



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAKLI FARKLI AL-ALAŞIMI
(AA6061-AA7075) BAĞLANTILARIN
İÇYAPI VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

KADER METİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

Şubat-2011

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAKLI FARKLI AL-ALAŞIMI
(AA6061-AA7075) BAĞLANTILARIN
İÇYAPI VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

KADER METİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında hazırlanan bu tez 03/02/2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Gürel ÇAM
Başkan

Prof.Dr. Semir ÖVER
Üye

Yrd.Doç.Dr. Selçuk MISTIKOĞLU
Üye

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Materyal	12
3.1.1. Kaynak Yapılacak Malzeme	12
3.1.2. Kaynak İşleminde Kullanılan Tezgâh	13
3.1.3. Malzemenin Tezgâha Yerleştirilmesi	14
3.1.4. Karıştırıcı Ucu Hazırlanması	14
3.1.5. Kaynak Parametreleri	15
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Kaynak İşlemi	17
3.2.2. Metalografik İnceleme	17
3.2.3. Mikrosertlik İnceleme	19
3.2.4 Çekme Deneyleri	20
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	23
4.1. Mikroyapı Özellikleri	23
4.1.1. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi	25
4.1.2. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi	29
4.1.3. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi	33
4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	37
4.2.1. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	37

4.2.2. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	39
4.2.3. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	40
4.3. Çekme Deneyi Sonuçları	43
4.3.1. AA6061 - AA7075 Baz Malzemelerinin Çekme Deneyi Sonuçları.....	43
4.3.2. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	44
4.3.3. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	49
4.3.4. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	53
4.3.5. Kaynaklı Numunelerin Devir Sayısının Çekme Gerilmesi ve Uzamaya Etkisi	58
4.3.6. Kaynaklı Numunelerin İlerleme Hızının Çekme Gerilmesi ve Uzamaya Etkisi	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
TEŞEKKÜR	69
ÖZGEÇMİŞ	70

ÖZET**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAKLI FARKLI AL-ALAŞIMI
(AA6061-AA7075) BAĞLANTILARIN
İÇYAPI VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU**

Bu çalışmada, AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımı levhaların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alın kaynağı edilebilirliği ve kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Bunun için öncelikle devir sayısı 1750-2000-2250 dev/dak, her devirde ilerleme hızı 30-60-100 mm/dak, levha konumları AA6061/AA7075 ve AA7075/6061 şeklinde sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır. Ardından da kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı özellikleri incelenmiş, mikrosertlik ölçümleri ve oda sıcaklığında çekme testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, AA6061/AA7075 ve AA7075/6061 konumları şeklinde birleştirilen levhaların aynı devir sayısı ve ilerleme hızlarında farklı mekanik ve mikroyapı özellikler gösterdikleri belirlenmiştir. Buna ilaveten, AA6061 ve AA7075 alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmelerinde uygun devir sayısı ve ilerleme hızı ile birlikte farklı özellikteki levhaların yerleşim şekline göre kaynak kalitesini arttırmanın mümkün olduğu da gözlenmiştir.

2011, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, AA6061 alaşımı, AA7075 alaşımı, levha konumu, mekanik özellikler, farklı bağlantı, kaynak performansı.

ABSTRACT**MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION
OF FRICTION STIR WELDED DISSIMILAR
AA6061-AA7075 AL ALLOYS JOINTS**

In this study, the extent to which aluminium alloy plates of AA6061 and AA7075 can be joined in butt position by using the friction stir welding method and the effects of various welding parameters on the mechanical properties of the joints have been examined.

For this purpose, firstly the plates were joined at the positions of AA6061/AA7075 and AA7075/6061 with a series of rotation speeds of 1750-2000-2250 revolutions per minute (rpm) and a series of welding speeds of 30-60-100 millimeters per minute (mm/min). Subsequently, the microstructures of the weld zones were examined by measuring the microhardness and tensile properties of the joints under the room temperature. It has been observed that the plates that were joined at the positions of AA6061/AA7075 and AA7075/AA6061 exhibit different mechanical and microstructure characteristics although they were produced at the same rotation and welding speeds. It has also been observed that the quality of welds can be increased not only by adjusting the rotation and welding speeds but also by altering the position of the plates having different characteristics.

2011, 79 pages

Key Words: Friction stir welding, AA6061 alloy, AA7075, alloy plate position, mechanical properties, dissimilar joining, joint performance.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DKB	Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge
HV	Vickers Sertliği
IEB	Isıdan Etkilenen Bölge
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
TEB	Termodinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı Al-alışımı levhaların SKK'da kullanılan kaynak parametreleri	10
Çizelge 2.2. SKK ile kaynak edilmiş farklı Al-alışımı levhaların kaynak performans değerleri.	11
Çizelge 3.1. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	12
Çizelge 3.2. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kaynak parametreleri	16
Çizelge 4.1. Mikrosertlik ölçümleri sonucu elde edilen sertlik değerleri	42
Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonucu elde edilen veriler	63
Çizelge 4.3. Çekme mukavemeti kaynak performans değerleri	64
Çizelge 4.4. % Süneklik kaynak performans değerleri	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının (friction stir welding) şematik gösterimi (W.M. Thomas ve ark.,1991; Çam 2001; Çam, 2005).....	4
Şekil 2.2. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan kaynak bölgesi iç yapısının şematik görünümü. A: Isının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: Termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) (Çam,2001; Çam ve Koçak, 1999; Çam, 2005)	4
Şekil 2.3. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi (Çam, 2003).....	5
Şekil 2.4. Japonya 'da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan Al-paneller (Çam, 2003).....	6
Şekil 2.5. Sürtünme karıştırma kaynağı ile Mazda'da gövde montajının yapılışı (I-car, 2003).	6
Şekil 2.6. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin aşamaları (Lomolino ve ark., 2005).	7
Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan CNC dik işleme tezgahı	13
Şekil 3.2. Birleştirilecek plakaların tezgâha yerleşiminin şematik gösterimi	14
Şekil 3.3. Kaynak işleminde kullanılan karıştırıcı uç	15
Şekil 3.4.Kaynak işleminde alaşım plakalarının farklı konumlarının şematik gösterimi (Cavaliere ve ark., 2009).....	16
Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma kaynağının yapılışı	17
Şekil 3.6. Metalografik inceleme numunelerinin bakalite alınması.....	18
Şekil 3.7. 200 mm disk çaplı zımparalama-parlatma cihazı	19
Şekil 3.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....	20
Şekil 3.9. Kaynaklı levhadan standarda göre kesilmiş bir çekme numunesi	20
Şekil 3.10. TS 287 EN 895 standardına göre hazırlanmış çekme numunesinin ölçüleri	21
Şekil 3.11. TS EN ISO 15614-2 standardına göre kaynaklı levhalardan çekme numunelerinin çıkarılışı	21
Şekil 3.12. Çekme testinde kullanılan cihaz	22

Şekil 4.1. Kaynak bölgesi iç yapı oluşumunun şematik görünümü	23
Şekil 4.2. AA6061 Baz malzemesinin mikroyapı görünümü (400X).....	24
Şekil 4.3. AA7075 Baz malzemesinin mikroyapı görünümü (200X).....	24
Şekil 4.4. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, f) 7075-6061 100 mm/dak,	25
Şekil 4.5. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (50X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü	26
Şekil 4.6. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (500X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü	27
Şekil 4.7. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü	28
Şekil 4.8. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, f) 7075-6061 100 mm/dak	29
Şekil 4.9. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (50X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü	30
Şekil 4.10. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061	

- bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü 31
- Şekil 4.11. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü 32
- Şekil 4.12. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, e) 7075-6061 100 mm/dak..... 33
- Şekil 4.13. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü 34
- Şekil 4.14. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü 35
- Şekil 4.15. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü 36
- Şekil 4.16. Esas malzemelerin mikrosertlik grafiği 37
- Şekil 4.17. 1-6 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 1:6061-7075 30 mm/dak, 2:7075-6061 30 mm/dak, b) 3:6061-7075 60 mm/dak, 4:7075-6061 60 mm/dak, c) 5:6061-7075 100 mm/dak, 6:7075-6061 100 mm/dak 38
- Şekil 4.18. 7-12 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 7:6061-7075 30 mm/dak, 8:7075-6061 30 mm/dak, b) 9:6061-7075 60 mm/dak, 10:7075-6061 60 mm/dak, c) 11:6061-7075 100 mm/dak, 12:7075-6061 100 mm/dak 40

- Şekil 4.19. 13-18 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 13:6061-7075 30 mm/dak, 14:7075-6061 30 mm/dak, b) 15:6061-7075 60 mm/dak, 16:7075-6061 60 mm/dak, c) 17:6061-7075 100 mm/dak, 18:7075-6061 100 mm/dak 41
- Şekil 4.20. a) AA6061 alaşımı baz malzemenin çekme testi sonrası fotoğrafı, b). AA6061 alaşımı baz malzemeye ait gerilme-uzama eğrisi..... 43
- Şekil 4.21. a) AA7075 alaşımı baz malzemenin çekme testi sonrası fotoğrafı, b). AA7075 alaşımı baz malzemeye ait gerilme-uzama eğrisi..... 44
- Şekil 4.22. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 1 ve 2 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 1 ve 2 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 1 ve 2 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi 45
- Şekil 4.23. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 3 ve 4 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 3 ve 4 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 3 ve 4 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi). 3 ve 4 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi 47
- Şekil 4.24. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 5 ve 6 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 5 ve 6 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 5 ve 6 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi 48
- Şekil 4.25. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 7 ve 8 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 7 ve 8 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 7 ve 8 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi 50
- Şekil 4.26. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 9 ve 10 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 9 ve 10 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 9 ve 10 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi 51
- Şekil 4.27. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 11 ve 12 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 11 ve 12 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 11 ve 12 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi..... 53
- Şekil 4.28. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 13 ve 14 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 13 ve 14 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 13 ve 14 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi..... 54

- Şekil 4.29. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 15 ve 16 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 15 ve 16 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 15 ve 16 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi..... 56
- Şekil 4.30. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 17 ve 18 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 17 ve 18 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 17 ve 18 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi..... 57
- Şekil 4.31. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği 59
- Şekil 4.32. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede devir sayısı-uzama grafiği b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede devir sayısı- uzama grafiği..... 60
- Şekil 4.33. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği 61
- Şekil 4.34. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-uzama grafiği b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-uzama grafiği..... 62

1. GİRİŞ

Ergitme kaynak yöntemleri ile Al-alışımlarının (özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış olan Al-alışımlarının) kaynağında çatlak ve aşırı derecede porozite oluşumu gibi problemler mevcuttur. Ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, bu malzemelerin ısıl genleşmelerinin yüksek olması ve katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş olması sonucu, özellikle çatlama daha duyarlı yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış Al-alışımlarında kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olur. Ayrıca, ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, özellikle yüksek mukavemetli Al-alışımlarında ITAB' de tane sınırlarında düşük ergime dereceli fazların oluşumuna ve dolayısıyla bu bölgede tane sınırlarında katılaşma esnasında çatlama yol açabilir. Porozite oluşumunun nedeni ise; alüminyumun sıvı halde hidrojen çözünürlüğünün katı haldekinden çok daha yüksek olmasıdır. Kaynak esnasında atmosferden veya rutubetli elektrot kullanımından dolayı kaynak dikişine hidrojen girmesi kaynak dikişinde tolere edilemeyecek düzeyde porozite oluşumuna neden olur. Bu da mukavemet gibi kaynak performansını belirleyen mekanik özellikleri kabul edilemeyecek düzeylere düşürür. Hatta, AA7075 gibi bazı yüksek mukavemetli Al-alışımlarına ark kaynağı yapılamamaktadır. Katı hal kaynak metodlarından difüzyon kaynağı metodu da Al-alışımlarının yüzeyinde mevcut kararlı oksit tabakasından dolayı ticari olarak kullanılamamaktadır.

Diğer taraftan, ark kaynağı gibi geleneksel ergitme kaynağı güç olan AA 7075 gibi Al-alışımları günümüzde SKK yöntemi ile başarılı bir şekilde kaynak edilebilmektedir. Bu kaynak tekniği, 1991 yılında TWI, İngiltere'de geliştirilmiş ve patentlenmiş bir katı hal kaynağı olup, özel SKK teçhizatı kullanılarak veya konvansiyonel dik freze veya CNC tezgâhlarında uygulanabilmektedir. İmalat sanayinde sıkça farklı malzemelerin kaynağı gerekmekte ise de, farklı malzemelerin ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağında, özellikle farklı ergime sıcaklığına ve farklı ısıl genleşme katsayısına sahip malzemelerin kaynağında, çatlama gibi güçlüklerle karşılaşmaktadır. Diğer taraftan klasik sürtünme kaynağı ve difüzyon kaynağı gibi katı hal kaynakları farklı malzemelerin kaynağında daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu tür birleştirmelerde SKK yöntemi de alternatif bir kaynak yöntemidir.

Bu bağlamda, bu çalışmada, iki farklı Al-alaşımı levhalar (AA6061-T6 ve AA7075-T6) birbirine farklı konumlarda ve değişik kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Kaynaklı levhaların içyapı karakterizasyonu optik mikroskop ile yapılmış, mekanik özellikleri ise mikrosertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılarak belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

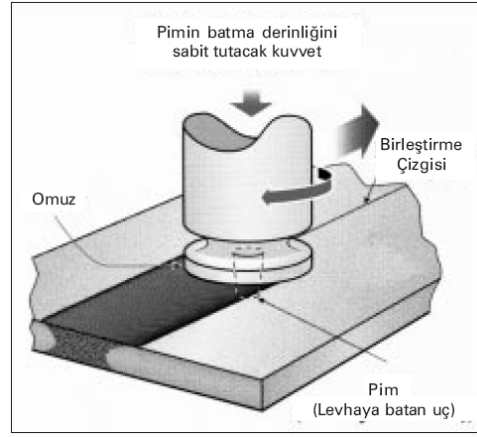
Sürtünme kaynağının değişik bir versiyonu olan bir katı hal kaynak yöntemi sürtünme-karıştırma kaynağı, 1970'li yıllarda İngiltere'de The Welding Institute adlı kurumda geliştirilip 1990'lı yıllarda patentlenmiştir. Sürtünme-karıştırma kaynağı (friction stir welding) ile Al-alaşımı levhaların alın kaynağında sıvı hal kaynak metodlarından çok daha iyi sonuçlar alınmıştır. Yöntemin en önemli üstünlüğü Al-alaşımının tüm kaynak yöntemlerinde karşılaşılan kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı bu yöntemde düşük ısı girdisinden dolayı daha düşük seviyededir. Şekil 2.1.'de SKK yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 2.2.'de bu kaynak yöntemi ile elde edilen kaynak kesitinin şematik gösterimi verilmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağının üstünlükleri şunlardır:

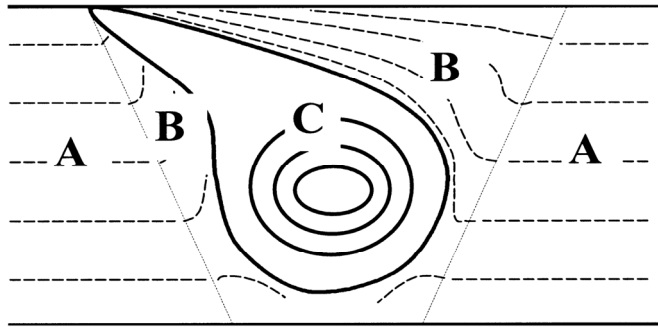
- Ergitme kaynağı zor olan 2XXX VE 7XXX serisi Al-alaşimleri ve Al-Li alaşimleri kaynak edilebilir.
- Kaynak esnasındaki toplam ısı girdisi düşüktür, dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur.
- Özellikle ince levhalarda büzülme, distorsiyon ve kalıntı gerilmeler çok düşüktür.
- Kaynak öncesi yüzey hazırlama aşırı kritik değildir, yüzeyde ince oksit filmleri tolere edilebilir.
- Katı hal kaynağı olduğu için çatlak ve porozite oluşumu gibi ergitme kaynaklarında karşılaşılan problemler söz konusu değildir.
- Dolgu malzemesine gereksinim yoktur.
- Kaynak sonrası kaynak yüzeyi talaş alınmış gibi düzgündür ve yüzey işleme gerektirmez.
- Alın ve bindirme kaynağı yapılabilir.
- Aynı karıştırıcı uç ile tipik olarak 1 km kaynak yapılabilir.
- Yöntemin doğası gereği ark, kıvılcım, gaz ve toz söz konusu olmadığından çok temiz ve çevreci bir kaynak yöntemidir.
- Enerji verimliliği yüksek bir kaynak yöntemidir.
- Otomasyona ve robotik uygulamaya çok uygundur.

Yöntemin dezavantajları ise:

- Her malzemenin kaynağı mümkün değildir. Yalnızca mukavemeti düşük ve özellikle düşük ergime dereceli malzemelerin kaynağına uygundur.
- Kaynaklanacak parçaların çok sıkı tespit edilmesi şarttır.
- Kaynak hızı bazı ergitme kaynaklarından düşüktür (tipik olarak 5 mm kalınlıktaki 6XXX serisi Al-alaşımı levhalarda 750 mm/dk civarında).
- Geri çekilebilir özel karıştırıcı uç kullanılmadığı takdirde kaynak sonunda delik kalır.
- Özellikle kalın levhaların kaynağı için çok güçlü tezgâhlara ihtiyaç vardır.



Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının (friction stir welding) şematik gösterimi (W.M. Thomas ve ark.,1991; Çam 2001; Çam, 2005)



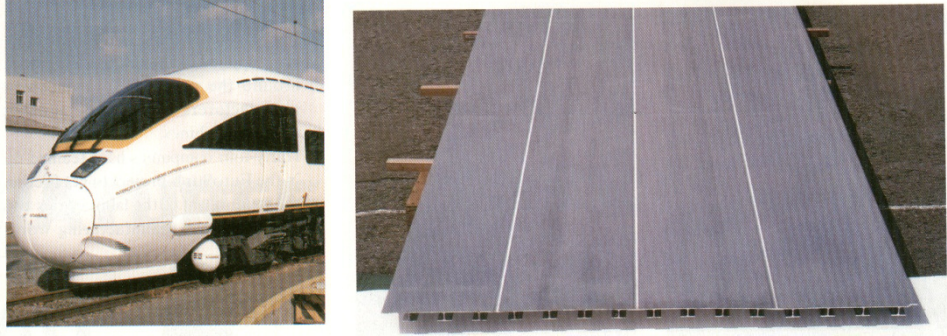
Şekil 2.2. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan kaynak bölgesi iç yapısının şematik görünümü. A: Isının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: Termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) (Çam,2001; Çam ve Koçak, 1999; Çam, 2005)

Bu kaynak tekniği günümüzde ticari olarak gemi inşaattı, hızlı tren imalatı, havacılık sanayi gibi değişik alanlarda uygulanmaktadır (şekil 2.3.-2.5.). Yüksek hız feribotlarında kullanılan standart boydaki alüminyum ekstrüzyon panelleri sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmektedir. Ergitme kaynaklarına kıyasla ısı girdisinin düşük olması, panellerdeki distorsiyon ve kalıntı gerilmelerini minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu yöntem Al-Li 2195 alaşımından üretilen uzay mekiklerinin yakıt tanklarının son kubbe kısımlarının kaynağında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

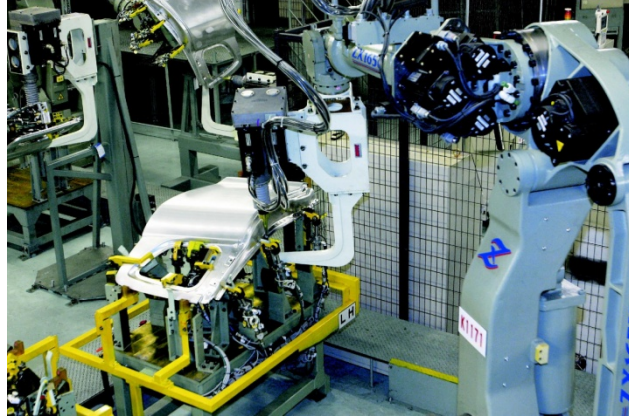


şekil 2.3. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi (am, 2003)

Sürtünme karıştırma kaynağı yolcu uçakları gibi hafif alüminyum iskeletli yapılarda büyük potansiyel arz etmektedir ve bu konuda araştırmalar yoğun olarak sürdürülmektedir. Buna ilaveten, özellikle Japonya'da hızlı trenlerin vagonlarının üretiminde, alüminyum ekstrüzyonlardan kaynak konstrüksiyonla petek panellerin imalatında bu kaynak yöntemi uygulanmaktadır.



