (SiC)

7.3. Kaynaklı Birleştirme için Numune Hazırlanması

Döküm sonrası elde edilen 70 x 55 x 250 mm boyutlarındaki döküm malzemeler saf ve sırasıyla yüzde 3, 6, 9 oranlarındaki SiC takviyeli kompozit malzemeler Jetco JBS 180-T marka testere ile önceden belirlenen boyutlarda kesilmiştir. Kesilen parçalar CMT ve PMC kaynak yöntemleriyle birleştirilmek üzere hazırlanmıştır.



Şekil 7. Kaynaklı birleştirme için hazırlanan numuneler

7.4. Kaynaklı Birleştirme İşlemi

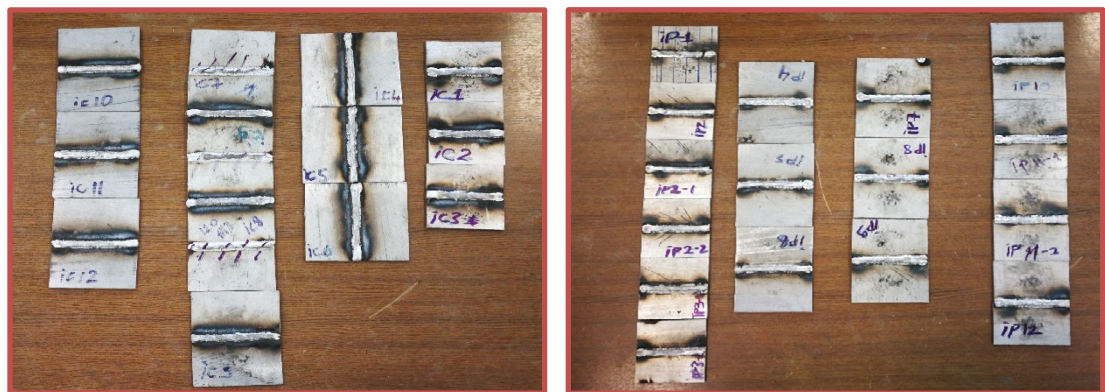
Testereden belirli ölçülerde kesim işlemi gerçekleştirilen saf ve SiC takviyeli döküm malzemelerin, Fronius International İstanbul fabrikasında CMT ve PMC yöntemleri ile kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde sırasıyla 110, 120 ve 130 amper olmak üzere 3 farklı kaynak akımı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra CMT kaynaklı birleştirmeler, 110 amper için 14.2 volt, 120 amper için 14.4 volt ve 130 amper için 14.7 volt, PMC kaynaklı birleştirmeler 110 amper için 18.3 volt, 120 amper için 18.7 volt ve 130 amper için 19.2 volt olmak üzere 3 farklı voltaj değeri ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde AlMg4,5Mn kaynak teli kullanılmıştır. Gaz debisi 12 litre/dk olarak ayarlanmış ve kaynak hızı 400 mm/dk olarak belirlenmiştir. Birleştirmelerde kullanılan AlMg4,5Mn telinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5: AlMg4,5Mn kaynak telinin kimyasal bileşimi (Gedik 2021)

Al	Cr	Mn	Si	Fe	Mg
Rest	0.20	0.80	<0.40	<0.40	5.00

Tablo 6: AlMg4,5Mn kaynak telinin mekanik özellikleri (Gedik 2021)

Yoğunluk (kg/dm ³)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (Lo=5do) (%)	Erime Aralığı (°C)	Sertlik (Kaynak Sonrası) (HB)
2.6	170	250	20	575-585	45



Şekil 8.Yapılan kaynaklı birleştirmeler

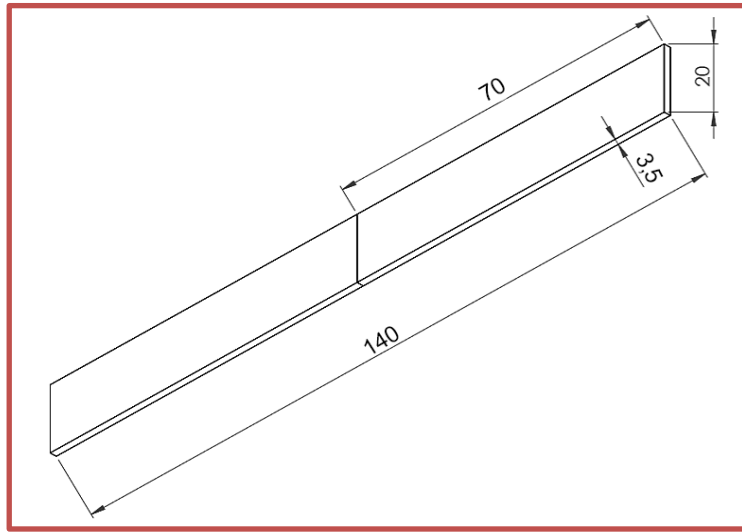
Kaynaklı birleştirmelerin sonuçlarına direkt olarak etki eden bir başka etken olan ısı girdilerinin kullanılan kaynak akımı, voltaj, ark verimi ve kaynak hızı gibi parametrelere göre sonuçları Tablo 7’de gösterilmektedir.

ISI GİRDİSİ HESABI ($H=V.I.n.60/s$)						
	Numune	V (Volt)	I (Akım)	n(Ark verimi)	S(Kaynak Hızı)	Isı Girdisi (Joul/mm)
SAF 6082	CMT 110A	14,2	110	0,66	400	154,638
	CMT 120 A	14,4	120	0,66	400	171,072
	CMT 130 A	14,7	130	0,66	400	189,189
%3 SiC 6082	CMT 110A	14,2	110	0,66	400	154,638
	CMT 120A	14,4	120	0,66	400	171,072
	CMT 130A	14,7	130	0,66	400	189,189
%6 SiC 6082	CMT 110A	14,2	110	0,66	400	154,638
	CMT 120A	14,4	120	0,66	400	171,072
	CMT 130 A	14,7	130	0,66	400	189,189
%9 SiC 6082	CMT 110 A	14,2	110	0,66	400	154,638
	CMT 120A	14,4	120	0,66	400	171,072
	CMT 130 A	14,7	130	0,66	400	189,189
SAF 6082	PMC 110 A	18,3	110	0,8	400	241,56
	PMC 120 A	18,7	120	0,8	400	269,28
	PMC 130 A	19,2	130	0,8	400	299,52
%3 SiC 6082	PMC 110 A	18,3	110	0,8	400	241,56
	PMC 120 A	18,7	120	0,8	400	269,28
	PMC 130 A	19,2	130	0,8	400	299,52
%6 SiC 6082	PMC 110 A	18,3	110	0,8	400	241,56
	PMC 120 A	18,7	120	0,8	400	269,28
	PMC 130 A	19,2	130	0,8	400	299,52
%9 SiC 6082	PMC 110 A	18,3	110	0,8	400	241,56
	PMC 120 A	18,7	120	0,8	400	269,28
	PMC 130 A	19,2	130	0,8	400	299,52

Tablo 7: Kaynaklı birleştirmelerin ısı girdisi değerleri

7.5. Çekme Testi, Mikro-Makroyapı, XRD ve Sem Analizleri

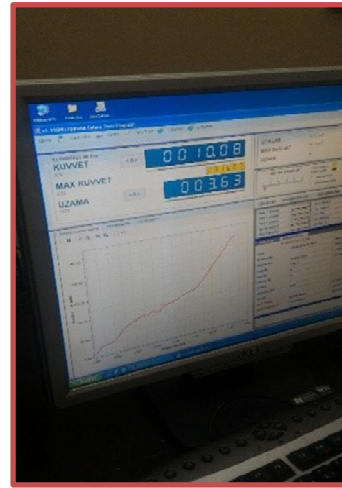
Kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilen numuneler tekrar testere ile deneyler için 140x20x3,5 mm boyutlarında ASTM E8 standardına uygun olarak kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen numuneler 30 tonluk Alşa marka çekme cihazında 20 mm/s hızla çekme testine tabi tutulmuştur. Bakalite alınan numunelerin ise sırasıyla 50x, 100x, 200x ve 500x ölçekli büyütmelerde mikroyapı, 0.7x, 1x ve 1.5x ölçekli büyütmelerde ise makroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. Çekme testi numunelerinin şematik gösterimi



Şekil 10. Çekme testi işlemi



Şekil 11. Çekme testi görüntüsü

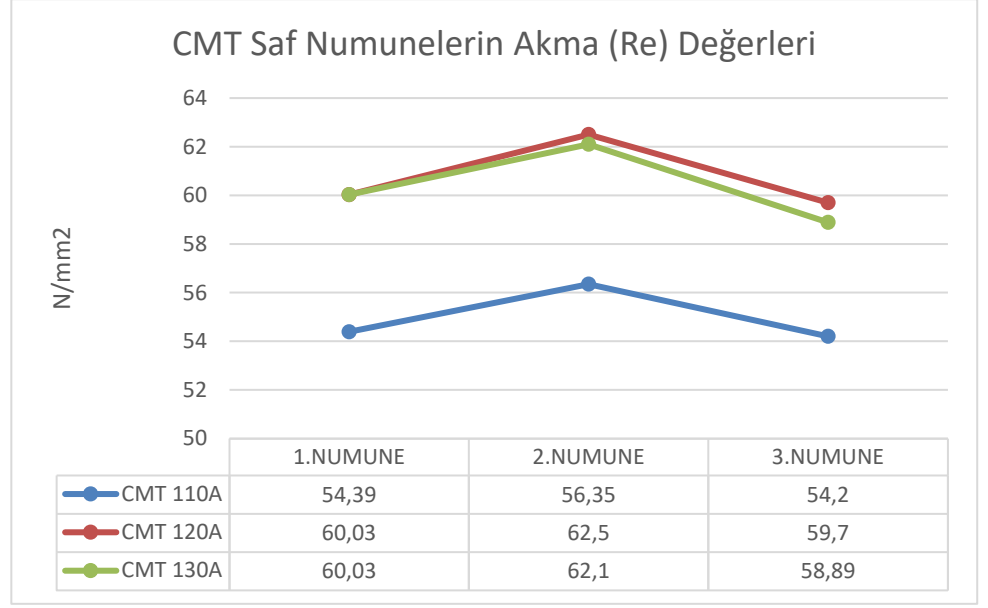
8. SONUÇLAR

8.1. Çekme Deneyi Sonuçları

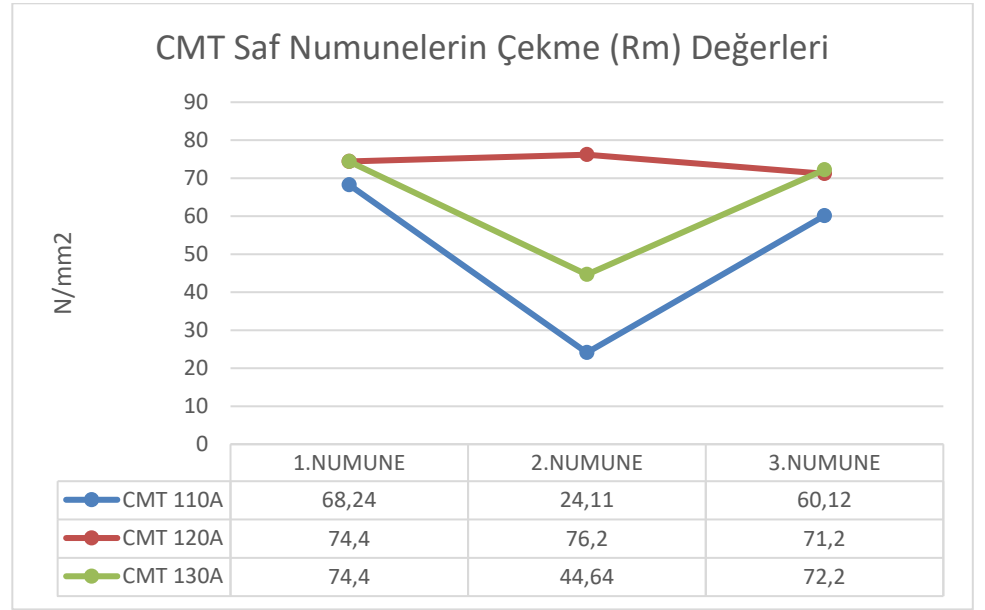
Alın altına kaynak pozisyonunda yapılan birleştirmelerin çekme testi sonucunda her bir parametre için üç farklı sonuç elde edilmiştir. Bu farklı sonuçların ortalama değerleri hesaplanıp kopma büzülmesi ve kopma uzaması değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar takviye oranınca saf olan ve sırasıyla yüzde 3, 6 ve 9'luk SiC takviyeli numunelerdeki değerlerle karşılaştırılmıştır.

ÇEKME DENEYİ DEĞERLERİ (Ortalama)						
	Numune	İLK BOY	SON BOY	% UZAMA	Rm (Çekme Dayanımı)	Re (Akma Dayanımı)
SAF 6082	CMT 110A	140	145,83	4,16	50,82	54,98
	CMT 120 A	140	147,26	5,18	73,93	60,74
	CMT 130 A	140	145,79	4,13	63,74	60,34
%3 SiC 6082	CMT 110A	140	149,57	6,83	54,89	63,61
	CMT 120A	140	144,24	3,02	87,73	70,12
	CMT 130A	140	143,71	2,65	83,11	66,7
%6 SiC 6082	CMT 110A	140	144,72	3,37	57,97	53,71
	CMT 120A	140	143,73	2,66	49,98	54,01
	CMT 130 A	140	143,16	2,25	60,54	62,59
%9 SiC 6082	CMT 110 A	140	143,14	2,24	79,52	63,79
	CMT 120A	140	142,66	1,9	72,85	59,00
	CMT 130 A	140	142,99	2,13	83,80	67,38
SAF 6082	PMC 110 A	140	144,85	3,46	57,98	57,56
	PMC 120 A	140	147,78	5,55	77,53	77,13
	PMC 130 A	140	147,88	5,62	77,53	73,37
%3 SiC 6082	PMC 110 A	140	143,26	2,32	70,63	56,44
	PMC 120 A	140	143,86	2,75	81,23	65,16
	PMC 130 A	140	143,06	2,18	69,95	58,15
%6 SiC 6082	PMC 110 A	140	143,01	2,15	59,78	57,69
	PMC 120 A	140	142,90	2,07	70,11	56,26
	PMC 130 A	140	142,39	1,70	46,17	52,62
%9 SiC 6082	PMC 110 A	140	142,48	1,77	62,25	58,17
	PMC 120 A	140	141,8	1,28	49,59	59,47
	PMC 130 A	140	142,49	1,77	54,73	55,36

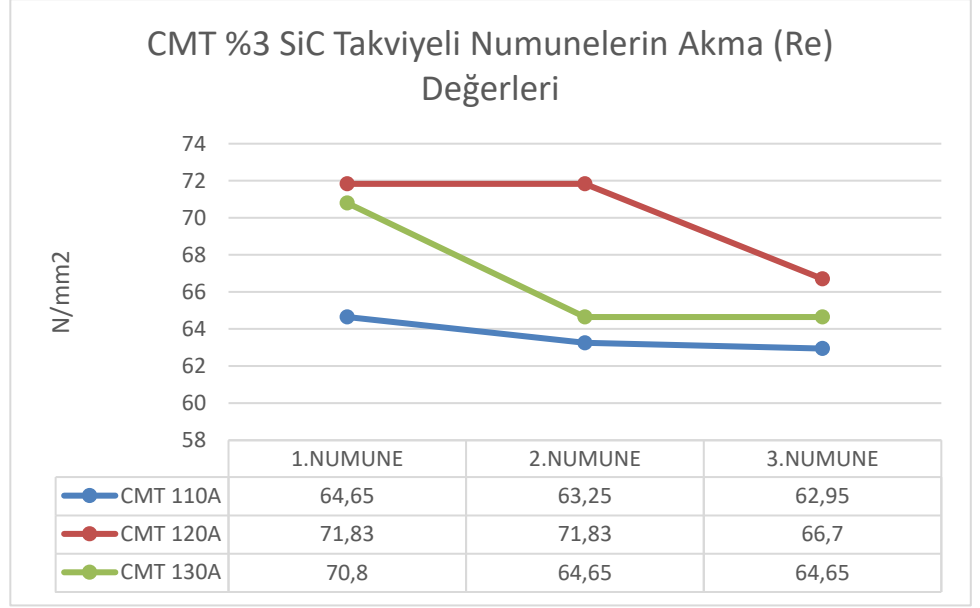
Tablo 8. Kaynaklı birleştirmeleri yapılmış numunelerden ölçülen çekme deneyi değerleri



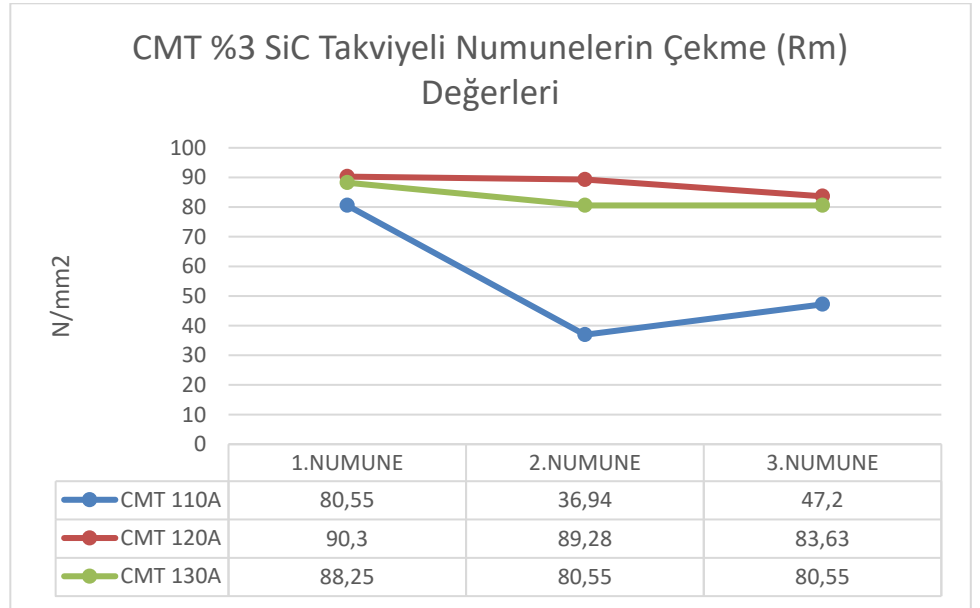
Grafik 1: CMT kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



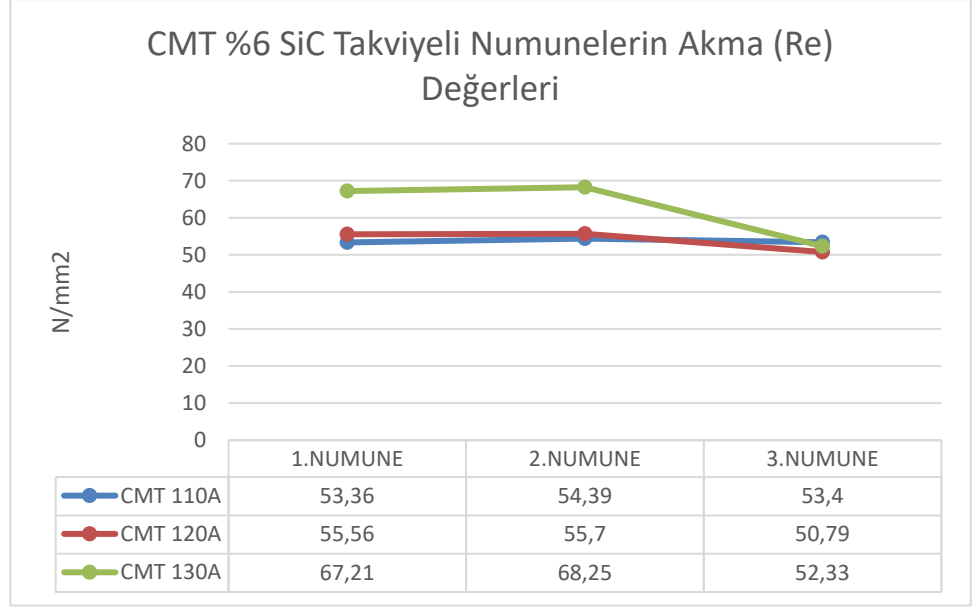
Grafik 2: CMT kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



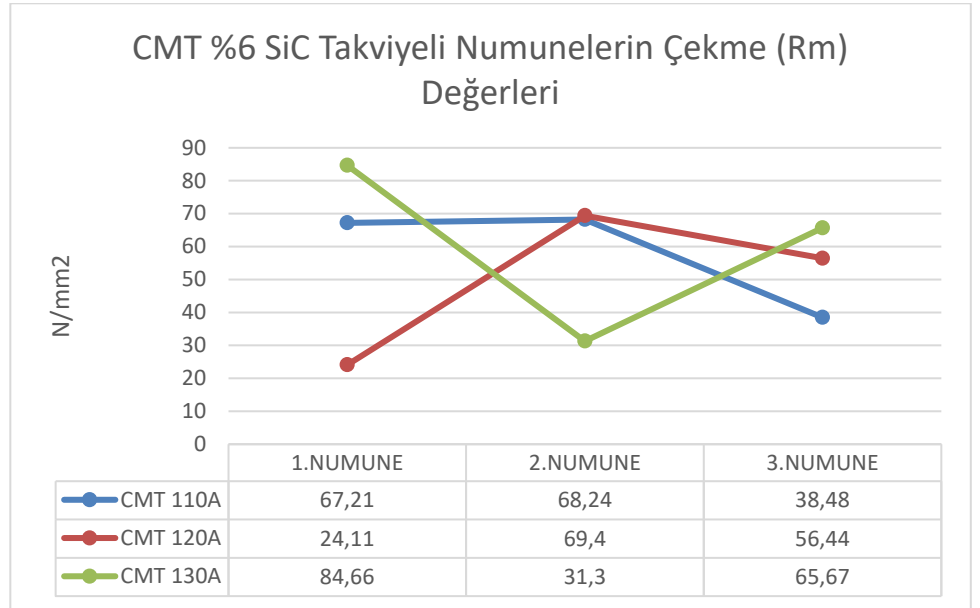
Grafik 3: CMT kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



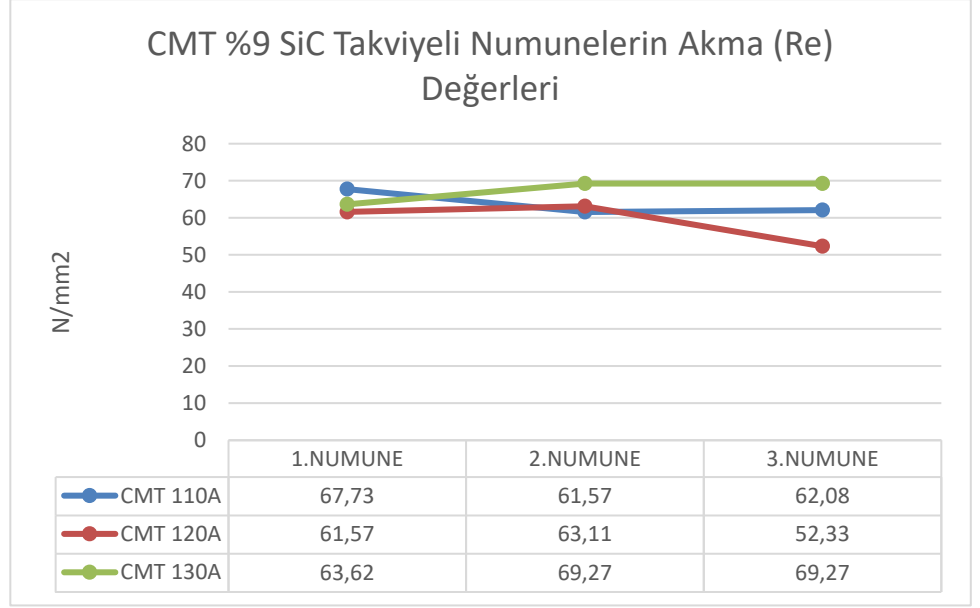
Grafik 4: CMT kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