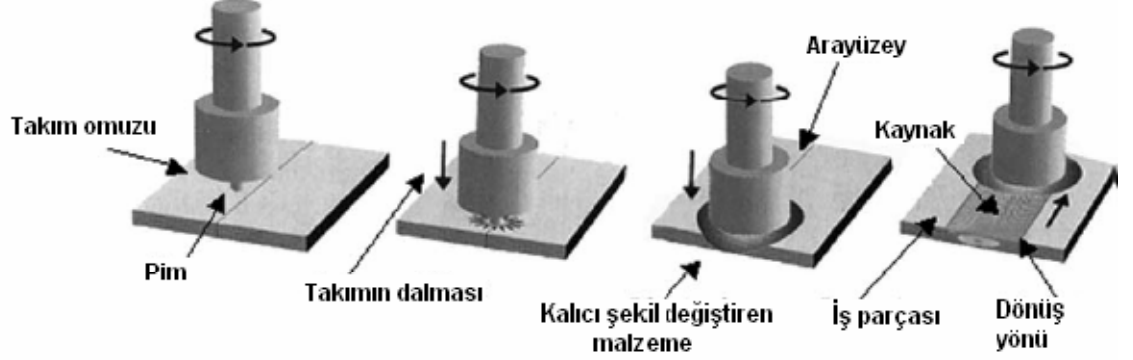
Şekil 2.4. Japonya 'da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan Al-paneller (Çam, 2003).



Şekil 2.5. Sürtünme karıştırma kaynağı ile Mazda'da gövde montajının yapılışı (I-car, 2003).

Yöntem, karıştırıcı (batıcı) uç olarak adlandırılan ve yüksek devirlerde omuzlu bir pimin, kaynak edilecek parçalar bir tabla üzerinde alın altına getirilip sabitlendikten

sonra, bu parçaların içine daldırılarak sürtünmeden dolayı meydana gelen ısının tesiri ile parçaları yumuşatması ve çamurumsu bir kıvama gelen malzemenin karıştırılması ve pimin omuz kısmı tarafından sıvanması yoluyla, kaynak yapılacak parçalar boyunca ilerletilmesi suretiyle parçaların birleştirildiği bir sürtünme kaynağı yöntemidir. Yöntemin uygulanışı, Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin aşamaları (Lomolino ve ark., 2005).

Literatürde SKK yönteminin benzer Al-alaşımı levhaların kaynağında kullanımı konusunda yapılan çalışmalar ile ilgili çok iyi derleme yayınlar bulunmaktadır (Mishra ve Ma, 2005; Nandan ve ark., 2008; Threadgill ve ark., 2009). Daha önce bahsedildiği üzere, Al-alaşımında benzer levhaların kaynağında SKK yöntemi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al-alaşımı dışı malzemelerde benzer levhaların kaynağında da çok sayıda çalışma yapılmaktadır ancak sadece Mg-alaşımı ve Cu-alaşımının kaynağında çok sınırlı endüstriyel uygulama söz konusu olup, çelikler, Ti-alaşımaları ve Al-matris kompozit malzemelerde SKK uygulaması henüz araştırma-geliştirme safhasındadır (Çam, 2011). Ayrıca, literatürde farklı malzemelerin SKK konusunda da benzer malzemelerin SKK konusundaki kadar olmasa da çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Mishra ve Ma, 2005; Srivatsan ve ark., 2007; Dalle Done ve ark., 1998; Moreira ve ark., 2009; Johnson, 2003; Murr ve ark., 2000; Murr ve ark., 2001; Larsson ve ark., 2000; Fuchs ve ark., 2008; Lederich ve ark., 2001; Wert, 2003; Ouyang ve Kovacevic, 2002; Li ve ark., 1999; Kazi ve ark., 2001; Lee ve ark., 2001; Baumann ve ark., 2003; Lee ve ark., 2003; Lim ve ark., 2004; Sato ve ark., 2004; Somasekharan ve Murr, 2004; Kimapong ve Watanabe, 2004; Chen ve Kovacevic,

2004; Amancio-Filho ve ark., 2008; Khodir ve Shibayanagi, 2007; Khodir ve Shibayanagi, 2008; Cavalier ve ark., 2005; Cavalier ve ark., 2006; Cavalier ve ark., 2009; Sarsilmaz, 2008).

Bu çalışmada sadece farklı Al-alaşımı levhaların SKK konusundaki çalışmalar ele alınacaktır. Çizelge 2.1 ve 2.2’de sırasıyla farklı Al-alaşımı levhaların SKK’ında kullanılan kaynak parametreleri ve elde edilen birleştirmelerin kaynak performansları özetlenmektedir. Farklı malzemelerin SKK konusunda yürütülen ilk çalışmalar kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve kaynak esnasında malzeme akışının tespiti konularındadır (Mishra ve Ma, 2005). Özellikle farklı erime sıcaklığı ve ısıl genleşme katsayılarına sahip malzemelerin SKK’da kaynaklanmamış bölge, büyük porozite oluşumu, çok düşük kaynak performans değerleri ve ötektik ergime gibi sorunlar yaşanmasına karşın (Mishra ve Ma, 2005; Murr ve ark., 2000; Larsson ve ark., 2000; Fuchs ve ark., 2008; Lederich ve ark., 2001; Wert, 2003; Li ve ark., 1999; Kazi ve ark., 2001; Gerlich ve ark., 2007; Su ve ark., 2006; Khan ve ark., 2007; Gerlich ve ark., 2005), birçok farklı malzeme kombinasyonunda (özellikle erime sıcaklığı ve ısıl genleşme özellikleri benzer) SKK ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Ouyang ve Kovacevic, 2002; Lee ve ark., 2001; Baumann ve ark., 2003; Lee ve ark., 2003; Lim ve ark., 2004; Sato ve ark., 2004; Somasekharan ve Murr, 2004; Kimapong ve Watanabe, 2004; Chen ve Kovacevic, 2004; Amancio-Filho ve ark., 2008; Khodir ve Shibayanagi, 2007; Khodir ve Shibayanagi, 2008; Cavalier ve ark., 2006; Cavalier ve ark., 2009; Sarsilmaz, 2008; Çam ve ark., 2008; Çam ve ark., 2009; Çam ve ark., 2009, Von Strombeck ve ark., 2001).

Farklı malzemelerin SKK konusunda yürütülen ilk çalışmalarda kaynaklanacak levhaların hangi tarafa yerleştirildiğinin kaynak esnasında malzeme akış paternini, dolayısıyla elde edilen kaynak performansına etkilediği rapor edilmiştir (Mishra ve Ma, 2005). Örneğin, bazı araştırmacılar tarafından (Murr ve ark., 1998; Larsson, 2000) farklı malzemelerin SKK’da düşük mukavemetli olan levhanın ilerleme tarafına (advancing side) yerleştirilmesi durumunda daha iyi kaynak performansı elde edildiği rapor edilirken, diğer araştırmacılar tarafından (Lederich ve ark., 2001) daha düşük mukavemetli levha yığılma tarafına (retreating side) yerleştirildiğinde daha yüksek kaynak performansı elde edildiğini ileri sürmüşlerdir. Ancak, bu çalışmada kaynağı

yapılan Al-alaşımı levhalardan daha düşük mukavemetli olan D357 döküm Al-alaşımı olup bu durumda SKK sonrası karıştırma bölgesinde mukavemet artışı olmakta, dolayısıyla levha konumunun bu durumda etkisi farklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, farklı Al-alaşımı levhaların (AA2024/AA7075) 1200 devir hızında levha pozisyonları değiştirilerek farklı ilerleme hızlarında yapılan sürtünme karıştırma kaynaklarında artan ilerleme (kaynak) hızının her iki levha pozisyonunda da karıştırma bölgesinde porozite oluşumuna ve kaynak tabanında soğuk birleşme gibi kaynak hatalarına yol açtığı tespit edilmiştir (Khodir ve Shibanayagi, 2008). Fakat düşük mukavemetli AA2024 Al-alaşımı levha ilerleme tarafında yapılan kaynaklarda en yüksek kaynak performansı değeri %92 iken, düşük mukavemetli levha yığılma tarafında yapılan kaynaklarda elde edilen en yüksek performans değeri %85 olmuştur. Düşük mukavemetli levha ilerleme tarafında yapılan kaynaklarda daha yüksek performans değeri elde edilmesinin nedeni olarak bu kaynaklı levhanın ITAB'ında sertliğin biraz daha yüksek olmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Benzer şekilde, AA6082-AA2024 levhaların SKK üzerine yapılan diğer bir çalışmada da düşük mukavemetli AA6082 levha ilerleme tarafında yapılan kaynaklı levhaların daha yüksek kaynak performansı gösterdiği tespit edilmiştir (Cavalier ve ark., 2009). Bu sonuçlar, düşük mukavemetli levha ilerleme tarafına yerleştirilerek yapılan kaynaklarda diğer pozisyonda yapılan kaynaklara göre biraz daha yüksek kaynak performans değerleri elde edildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, A356/AA6061 levhaların SKK'da da düşük mukavemetli A356 levha ilerleme tarafında yapılan kaynakların daha yüksek kaynak performansı gösterdikleri tespit edilmiştir (Lee ve ark., 2003). Ancak, aynı çalışmada hem düşük mukavemetli A356 levha ilerleme tarafına hem de yığılma tarafına yerleştirilerek yapılan birleştirmelerin tümünde döküm A356 levhanın mukavemetine yakın mukavemet değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni daha önce de bahsedildiği gibi, sürtünme karıştırma kaynağı sonucunda döküm levhadaki porozitelerin kapanmasıdır. Benzer şekilde, 8 mm kalınlığında AA6061/AA7075 levhaların SKK konusunda yürütülen diğer bir çalışmada da (Sarsılmaz, 2008) hem üçgen hem de silindirik uç ile hatasız birleştirmeler elde edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada silindirik uç kullanılarak düşük mukavemetli AA6061 levha ilerleme tarafına yerleştirilerek yapılan kaynakların daha yüksek kaynak performansı (%87) gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, farklı Al-alaşımı levhaların SKK'da levha pozisyonunun elde

edilen kaynak performansına etkisinin daha detaylı araştırılmasına gereksinim bulunmaktadır. Ayrıca, SKK'lı farklı Al-alaşımı levhaların süneklik değerleri baz levha süneklik değerlerinden düşüktür.

Bu durum, çekme deneyi esnasında sadece düşük mukavemetli bölgelerde meydana gelen lokalize plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, yüksek mukavemetli levha tarafında plastik deformasyon gerçekleşmemesi süneklik değerini düşürmektedir.

Çizelge 2.1. Farklı Al-alaşımı levhaların SKK'da kullanılan kaynak parametreleri

Malzeme (İT/YT)*	Kalınlık (mm)	Devir hızı(dev/dk)	Kaynak hızı(mm/dk)	Uç dalma açısı(°)
Al-alloys**				
A356/6061	4.0	1600	87-267	3.0
A356-T6/6061-T651	8.0	1200	200	--
2024-T351/6056-T6	4.0	800	150	--
2024-T3/6082-T6	4.0	1600	115	--
2024-T3/7075-T6	3.0	1200	102	--
2024-T3/7075-T6	2.5	--	160	3.0
2024-T351/7075-T7351	25.4	200	127	--
5182-H111/6016-T4	1.0	1120	320	0
6061-T6/6082-T6	3.0	1120	224	2.5
6061-T4/7075-T6	8.0	1120	250	2.5
6082-T6/2024-T3	4.0	1600	115	--
7075-T6/2024-T3	3.0	1200	72	--

* İT: ilerleme tarafı (advancing side; AS); YT: yığılma tarafı (trailing side; TS).

** Farklı Al-alaşımı levhaların SKK'da yüzeyine dış açılmış silindirik uç kullanılmıştır.

Çizelge 2.2. SKK ile kaynak edilmiş farklı Al-alaşımı levhaların kaynak performans değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Rm of BM1 (MPa)	Rm of BM2 (MPa)	Rm of SKK (MPa)	Kaynak performansı (%)*
Al-alloys					
A356/6061	4.0	186	--	210	113
A356-T6/6061-T651	8.0	244	299	206	84
2024-T351/6056-T6	4.0	440	344	246	72
2024-T3/6013-T4	1.6	417	346	241	.69
2024-T3/6082-T6	4.0	350	260	225	.87
2024-T3/7075-T6	2.5	490	572	424	.87
2024-T3/7075-T6	3.0	461	593	423	.92
2024-T351/7075-T7351	25.4	488	510	398	.82
5182-H111/6016-T4	1.0	275	226	202	.89
6013-T4/2024-T3	1.6	346	417	246	.71
6061-T6/6082-T6	3.0	342	322	219	.68
6061-T4/7075-T6	8.0	235	570	204	.87
6061-T4/7075-T6**	8.0	235	570	196	.83
6082-T6/2024-T3	4.0	350	260	235	.90
7075-T6/2024-T3	3.0	593	461	394	.85

* kaynak performansı değeri kaynaklı levha çekme mukavemetinin düşük mukavemetli az levha çekme mukavemetine oranı, ** silindirik yerine yüzeyine dış açılmış üçgen kesitli uç kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kaynak Yapılacak Malzeme

Çalışmada standart AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımları, yaşlandırma sertleşmesi yapılmış (T6) durumunda, 3 mm x 1250 mm x 2500 mm ebatlarında ticari olarak temin edilmiştir. Temin edilen AA6061 ve AA7075 alaşımlarının sertifikada verilen kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Alaşım	Kimyasal Bileşimi (%)											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Al
AA6061	0.54	0.21	0.24	0.07	0.98	0.1	0.005	0.1	0.012	0.014	0.014	Kalan
AA7075	0.12	0.26	1.62	0.06	2.51	0.2	-	5.58	0.033	-	-	Kalan

Çizelge 3.2. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Alaşım	Çekme Dayanımı (Mpa)	R _{0.2} Akma Dayanımı (Mpa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (HB)
AA6061(T6)	322	306	9	-
AA7075(T6)	565	478	11	163

3.1.2. Kaynak İşleminde Kullanılan Tezgâh

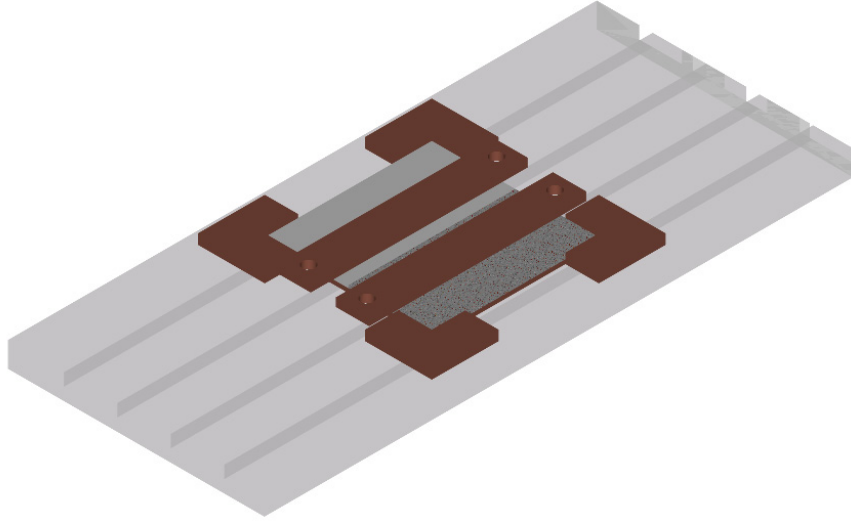
Sürtünme karıştırma kaynak işlemi için Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine Laboratuvarı'nda bulunan, Şekil 3.1.'de verilen CNC dik işleme tezgâhı kullanılmıştır. Tezgahın iş tablası ebatları 700x308 mm, tabla eksen hareketleri x/y/z 610/305/460 mm, maksimum yükleme kapasitesi 350 kg, maksimum fener mili hızı 8.000 dev/dak, ana motor gücü 5.5/7.5 kw, ağırlığı ise 2.500 kg'dır.



Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan CNC dik işleme tezgâhı

3.1.3. Malzemenin Tezgâha Yerleştirilmesi

Kaynak işleminden önce levha halindeki alüminyum alaşımları hidrolik giyotin makas ile hadde yönüne dik olacak şekilde 3 mm x 100 mm x 200 mm boyutlarında plaka haline getirilmiştir. Kesilen plakalar uygulanacak kaynak parametrelerine göre numaralandırılmıştır. Plakaları tezgaha sabitlemek amacıyla; 5 mm x 200 mm x 200 mm ebatlarında altlık malzeme, 10 mm kalınlığında 4 adet köşebent ve 10 mm x 40 mm x 260 mm ebatlarında 2 adet lama hazırlanmış, lamaların plakalar üzerine yerleşimi her iki kenarına 15 mm çapında delikler açılarak sağlanmıştır. Birleştirilecek plakalar Şekil 3.2.'deki düzende altlık malzemeye yerleştirilip üzerine konulan lamalar ve kenarlarına yerleştirilen köşebentler, bağlama pabuçlarıyla sıkıştırılarak kaynağa hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.2. Birleştirilecek plakaların tezgâha yerleşiminin şematik gösterimi

3.1.4. Karıştırıcı Ucu Hazırlanması

Kaynak işleminde kullanılan karıştırıcı uç, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi ucu vida geometrisinde olup sade karbonlu 1050 takım çeliğinden imal edilmiştir. Hazırlanan

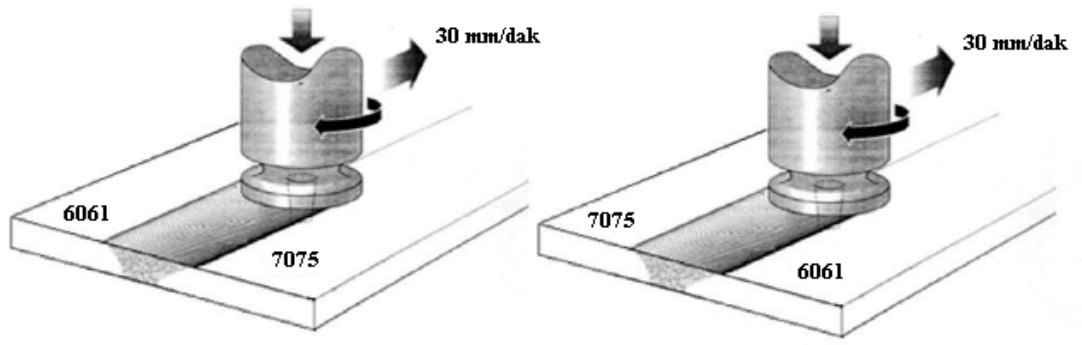
uçlara ısıl işlem uygulanmıştır. Karıştırıcı takımın gövde boyu 120 mm'dir. Karıştırıcı uç üzerine M6 vida diş açılmış olup boyu 2.85 mm'dir.