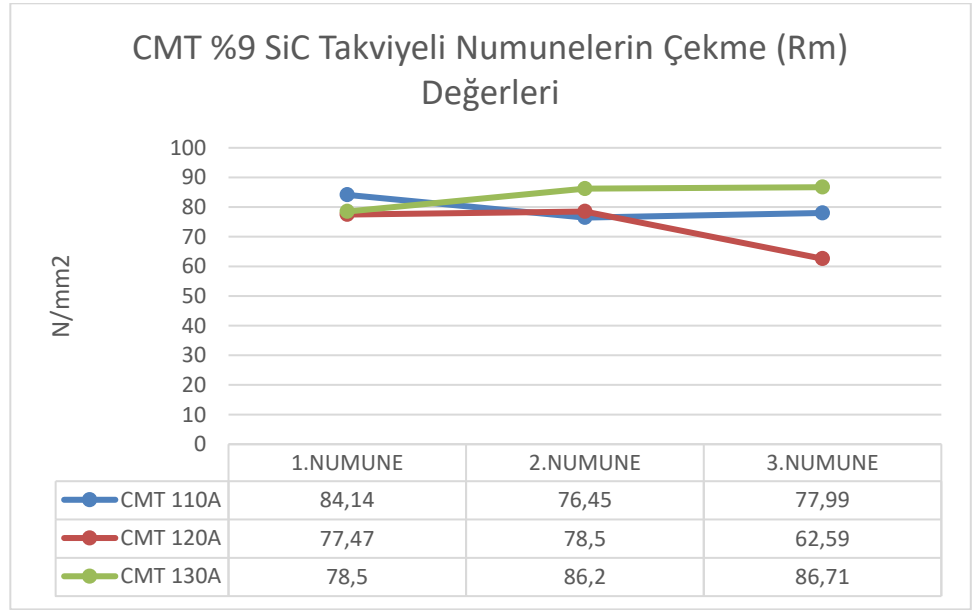
Grafik 5: CMT kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



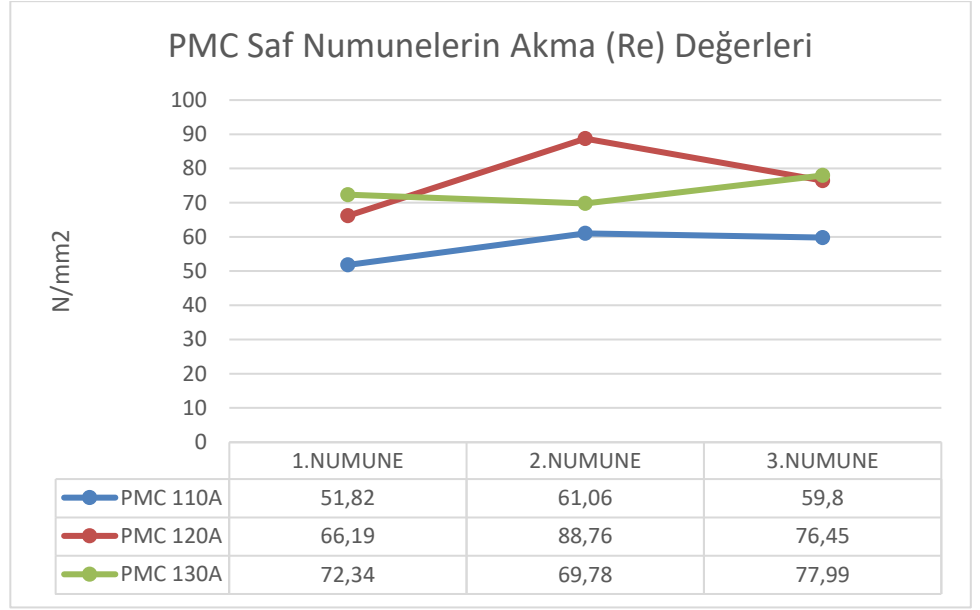
Grafik 6: CMT kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



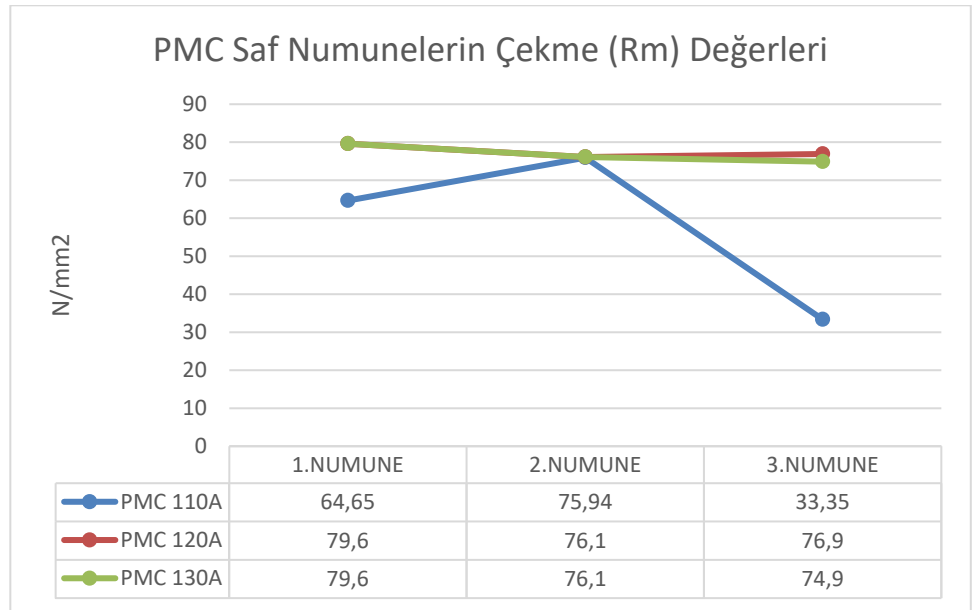
Grafik 7: CMT kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



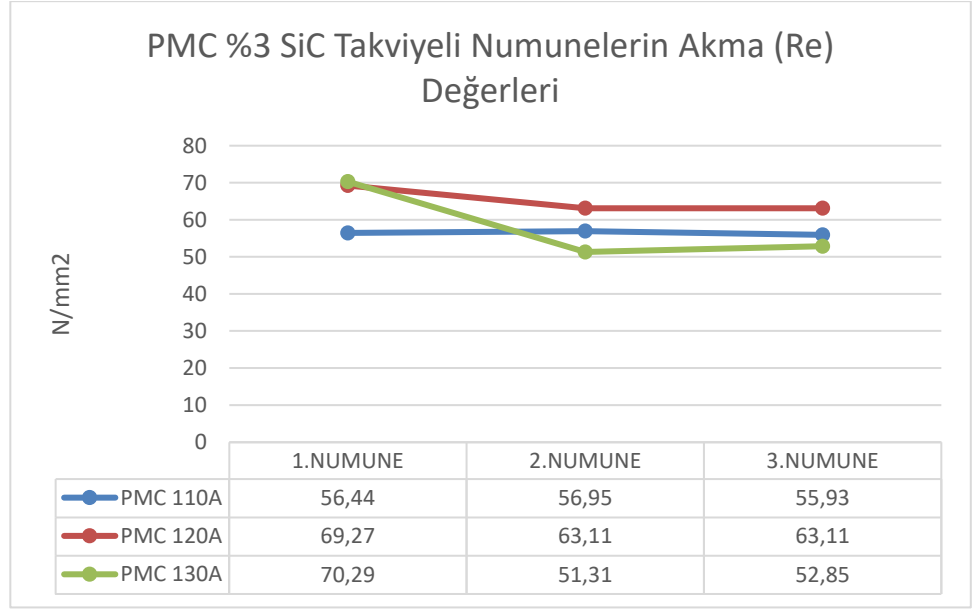
Grafik 8: CMT kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



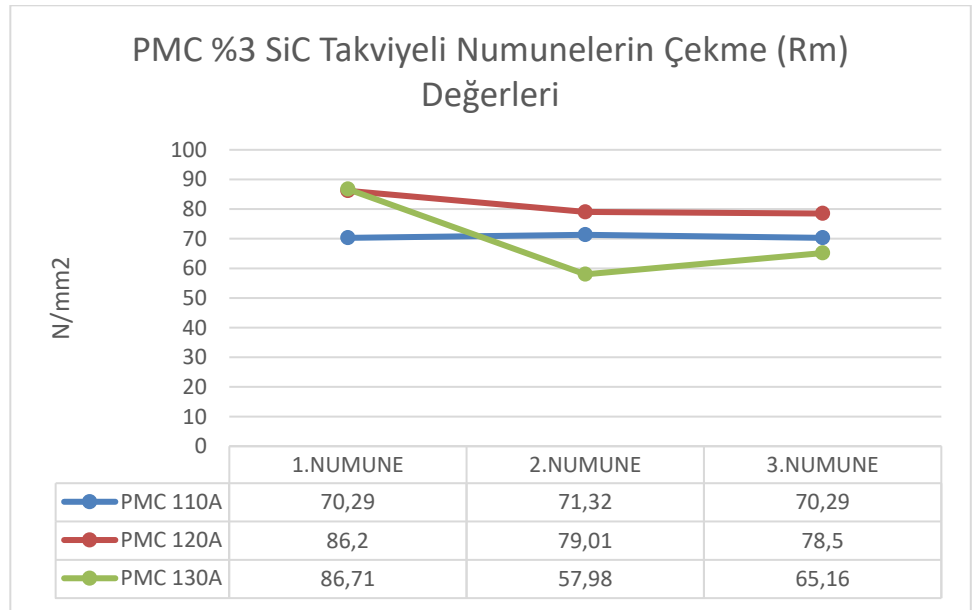
Grafik 9: PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



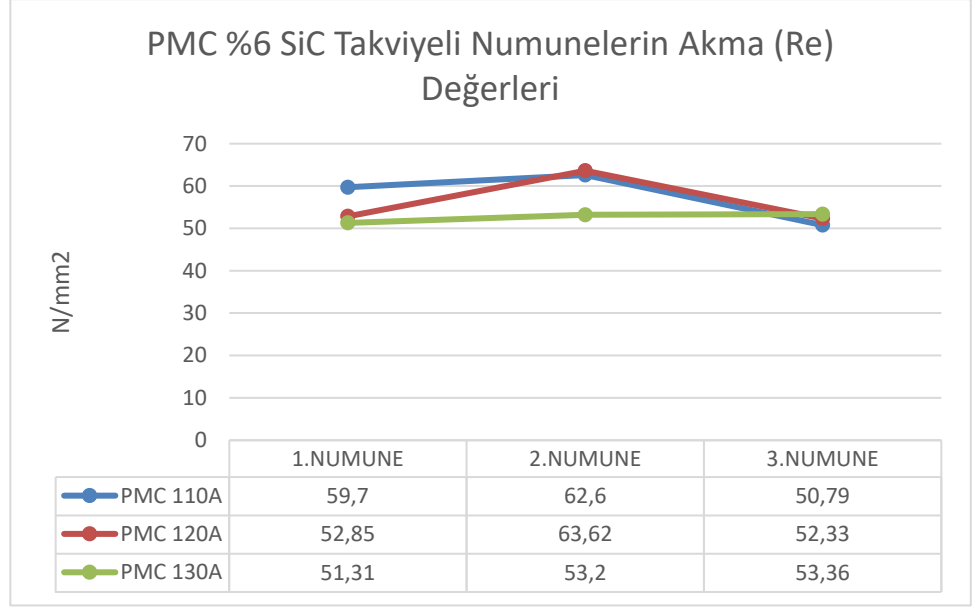
Grafik 10: PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



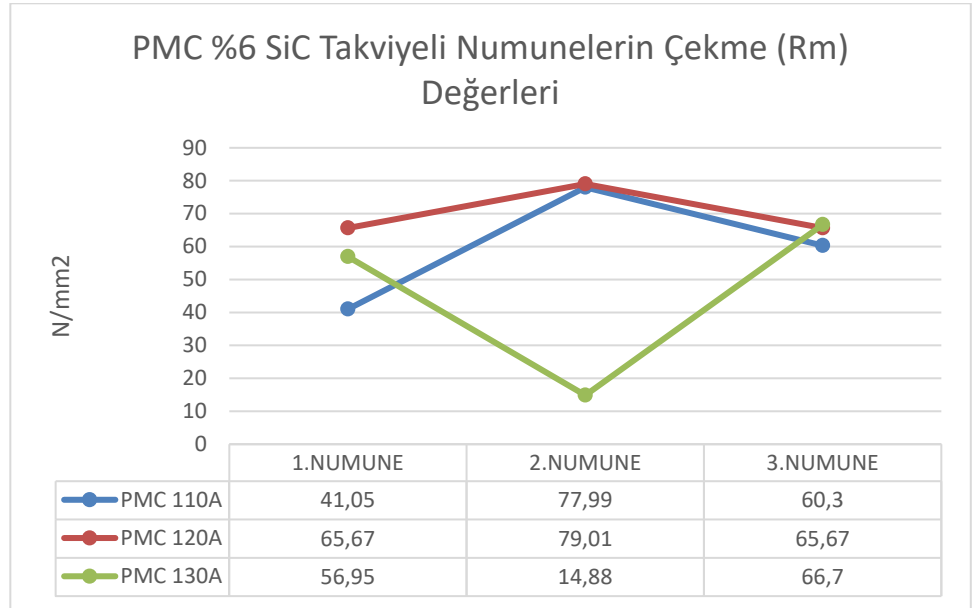
Grafik 11: PMC kaynaklı %3 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



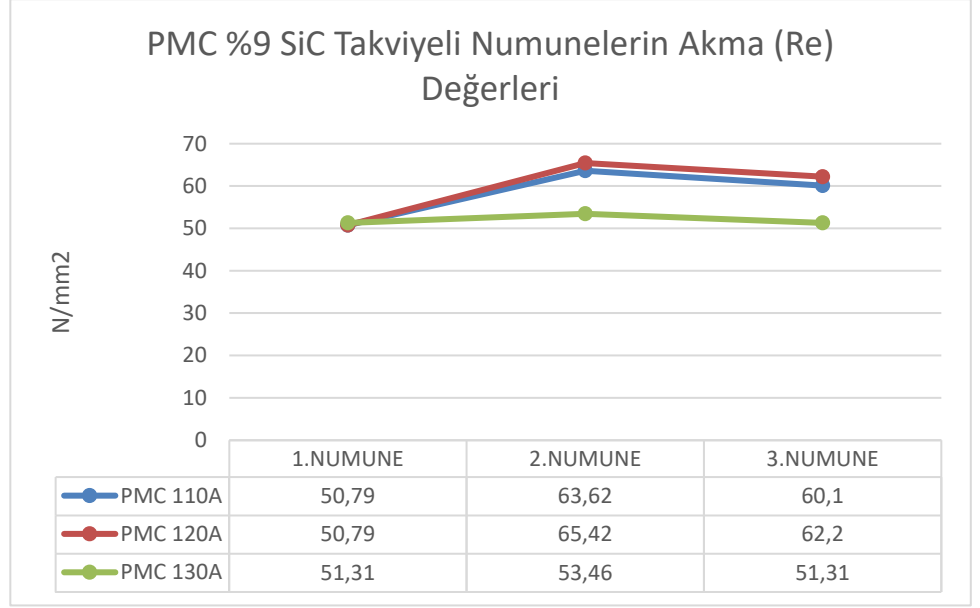
Grafik 12: PMC kaynaklı %3 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



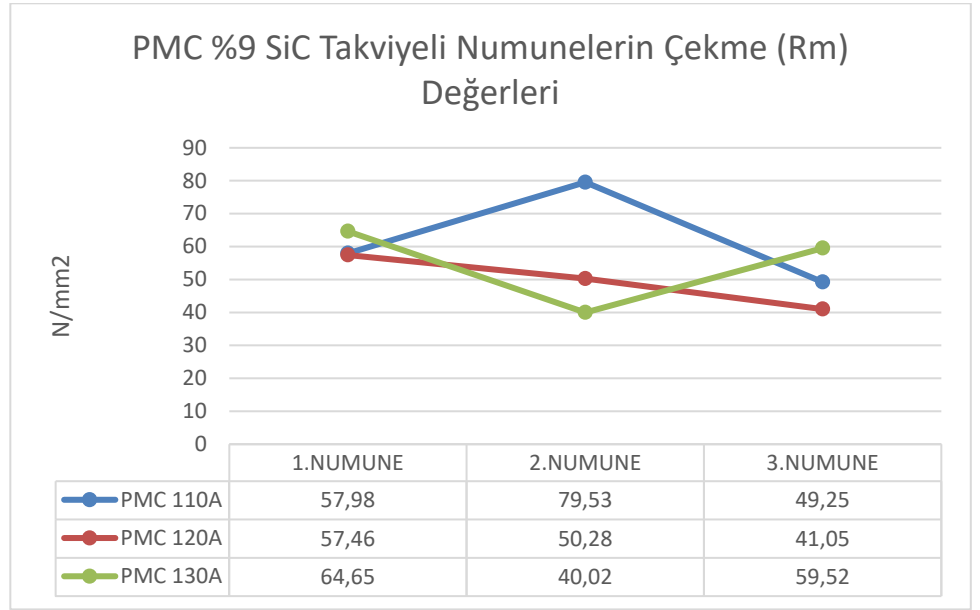
Grafik 13: PMC kaynaklı %6 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



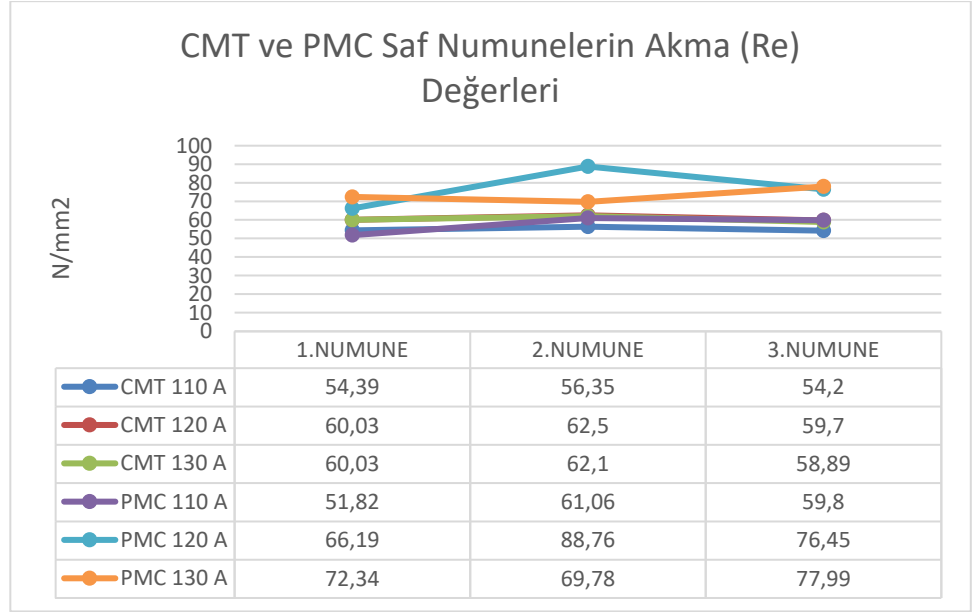
Grafik 14: PMC kaynaklı %6 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



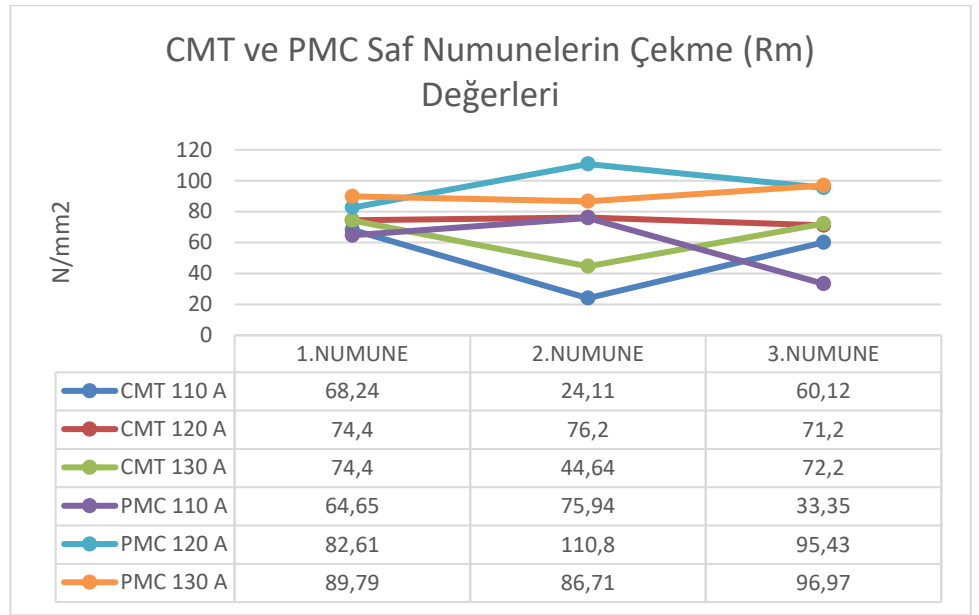
Grafik 15: PMC kaynaklı %9 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



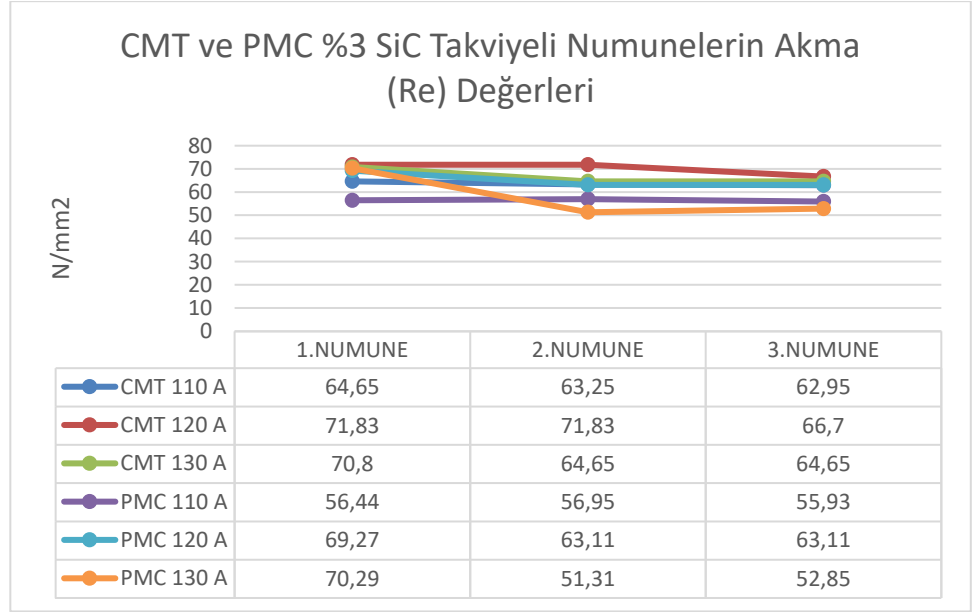
Grafik 16: PMC kaynaklı %9 SiC takiyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