Şekil 3.3. Kaynak işleminde kullanılan karıştırıcı uç

3.1.5. Kaynak Parametreleri

Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak kalitesine etki eden ilerleme hızı ve devir sayısı değiştirilerek farklı kaynak bağlantıları elde edilmiştir. Ayrıca karıştırıcı ucun karıştırma yönünün kaynak kalitesine etkisini tespit etmek amacıyla kaynak yapılacak iki farklı alaşım plakaları aynı parametreler kullanılarak farklı konumlarda kaynak yapılmıştır. Kaynak işlemi Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi, 1750-2000-2250 dev/dak olmak üzere 3 farklı devir sayısında ve 30-60-100 mm/dak ilerleme hızlarında alaşım plakalarının konumu AA6061/AA7075 olarak yapılmıştır. Aynı devir sayısı ve ilerleme hızı parametrelerinde alaşım plakalarının konumu AA7075/AA6061 olarak değiştirilmiştir. Toplam 18 kaynaklı levha üretilmiştir. Sürtünme kaynağında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Kaynak işleminde alaşım plakalarının farklı konumlarının şematik gösterimi (Cavaliere ve ark., 2009)

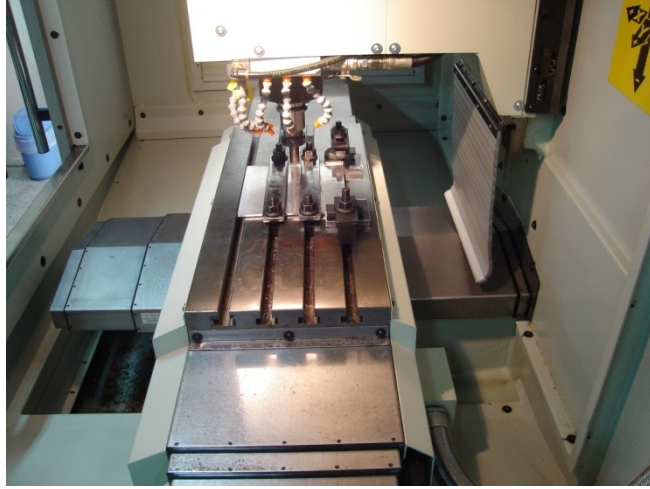
Çizelge 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

Numune Kodu	Alaşım Plakalarının Konumları	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)
1	AA6061/AA7075	1750	30
2	AA7075/AA6061		30
3	AA6061/AA7075		60
4	AA7075/AA6061		60
5	AA6061/AA7075		100
6	AA7075/AA6061		100
7	AA6061/AA7075	2000	30
8	AA7075/AA6061		30
9	AA6061/AA7075		60
10	AA7075/AA6061		60
11	AA6061/AA7075		100
12	AA7075/AA6061		100
13	AA6061/AA7075	2250	30
14	AA7075/AA6061		30
15	AA6061/AA7075		60
16	AA7075/AA6061		60
17	AA6061/AA7075		100
18	AA7075/AA6061		100

3.2. Yöntem

3.2.1 Kaynak İşlemi

AA6061 ve AA7075 alaşım plakaları tezgâha yerleştirilip paralellik kontrolü yapılmıştır. Belirlenen kaynak parametrelerine göre hazırlanan program ile CNC dik işleme tezgâhında kaynak işlemleri Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Alaşım plakalarının başlangıç noktasına getirilen karıştırıcı uç pim boyu kadar z ekseninde plakalara daldırılmıştır. Plakaların ısınmasını sağlamak amacıyla karıştırıcı uç, düşük devir ve düşük ilerleme hızlarında 45 saniye, yüksek devir ve yüksek ilerleme hızlarında 30 saniye bekletilmiştir. Plakalar ısındıktan sonra karıştırıcı uca Şekil 3.5'te görüldüğü gibi yol verilmiş ve temas noktaları boyunca sürtünme karıştırma kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

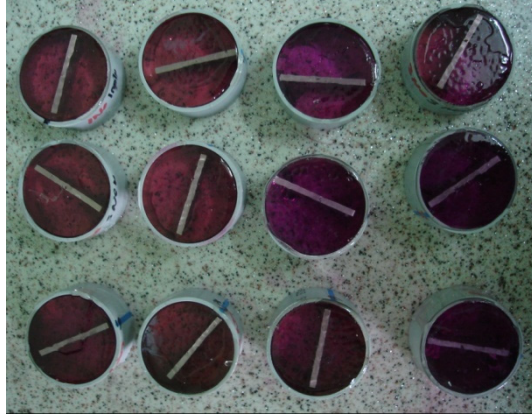


Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma kaynağının yapılışı

3.2.2 Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme işlemi için baz malzemeden ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen plakalardan TS EN ISO 15614-2 metalik malzemeler

için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması standardına uygun olarak kaynak yönüne dik doğrultuda numuneler kesilmiştir. 20x40 mm boyutundaki numunelere, ısıya ve basınca duyarlı olmalarından dolayı soğuk bakalite alma işlemi uygulanmıştır. Bakalite alma kalıbı olarak 50 mm çapında, 25 mm yüksekliğinde kesilen plastik borular plastik bir yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Bakalit olarak polyester reçine, hızlandırıcı ve sertleştirici karışımı kullanılmıştır. Numunelerin üzerine hazırlanan polyester karışımı dökülerek Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi kalıplar elde edilmiştir. 2 saatte katılaştıran numuneler kalıptan çıkarılıp parlatma işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.6. Metalografik inceleme numunelerinin bakalite alınması

Parlatma işlemi öncesi bakalite alınan numunelerin yüzeyleri 80 numara bant zımpara kullanılarak düzeltilmiştir. Ardından 200 mm disk çapına sahip su soğutmalı zımparalama-parlatma cihazında kaba zımparalama işlemine başlanmıştır. Sırasıyla 240-400-600-800-1200 ve 2500 gridlik zımparalar ile kademeli olarak zımparalanmıştır. Parlatma işlemi için önce parlatma keçesinde 3 μ 'luk elmas pasta kullanılmış ardından numuneler 0.06 μ koloidal silika ve buna uygun parlatma keçesi ile final parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama ve parlatma işleminde Şekil 3.7.'de gösterilen zımparalama-parlatma cihazında dakikada 250-300 devirle çalışılmıştır.



Şekil 3.7. 200 mm disk çaplı zımparalama-parlatma cihazı

Zımparalama-parlatma işlemi yapılan numuneler, nem etkisinden korunmak üzere silika jel konulan kapaklı kaplarda muhafaza edilmiştir. Dağlama işlemi için Metals Handbooks'da verilen dağlama yöntemi referans alınmış ve aynı referans iç yapı görüntüsü elde edilmiştir. Buna göre numuneler; % 1 (2 ml) hidroflorik asit (HF), % 1.5 (3 ml) hidroklorik asit (HCL), % 2.5 (5 ml) nitrik asit (HNO₃) ve % 95 (190 ml) saf sudan oluşan Keller çözeltisi içerisinde 1.5-2 dakika yüzeyleri daldırılmak suretiyle dağlanmıştır. Daha sonra yüzeyler saf su ile yıkanarak basınçlı hava ile kurutulmuştur.

3.2.3 Mikrosertlik İnceleme

Mikrosertlik ölçümünde AB-0040-K 017594 numara ve 2010-09 tarihli kalibrasyon sertifikasına sahip Şekil 3.8'de verilen micro-vickers cihaz kullanılmıştır. Ölçme işlemi, kaynak bölgesinden alınıp metalografik incelemesi yapılan numunelere tek taraflı yüzeyden 1 mm aralıklarla yapılmıştır. 1 N'luk (100 gram) yük 10 saniye süreyle uygulanmış, sertlik değerleri dijital ekrandan okunup bilgisayar ortamına kaydedilerek mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.



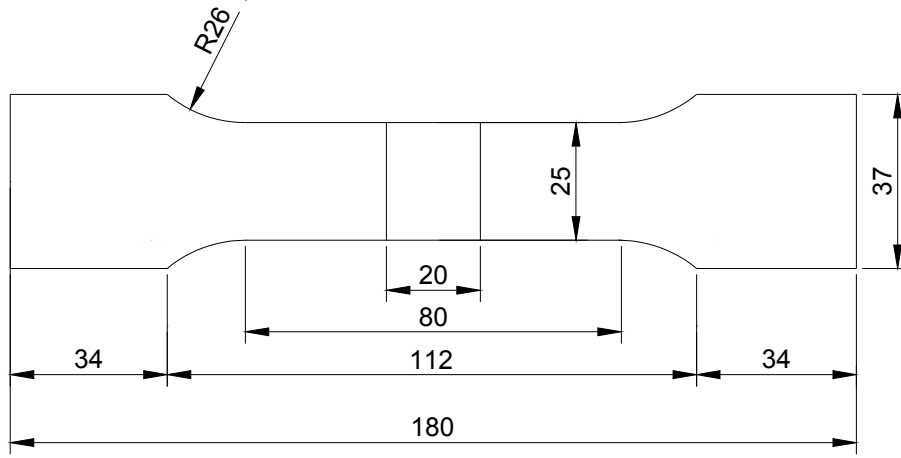
Şekil 3.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı

3.2.4 Çekme Deneyleri

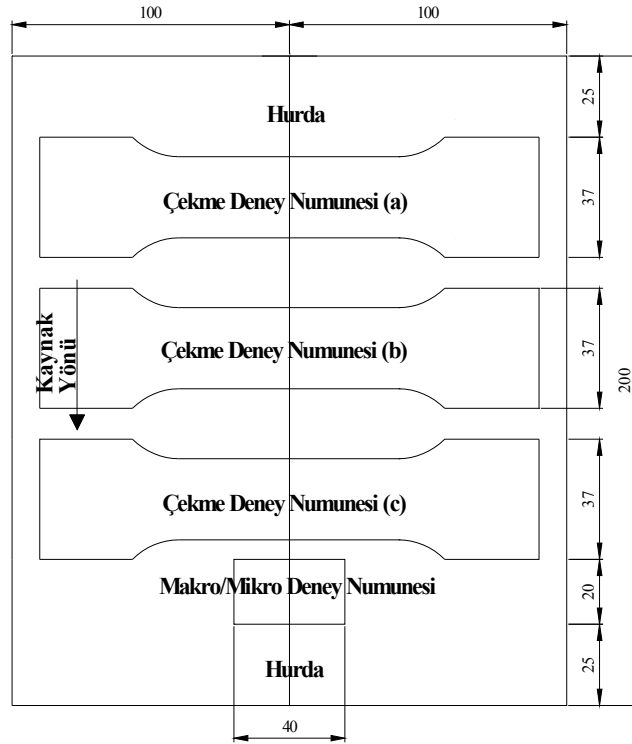
Çekme numuneleri TS 287 EN 895 Metalik Malzemeler - Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler - Enine Çekme Deneyi standardına uygun olarak Şekil 3.9.-3.11.'de görüldüğü gibi kaynak yapılmış levhalardan kaynak yönüne dik doğrultuda 3'er adet çıkarılmıştır. Kaynaklı levhalardan çekme numuneleri CNC dik işleme tezgâhında 14 mm çapında HSS uçla 3000 d/d devirde, 1000 mm/dak ilerleme hızında, soğutma sıvısı kullanılarak çıkarılmıştır.



Şekil 3.9. Kaynaklı levhadan standarda göre kesilmiş bir çekme numunesi



Şekil 3.10. TS 287 EN 895 standardına göre hazırlanmış çekme numunesinin ölçüleri



Şekil 3.11. TS EN ISO 15614-2 standardına göre kaynaklı levhalardan çekme numunelerinin çıkarılışı

Çekme deneyi; 50 kN yük kapasiteli Şekil 3.12’de verilen çekme test cihazında yapılmıştır. 10 MK006 01-10 AB-0013-K numaralı kalibrasyon sertifikasına sahip olan test cihazında çekme hızı 1 mm/dak olarak ayarlanmıştır.

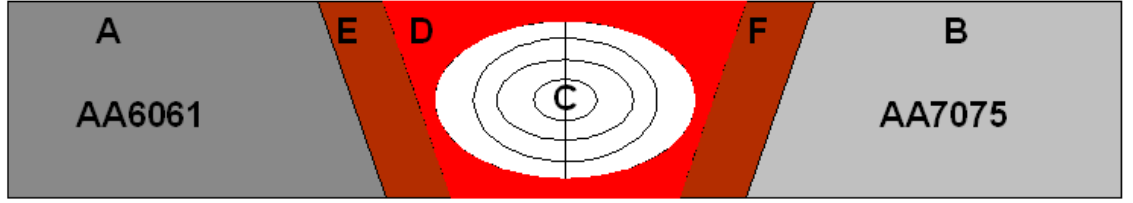


Şekil 3.12. Çekme testinde kullanılan cihaz

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

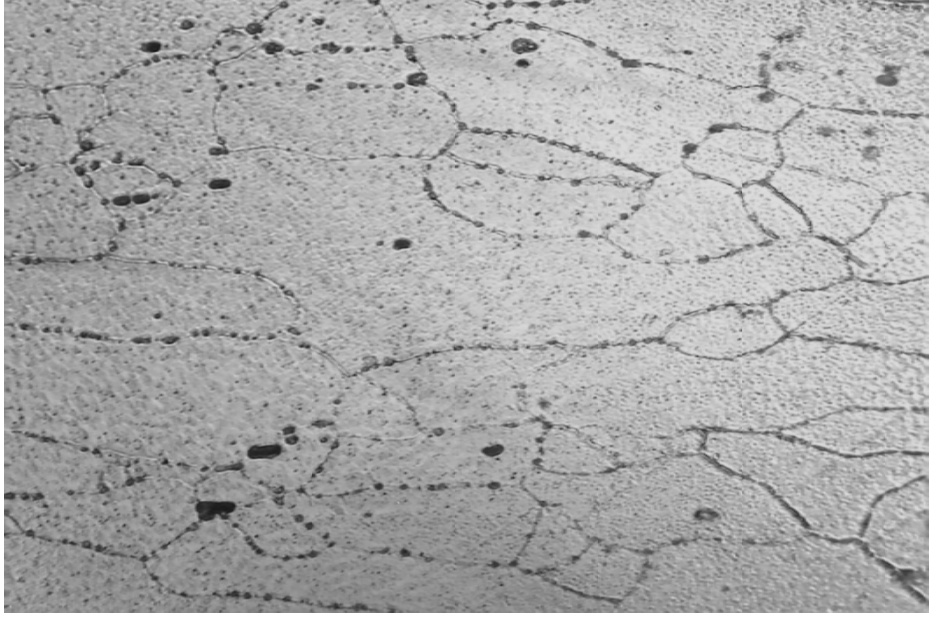
4.1. Mikroyapı Özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen AA6061 ve AA7075 alaşımlarının kaynak işlemi sonucunda oluşan kaynak bölgesi Şekil 4.1’de şematik olarak verilmiştir. A ve B; baz malzemeler, C; karıştırma bölgesi (dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge - DKB), D; termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), E ve F; ısıdan etkilenen bölgeleri (IEB) ifade etmektedir.

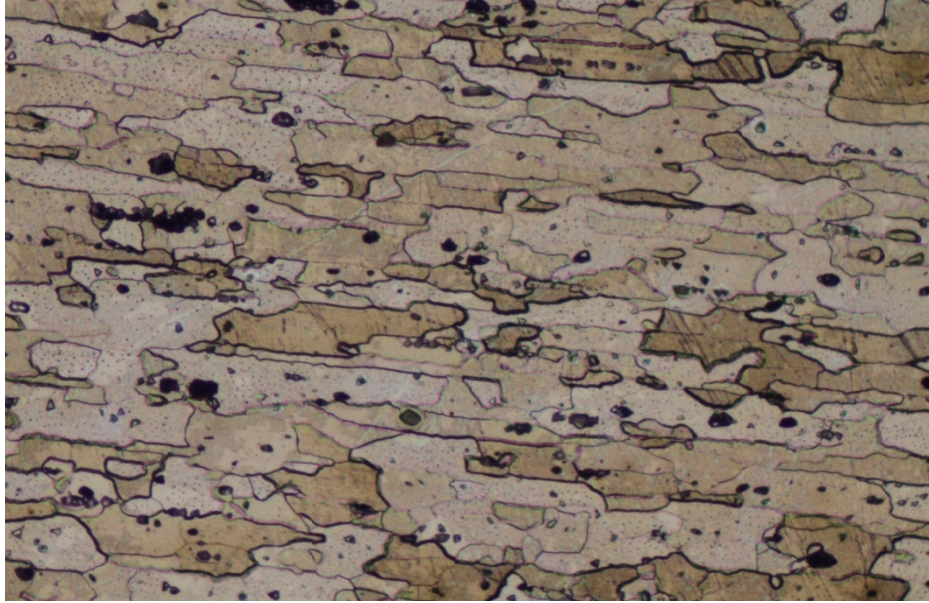


Şekil 4.1. Kaynak bölgesi iç yapı oluşumunun şematik görünümü

Kaynak işleminin baz malzemesi olan AA6061ve AA7075 alaşımlarına ait mikroyapı görünümleri Şekil 4.2.-4.3.’de verilmiştir. Buna göre, AA6061 alaşımında silisyum partikülleri dağınık bir yapı gösterirken, AA7075 alaşımında hadde yönünde homojen dağılmış olduğu görülmektedir.