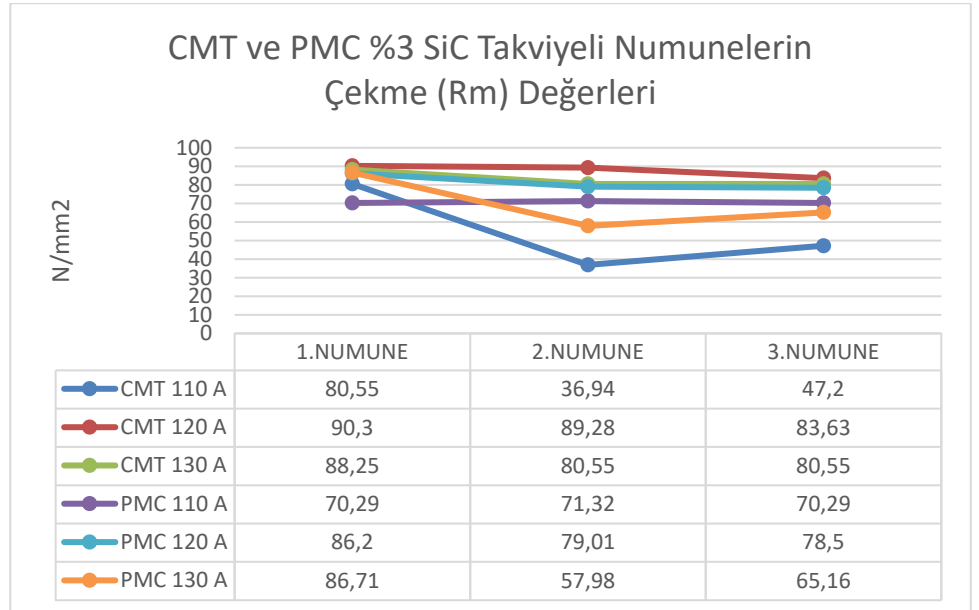
Grafik 17: CMT ve PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



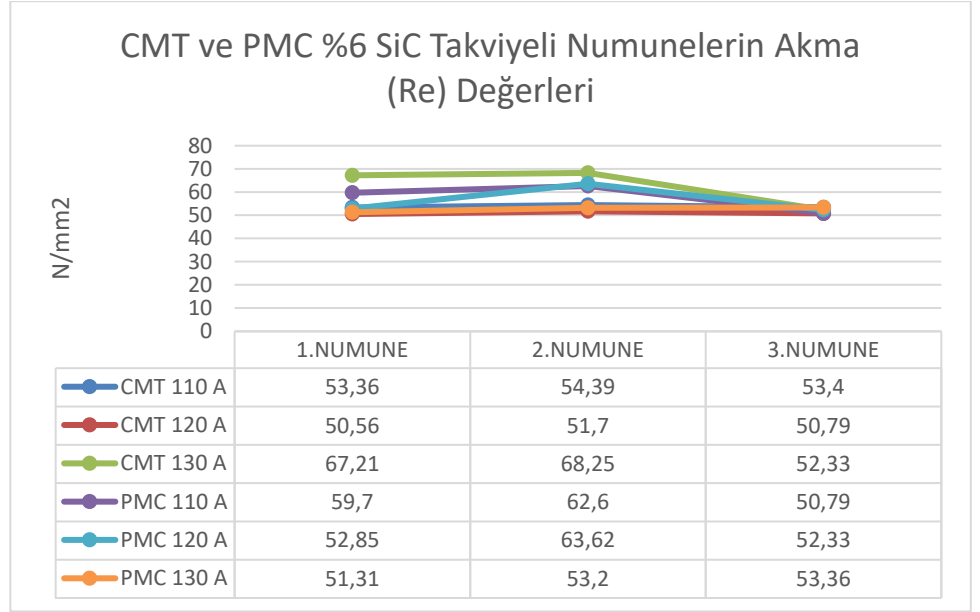
Grafik 18: CMT ve PMC kaynaklı saf numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



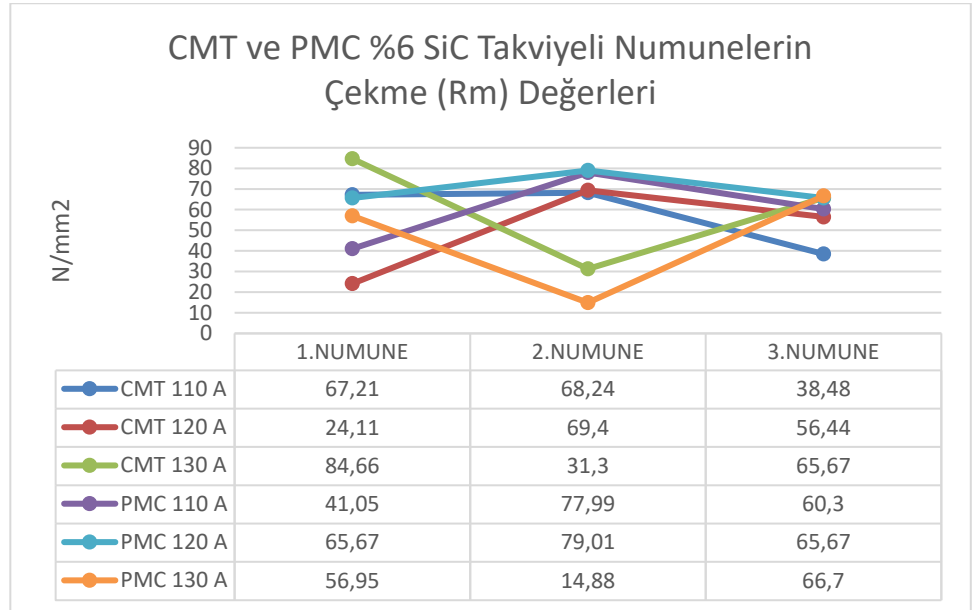
Grafik 19: CMT ve PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



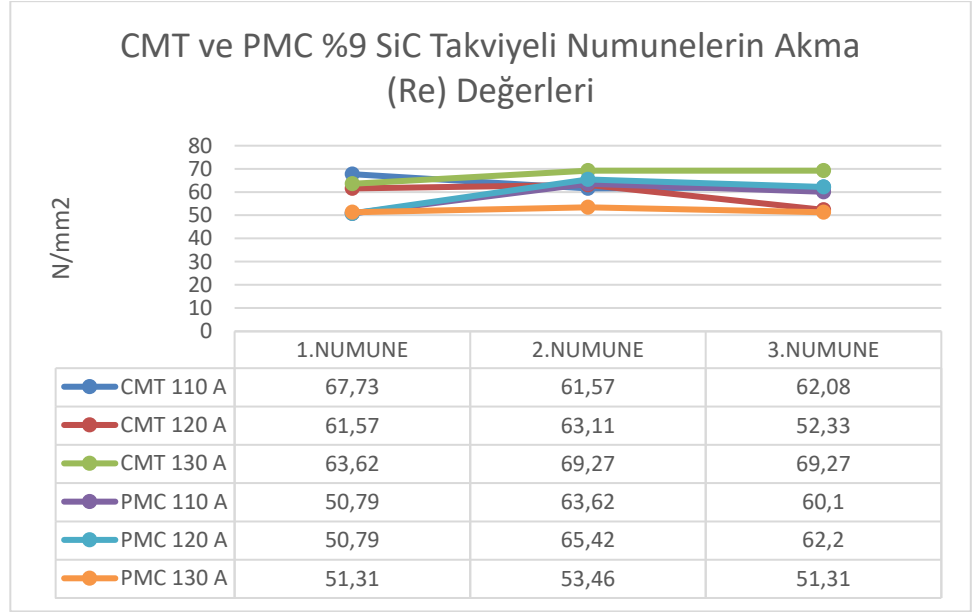
Grafik 20: CMT ve PMC kaynaklı %3 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



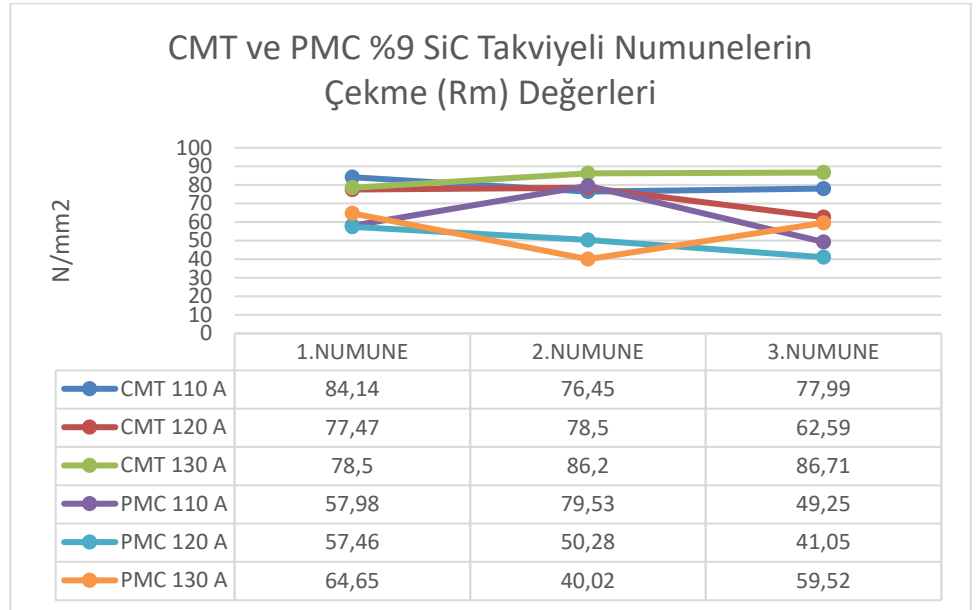
Grafik 21: CMT ve PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



Grafik 22: CMT ve PMC kaynaklı %6 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması



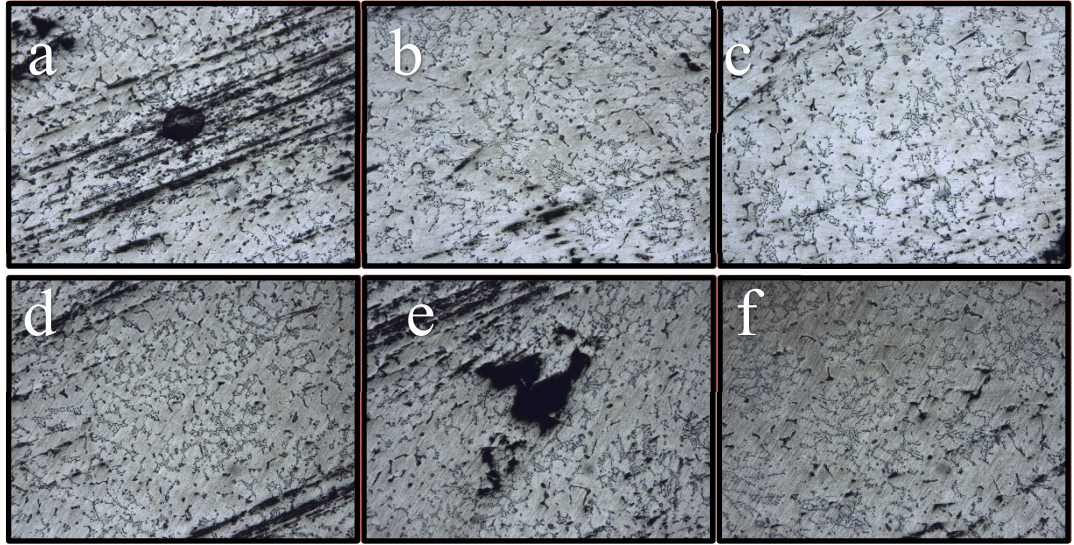
Grafik 23: CMT ve PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki akma değerleri karşılaştırılması



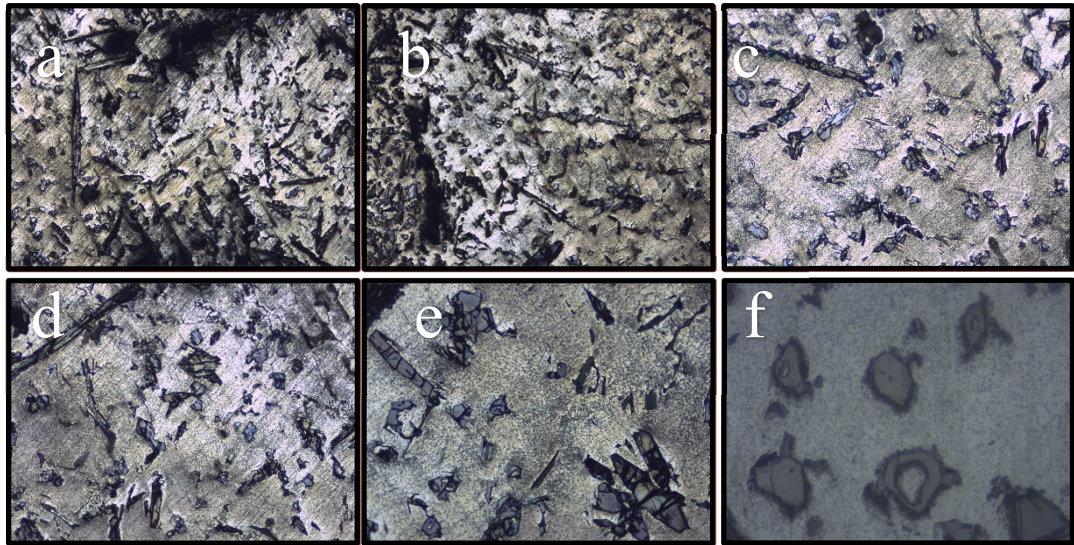
Grafik 24: CMT ve PMC kaynaklı %9 SiC takviyeli numunelerin farklı akımlardaki çekme değerleri karşılaştırılması

8.2. Mikro Yapı Sonuçları

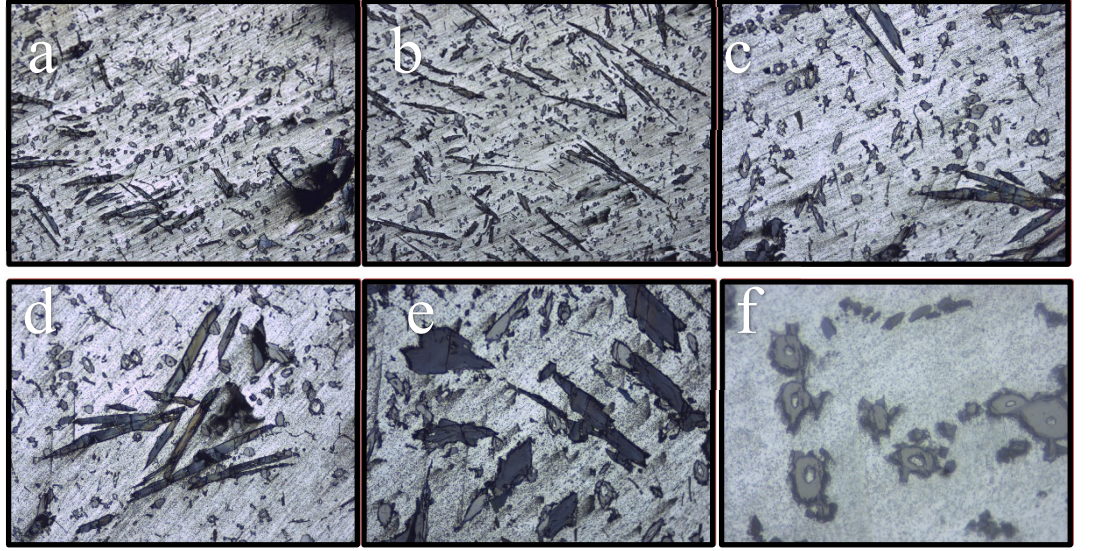
Kesme işlemleri gerçekleştirilen ve bakalite alınan numuneler, Teknoloji Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan mikroskop ile incelenmiş ve yüzeylerin sırasıyla 50x, 100x, 200x ve 500x büyütmelerde mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. A, B, C, D, E, F harfleri sırasıyla 50x, 50x, 100x, 100x, 200x ve 500x büyütmeleri göstermektedir.



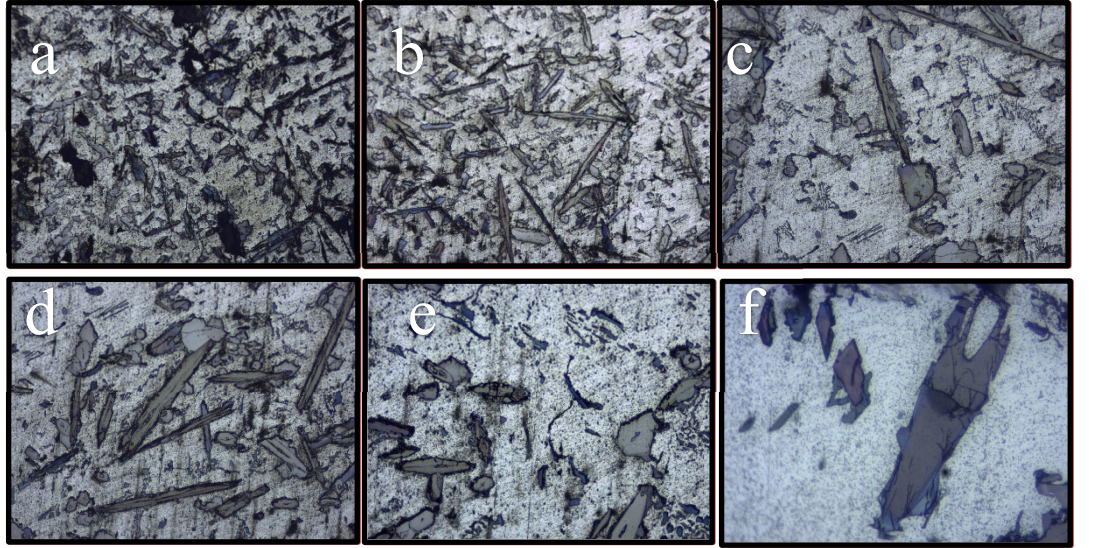
Şekil 12. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



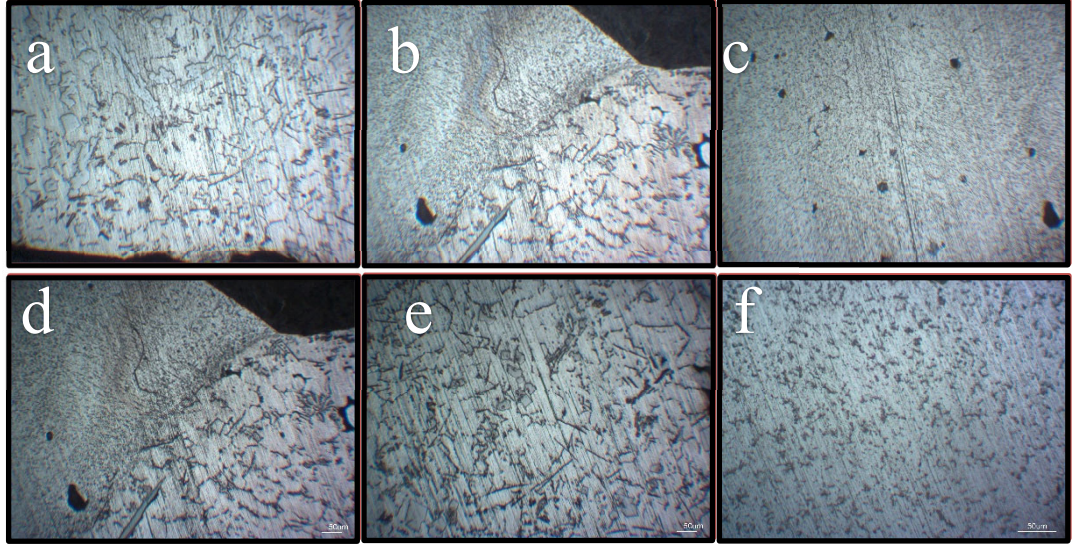
Şekil 13. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



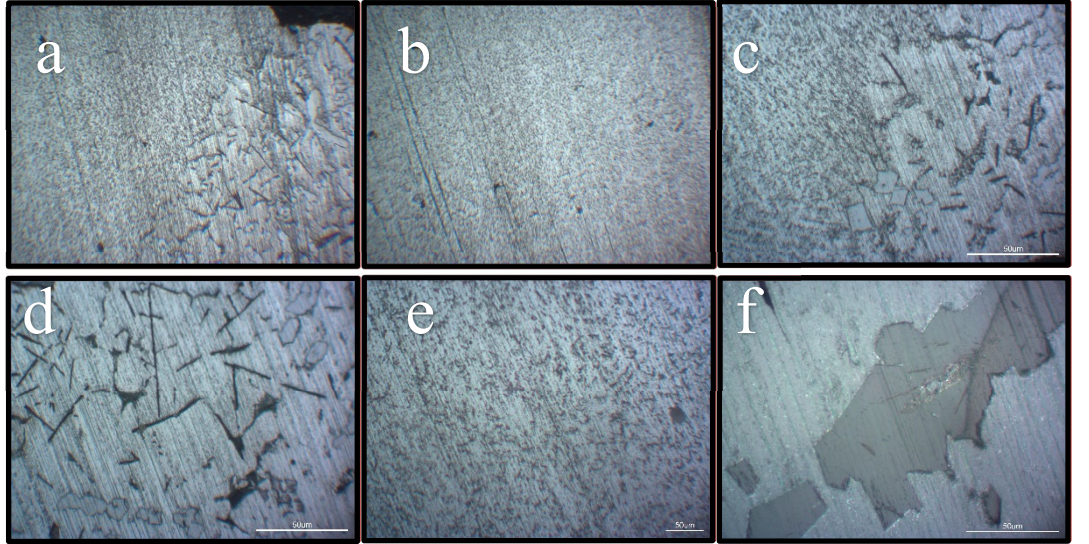
Şekil 14. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



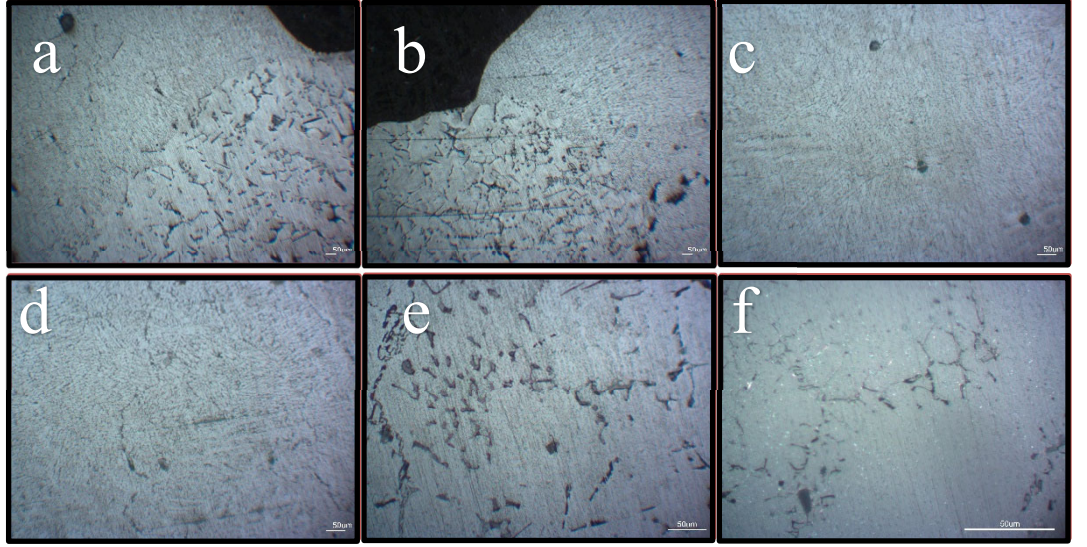
Şekil 15. Kaynaklı birleştirme öncesinde döküm ile imal edilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



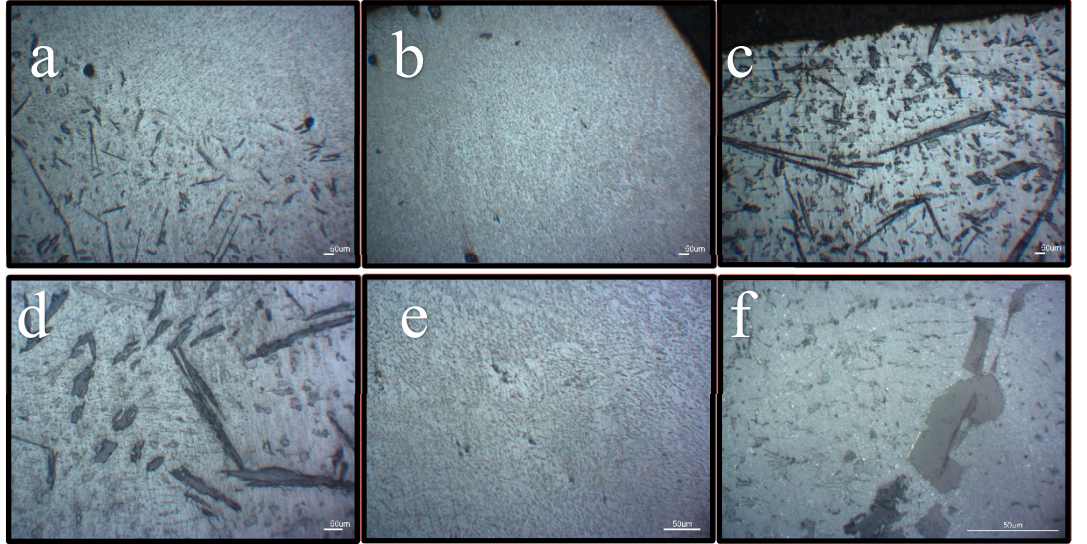
Şekil 16. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



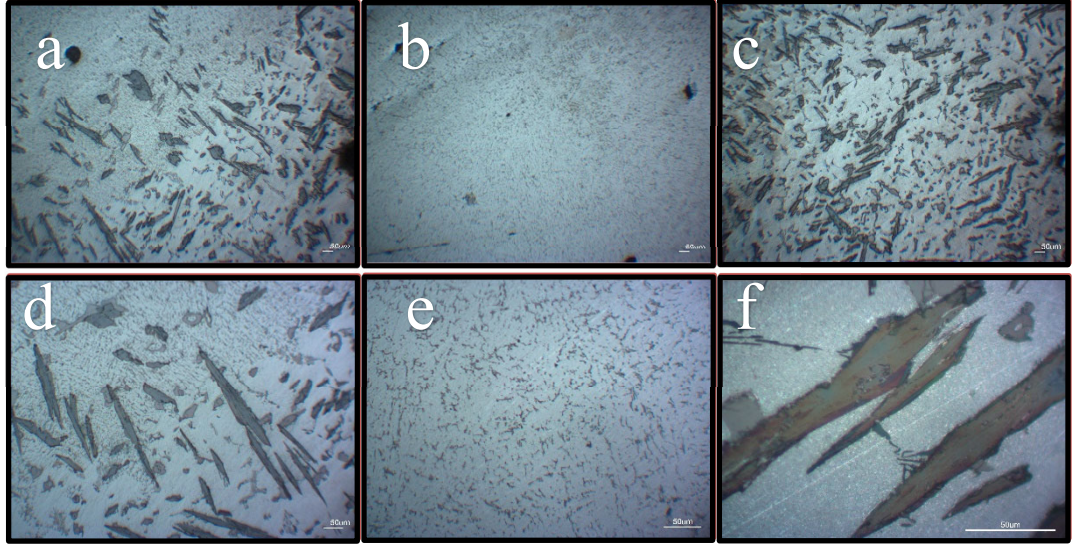
Şekil 17. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



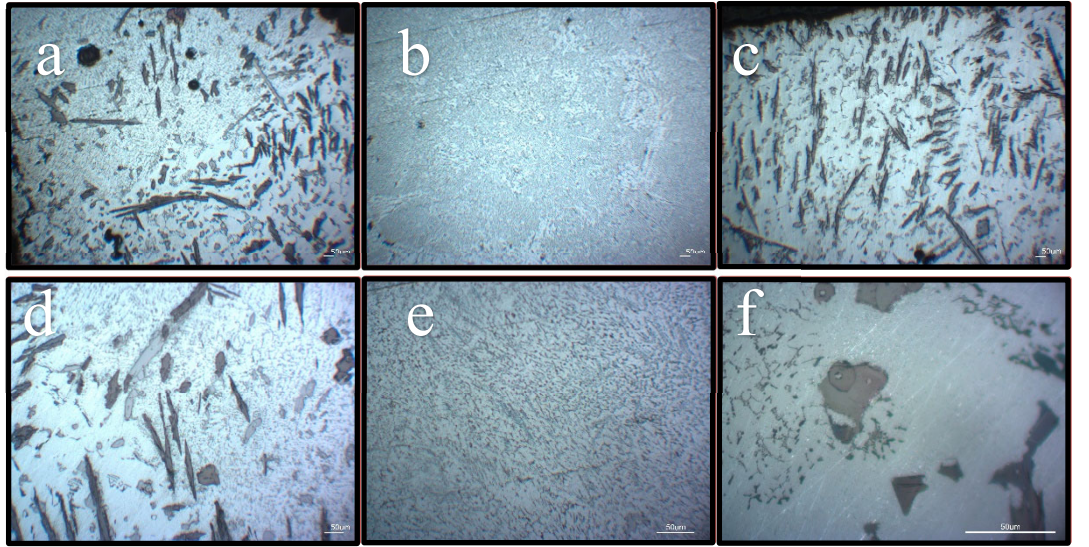
Şekil 18. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



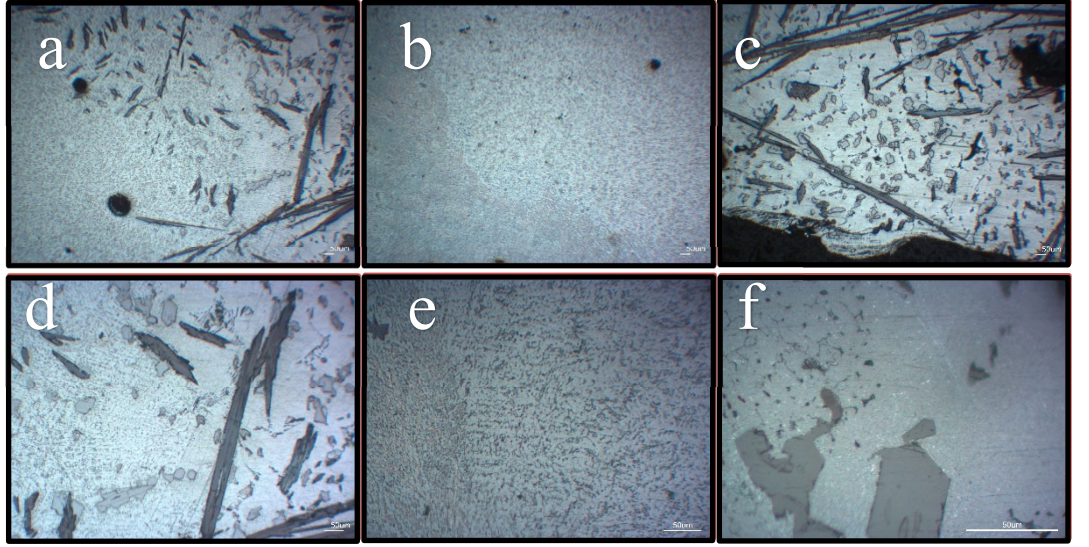
Şekil 19. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



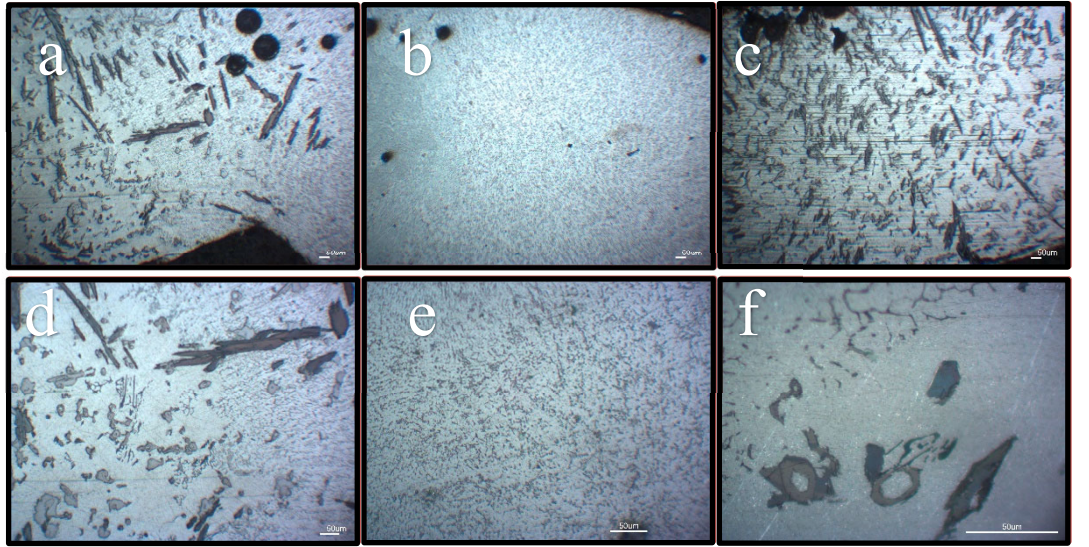
Şekil 20. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



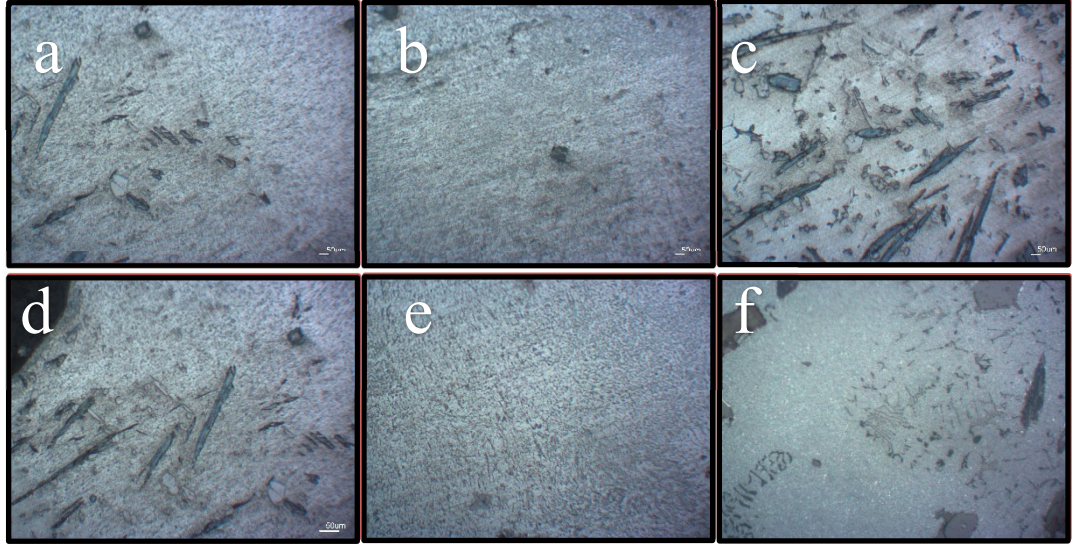
Şekil 21. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



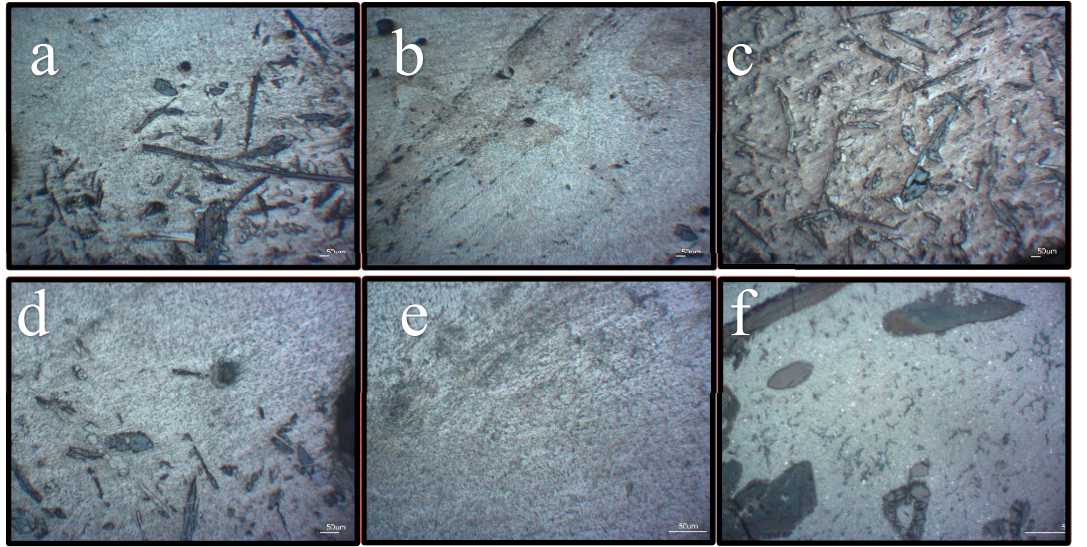
Şekil 22. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



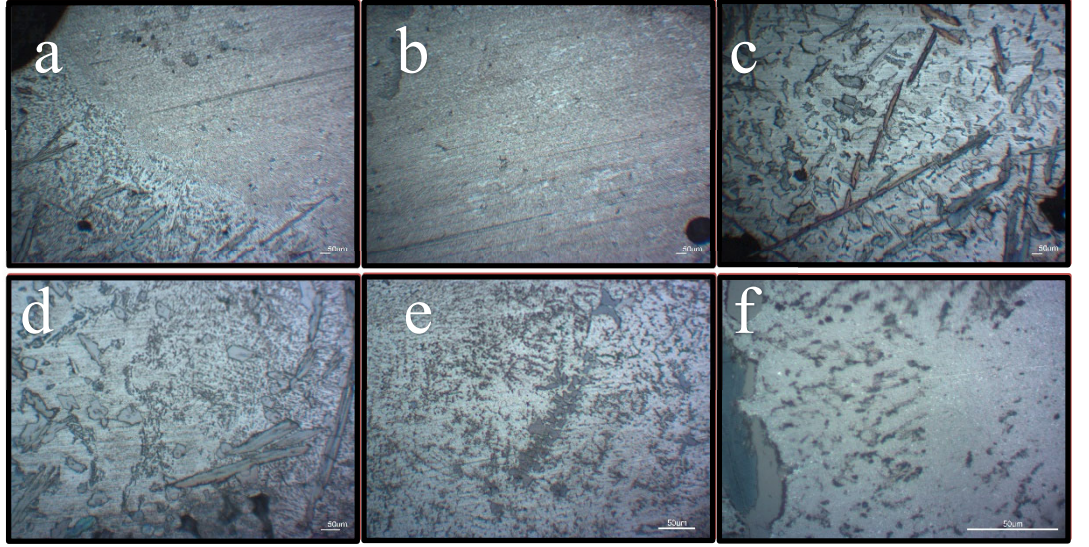
Şekil 23. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



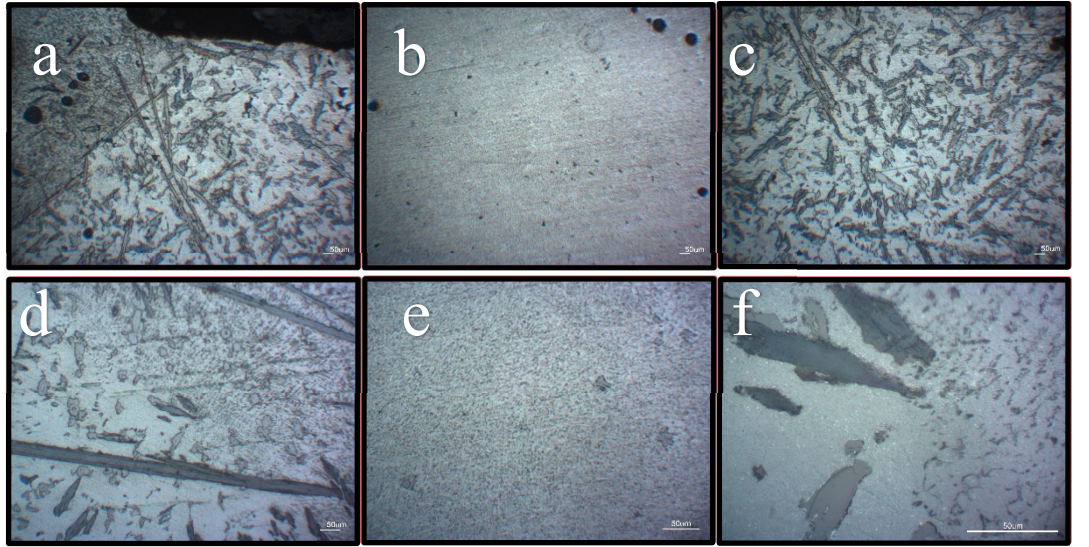
Şekil 24. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



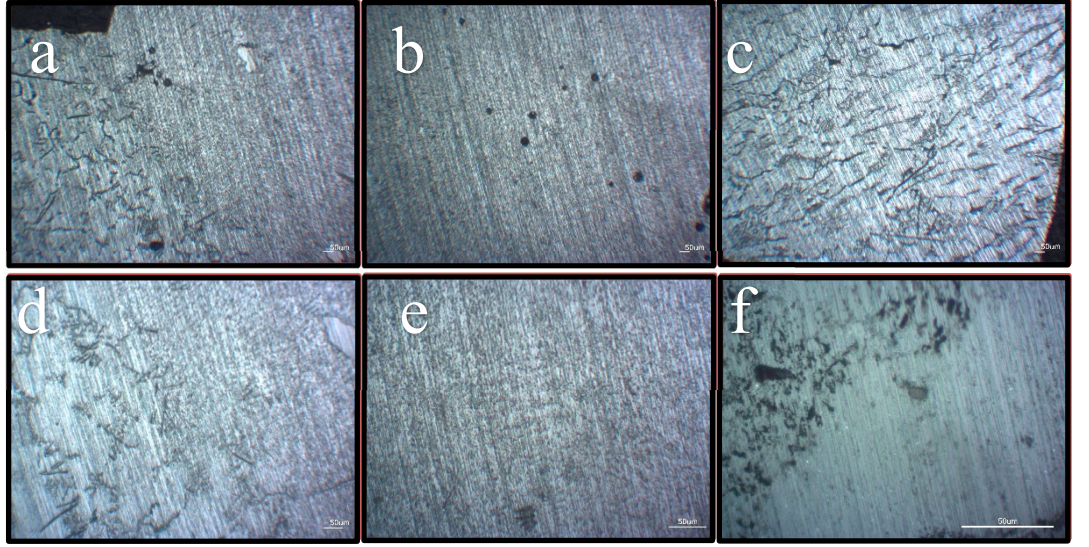
Şekil 25. CMT kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



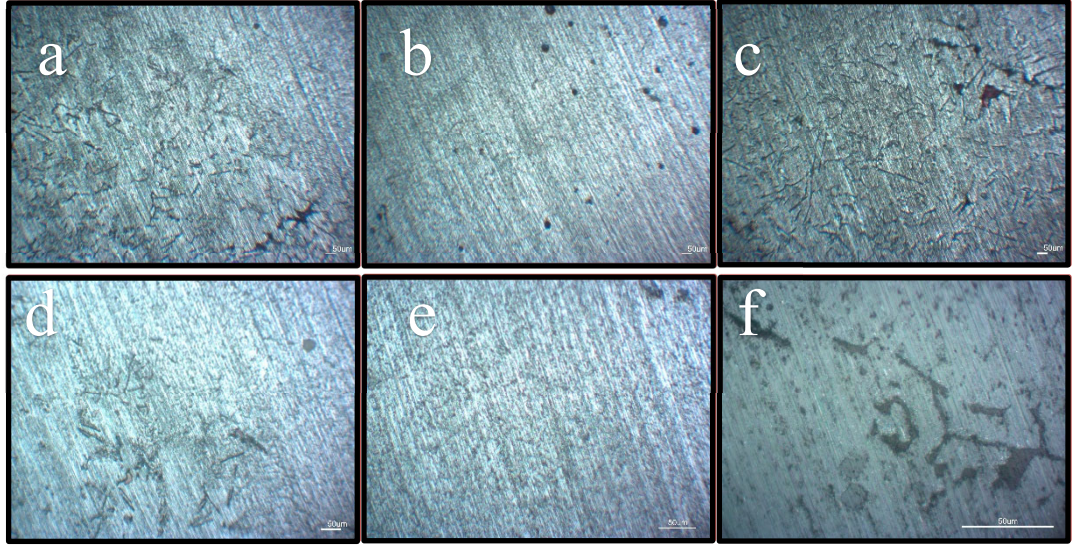
Şekil 26. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



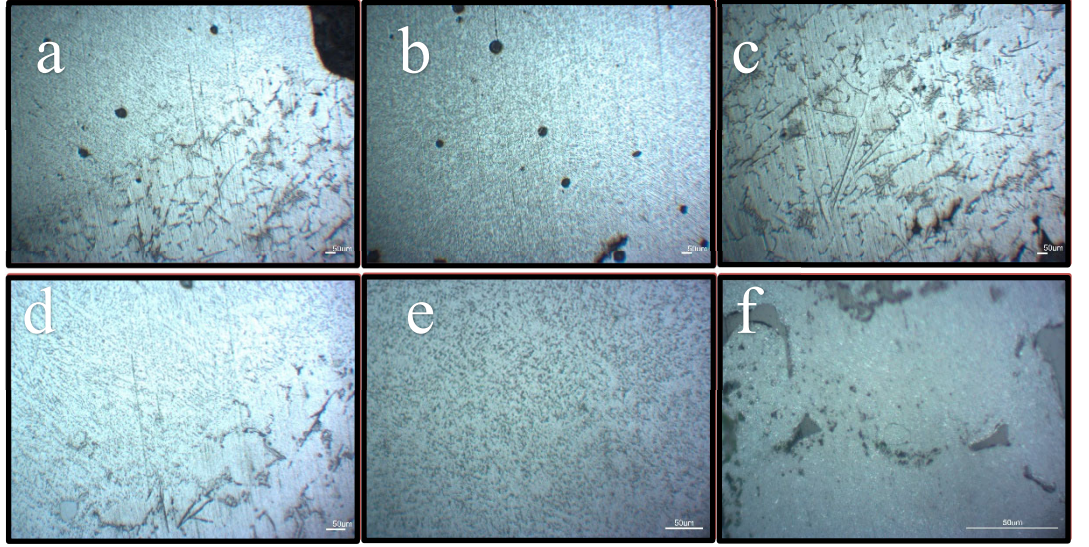
Şekil 27. CMT kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