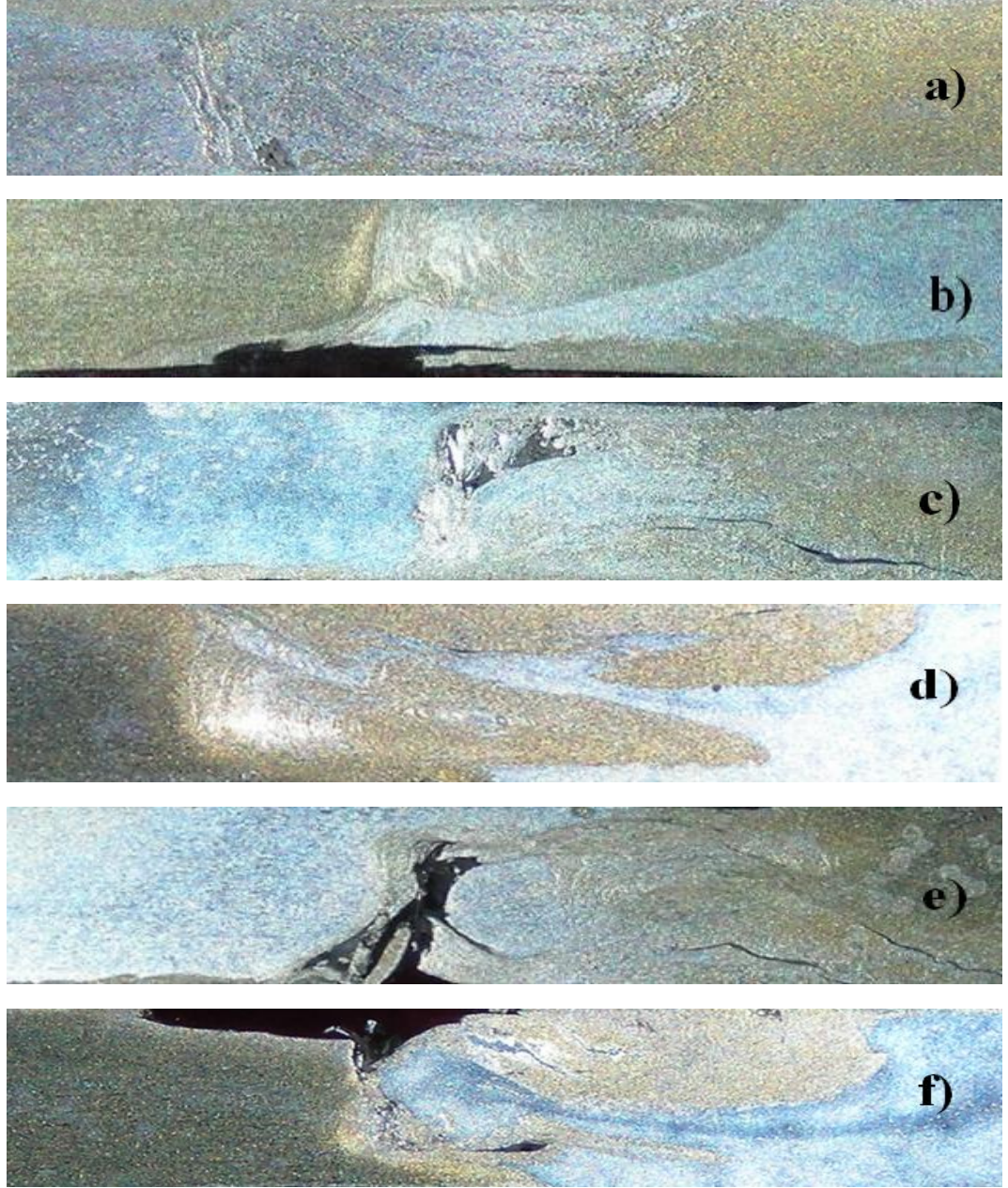


Şekil 4.2. AA6061 Baz malzemesinin mikroyapı görünümü (400X)

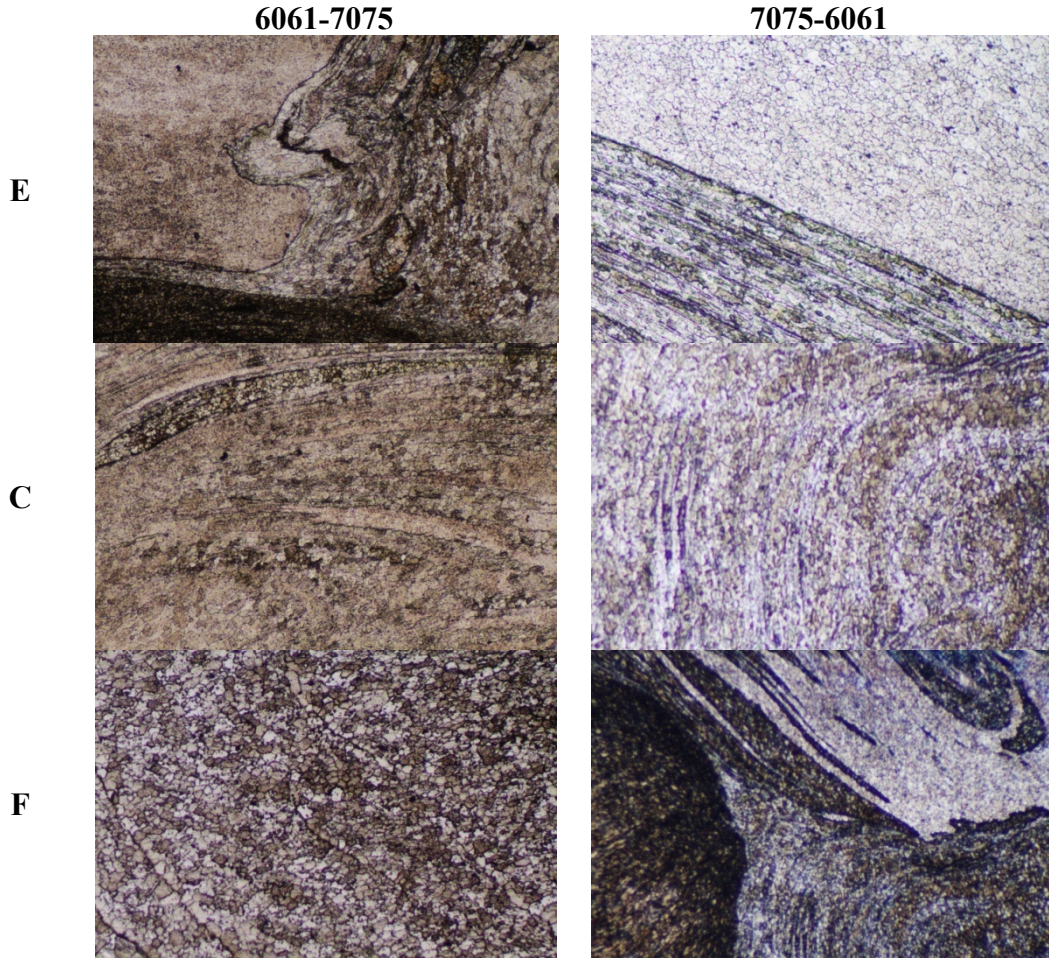


Şekil 4.3. AA7075 Baz malzemesinin mikroyapı görünümü (200X)

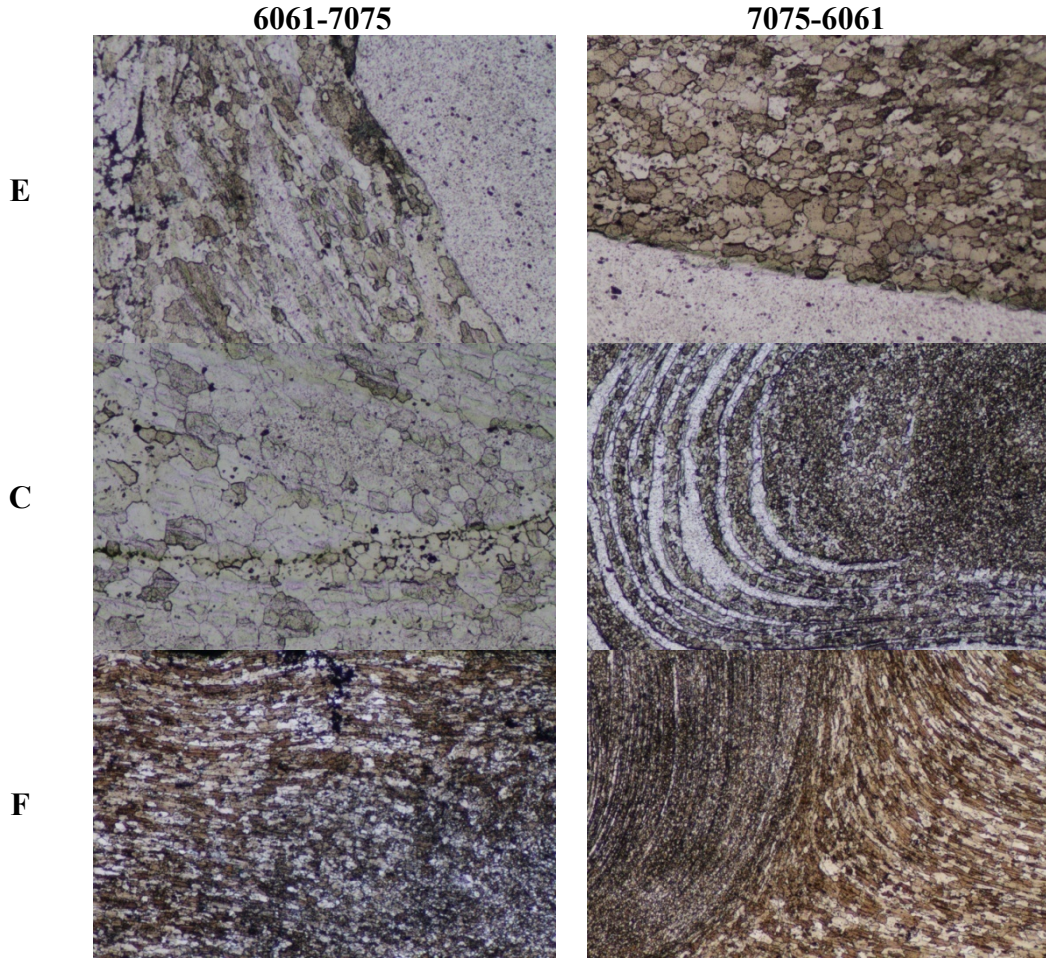
4.1.1. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi



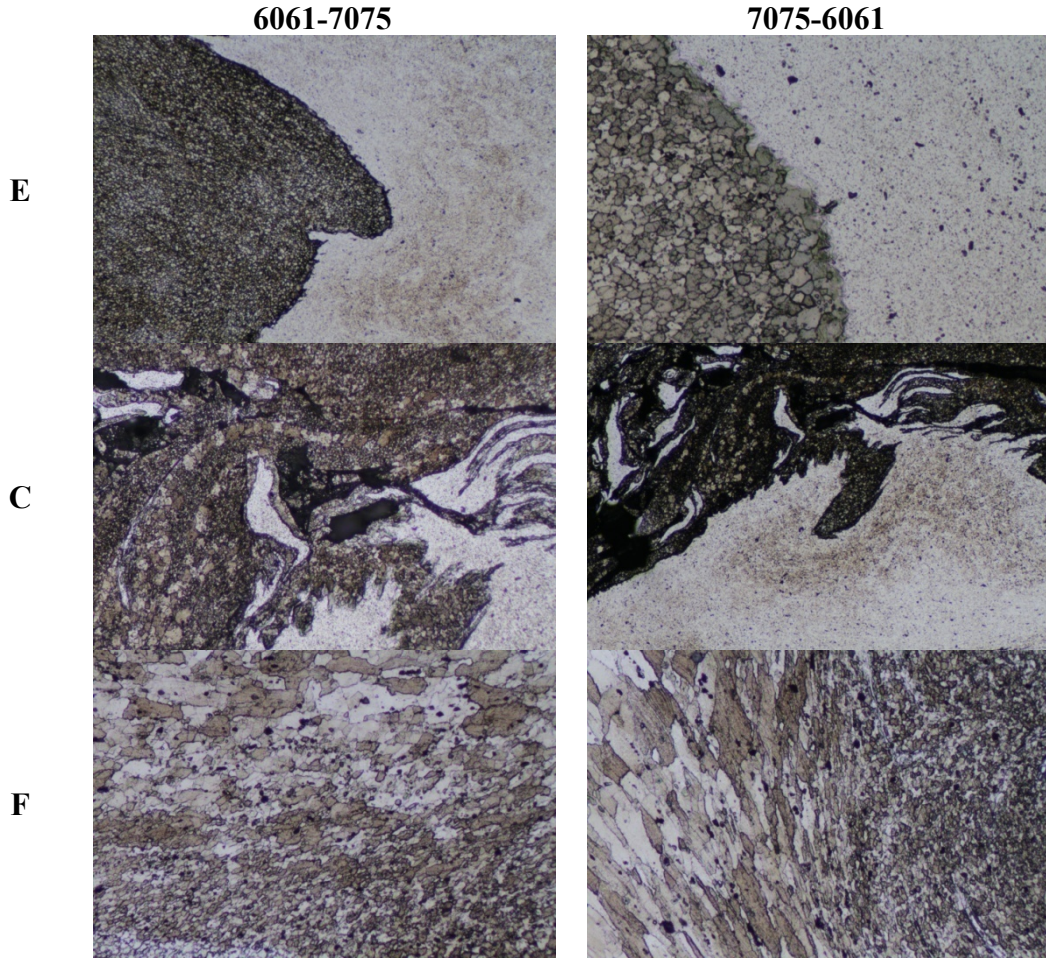
Şekil 4.4. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, f) 7075-6061 100 mm/dak,



Şekil 4.5. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (50X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü

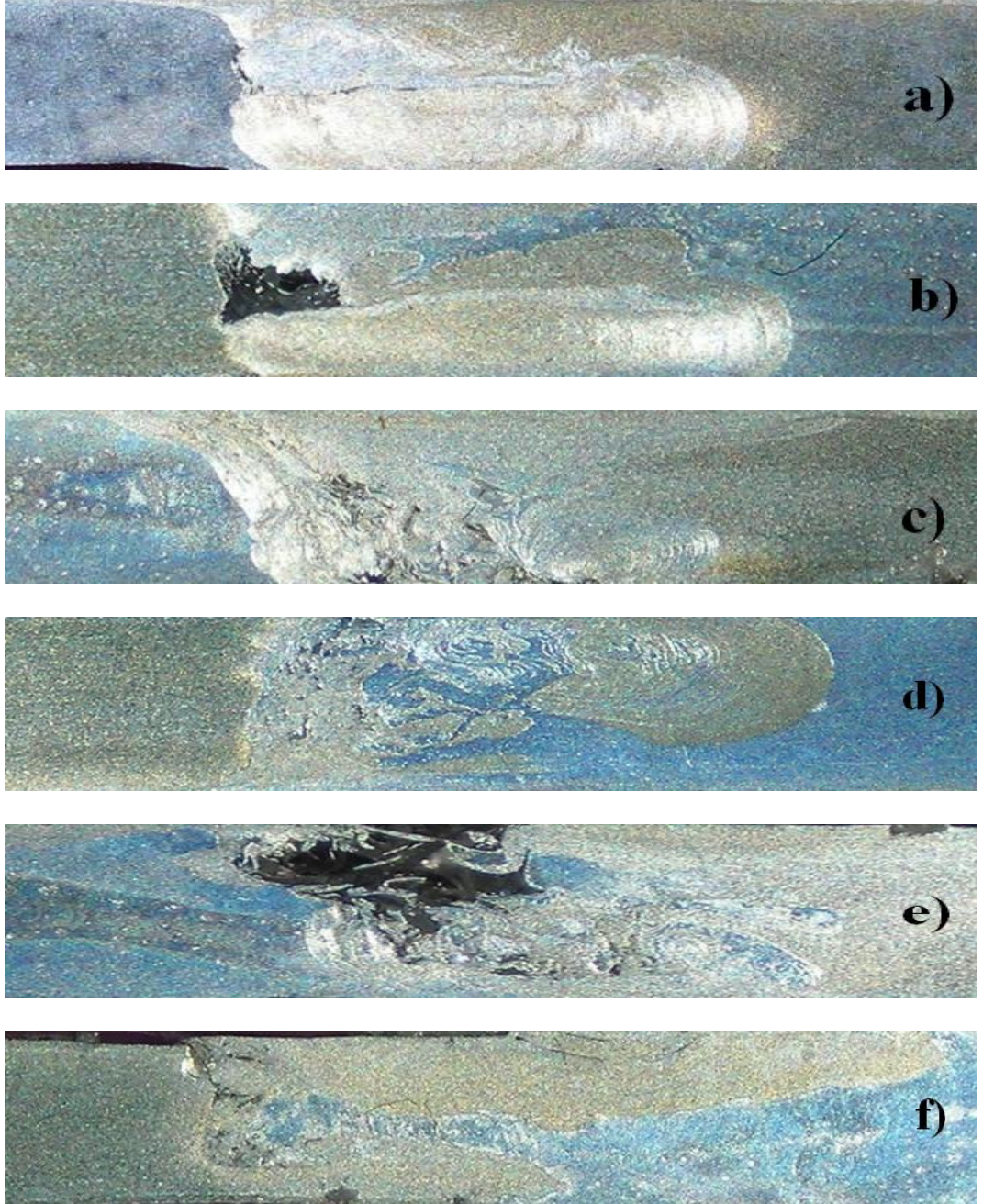


Şekil 4.6. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (500X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü

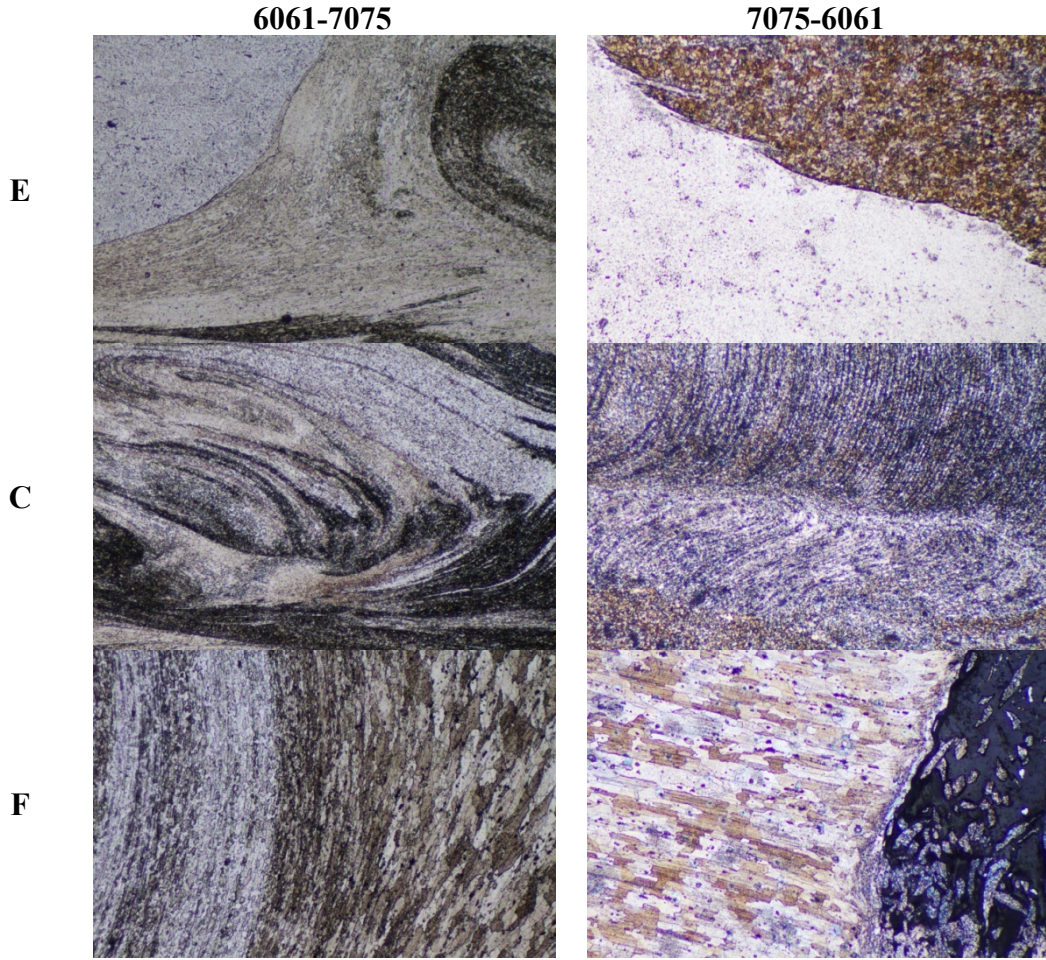


Şekil 4.7. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü

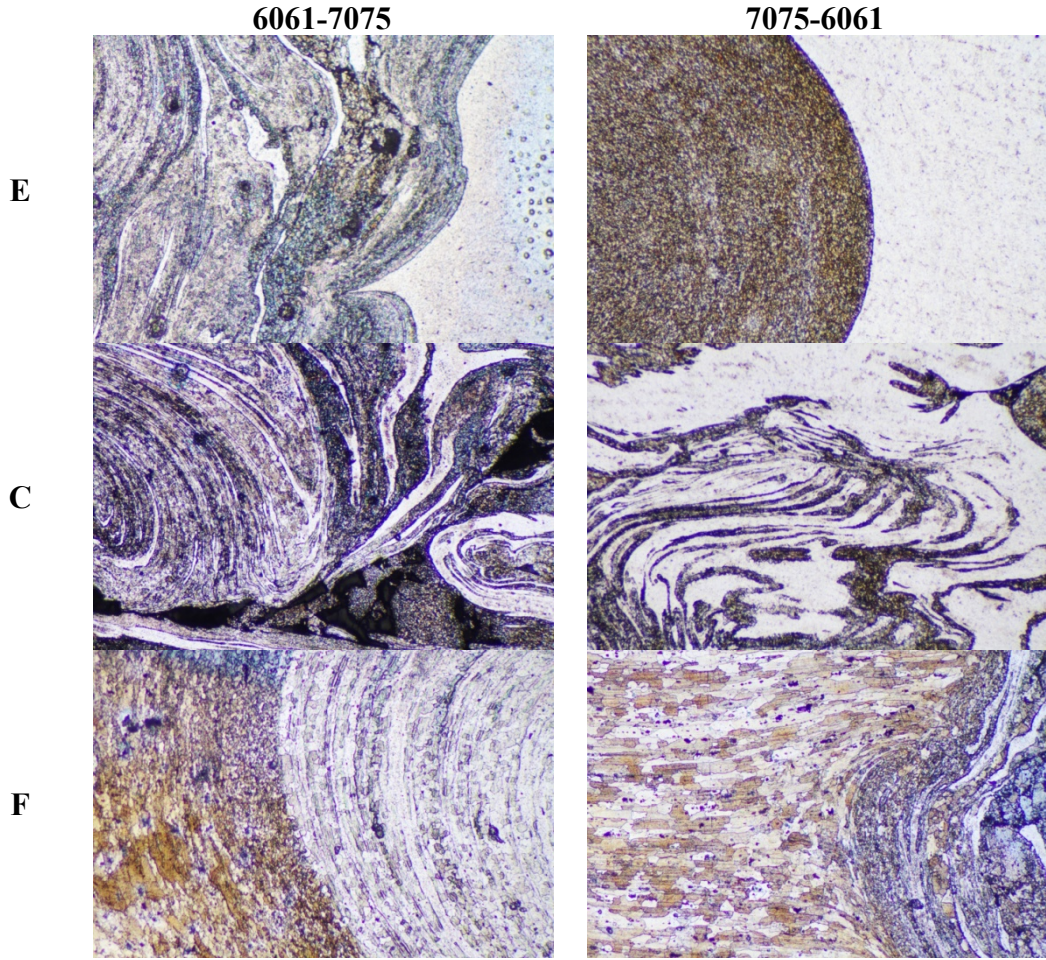
4.1.2. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi



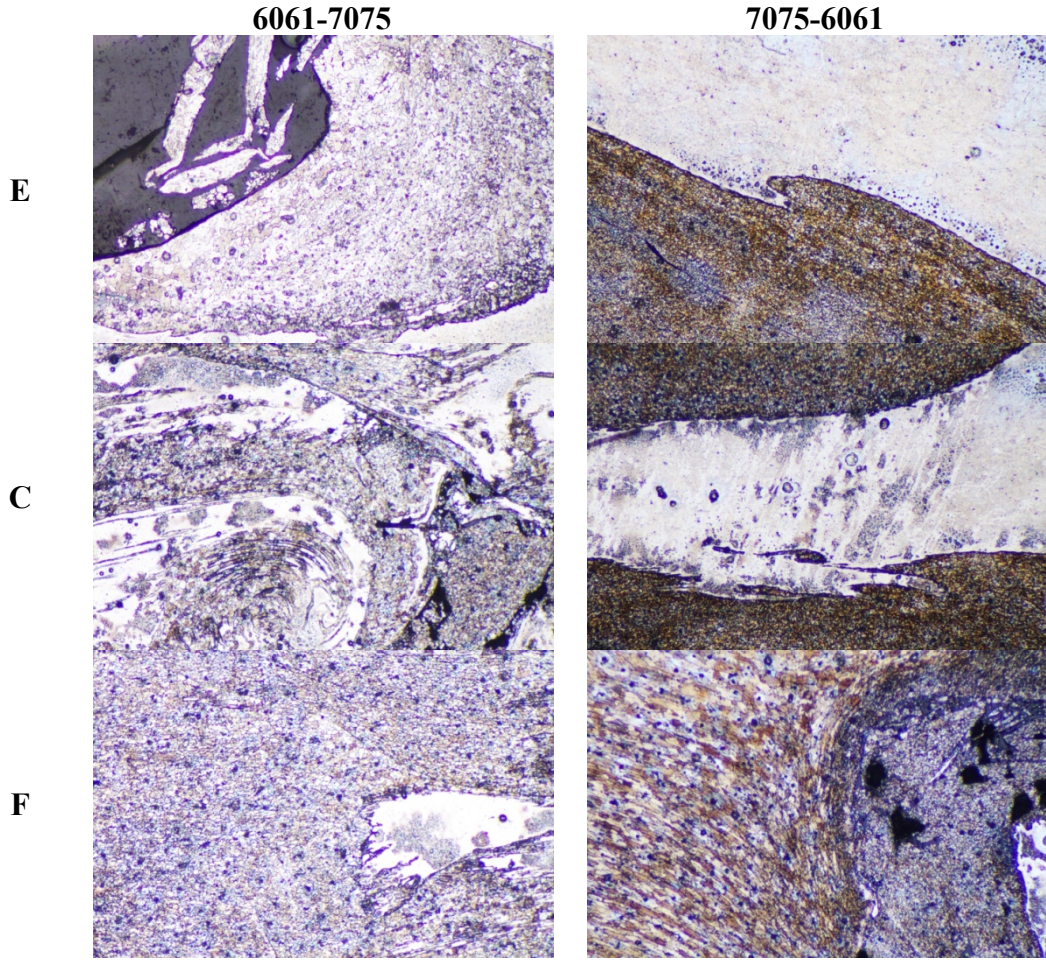
Şekil 4.8. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, f) 7075-6061 100 mm/dak



Şekil 4.9. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (50X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü

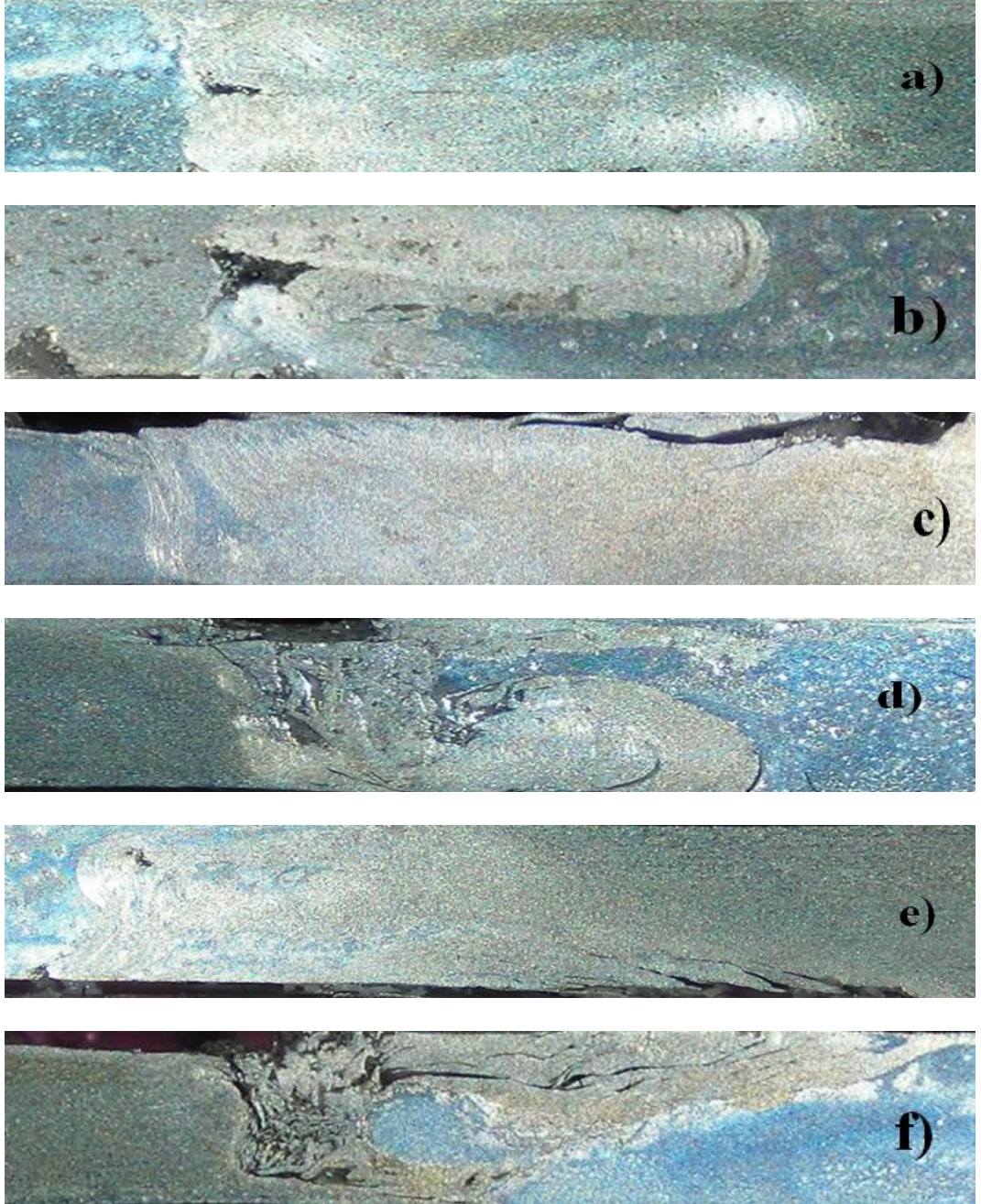


Şekil 4.10. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (50X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü

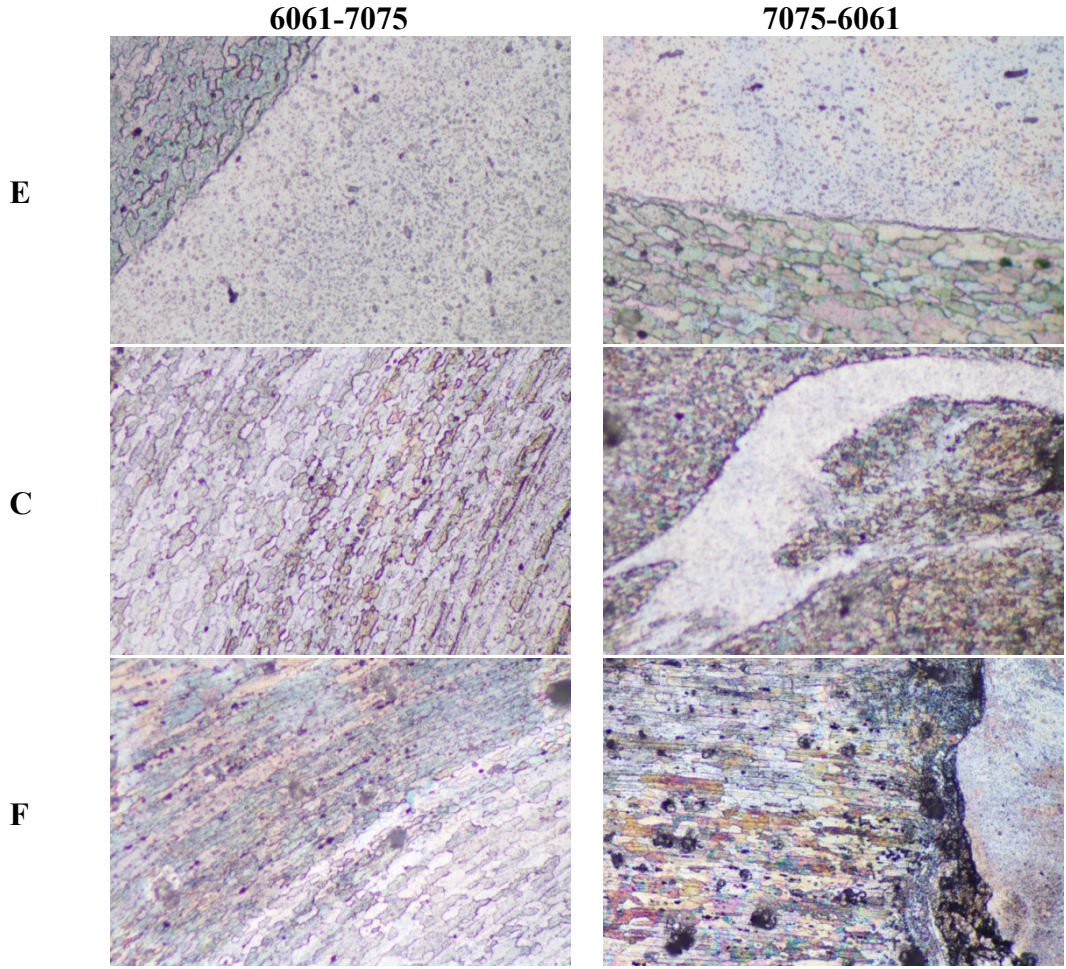


Şekil 4.11. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (50X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü

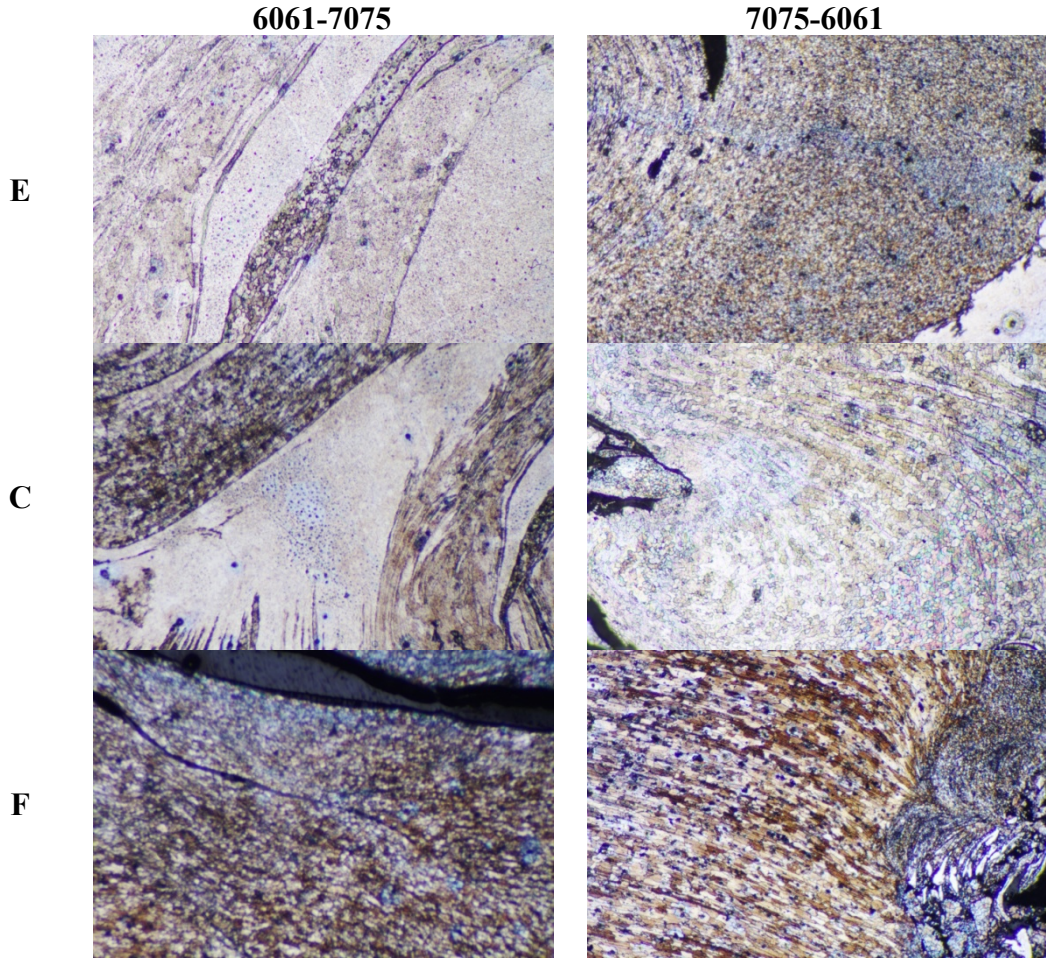
4.1.3. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi



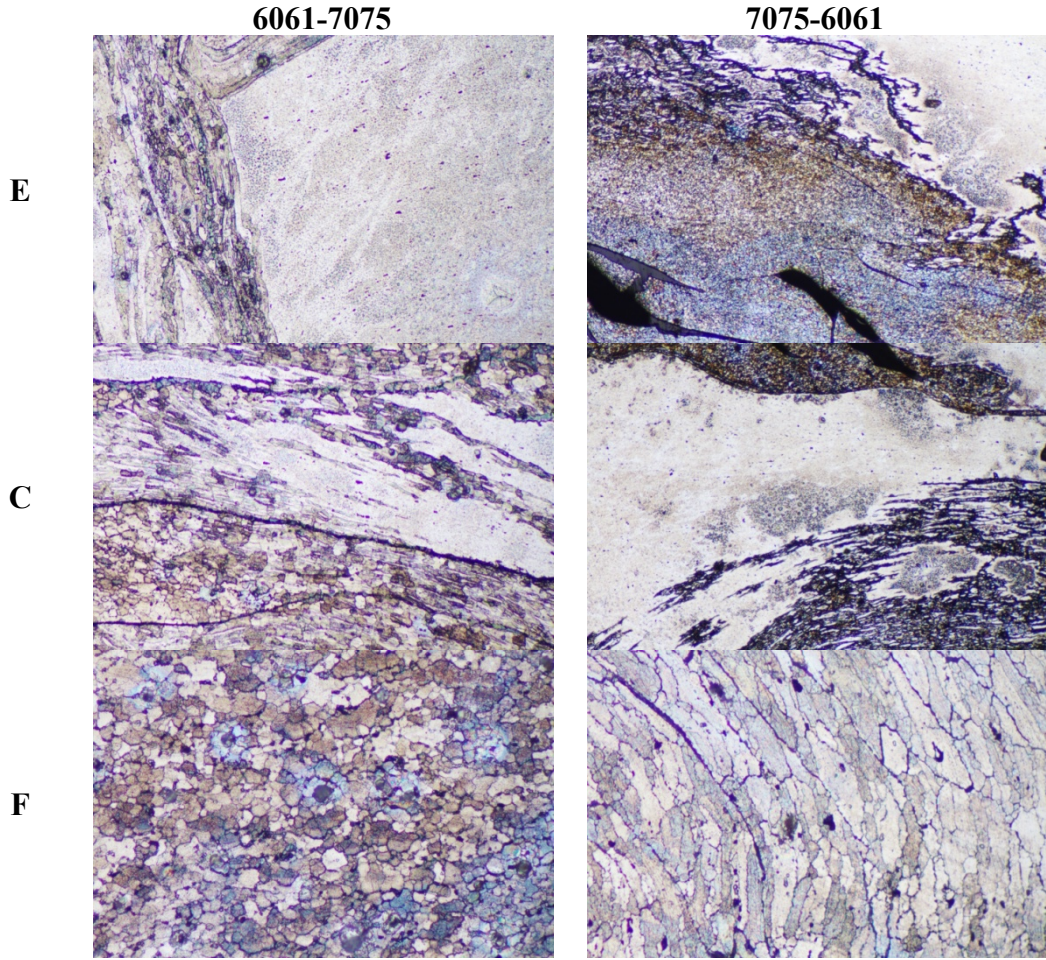
Şekil 4.12. Birleştirilen bağlantıların makroyapı görüntüleri; a) 6061-7075 30 mm/dak, b) 7075-6061 30 mm/dak, c) 6061-7075 60 mm/dak, d) 7075-6061 60 mm/dak, e) 6061-7075 100 mm/dak, f) 7075-6061 100 mm/dak



Şekil 4.13. 30 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü



Şekil 4.14. 60 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (200X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (100X) görüntüsü

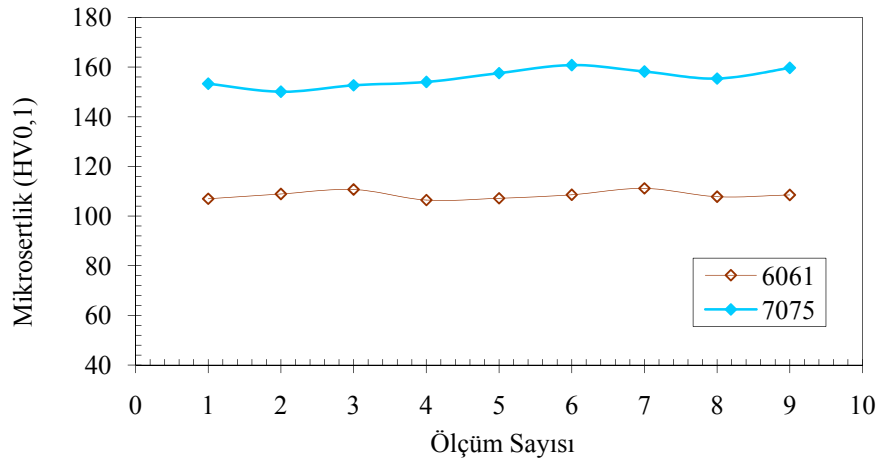


Şekil 4.15. 100 mm/dak ile birleştirilen bağlantıların mikroyapı görüntüleri; E) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (50X) görüntüsü, C) 6061-7075 bağlantısının DKB (100X), 7075-6061 bağlantısının DKB (100X) görüntüsü, F) 6061-7075 bağlantısının TEB (100X), 7075-6061 bağlantısının TEB (200X) görüntüsü

4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumlarında farklı devir sayıları ve ilerleme hızlarında birleştirilen numunelerin kaynak merkezinden baz malzemeye doğru yapılan mikrosertlik ölçüm sonuçları her devir sayısı için farklı grafikler hazırlanarak incelenmiştir. Mikrosertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde, sertlik değerinin kaynak merkezinden baz malzemeye doğru arttığı görülmektedir.

Baz malzemelerin mikrosertlik ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir. Baz malzemelerden AA6061'in sertlik değeri ortalama 109 HV, AA7075'in 155 HV olarak ölçülmüştür.



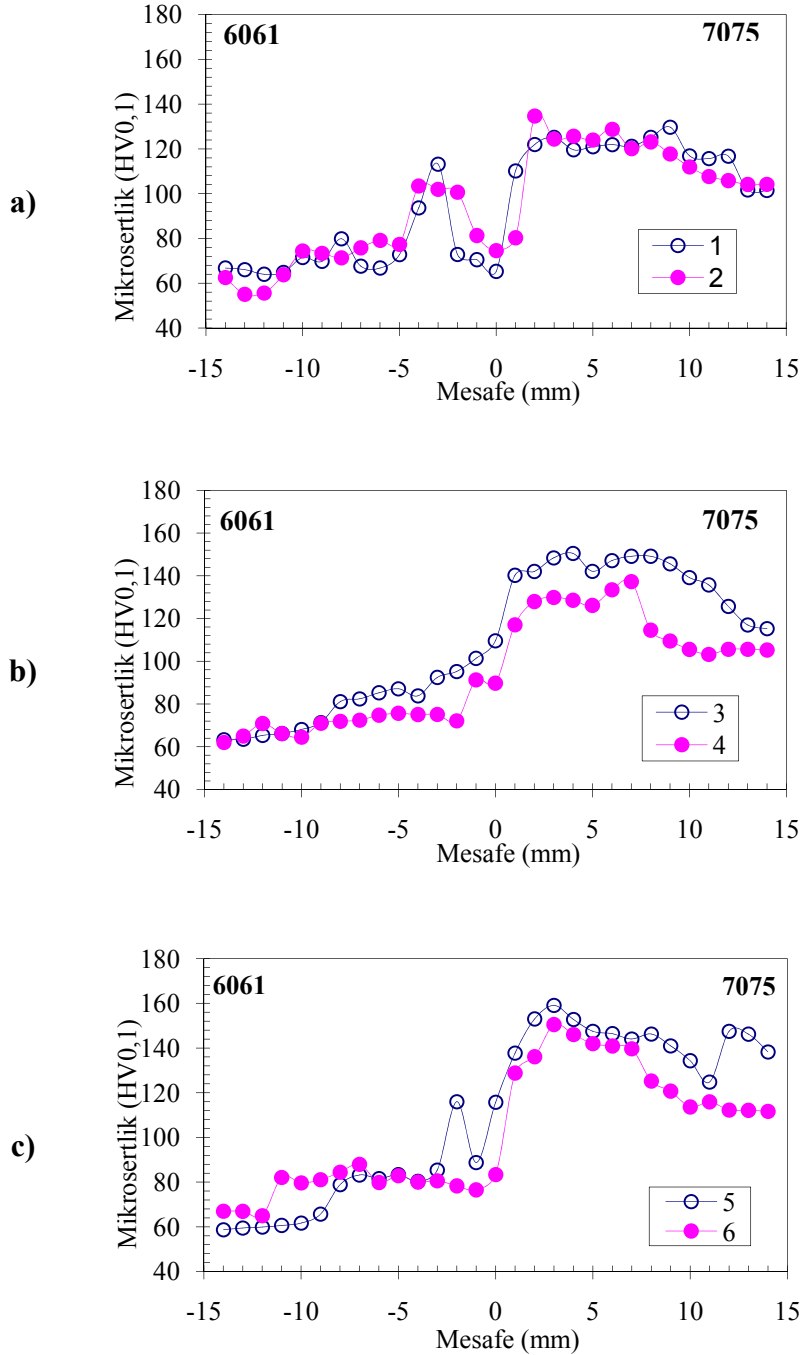
Şekil 4.16. Esas malzemelerin mikrosertlik grafiği

4.2.1. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

1750 dev/dak devir sayısı ve 3 farklı ilerleme hızında alaşım plakalarının AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumuna göre birleştirilen numunelere ait mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.17'de verilmiştir.

1750 dev/dak devir sayısında, 60 ve 100 mm/dak ilerleme hızlarında alaşım plakalarının konumu, DKB'de sertlik değerlerinin değişmesine neden olmuştur.

AA6061/AA7075 konumunda birleştirilen numunelerin sertlik değerleri AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmeye göre daha yüksektir. AA6061/AA7075 konumunda birleştirilen numunelerin sertlik değerleri artan ilerleme hızıyla doğru orantılı değişmiştir. AA7075/AA6061 konumunda böyle bir orantı söz konusu değildir.

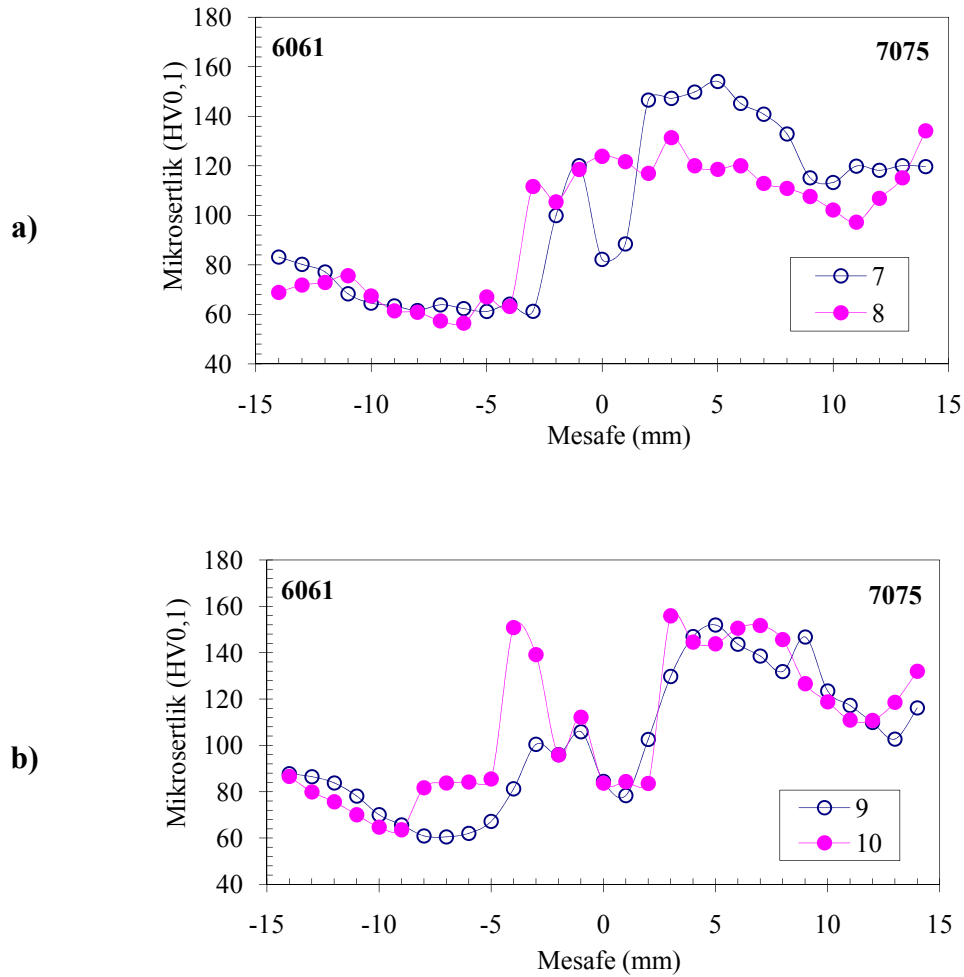


Şekil 4.17. 1-6 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 1:6061-7075 30 mm/dak, 2:7075-6061 30 mm/dak, b) 3:6061-7075 60 mm/dak, 4:7075-6061 60 mm/dak, c) 5:6061-7075 100 mm/dak, 6:7075-6061 100 mm/dak

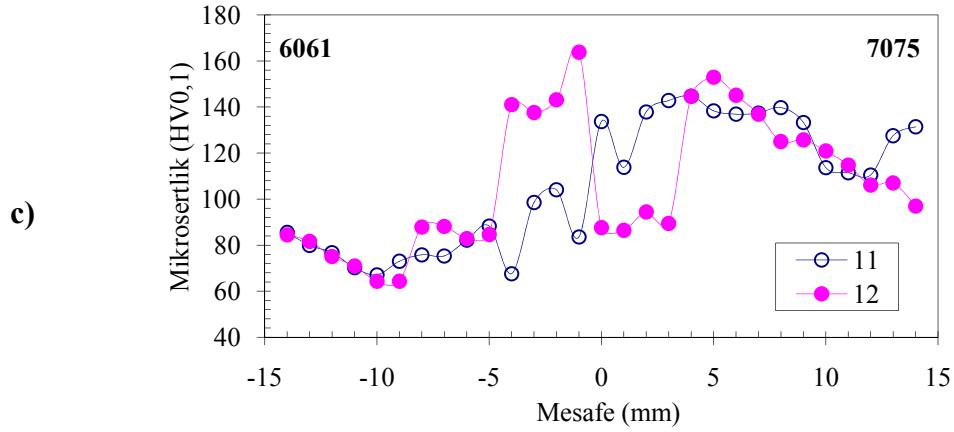
4.2.2. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

2000 dev/dak devir sayısı ve 3 farklı ilerleme hızında alaşım plakalarının AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumuna göre birleştirilen numunelere ait mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.18'de verilmiştir.

2000 dev/dak devirde ve AA6061/AA7075 konumunda birleştirilen numunelerin DKB'de sertlik değerleri, artan ilerleme hızına bağlı olarak artarken AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede ise tam tersi artan ilerleme hızıyla düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.18. 7-12 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 7:6061-7075 30 mm/dak, 8:7075-6061 30 mm/dak, b) 9:6061-7075 60 mm/dak, 10:7075-6061 60 mm/dak

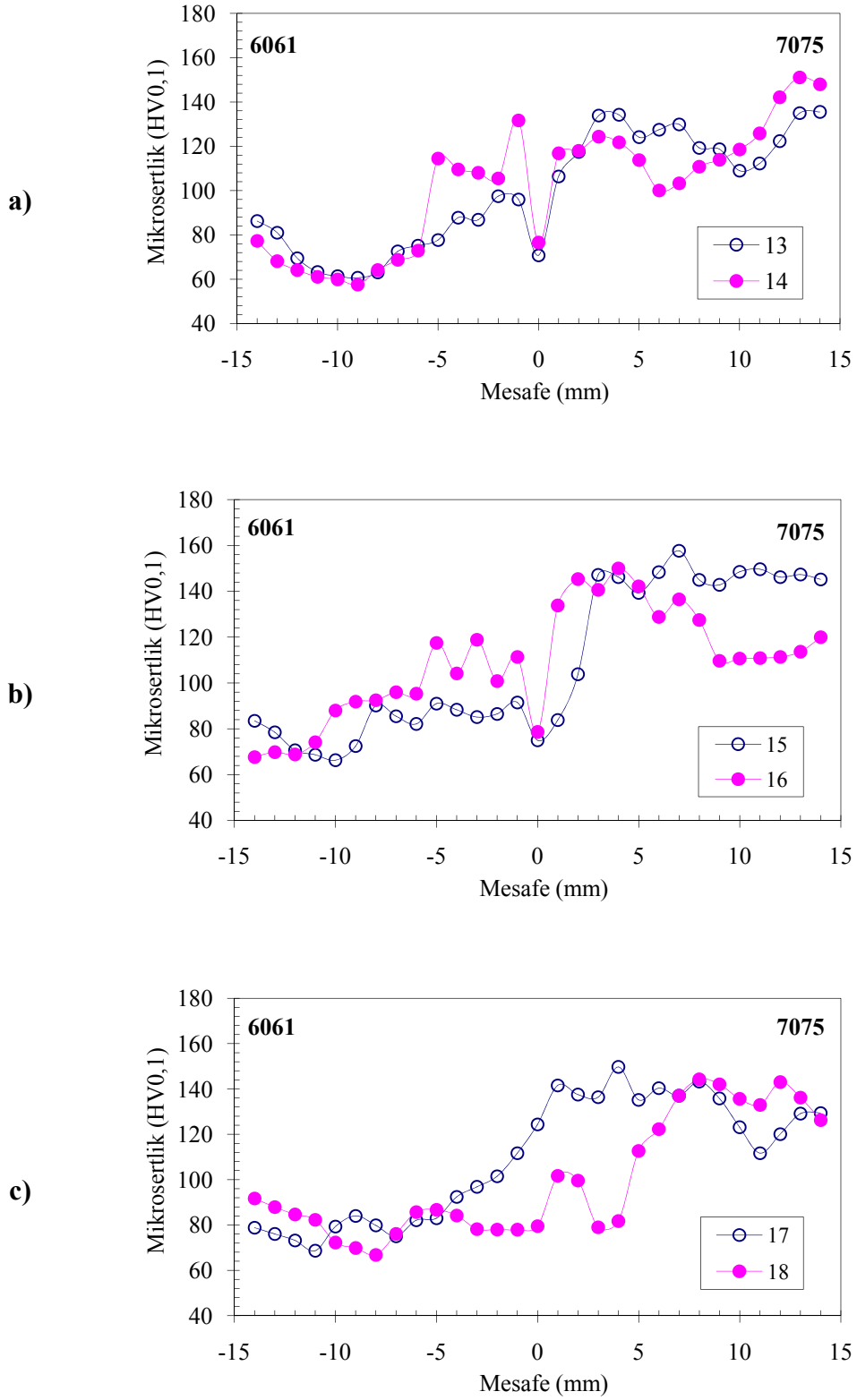


Şekil 4.18. (Devam) 7-12 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; c) 11:6061-7075 100 mm/dak, 12:7075-6061 100 mm/dak

4.2.3. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

2250 dev/dak devir sayısı ve 3 farklı ilerleme hızında alaşım plakalarının AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumuna göre, birleştirilen numunelere ait mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.19'da verilmiştir.

2250 dev/dak devir sayısında AA6061/AA7075 konumunda birleştirilen numunelerin sertlik değerleri artan ilerleme hızıyla artış gösterirken AA7075/AA6061 konumundaki numunelerin sertlik değerleri düşmüştür.