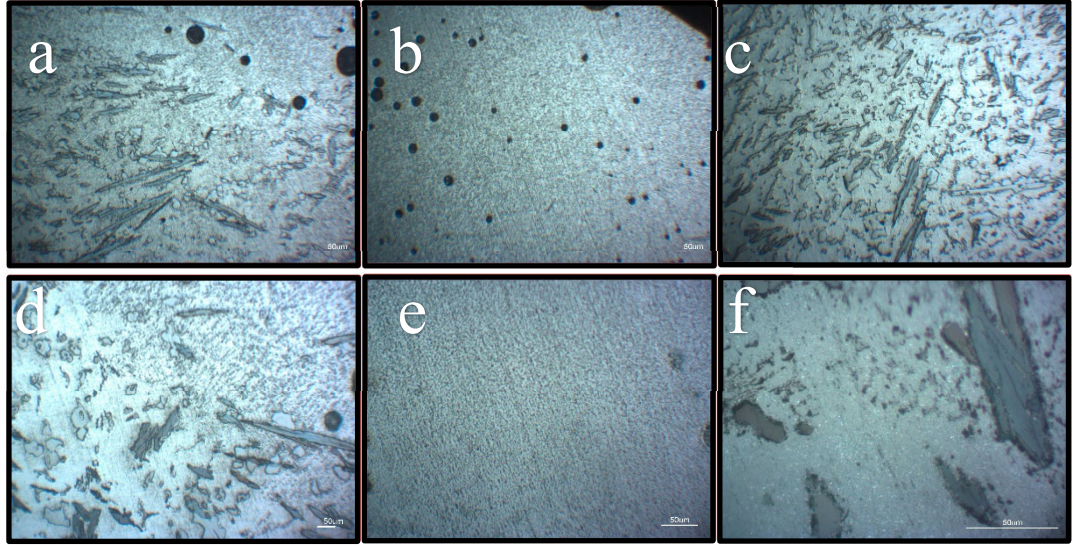
Şekil 28. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



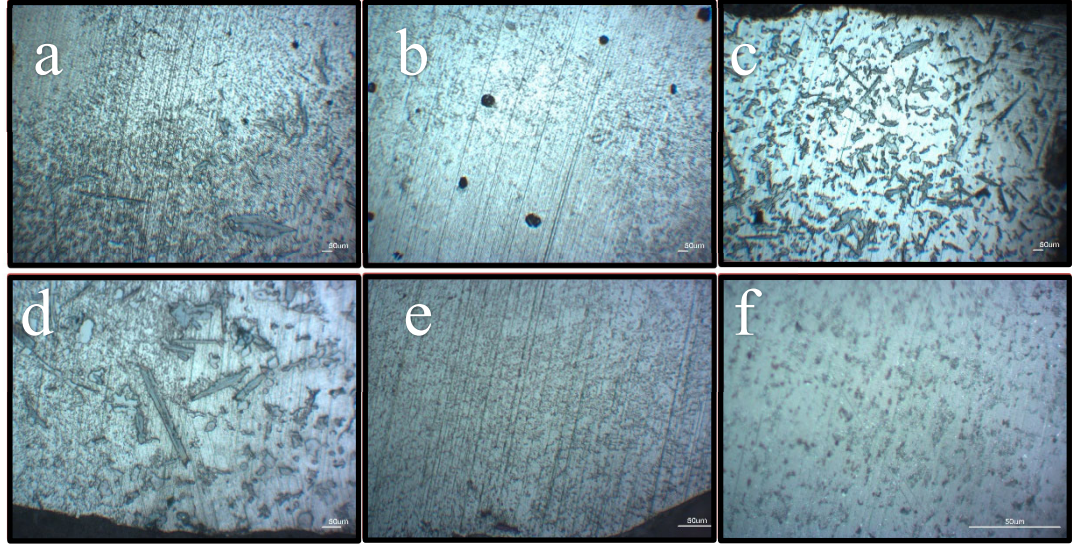
Şekil 29. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



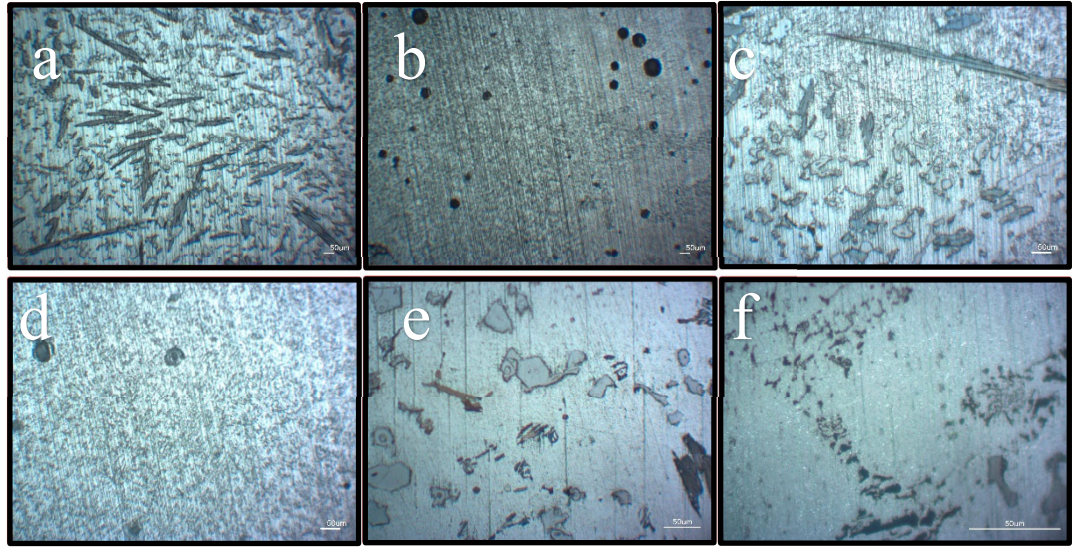
Şekil 30. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen saf parçaların mikroyapı görüntüleri



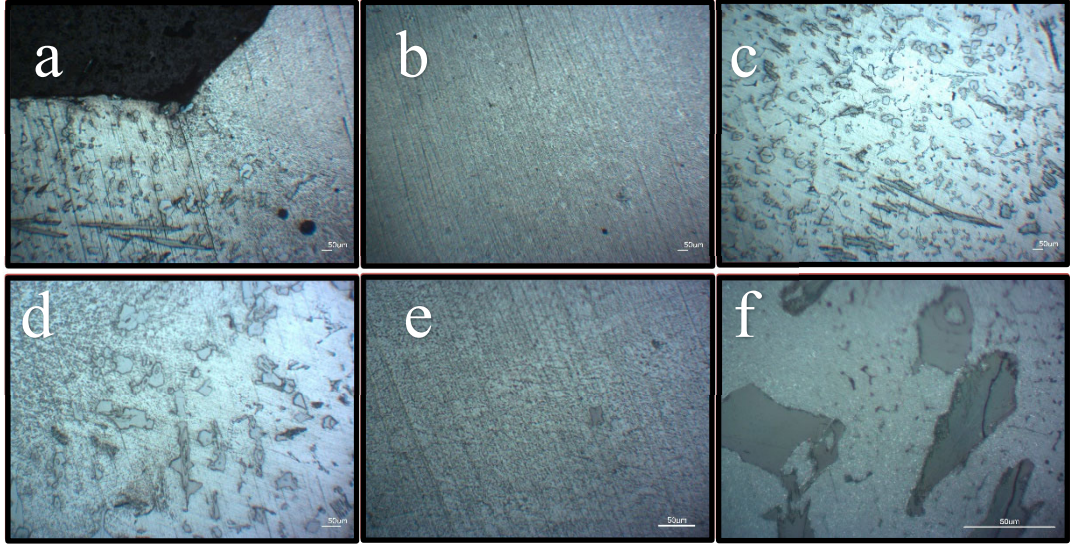
Şekil 31. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



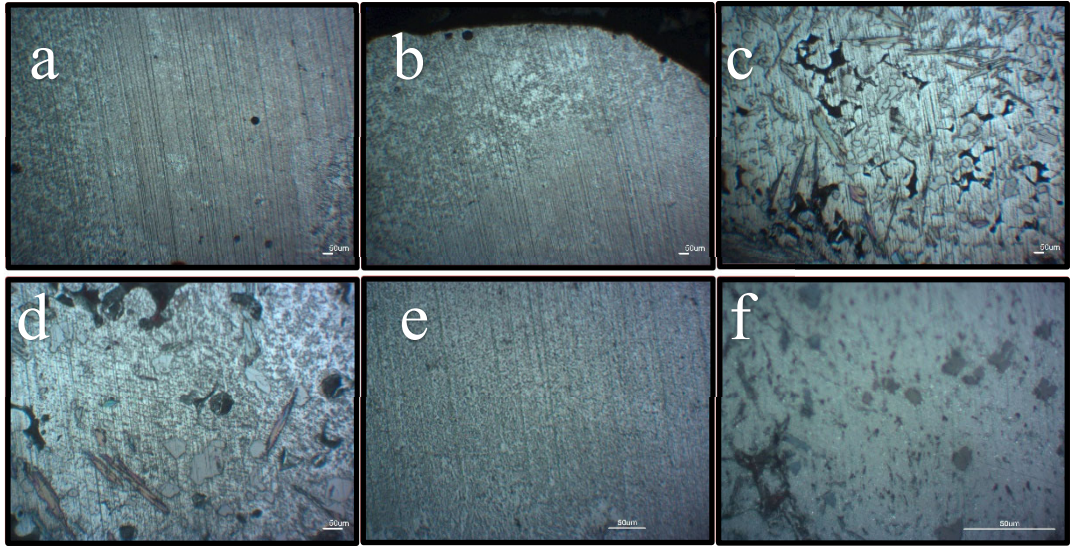
Şekil 32. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



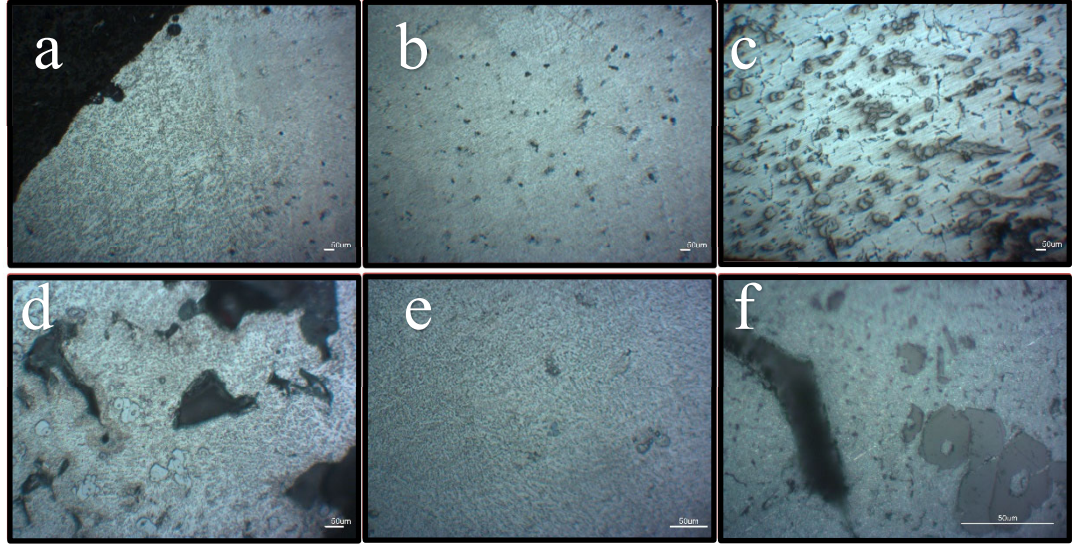
Şekil 33. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



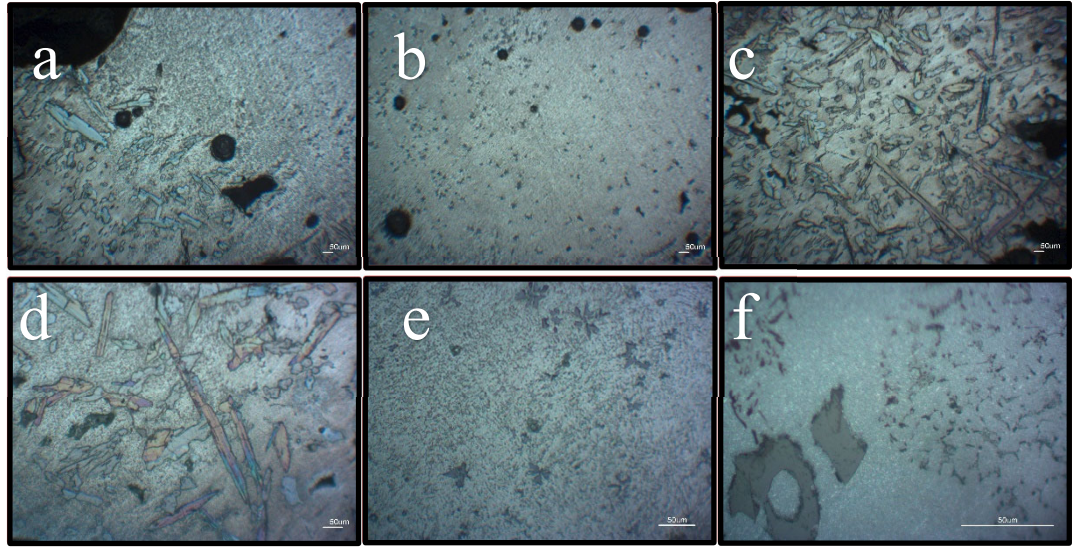
Şekil 34. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



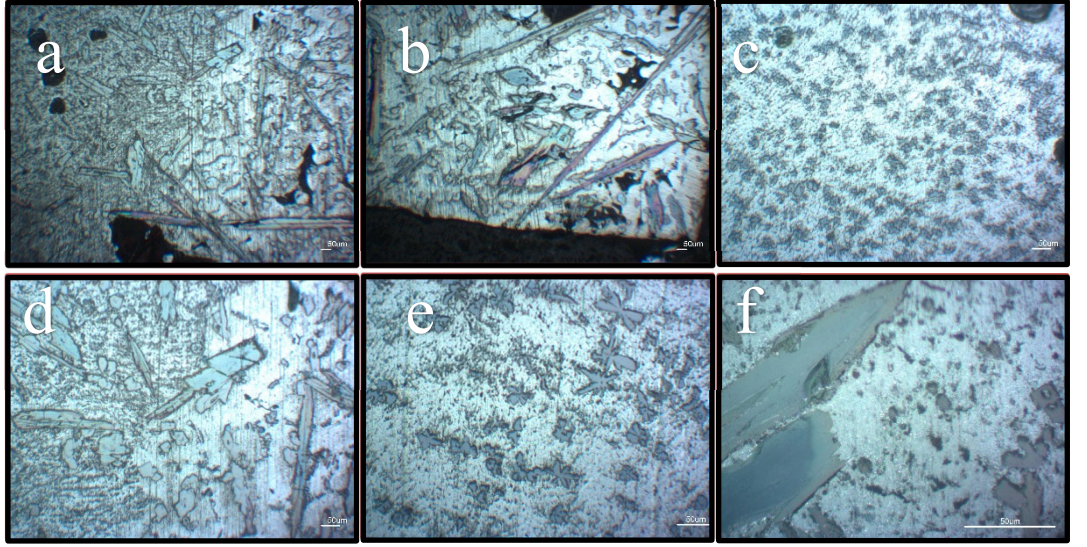
Şekil 35. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



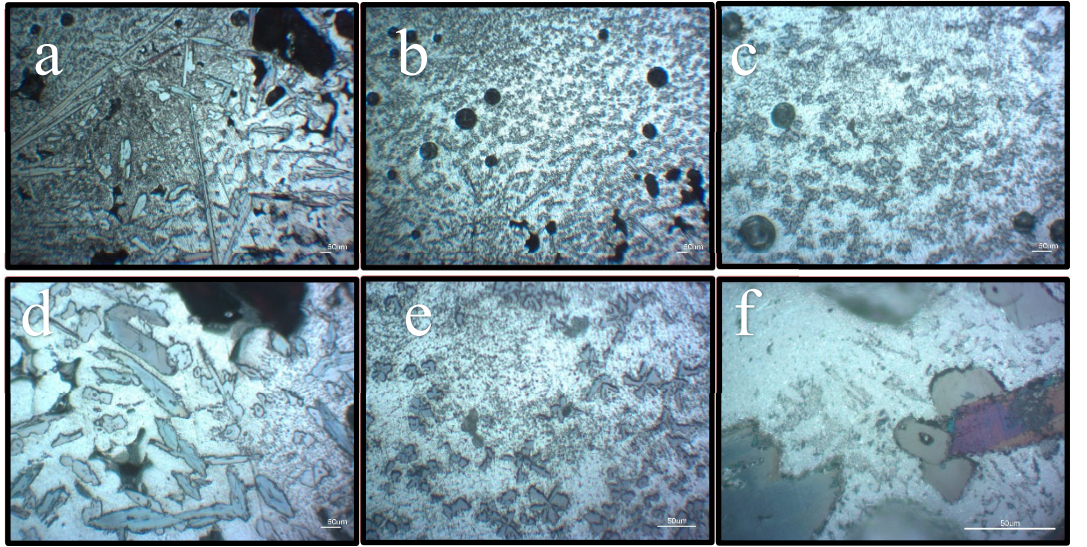
Şekil 36. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



Şekil 37. PMC kaynağı ile 110 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri



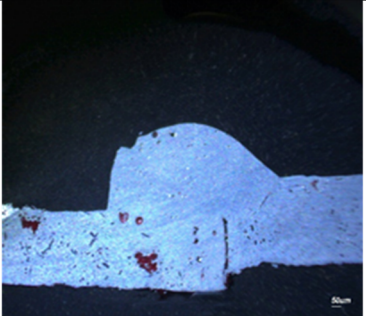
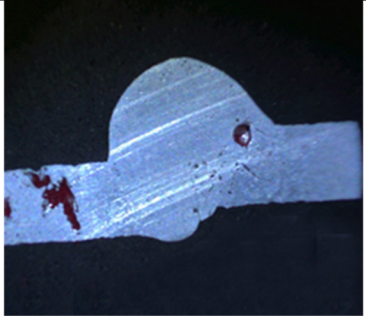
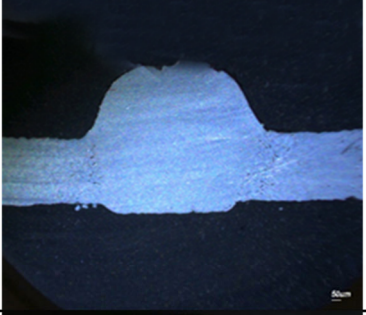
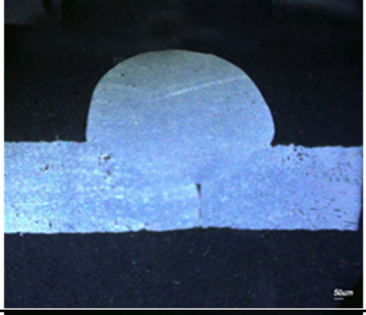
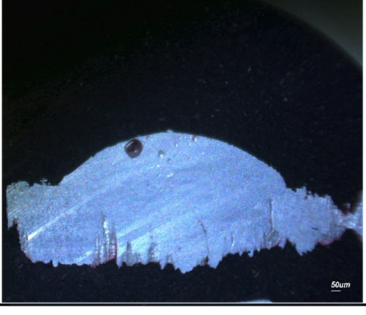
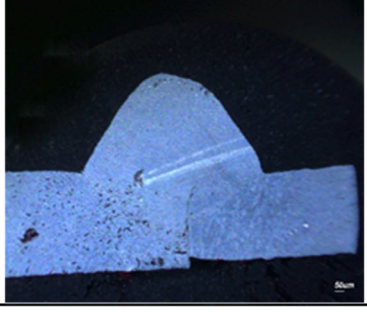
Şekil 38. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri





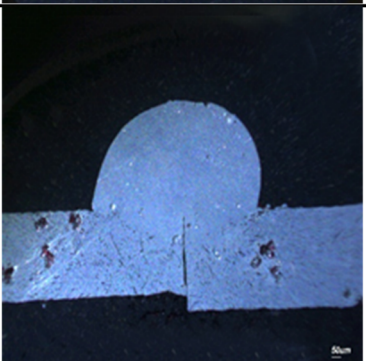
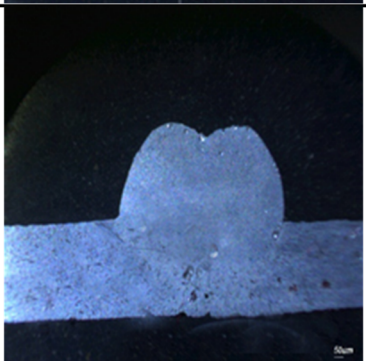
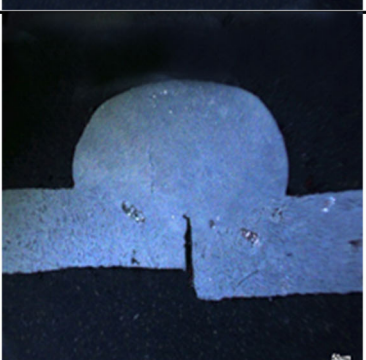

Şekil 39. PMC kaynağı ile 130 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların mikroyapı görüntüleri

8.3. Makro Yapı Sonuçları

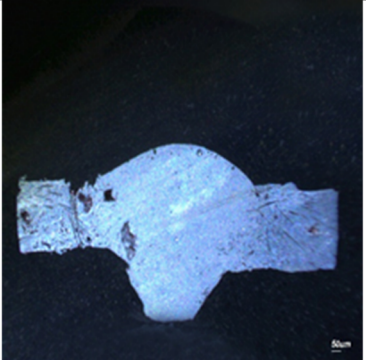

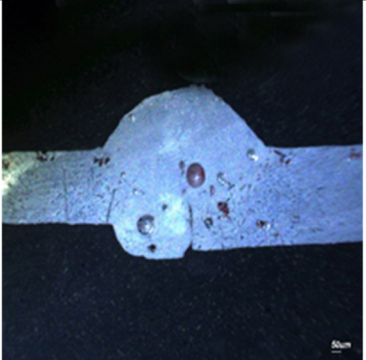



Mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilen numunelerin daha sonra makroskop ile incelenerek, yüzeylerin makro yapı fotoğrafları 0.7x büyütmeyle çekilmiştir.