Şekil 4.19. 13-18 nolu numunelerin mikrosertlik grafikleri; a) 13:6061-7075 30 mm/dak, 14:7075-6061 30 mm/dak, b) 15:6061-7075 60 mm/dak, 16:7075-6061 60 mm/dak, c) 17:6061-7075 100 mm/dak, 18:7075-6061 100 mm/dak

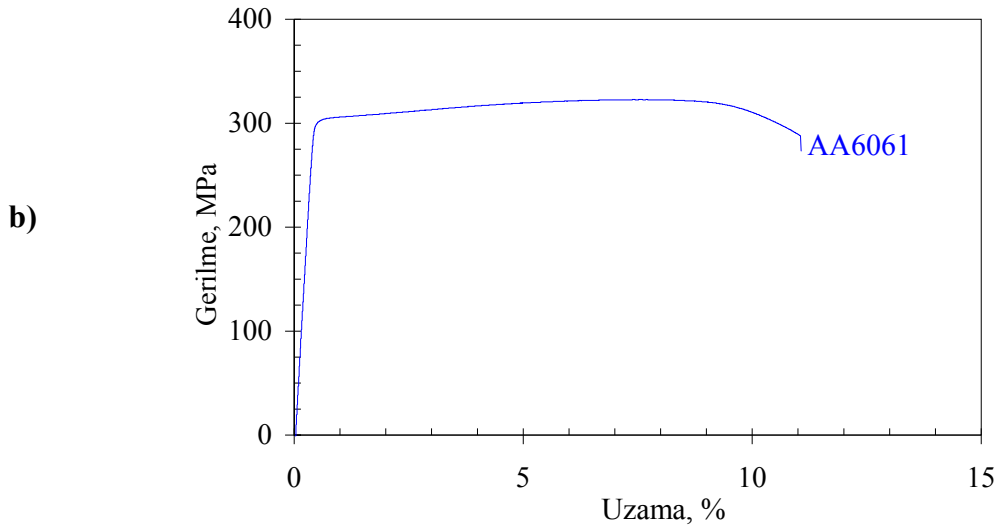
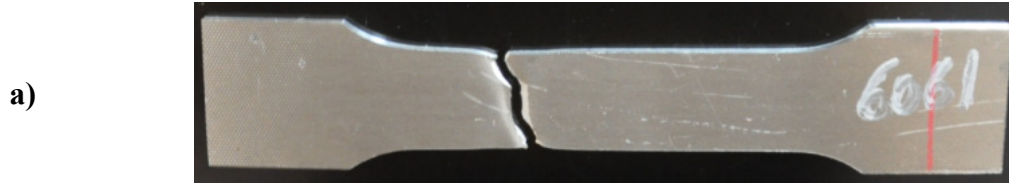
Çizelge 4.1. Mikrosertlik ölçümleri sonucu elde edilen sertlik değerleri

Numune Kodu	Alaşım Plakalarının Konumları	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Sertlik (HV)
1	AA6061/AA7075	1750	30	70.5
2	AA7075/AA6061			81.3
3	AA6061/ AA7075		60	109.6
4	AA7075/AA6061			89.7
5	AA6061/AA7075		100	115.8
6	AA7075/AA6061			83.4
7	AA6061/AA7075	2000	30	82.2
8	AA7075/AA6061			123.8
9	AA6061/AA7075		60	84.5
10	AA7075/AA6061			112.2
11	AA6061/AA7075		100	133.7
12	AA7075/AA6061			87.6
13	AA6061/AA7075	2250	30	70.8
14	AA7075/AA6061			131.7
15	AA6061/AA7075		60	91.5
16	AA7075/AA6061			114.4
17	AA6061/AA7075		100	124.4
18	AA7075/AA6061			79.5

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları

4.3.1. AA6061 - AA7075 Baz Malzemelerinin Çekme Deneyi Sonuçları

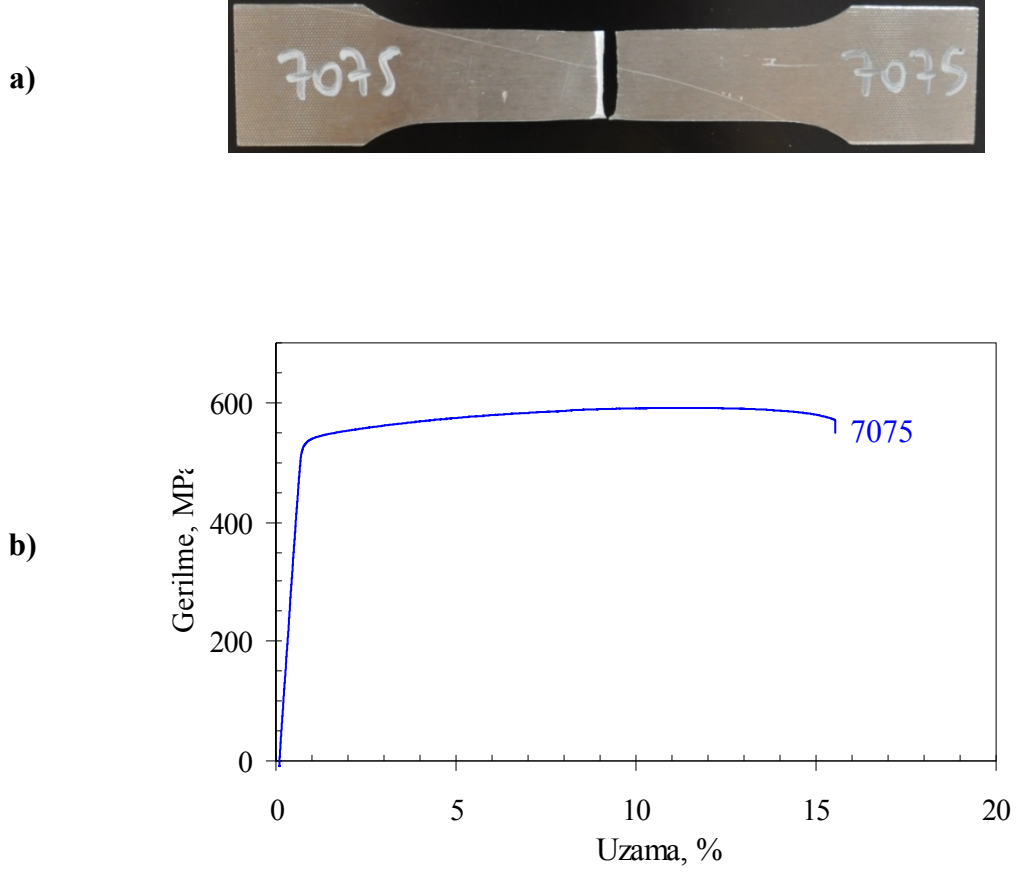
Şekil 4.20.'de AA6061-T6 baz levhanın çekme deneyi sonuçları verilmektedir.



Şekil 4.20. a) AA6061 alaşımı baz malzemenin çekme testi sonrası fotoğrafı, b) AA6061 alaşımı baz malzemeye ait gerilme-uzama eğrisi

Kaynaklı birleştirmede kullanılan AA6061-T6 alaşımının çekme mukavemeti (R_m)=325.27 MPa, akma sınırı ($R_{0.2}$)=306.21 MPa, % uzama değeri ise 12 çıkmıştır. Bu değerler AA6061 alaşımının sertifikada değerlerine oldukça yakındır.

Şekil 4.21.'de AA7075-T6 baz levhanın çekme deneyi sonuçları verilmektedir.



Şekil 4.21. a) AA7075 alaşımı baz malzemenin çekme testi sonrası fotoğrafı, b) AA7075 alaşımı baz malzemeye ait gerilme-uzama eğrisi

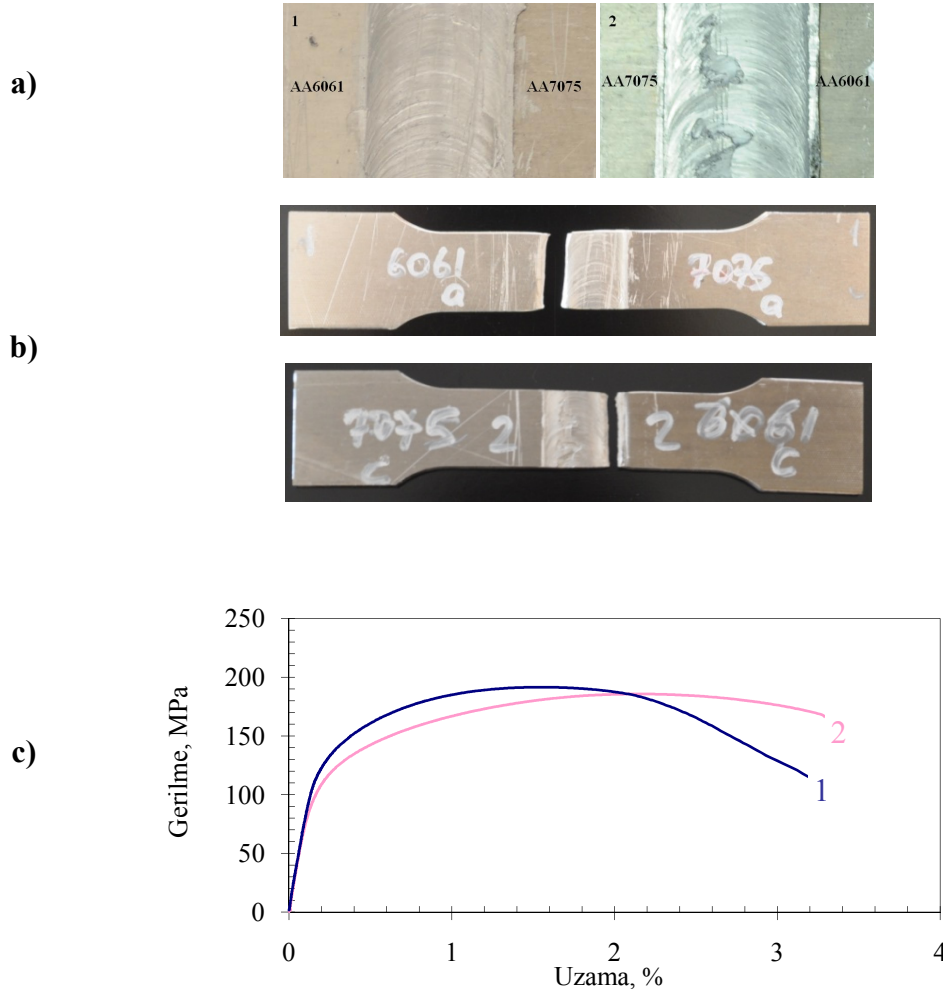
Kaynaklı birleştirmede kullanılan AA7075-T6 alaşımının çekme mukavemeti (R_m)=583.6 MPa, akma sınırı ($R_{0.2}$)=527.61. MPa, % uzama değeri ise 16.34 çıkmıştır. Bu değerler AA7075 alaşımının sertifika değerlerine yakın değerlerdir.

4.3.2. 1750 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

1750 dev/dak ve 30 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının, konum olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 1 ve 2 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama

grafiği Şekil 4.22'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 1 nolu numunede herhangi bir kaynak hatası olmayıp 2 nolu numunede ise kısmi yüzey pürüzlülüğüne rastlanmıştır. Aynı devir sayısı ve ilerleme hızında yumuşak malzemeden sert malzemeye doğru AA6061/AA7075 konumunda kaynaklı birleştirme yapılan 1 nolu numunede düzgün yüzey elde edilmiştir.

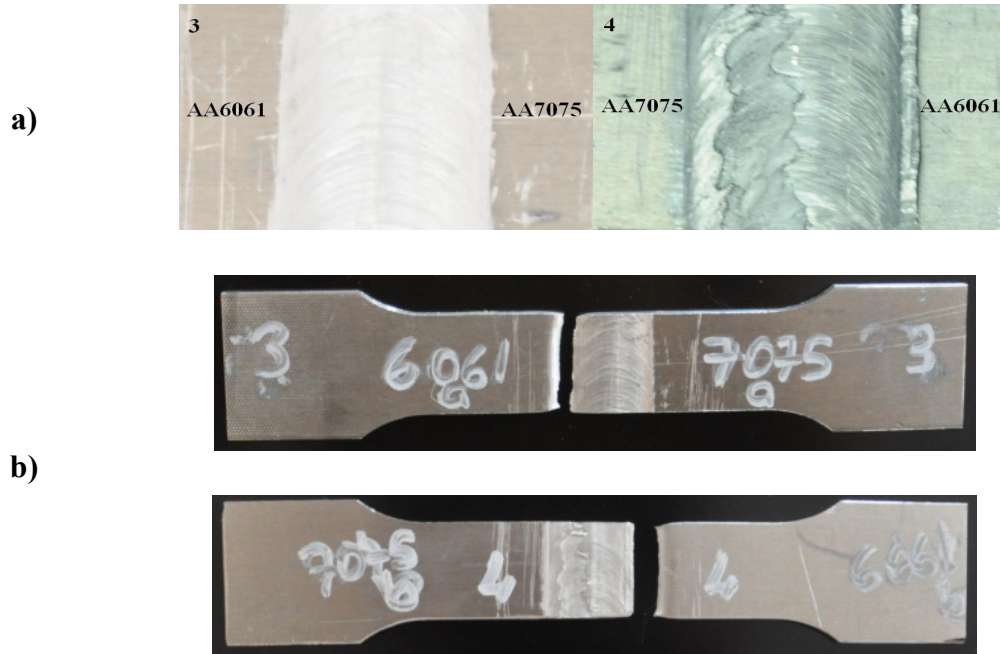
Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 1 nolu numunenin 188.39 MPa, 2 nolu numunenin 185.84 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 1 nolu numunede % 3.04, 2 nolu numunede % 3.19 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında düşük devir ve düşük ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine ve % uzamaya etki etmediği ancak yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği görülmüştür.



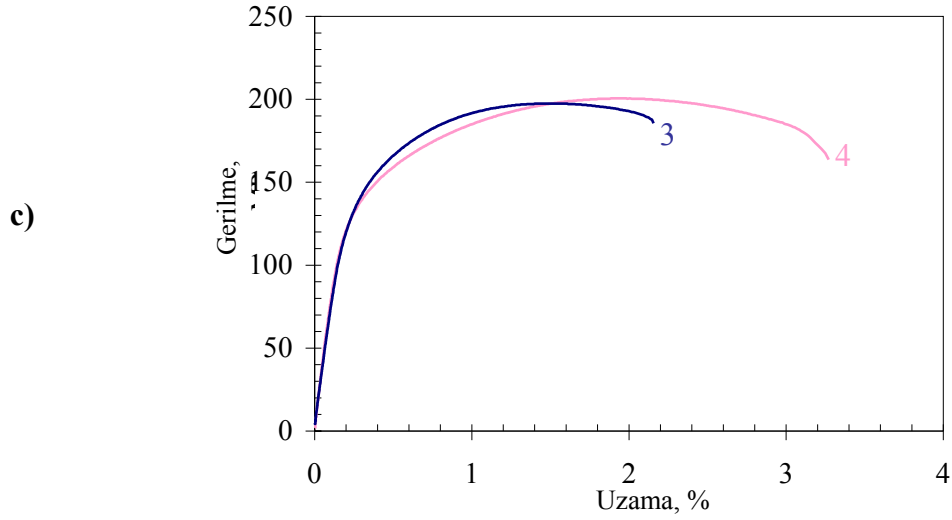
Şekil 4.22. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 1 ve 2 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 1 ve 2 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 1 ve 2 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

1750 dev/dak ve 60 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 3 ve 4 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 3 nolu numunede herhangi bir kaynak hatası olmayıp 4 nolu numunede ise yüzey pürüzlülüğüne rastlanmıştır. Aynı devir sayısı ve ilerleme hızında yumuşak malzemeden sert malzemeye doğru AA6061/AA7075 konumunda kaynaklı birleştirme yapılan 3 nolu numunede düzgün yüzey elde edilmiştir.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 3 nolu numunenin 201.25 MPa, 4 nolu numunenin 203.02 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 3 nolu numunede % 1.87, 4 nolu numunede % 3.10 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında düşük devir ve orta ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine etki etmediği, % uzamada AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede uzamanın düştüğü ve kaynak konumunun yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği görülmüştür.



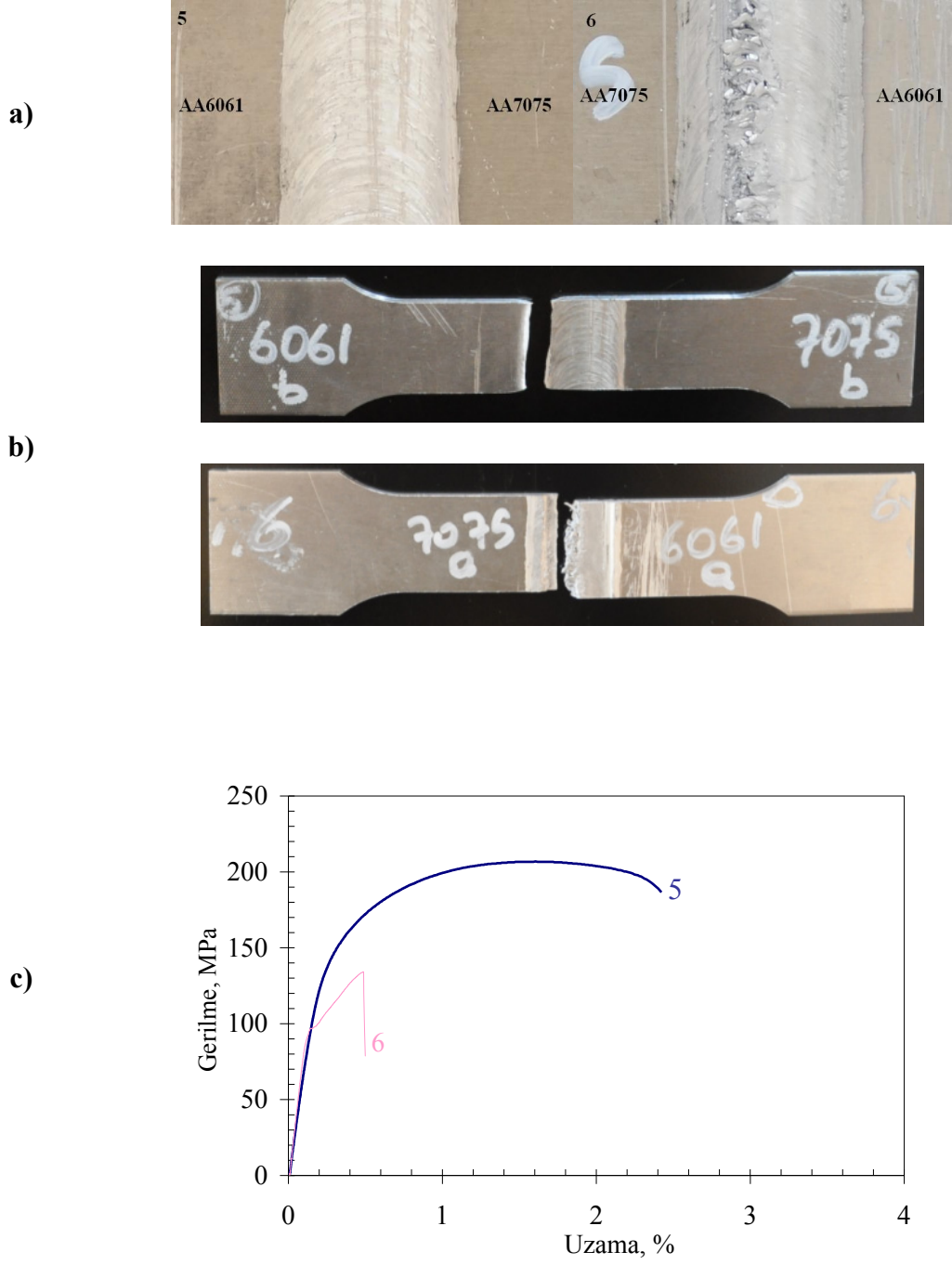
Şekil 4.23. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 3 ve 4 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 3 ve 4 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf



Şekil 4.23. (Devam) c) 3 ve 4 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

1750 dev/dak ve 100 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 5 ve 6 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.24'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 5 nolu numunede herhangi bir kaynak hatası olmayıp 6 nolu numunede ise önemli yüzey pürüzlülüğü meydana gelmiştir. Aynı devir sayısı ve ilerleme hızında yumuşak malzemeden sert malzemeye doğru AA6061/AA7075 konumunda kaynaklı birleştirme yapılan 5 nolu numunede düzgün yüzey elde edilmiştir.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 5 nolu numunenin 209.25 MPa, 6 nolu numunenin 133.54 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 5 nolu numunede % 2.12, 6 nolu numunede % 0.44 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında düşük devir ve yüksek ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine önemli etki ettiği ve AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin yüksek olduğu, % uzamada AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede uzamanın önemli ölçüde düştüğü ve kaynak konumunun yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği görülmüştür.