MALZEME	KAYNAK AKIMI	YÖNTEM	
		CMT	PMC
S A F 6 0 8 2	110 A		
	120 A		
	130 A		



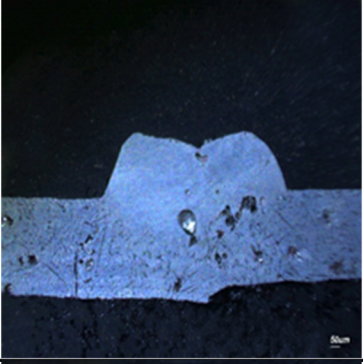
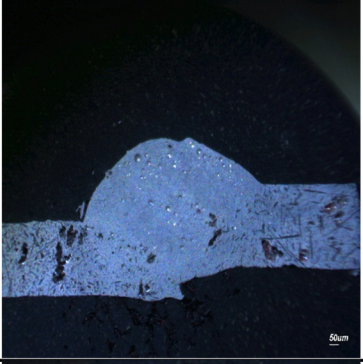


Tablo 9: Farklı yöntemlerle birleştirilen 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri

% 3 S i C 6 0 8 2	110 A		
	120 A		
	130 A		

Tablo 10: Farklı yöntemlerle birleştirilen %3 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri

% 6 S i C 6 0 8 2	110 A		
	120 A		
	130 A		

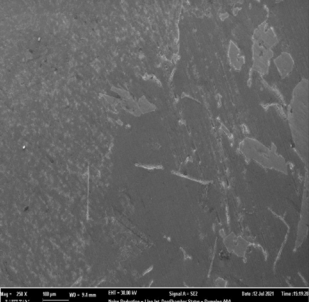
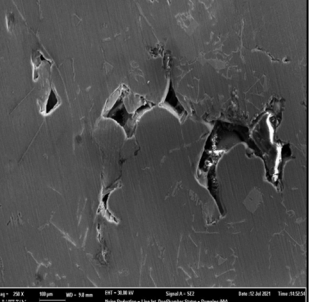
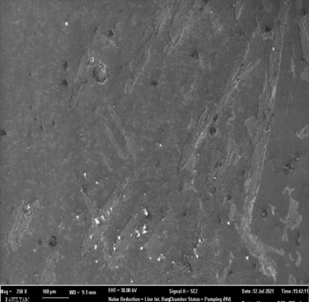
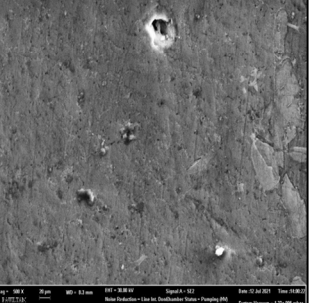
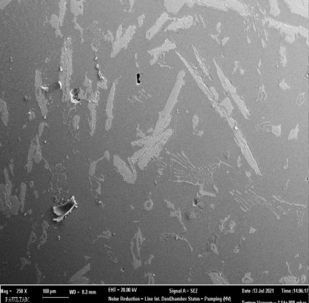
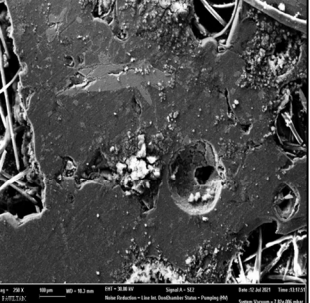
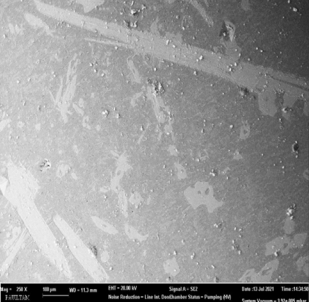
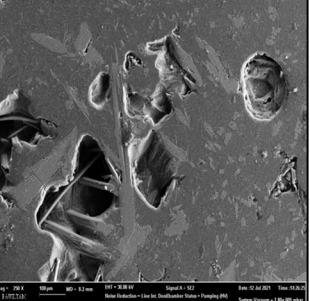
Tablo 11: Farklı yöntemlerle birleştirilen %6 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri

% 9 S i C 6 0 8 2	110 A		
	120 A		
	130 A		

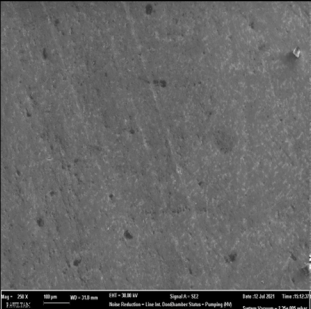
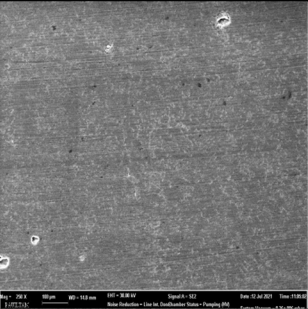
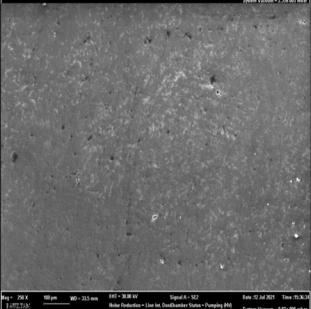

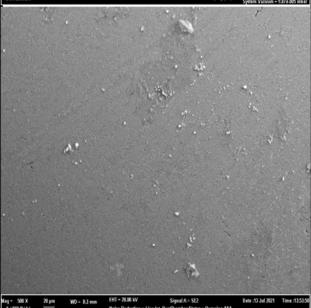

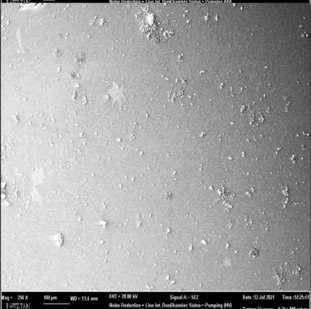
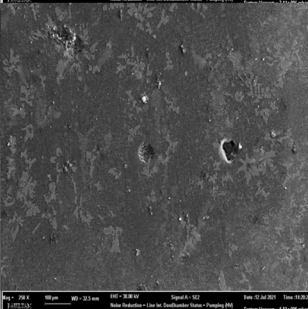
Tablo 12: Farklı yöntemlerle birleştirilen %9 SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerinin makro görüntüleri

8.4. SEM Sonuçları

Mikroyapı ve makroyapı incelemeleri gerçekleştirilen numunelerin daha sonra Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Fesem cihazıyla incelemeleri gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde line ve dot eds kullanılmıştır.

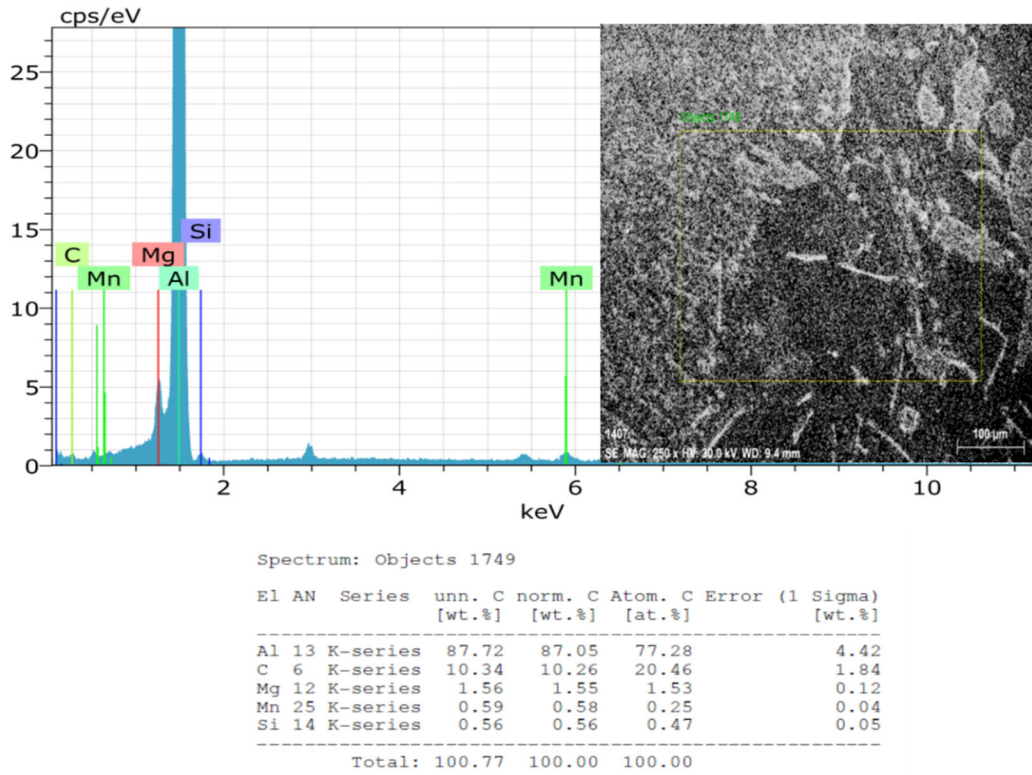
MALZEME	KAYNAK AKIMI	YÖNTEM	
		CMT	PMC
SAF 6082	120 A		
%3 SiC 6082	120 A		
%6 SiC 6082	120 A		
%9 SiC 6082	120 A		

Tablo 13: Farklı yöntemlerle birleştirilen farklı oranlarda SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerde kaynak geçişlerinin SEM görüntüleri

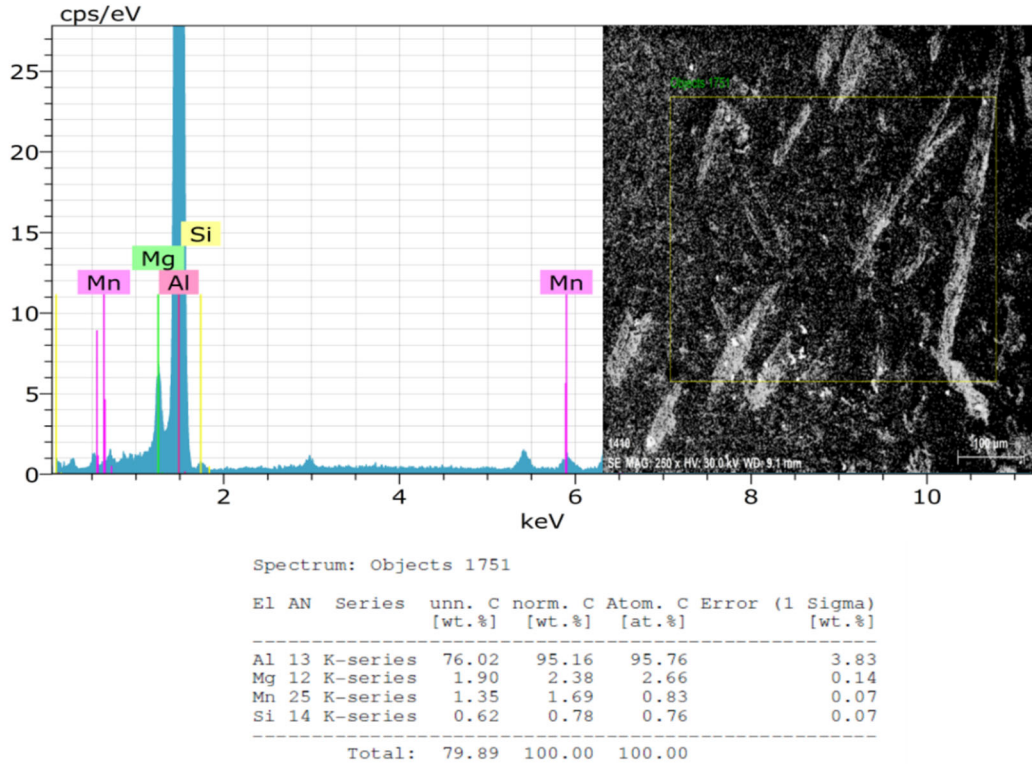
MALZEME	KAYNAK AKIMI	YÖNTEM	
		CMT	PMC
SAF 6082	120 A		
%3 SiC 6082	120 A		
%6 SiC 6082	120 A		
%9 SiC 6082	120 A		

Tablo 14: Farklı yöntemlerle birleştirilen farklı oranlarda SiC takviyeli 6082 alüminyum kompozitlerde kaynak bölgelerinin SEM görüntüleri

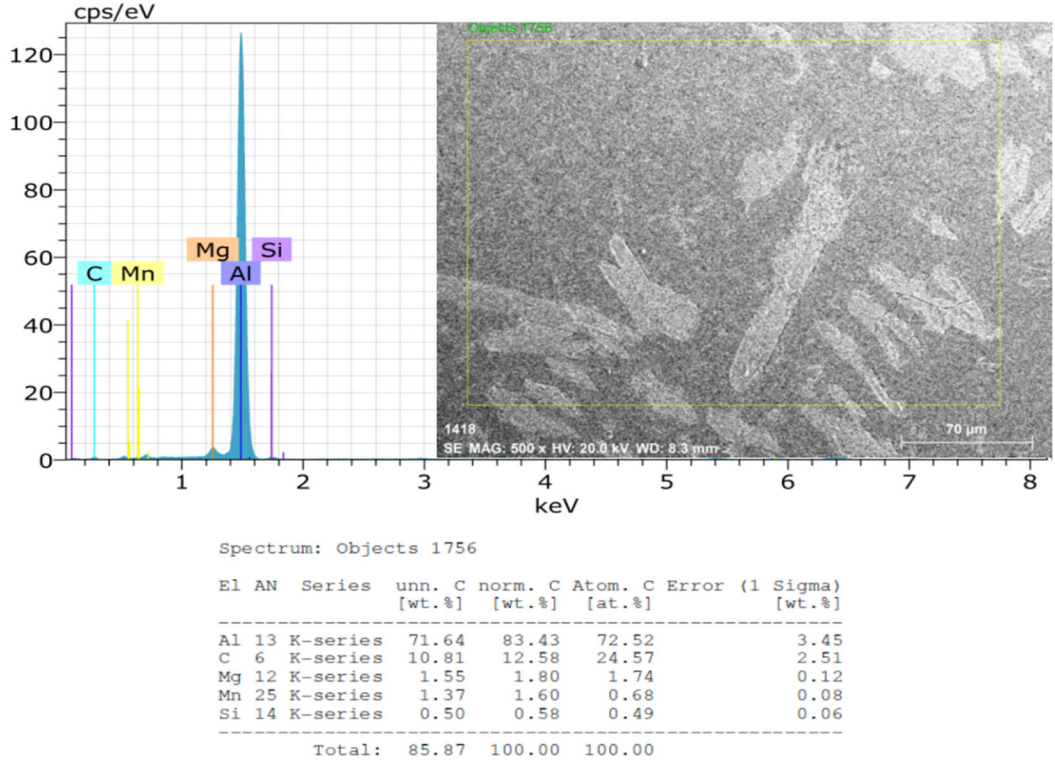
8.5. EDS Sonuçları



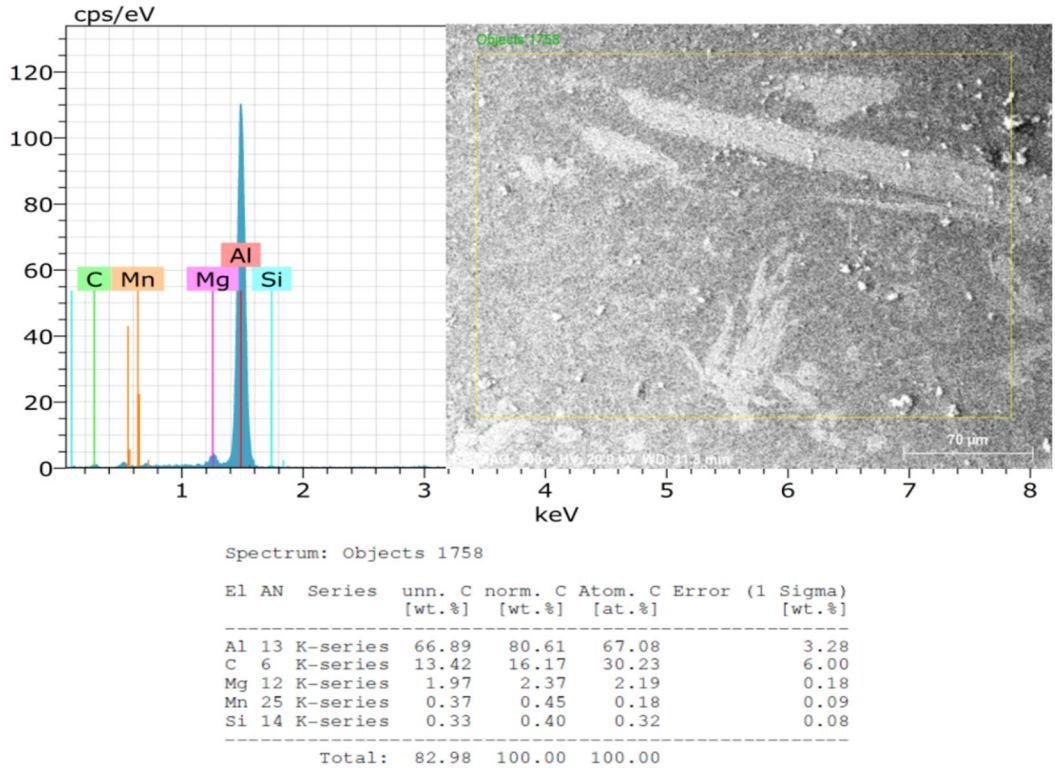
Şekil 40. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların EDS analizleri



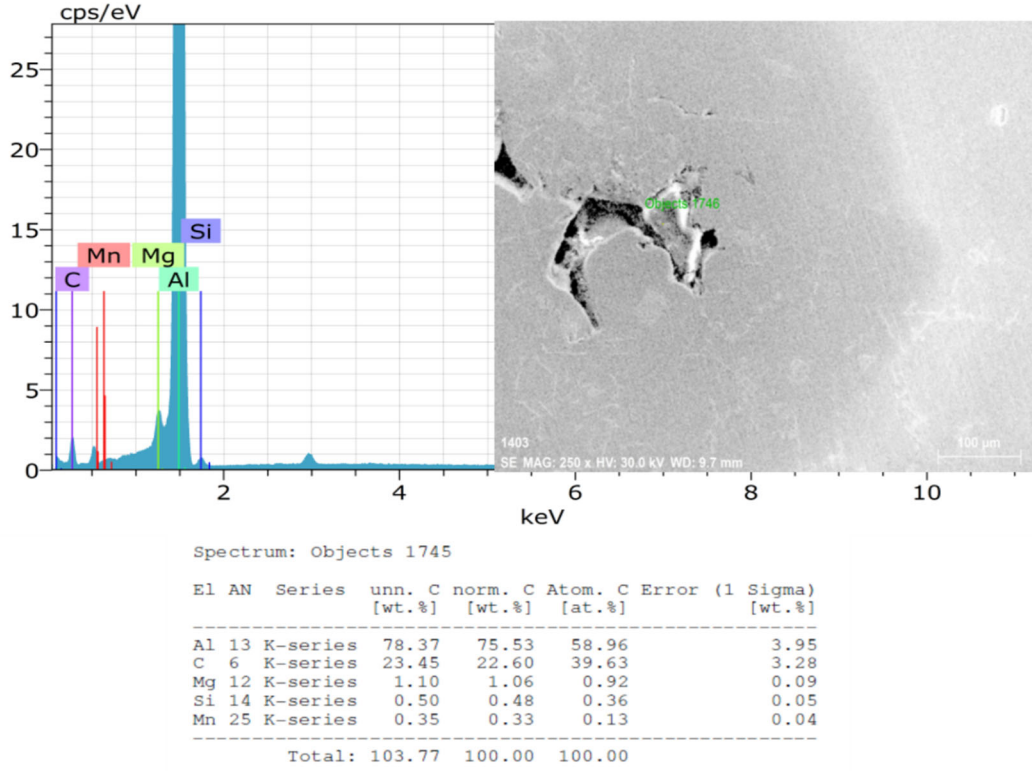
Şekil 41. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri



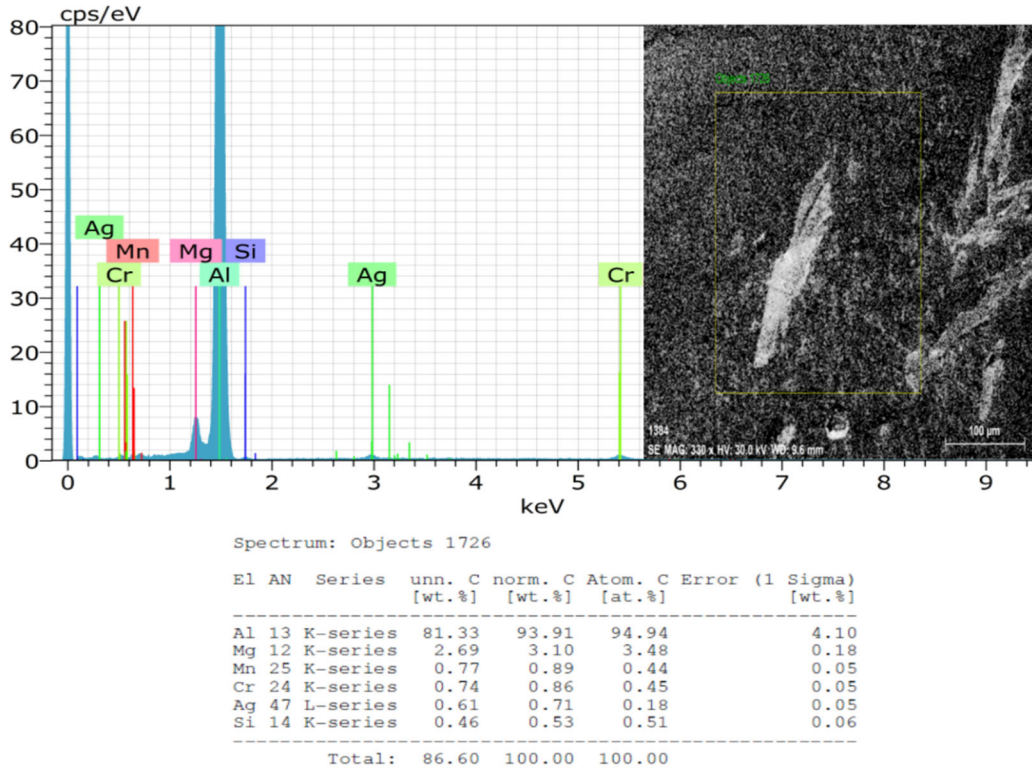
Şekil 42. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri



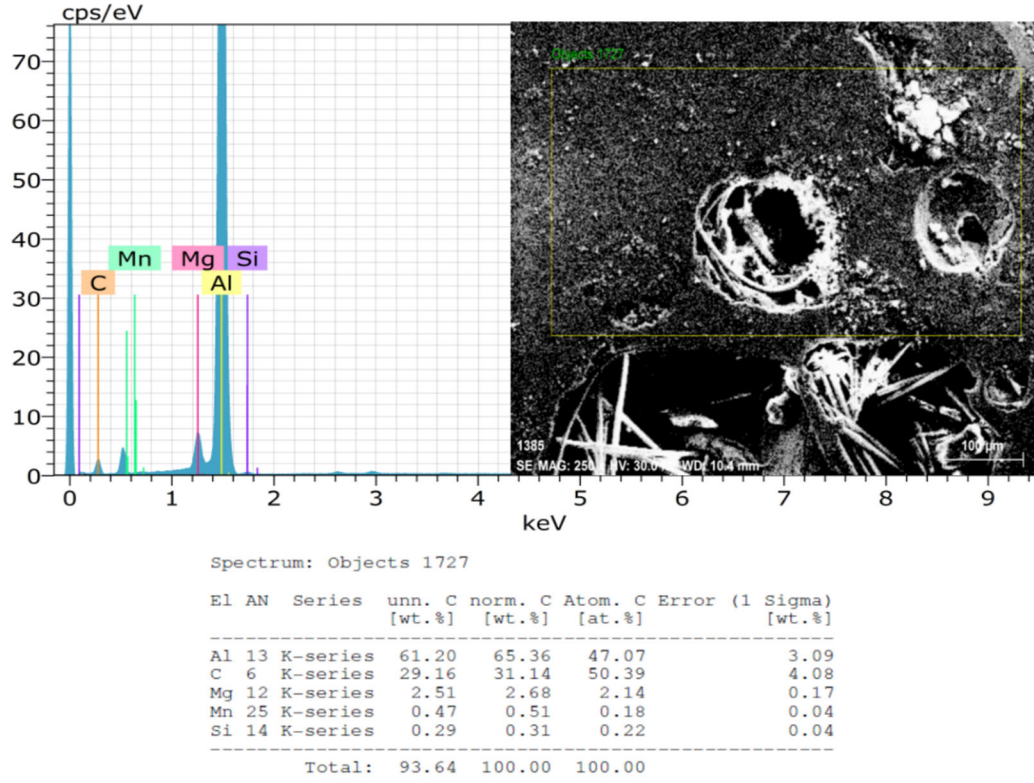
Şekil 43. CMT kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri



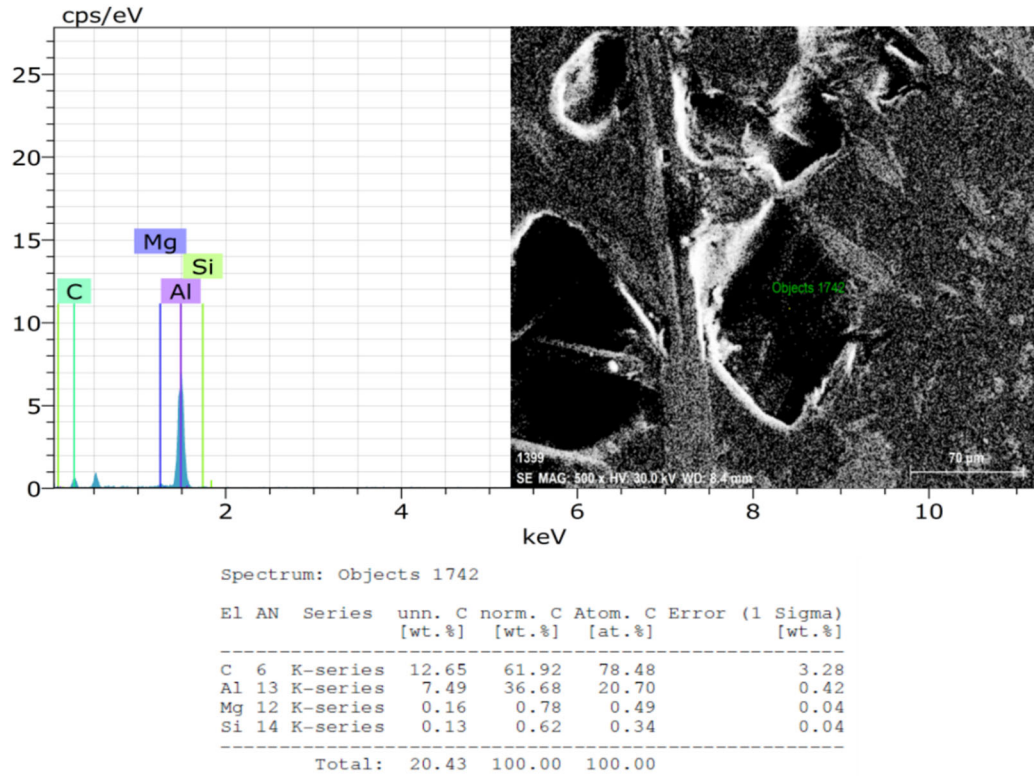
Şekil 44. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen saf parçaların EDS analizleri



Şekil 45. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %3 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri



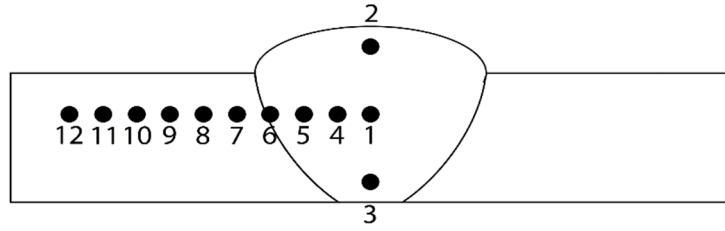
Şekil 46. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %6 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri



Şekil 47. PMC kaynağı ile 120 amperde birleştirilen %9 SiC takviyeli parçaların EDS analizleri

8.6. Sertlik Ölçüm Sonuçları

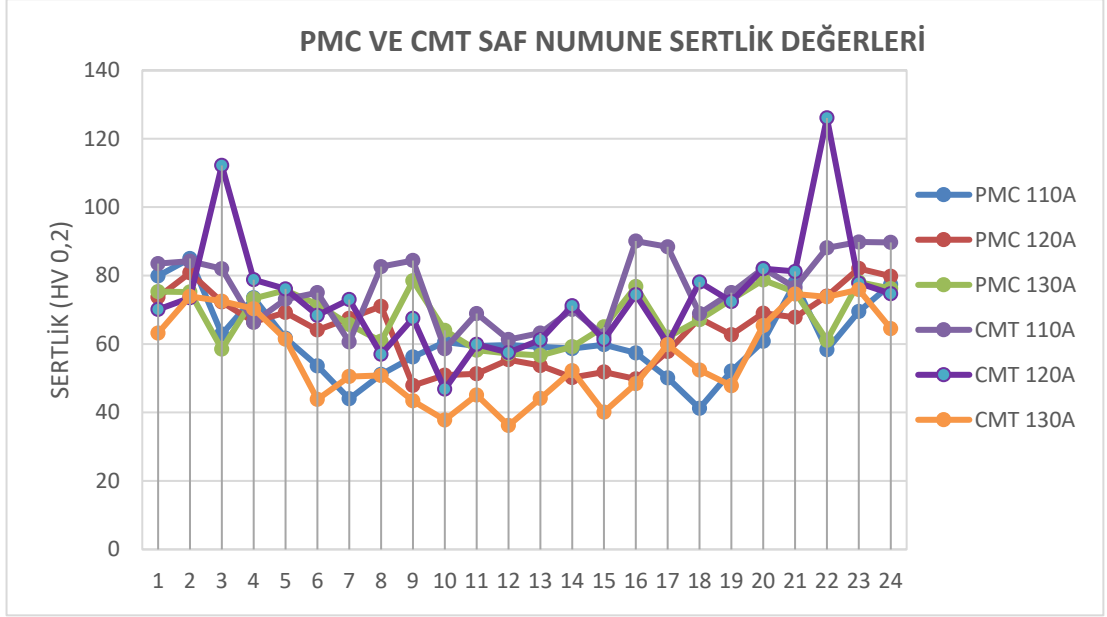
AA6082 saf döküm malzeme ve sırasıyla %3,6,9 SiC takviyeli kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinin ölçümleri Metkon marka sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 0,1'er mm'lik aralıklarla toplamda 24 adet olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinde dwell time 10 saniye olarak ayarlanmıştır. Bakalite alınmış kaynaklı numuneler üzerinden sertlik ölçümü gerçekleştirilen noktalar Şekil 92'de gösterilmektedir.



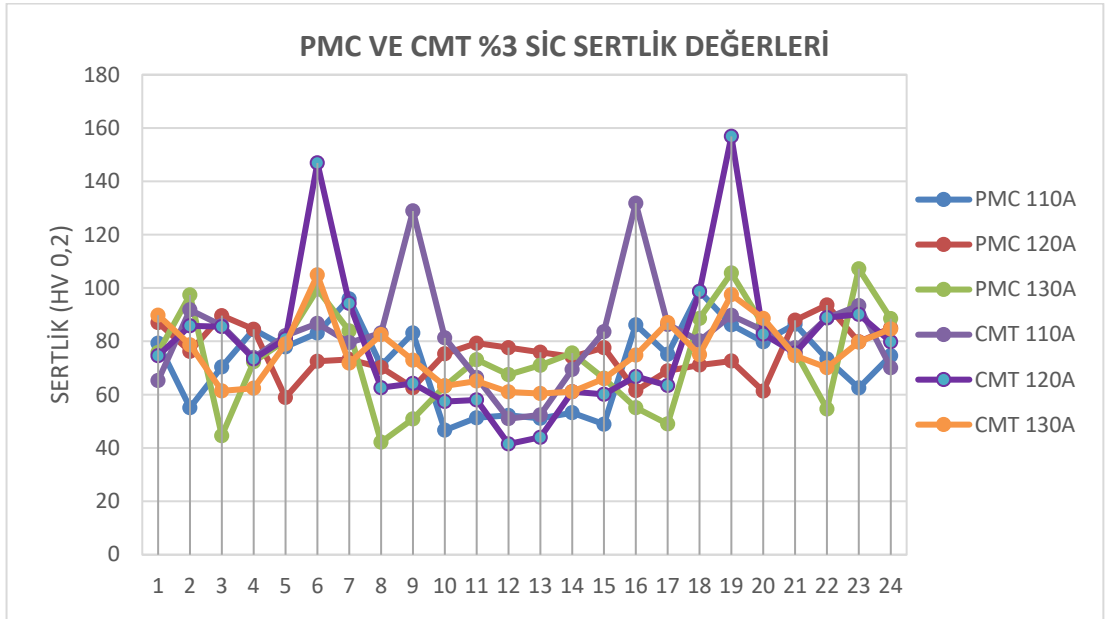
Şekil 48. Sertlik ölçümü gerçekleştirilen noktaların şematik gösterimi



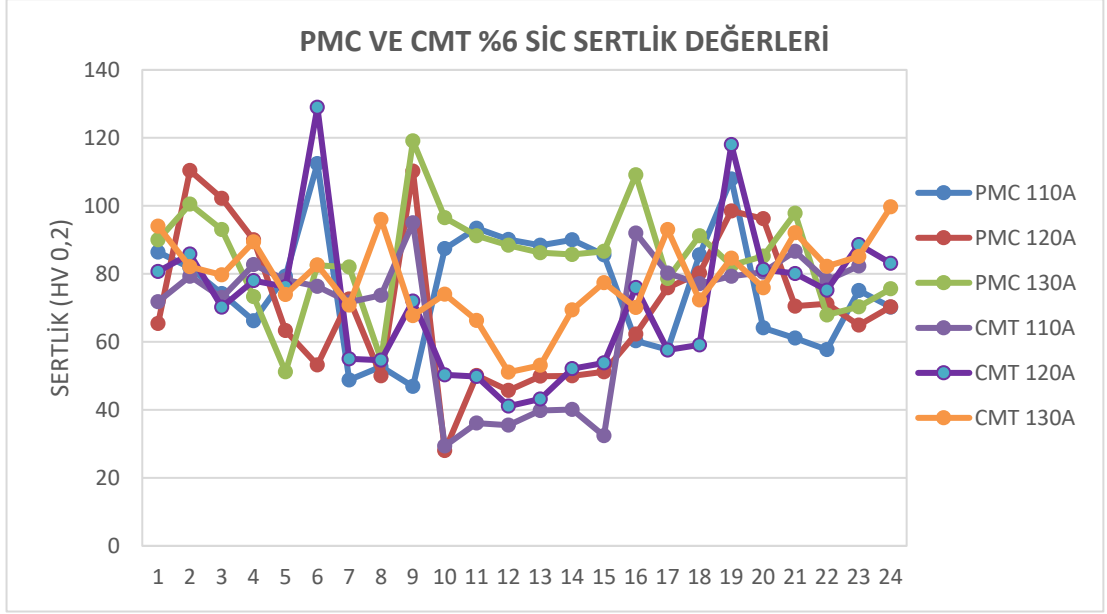
Şekil 49. Sertlik ölçme işlemi



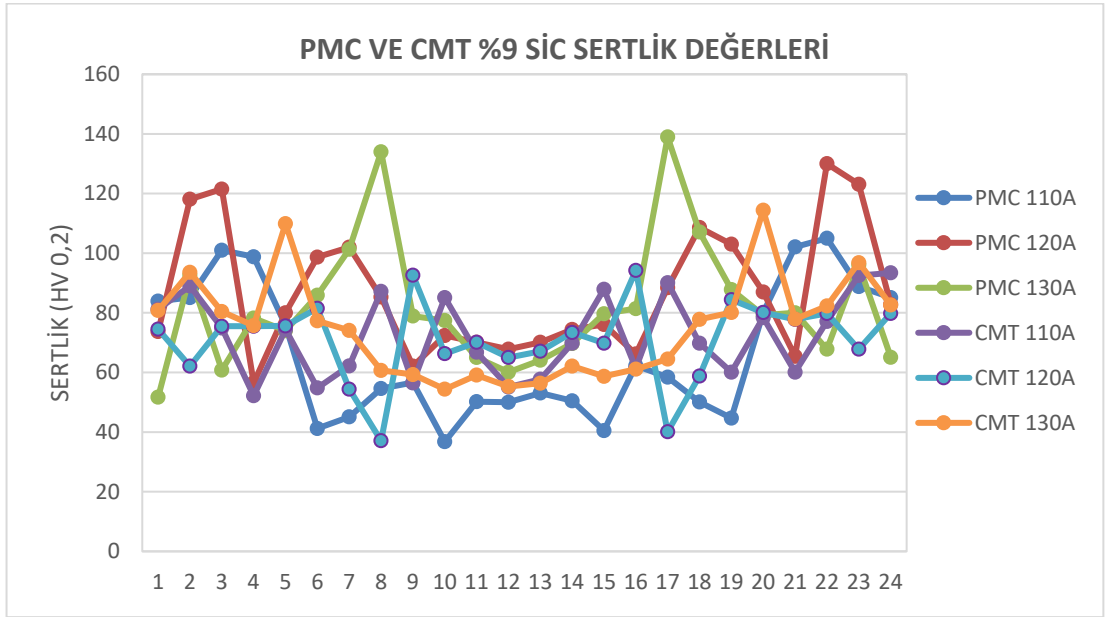
Şekil 50. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen saf numunelerin sertlik değerleri



Şekil 51. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %3 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri



Şekil 52. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %6 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri



Şekil 53. Farklı kaynak akımlarındaki CMT ve PMC yöntemleriyle birleştirilen %9 SiC takviyeli numunelerin sertlik değerleri

9. TARTIŞMA

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yüksek öneme sahip olan 6082 Alüminyum alaşımına karıştırmalı döküm yöntemi ile ağırlıkça farklı oranlarda (%3, %6 ve %9) SiC ilavesi metal matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin kullanım oranının artırılabilmesi için kaynaklanabilirliğinin iyi olması gerekmektedir. Bu bağlamda geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilen metal matrisli kompozitlerde sıcak çatlak oluşumu ile kırılmalar literatürdeki sorunların başlarında gelmektedir. Kaynaklı birleştirmelerin mikroyapısında ısı girdisinin artması ile çeşitli metal karbür çökeltilerinin oluştuğu ve bu oluşan yapıların kırılma eğilimi olduğu bilinmektedir. Bütün bu olumsuzluklardan dolayı geleneksel kaynak yöntemlerinin dışında yeni teknolojiye sahip CMT ve PMC yöntemleri ile birleştirilen numunelerin detaylı olarak incelenmesi ile üretilen metal matrisli kompozitlerin kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Birleştirmelere uygulanan deneyler ve analizler sonucunda optimum kaynak parametreleri elde edilmiş ve aşağıdaki tespitlere ulaşılmıştır.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda ısı girdisi ve takviye elemanının ağırlıkça yüzdesinin artması ile numunelerde çekme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.

- 1- Kaynak öncesi çekme dayanımı 57,63 MPa olan saf malzemelerde takviye elemanı etkisiyle sırasıyla yüzde 3, 6 ve 9'luk SiC takviye oranlarında 72,56 MPa, 81,46 MPa ve 86,43 MPa çekme dayanımları elde edilmiştir. %3 SiC takviyeli kompozit malzemenin CMT ve PMC kaynak yöntemlerinde, 120 A kaynak akım şiddetinde sırasıyla 171,072 Joul/mm ve 269,28 Joul/mm ısı girdilerinde elde edilen birleştirmelerden alınan numunelerin çekme dayanımları incelendiğinde düşük ısı girdisine sahip CMT yönteminin çekme dayanım değerinin (87,73 MPa) PMC yönteminden alınan çekme dayanımına (81,23 MPa) göre daha yüksek olduğu, dolayısıyla ısı girdisinin artmasının elde edilen kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarında düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir.
- 2- Kaynaklı birleştirme sonrası en yüksek çekme dayanımı 120 A kaynak akımında CMT yönteminde ağırlıkça %3 SiC takviyeli 171,072

Joul/mm ısı girdisi ile birleştirilen numunede 87,73 MPa olarak elde edilmiştir.

- 3- Çekme deneylerinde ana malzemedan ve kaynak metalinden kırılma şeklinde kırılmalar elde edilmiştir. Bu kırılmaların PMC yönteminde kaynak metalinden, CMT yönteminde ise ana malzemedan olduğu tespit edilmiştir. Isı girdisinin metalürjik dönüşümlere olan etkisi açıkça gözlenmiştir.
- 4- Elde edilen çekme deneyleri sonucunda optimum dayanıma sahip kaynaklı birleştirmelerin parametrelerine ulaşılmıştır. Optimum değerler, CMT yönteminde, 120 A kaynak akım şiddetinde, 171,072 Joul/mm ısı girdisinde, %3 SiC takviyesinde 87,73 MPa olarak elde edilmiştir.
- 5- Yapılan alın altına birleştirmelerde ısı girdisinin artması ile metal matrsili kompozit malzemenin içerisinde bulunan SiC takviyelerinin ITAB bölgesinin geçiş bölgesinde toplandığını ve kaynak katılaşması sırasında bu bölgede çökelerek kaldığı, bu yüzden de bu bölgelerde tane küçülmesinin engellendiği, boşluklara sebebiyet vermesi ile de kaynaklı birleştirmenin dayanımının düştüğü tespit edilmiştir.
- 6- Kaynak sırasında birleştirmelere verilen ısı girdisinin artması ile takviye elemanı olarak matris içerisinde bulunan SiC partüküllerinde aglomerasyonun arttığı ve geçiş bölgesinde sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.
- 7- Kaynaklı birleştirmelerin hemen hepsinde makro görüntüler ışığında ısı girdisinin artmasıyla PMC yönteminde ITAB genişliğinin ve nufuziyetin arttığı, kaynak kep yüksekliğinin ise düştüğü gözlemlenmiştir.
- 8- Kaynak bölgesinin yüksek ısı girdisinden kaynaklı oluşan mikroyapılarda kaynak merkezine doğru taneler büyüyerek yönlenmiştir.
- 9- Isı girdisinin artmasıyla alüminyumun karbona karşı yüksek afilitesininden kaynaklı Al_3C_4 kırılğan metal karbürünün oluşabilmesi söz konusudur. Yapılan EDS analizlerinde de kaynaklı birleştirmelerin geçiş bölgelerinde yüksek miktarda Al ve C

atomlarına rastlanmıştır. SEM görüntülerinden de elde edilen görüntülerde geçiş bölgelerinde bu oluşumları görmek mümkündür. Buna ek olarak karbürlerin topaklanmasıyla poroziteler oluşturarak taneler arasında boşluklara sebebiyet vermiştir.

- 10- PMC yöntemi ile yapılan birleştirmelerde kaynak metali içinde porozitelerin olduğu ve mekanik özellikleri düşürdüğü gözlemlenmiştir. CMT yönteminde de takviye elemanının yüzde oranı arttıkça aynı durum gözlemlenmiştir. Ancak ağırlıkça %3 SiC takviyeli CMT kaynaklı birleştirmede porozite oluşumu gözlemlenmemiştir.
- 11- Takviye oranının artması ile her iki kaynak yönteminde de kaynak esnasında zorluklarla karşılaşmıştır. Kaynaklanabilirlik oranı düşmüştür.
- 12- Kopma yüzeylerinden alınan görüntüler incelendiğinde segregasyon ile oluşan taneler arası boşluklar çentik etkisine sebep olarak ve topaklanarak kalan SiC takviye elemanlarını matrisin ıslatabilirlik oranının düşük olması ile kaynak merkezinden kırılmalara sebep olmuştur.
- 13- CMT yönteminde SiC tozlarının (ortalama 8-9 mikron) kaynak metalinde homojen olarak dağılım sergilediği bunun da mekanik özelliklerin iyileşmesinde önemli rol aldığı tespit edilmiştir.
- 14- Günümüzde dişli kutuları, silindir kafaları, yağ karterleri, su pompası kutuları, debriyaj kutuları, otomatik vites kutuları, hidrolik sistemler, kamyon korkulukları, ön süspansiyon ve salıncak sistemleri gibi alanlarda kullanılan 6082 alüminyum alaşımının kaynaklı birleştirmelerinde kullanılan geleneksel kaynak yöntemlerinden MIG, MAG ve Pulse akımlı kaynak yöntemlerinin yüksek ısı girdilerinden dolayı bu yöntemlerin yerine daha yeni teknolojiler olan ve ısı girdisini optimum dereceye kadar indirgeyebilen CMT ve PMC kaynak yöntemlerinin, bu ürünlerin üretiminde etkin olarak rol alabileceği gerçekleştirilen bilimsel çalışmanın sonucunda kanıtlanmıştır.

- 15- Takviye elemanı olarak kullanılan SiC tozunun boyutunun artması ile kaynaklanabilirliğinin düşeceği hatta mümkün olmayacağı düşünülmektedir.
- 16- Yeni teknolojiler (PMC ve CMT) kullanılarak yapılan birleştirmelerin, geleneksel yöntemler (MIG ve TIG) ile kıyaslanabilir olması ve gelecekteki çalışmalarda kullanılabilmesi önerilmektedir.
- 17- Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar (SEM, EDS ve mikroyapı analizleri), literatür araştırmasından da bilinen kaynaklı bölgelerde kırılğan bir yapı oluşturan alüminyum karbür bileşenlerinin, XRD yöntemiyle belirlenmesiyle desteklenebilir.

10. KAYNAKLAR

A. Dorbane, B. Mansoor, G. Ayoub, V.C. Shunmugasamy, A. Imad, "Mechanical, microstructural and fracture properties of dissimilar welds produced by friction stir welding of AZ31B and Al6061," *Materials Science and Engineering: A*, Volume 651, 2016, Pages 720-733, ISSN 0921-5093.

A. Hamdollahzadeh, M. Bahrami, M. Farahmand Nikoo, A. Yusefi, M.K. Besharati Givi, N. Parvin, "Microstructure evolutions and mechanical properties of nano-SiC-fortified AA7075 friction stir weldment: The role of second pass processing," *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 20, Part 1, 2015, Pages 367-373, ISSN 1526-6125.

A. Heidarzadeh, H. Khodaverdizadeh, A. Mahmoudi, E. Nazari, "Tensile behavior of friction stir welded AA 6061-T4 aluminum alloy joints," *Materials & Design*, Volume 37, 2012, Pages 166-173, ISSN 0261-3069.

A. Kouadri-David, "Study of metallurgic and mechanical properties of laser welded heterogeneous joints between DP600 galvanised steel and aluminium 6082," *Materials & Design (1980-2015)*, Volume 54, 2014, Pages 184-195, ISSN 0261-3069.

Abhishek C., Sanjeev K., "Impact strength of joints of aluminium matrix composite formed using friction stir welding technique," *Materials Today: Proceedings*, 2020, ISSN 2214-7853.

Akbaş G., Kılık R., "AA 6013-T651 Alüminyum Alaşımında Sürtünme Karıştırma Kaynağının, Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkileri," Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012

Akyel O., Aydın H., "Sürtünme Karıştırma Yöntemi İle Kaynak Edilen 5083 Alüminyum Alaşımında Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu," Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020

Alireza M., Arvin T., Atefeh S., Fariborz S., Jamshid A.M., "Microstructure and mechanical properties of friction stir weld of dissimilar AZ31-O magnesium alloy to 6061-T6 aluminum alloy," *Trans. Nonferrous Met. Soc., China* 24, (2014), 1317–1322.

Ansal E., "T/M ile üretilmiş Al Esaslı Partikül Takviyeli Kompozit Malzemelerin Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması," Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

Arslan G., Kara F., Turan S., "Bor Karbür-Alüminyum Kompozitlerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu," Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2001

Atik E., Meriç C., Şahan A., "TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş 2024 Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Çökelme Sertleşmesi Bakımından İncelenmesi,"

Aydın A., Kahraman F., Kasman Ş., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW) İle Kaynak Edilmiş Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrünün Arttırılması," Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017

Bozkurt Y., Bilici M.K., "Application of Taguchi approach to optimize of FSSW parameters on joint properties of dissimilar AA2024-T3 and AA5754-H22 aluminum alloys," Materials & Design, Volume 51, 2013, Pages 513-521, ISSN 0261-3069.

Bozkurt Y., Uzun H., Salman S., "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Aa2124/Sicp/25 Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Takım Aşınmasının Etkisi," Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 1, 139-149, 2011

Bozkurt Y., Uzun H., Salman S., "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Aa2124/Sicp/25 Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Takım Aşınmasının Etkisi," Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 1, 139-149, 2011

Bradley, G. R., James, M. N. 2000., "Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321," Dept. Of Mechanical and Marine Engineering, University of Plymouth, England, p. 1-87.

Buytoz S., " Alüminyum matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozit malzemelerin katı hal birleştirme teknikleri ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması," Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1999.

C. Leitão, R. Louro, D.M. Rodrigues, "Analysis of high temperature plastic behaviour and its relation with weldability in friction stir welding for aluminium alloys AA5083-H111 and AA6082-T6," Materials & Design, Volume 37, 2012, Pages 402-409, ISSN 0261-3069.

Chuang C., Shuang H., Hui C., Weihua Z., " The influences of Ar-He shielding gas mixture on welding characteristics of fiber laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy," Optics & Laser Technology, Volume 113, 2019, Pages 37-45, ISSN 0030-3992.

Cornacchia, G., Cecchel, S., Panvini, A., “ A comparative study of mechanical properties of metal inert gas (MIG)-cold metal transfer (CMT) and fiber laser-MIG hybrid welds for 6005A T6 extruded sheet.” *Int J Adv Manuf Technol* 94, 2017–2030 (2018).

D. Trimble, G.E. O'Donnell, J. Monaghan, "Characterisation of tool shape and rotational speed for increased speed during friction stir welding of AA2024-T3," *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 17, 2015, Pages 141-150, ISSN 1526-6125.

D.K. Yaduwanshi, S. Bag, S.Pal, (2015), " Numerical modeling and experimental investigation on plasma-assisted hybrid friction stir welding of dissimilar materials," *Materials and Design* 92 (2016) 166–183.

Durmuş H., Meriç C., Uzun O.R., “ Al-SiC Kompozitinin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesi,” *C.B.U. Journal of Science*, 2.1, (2006), 67 73.

Durmuş, H , Çömez, N , Yurddaşkal, M . "Soğuk metal transfer kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-galvanizli çelik sacların karakterizasyonu" . *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 8 (2017): 835-844

E. Sharghi, A. Farzadi, "Simulation of strain rate, material flow, and nugget shape during dissimilar friction stir welding of AA6061 aluminum alloy and Al-Mg₂Si composite," *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 748, 2018, Pages 953-960, ISSN 0925-8388.

Eker İ., Sevim İ., “6061 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2, 2009, Sayfa 137-141.

Firouz F., Khamirul A.M, Meysam T., Abdul R.D, Mohd K.A.M.A, Norinsan K.O., Farhad G., Abdul H.R., Farhad O., “Influence of rotational speed on mechanical properties of friction stir lap welded 6061-T6 Al alloy,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 24(2014) 1004–1011.

G. Elatharasan, R. Manikandan, G. Karthikeyan, "Multi-response optimization of process parameters in friction stir welding of dissimilar aluminum alloys by Grey relation analysis (AA 6061-T6 & AA5083-H111)," *Materials Today: Proceedings*, 2020, ISSN 2214-7853.

Ganapathy T., Veerakumar A., "Mechanical Properties of Friction Stir Welded Dissimilar Aluminum Matrix Composites," *International Journal of Applied Engineering Research.*, (2015), 10. 669-672.

Gungor B., Kaluc E., Taban E., Şık ŞŞ. A., "Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys," *Materials & Design* (1980-2015), Volume 54, 2014, Pages 207-211, ISSN 0261-3069.

Gungor B., Kaluc E., Taban E., Şık ŞŞ.A., "Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys," *Materials & Design* (1980-2015), Volume 54, 2014, Pages 207-211, ISSN 0261-3069.

Guo, Y., Pan, H., Ren, L. et al. An investigation on plasma-MIG hybrid welding of 5083 aluminum alloy. *Int J Adv Manuf Technol* 98, 1433–1440 (2018)

Gülyüz L., Çıblak N., "An Investigation Of Microstructure And Mechanical Properties Of Aluminum Matrix Composite Reinforced With B4c Particulates Manufactured By Powder Metallurgy Method," *Yeditepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2010

Gündoğan, K , Özсарı, A . "Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B4C ve SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Mekanik ve Isıl İletkenlik Özelliklerine Basıncın Etkisi," . *International Journal of Engineering Research and Development* , 11 (2) , (2019), 657-669

H. Jamshidi Aval, S. Serajzadeh, A.H. Kokabi, "Evolution of microstructures and mechanical properties in similar and dissimilar friction stir welding of AA5086 and AA6061," *Materials Science and Engineering: A*, Volume 528, Issue 28, 2011, Pages 8071-8083, ISSN 0921-5093.

H.J. Liu, J.C. Hou, H. Guo, "Effect of welding speed on microstructure and mechanical properties of self-reacting friction stir welded 6061-T6 aluminum alloy," *Materials & Design*, Volume 50, 2013, Pages 872-878, ISSN 0261-3069.

H.M.A. Kumar, V.V. Ramana, "Influence of tool parameters on the tensile properties of friction stir welded aluminium 5083 and 6082 alloys," *Materials Today: Proceedings*, Volume 27, Part 2, 2020, Pages 951-957, ISSN 2214-7853.

Habibur R.H., Mahenderker B., D.S. Kumar, Ahsan Y.H., "Experimental investigation of TIG welding on AA 6082 and AA 8011," *Materials Today: Proceedings*, Volume 19, Part 2, 2019, Pages 818-822, ISSN 2214-7853.

Hamed J.A., "Influences of pin profile on the mechanical and microstructural behaviors in dissimilar friction stir welded AA6082–AA7075 butt Joint," *Materials & Design*, Volume 67, 2015, Pages 413-421, ISSN 0261-3069.

Hasan J., Hadi M., Mohammad H., "Investigation of residual stress distribution of dissimilar Al-7075-T6 and Al-6061-T6 in the friction stir welding process

strengthened with SiO₂ nanoparticles," *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 43, Part A, 2019, Pages 145-153, ISSN 1526-6125.

I.A. Kartsonakis, D.A. Dragatogiannis, E.P. Koumoulos, A. Karantonis, C.A. Charitidis, "Corrosion behaviour of dissimilar friction stir welded aluminium alloys reinforced with nanoadditives," *Materials & Design*, Volume 102, 2016, Pages 56-67, ISSN 0264-1275.

Iman H., Seyyed E. M., "Mechanical and metallurgical characterization of AA6061 friction stir welded joints using microhardness map," *Trans. Nonferrous Met. Soc., China* 26, (2016), 2313–2319.

J.F. Guo, H.C. Chen, C.N. Sun, G. Bi, Z. Sun, J. Wei, "Friction stir welding of dissimilar materials between AA6061 and AA7075 Al alloys effects of process parameters," *Materials & Design (1980-2015)*, Volume 56, 2014, Pages 185-192, ISSN 0261-3069.

J.M Gómez de Salazar, M.I Barrena, "Dissimilar fusion welding of AA7020/MMC reinforced with Al₂O₃ particles. Microstructure and mechanical properties," *Materials Science and Engineering: A*, Volume 352, Issues 1–2, 2003, Pages 162-168, ISSN 0921-5093.

J.M. Sánchez-Amaya, T. Delgado, L. González-Rovira, F.J. Botana, "Laser welding of aluminium alloys 5083 and 6082 under conduction regime," *Applied Surface Science*, Volume 255, Issue 23, 2009, Pages 9512-9521, ISSN 0169-4332.

J.Q. Li, H.J. Liu, "Characteristics of the reverse dual-rotation friction stir welding conducted on 2219-T6 aluminum alloy," *Materials & Design*, Volume 45, 2013, Pages 148-154, ISSN 0261-3069.

Jamshidi A.H., "Effect of welding heat input and post-weld aging time on microstructure and mechanical properties in dissimilar friction stir welded AA7075–AA5086," *Trans. Nonferrous Met. Soc., China* 27, (2017), 1707–1715.

Javier A. Vargas, Jaime E. Torres, Jovanny A. Pacheco, Roque J. Hernandez, "Analysis of heat input effect on the mechanical properties of Al-6061-T6 alloy weld joints," *Materials & Design (1980-2015)*, Volume 52, 2013, Pages 556-564, ISSN 0261-3069.

K. K. Alaneme, M. O. Bodunrin, "Corrosion Behavior of Alumina Reinforced Aluminium (6063) Metal Matrix Composites," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10, No.12, pp.1153-1165, 2011

K. Kalaiselvan, N. Murugan, "Role of friction stir welding parameters on tensile strength of AA6061–B4C composite joints," *Trans. Nonferrous Metals Soc. China*, 23 (3) (2013), pp. 616-624.

K. N. Wakchaure, A. G. Thakurb, Vijay Gadakhc, A. Kumar, "Multi-Objective Optimization of Friction Stir Welding of Aluminium Alloy 6082-T6 Using hybrid Taguchi-Grey Relation Analysis- ANN Method," *Materials Today:Proceedings* 5, (2018), 7150–7159.

K. Sekar, Gudla J., S.Aravindan, " Mechanical and Welding Properties of A6082-SiC-ZrO2 Hybrid Composite Fabricated by Stir and Squeeze Casting," *Materials Today: Proceedings* 5, (2018), 20268–20277.

Kaczmar J., W. Pietrzak, K., Wlosinski W. 2000., "The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials," *Journal of Materials Processing Technology*, 106,58- 67

Kadlec M., Růžek R., Nováková L., "Mechanical behaviour of AA 7475 friction stir welds with the kissing bond defect," *International Journal of Fatigue*, Volume 74, 2015, Pages 7-19, ISSN 0142-1123.

Kalemtaş, Ayşe. 2014., "Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış," *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*, s.21-22.

Karakoç H., Çıtak R., "B₄C Takviyelendirilmiş Alüminyum Kompozit Malzemelerin TIG Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* Vol: 4, No: 3, 2017, (584-592).

Keskin S., Kejanlı H., Bingöl S., 2019. "Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10:, s.203-210

Khalique E.A., B.M. Nagesh, B.S. Raju, D.N. Drakshayani, Abhijit S.C.H, "Studies on the effect of welding parameters for friction stir welded AA6082 reinforced with Aluminium Oxide," *Materials Today: Proceedings*, Volume 20, Part 2, 2020, Pages 108-119, ISSN 2214-7853.

Kırcı O., Kaluç E., "AW-5005 Alüminyum Alaşımının Bindirme Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Bağlantı Özelliklerine Takım Profilinin Etkisi," *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2012

Kwang-Jin L., Eui-Pyo K., "Microstructure of stir zone in dissimilar friction stir welds of AA6061-T6 and AZ31 alloy sheets," *Trans. Nonferrous Met. Soc., China* 24, (2014), 2374–2379.

Landry G., Hugo R., Christophe C., Christophe D., Philippe B., Eric F., "Investigation into the dissimilar friction stir welding of AA7020-T651 and

AA6060-T6," Journal of Materials Processing Technology, Volume 235, 2016, Pages 220-230, ISSN 0924-0136.

Li D., Yang X., Cui L., He F., Shen H., "Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of AA6061-T6 butt welded joints by stationary shoulder friction stir welding," Materials & Design, Volume 64, 2014, Pages 251-260, ISSN 0261-3069.

Luca B., Antonello A., Pierpaolo C., Fabio S., Felice R., Antonino S., "Dissimilar friction stir lap welding of AA 6082 - Mg AZ31: Force analysis and microstructure evolution," Journal of Manufacturing Processes, Volume 44, 2019, Pages 376-388, ISSN 1526-6125.

M. Bakkiyaraj, G. Saikrishnan, N. Akash, S.K. Gopinath, N.Anandhaganesan, S. Vivek, "The effect of offset preheating on the mechanical properties of FSW aluminium alloy joint using GTA," Materials Today: Proceedings, 2020, ISSN 2214-7853.

M. Kianezhad, A. Honarbakhsh Raouf, "Effect of nano-Al₂O₃ particles and friction stir processing on 5083 TIG welding properties," Journal of Materials Processing Technology, Volume 263, 2019, Pages 356-365, ISSN 0924-0136.

M. Simoncini, A. Forcellese, "Effect of the welding parameters and tool configuration on micro- and macro-mechanical properties of similar and dissimilar FSWed joints in AA5754 and AZ31 thin sheets," Materials & Design, Volume 41, 2012, Pages 50-60, ISSN 0261-3069.

M.A. Mofid, A. Abdollah-zadeh, F. Malek Ghaini, "The effect of water cooling during dissimilar friction stir welding of Al alloy to Mg alloy," Materials & Design (1980-2015), Volume 36, 2012, Pages 161-167, ISSN 0261-3069.

M.B.A. Shuvho, M.A. Chowdhury, M. Kchaou, B.K. Roy, A. Rahman, M.A. Islam, "Surface characterization and mechanical behavior of aluminum based metal matrix composite reinforced with nano Al₂O₃, SiC, TiO₂ particles," Chemical Data Collections, Volume 28, 2020, 100442, ISSN 2405-8300.

Manjhi S.K., Ashish D., Shashi B.P., "Review on joining of aluminum alloy by solid-state welding technique," Materials Today: Proceedings, Volume 26, Part 2, 2020, Pages 1255-1261, ISSN 2214-7853.

Mercan E., Kahraman N., "5XXX-6XXX Alüminyum Alaşımalarının Otomatik MIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması," Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Numan S., "Metal Matrisli Kompozit ile Alüminyum Alaşımı Levha Çiftinin Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi," Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Nüman H., Taban E., "5005-H24 Alüminyum Alaşımı Ve BH 20/34 Çeliğinin CMT Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması Ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu," Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Odabaş C., 2007., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı," As Kaynak

Onat A., 2015., "Kompozit Malzemeler," Sakarya Meslek Yüksek Okulu

Özsaraç, U , Aslanlar, S , Varol, F , Işık, Ş , Ferik, E . "Farklı Gaz Basınçları Kullanılarak Soğuk Metal Transferi (CMT) ile Birleştirilmiş Alüminyum 6082-T6 Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" . El-Cezeri Journal of Science and Engineering 4 (2017): 606-611

P. Satish Kumar, M. Shiva Chander, "Effect of tool pin geometry on FSW dissimilar aluminum alloys - (AA5083 & AA6061)," Materials Today: Proceedings, 2020, ISSN 2214-7853.

P. Venkateswaran, A.P. Reynolds, "Factors affecting the properties of Friction Stir Welds between aluminum and magnesium alloys," Materials Science and Engineering: A, Volume 545, 2012, Pages 26-37, ISSN 0921-5093.

Prakash K.S., Sukhomay P., "Mechanical properties of dissimilar thickness aluminium alloy weld by single/double pass FSW," Journal of Materials Processing Technology, Volume 243, 2017, Pages 442-455, ISSN 0924-0136.

Qing-wei GAO, Feng-yuan SHU, Peng HE, Wen-bo DU, "Microstructure and impact mechanical properties of multi-layer and multi-pass TIG welded joints of Al-Zn-Mg alloy plates," Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 29, Issue 12, 2019, Pages 2496-2505, ISSN 1003-6326.

R. Palanivel, P. Koshy Mathews, I. Dinaharan, N. Murugan, "Mechanical and metallurgical properties of dissimilar friction stir welded AA5083-H111 and AA6351 T6 aluminum alloys," Trans. Nonferrous Met. Soc. China 24(2014) 5865.

R. Palanivel, P. Koshy Mathews, N. Murugan, I. Dinaharan, "Effect of tool rotational speed and pin profile on microstructure and tensile strength of dissimilar friction stir welded AA5083-H111 and AA6351-T6 aluminum alloys," Materials & Design, Volume 40, 2012, Pages 7-16, ISSN 0261-3069.

R. Srinivasan, M. Vesvanth, Kv. Sivasuriya, S. Sanjay, M.J. Vinesh Madhu, "Experimental investigation on the effect of tool rotation speed on stir cast friction stir welded aluminium hybrid metal matrix composite," *Materials Today: Proceedings*, Volume 27, Part 2, 2020, Pages 1787-1793, ISSN 2214-7853.

R.R. Ambriz, C. Froustey, G. Mesmacque, "Determination of the tensile behavior at middle strain rate of AA6061-T6 aluminum alloy welds," *International Journal of Impact Engineering*, Volume 60, 2013, Pages 107-119, ISSN 0734-743X.

Rajneesh K., Kanwer S., Sunil P., "Process forces and heat input as function of process parameters in AA5083 friction stir welds," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Volume 22, Issue 2, 2012, Pages 288-298, ISSN 1003-6326.

Rohan A., Piyush G., Dinesh K.S., Hitesh D., "Microstructural and Wear Characteristics of Friction Stir Processed Al-7075/SiC Reinforced Aluminium Composite," *Materials Today: Proceedings* 18, (2019), 4092–4101.

S. Malarvizhi, V. Balasubramanian, "Influences of tool shoulder diameter to plate thickness ratio (D/T) on stir zone formation and tensile properties of friction stir welded dissimilar joints of AA6061 aluminum–AZ31B magnesium alloys," *Materials & Design*, Volume 40, 2012, Pages 453-460, ISSN 0261-3069.

S. Venkata Ravi Kumar, A. Muniappan, V. Mohanavel, "Investigation of SiC and AL₂O₃ – Reinforced with aluminium composites-A review," *Materials Today: Proceedings*, 2020, ISSN 2214-7853.

S.T. Azeeza, E.T. Akinlabia, "Effect of processing parameters on microhardness and microstructure of a double-sided dissimilar friction stir welded AA6082-T6 and AA7075-T6 aluminum alloy," *Materials Today: Proceedings* 5, (2018), 18315–18324.

Sahin, İ., "Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları," *Yıldız Teknik Üniversitesi*, s.1. (2019)

Shude J., Xiangchen M., Zhenlei L., Ruofei H., Zhengwei L., 2017., "Dissimilar friction stir welding of 6061 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy assisted with ultrasonic" *Materials Letters*, Volume 201, Pages 173-176, ISSN 0167-577X.

Subramanya R.P.B., Arun S., Mervin H., Shrikantha R., "Study on Mechanical and microstructural characteristics of Friction Stir Welded Aluminium Matrix composite," *Materials Today: Proceedings* 24, (2020), 1183–1189.

Şenel C.M., Gürbüz M., Koç E., “ SiC Takviyesinin Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mikro Yapısı ve Sertliği Üzerine Etkisi,” II. International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2017

Şık, A. 2005., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Eğme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi,” Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sakarya Üniversitesi, cilt 9, sayı 2, s.12-17.

Taban E., Kaluç E., “5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi,” Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2004

Tezcan S., Gürler R., “Vorteks Metodu İle Üretilen Bor Karbür Partikül Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin TIG Kaynak Kabiliyeti Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi,” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012

Toktaş A., Tayanç M., “Sürtünme Karıştırma Kaynak Parametrelerinin 6063-T6 Alüminyum Alaşımının İç Yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi,” Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, 2006

Tunçel O., Aydın H., Tutar M., Bayram A., "Mechanical Performance of Friction Stir Spot Welded AA6082-T6 Sheets," Proceedings of IASTEM International Conference,(2015).

Uluköy A., “Pulsed metall inert gas (MIG) welding and its effects on the microstructure and element distribution of an aluminum matrix reinforced with SiC composite material,” Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 2017, 48, No.2

Ünal O., “Kompozit Malzemeler,” Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli,(2011).

V. Preethi, A. Daniel Das, "Optimization of friction stir welding parameters for better hardness in weld nugget of hybrid aluminium composite," Materials Today: Proceedings, 2020, ISSN 2214-7853.

Velaphi M., Nontle M., Sipokazi M., "Microstructural analysis of the friction stir welded 1050-H14 and 5083-H111 aluminium alloys," Materials Today: Proceedings, Volume 26, Part 2, 2020, Pages 189-192, ISSN 2214-7853.

Woong-Seong C., Rajesh S.R., Chang-Keun C., Heung-Ju K., “Microstructure and Mechanical Properties of Hybrid Laser-Friction Stir Welding between AA6061-T6 Al Alloy and AZ31 Mg Alloy,” J. Mater. Sci. Technol., 2011, 27(3), 199-204.

Xueqi L., ChuanSong W., Chunliang Y., G.K. Padhy, "Weld microstructure and mechanical properties in ultrasonic enhanced friction stir welding of Al alloy to Mg alloy," Journal of Materials Processing Technology, Volume 254, 2018, Pages 145-157, ISSN 0924-0136.

Yavuz N., "Alüminyum Alaşımalarında Silisyumun Kaynak Dikişi Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi," Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 3, s.441-445, 1997.

Ying L., Junqi S., Shengsun H., Haichao W., Jie P., "Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG-CMT hybrid welding," Journal of Materials Processing Technology, Volume 255, 2018, Pages 161-174, ISSN 0924-0136.

Ying L., Shengsun H., Junqi S., Heng Z., Peng W., "Geometrical and microstructural characteristics of the TIG-CMT hybrid welding in 6061 aluminum alloy cladding," Journal of Materials Processing Technology, Volume 239, 2017, Pages 18-30, ISSN 0924-0136.

Zhao Y., Yang G., Yan K., Liu W., "Effect On Formation Of 5083 Aluminum Alloy Of Activating Flux in FBTIG Welding," Advanced Materials Research Vols 311-313 (2011) pp 2385-2388