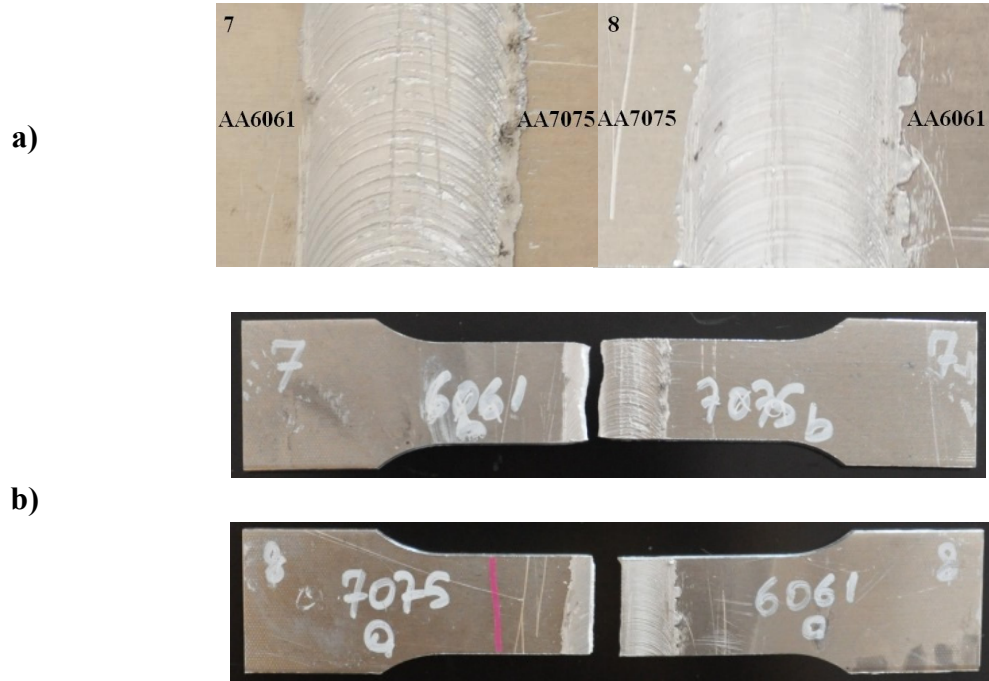


Şekil 4.24. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 5 ve 6 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 5 ve 6 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 5 ve 6 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

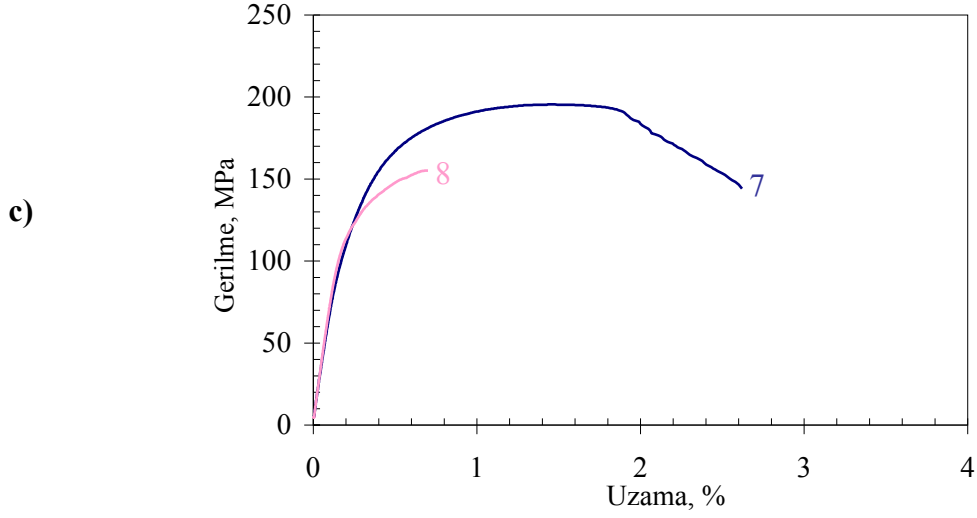
4.3.3. 2000 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

2000 dev/dak ve 30 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 7 ve 8 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.25'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafında 7 ve 8 nolu numunelerde herhangi bir kaynak hatası meydana gelmediği görülmüştür.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 7 nolu numunenin 195.86 MPa, 8 nolu numunenin 156.99 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 7 nolu numunede % 2.39, 8 nolu numunede % 0.54 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında orta devir ve düşük ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine etki ettiği ve AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin ve % uzamanın diğer konuma göre daha yüksek olduğu, AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede uzamanın önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.



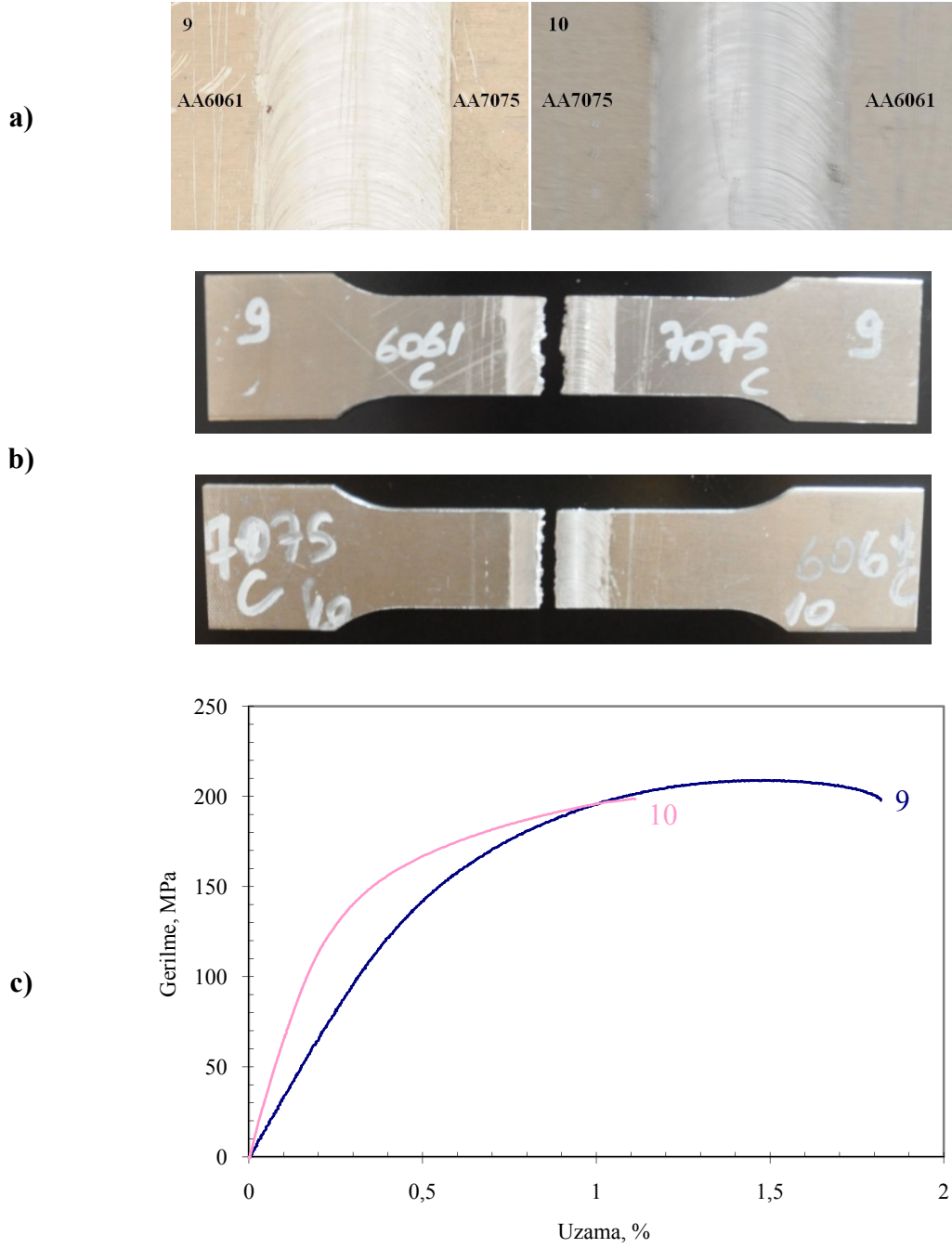
Şekil 4.25. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 7 ve 8 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 7 ve 8 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf



Şekil 4.25. (Devam) c) 7 ve 8 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

2000 dev/dak ve 60 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 9 ve 10 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 9 ve 10 nolu numunelerde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 9 nolu numunenin 209.06 MPa, 10 nolu numunenin 198.92 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 9 nolu numunede % 1.79, 10 nolu numunede % 0.77 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında orta devir ve orta ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine çok önemli etki etmediği ancak AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin daha yüksek olduğu, % uzamada ise AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede uzamanın önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.

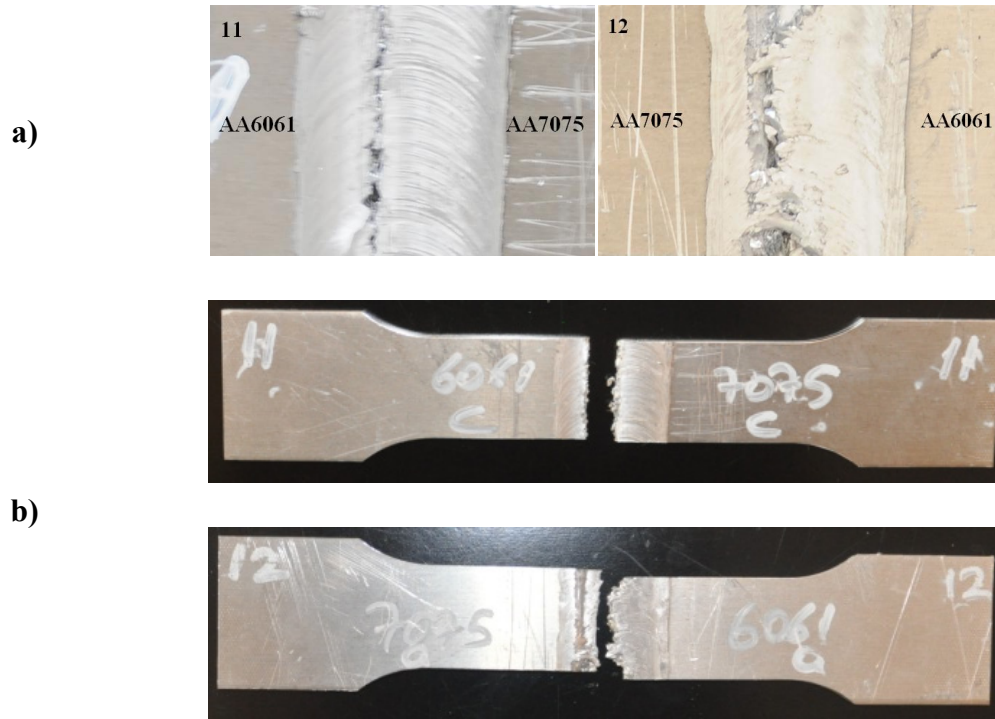


Şekil 4.26. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 9 ve 10 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 9 ve 10 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 9 ve 10 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

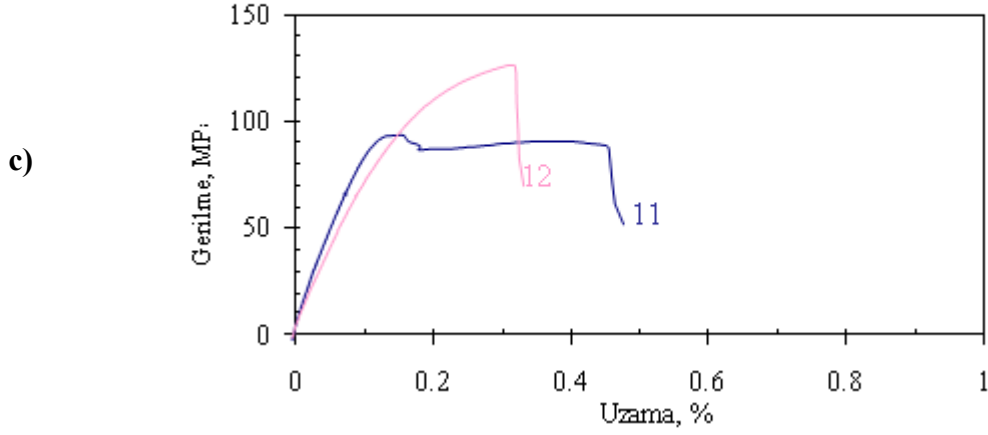
2000 dev/dak ve 100 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 11 ve 12 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve

gerilme-uzama grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir. Kaynak b3lgesinin makro y3zey fotoğrafları incelendiğinde, 11 ve 12 nolu numunelerde ciddi kaynak hatasına rastlanmıştır.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 11 nolu numunenin 91.54 MPa, 12 nolu numunenin 125.22 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 11 nolu numunede % 0.43, 12 nolu numunede % 0.24 olduğu g3r3lmektedir. Bu veriler g3z 3n3ne alınıp değerlendirme yapıldığında orta devir ve y3ksek ilerleme hızında çekme gerilmelerinin d3Ő3k olduğu ve kaynak konumunun çekme gerilmesine çok 3nemli etki etmediği ancak AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin daha y3ksek olduğu, % uzamaların ise her iki konumda da d3Ő3k olmakla beraber AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede daha d3Ő3k olduğu g3r3lm3Őt3r.



Şekil 4.27. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 11 ve 12 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro y3zey fotoğrafları, b) 11 ve 12 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf

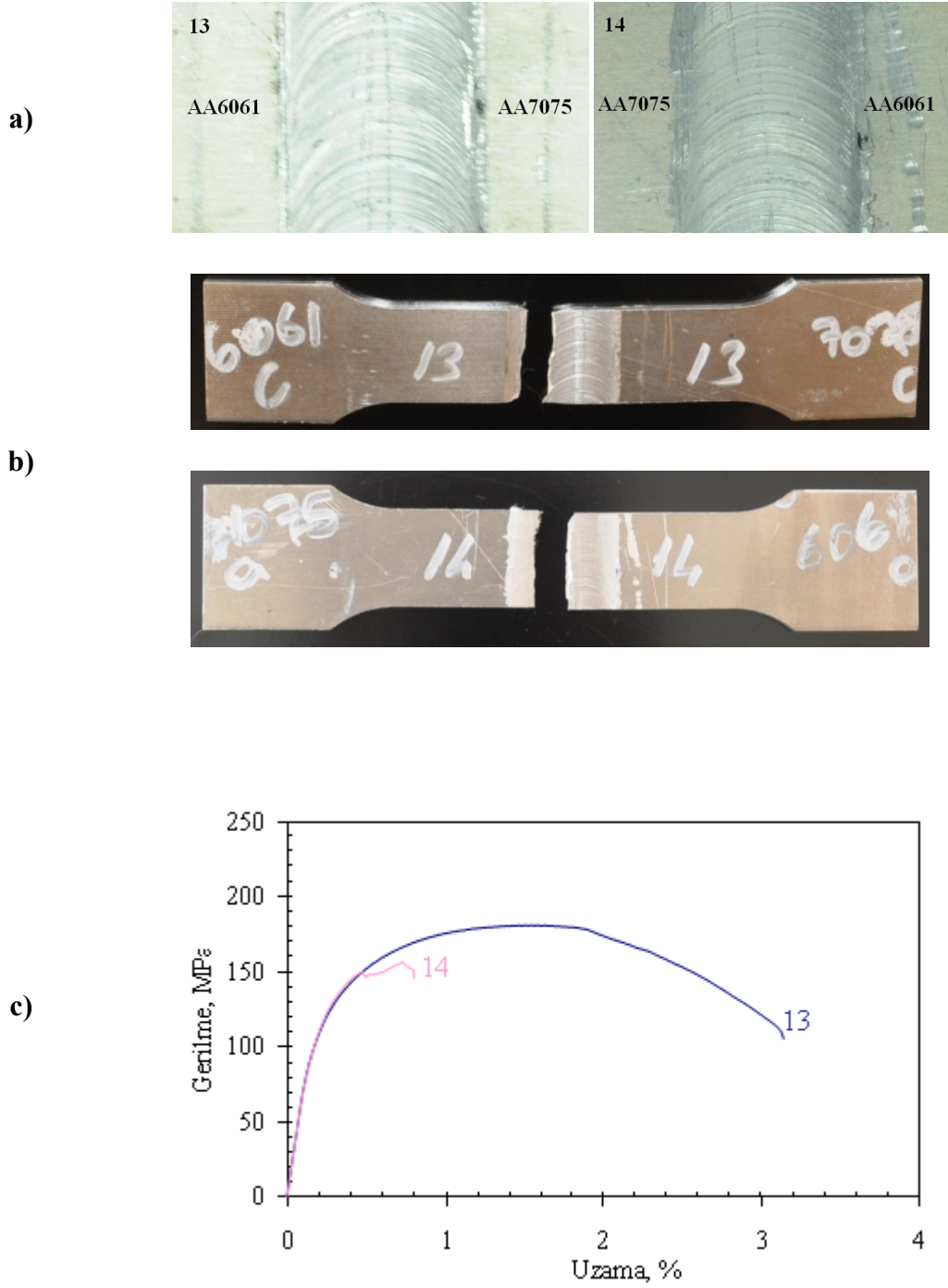


Şekil 4.27. (Devam) c) 11 ve 12 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

4.3.4. 2250 dev/dak ile Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

2250 dev/dak ve 30 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 13 ve 14 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 13 ve 14 nolu numunelerde kaynak hatasına rastlanmamıştır.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 13 nolu numunenin 176.50 MPa, 14 nolu numunenin 155.75 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 13 nolu numunede % 3.02, 14 nolu numunede % 0.60 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında yüksek devir ve düşük ilerleme hızında çekme gerilmelerinin düşük olduğu ve kaynak konumunun çekme gerilmesine çok önemli etki etmediği ancak AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin daha yüksek olduğu, % uzamanın ise AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede oldukça düşük olduğu görülmüştür.

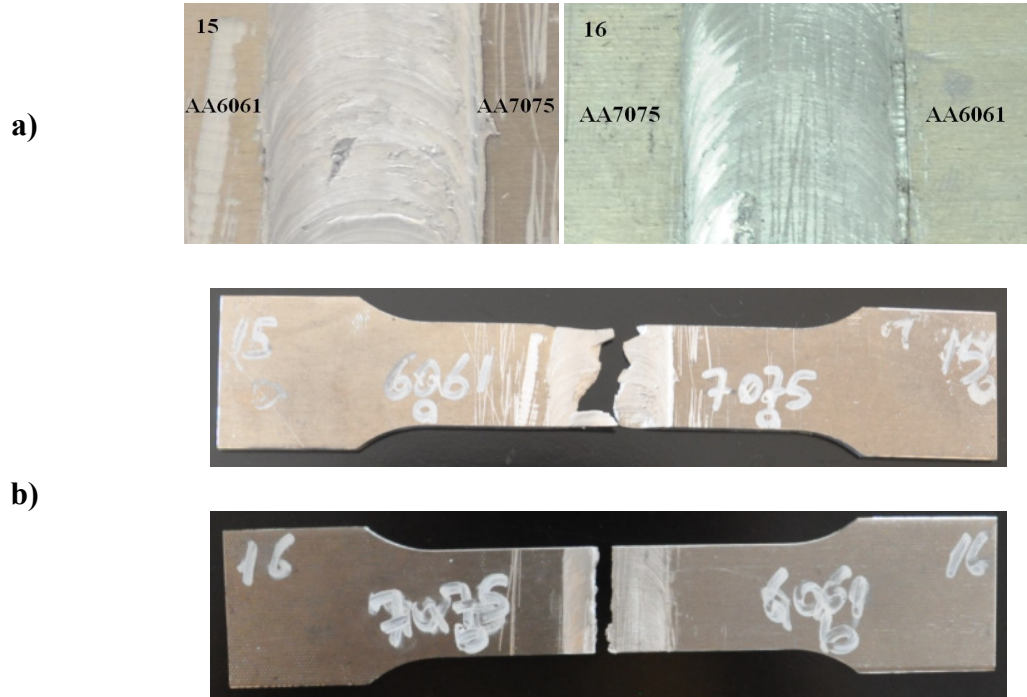


Şekil 4.28. a) 30 mm/dak ile birleştirilmiş 13 ve 14 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 13 ve 14 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 13 ve 14 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

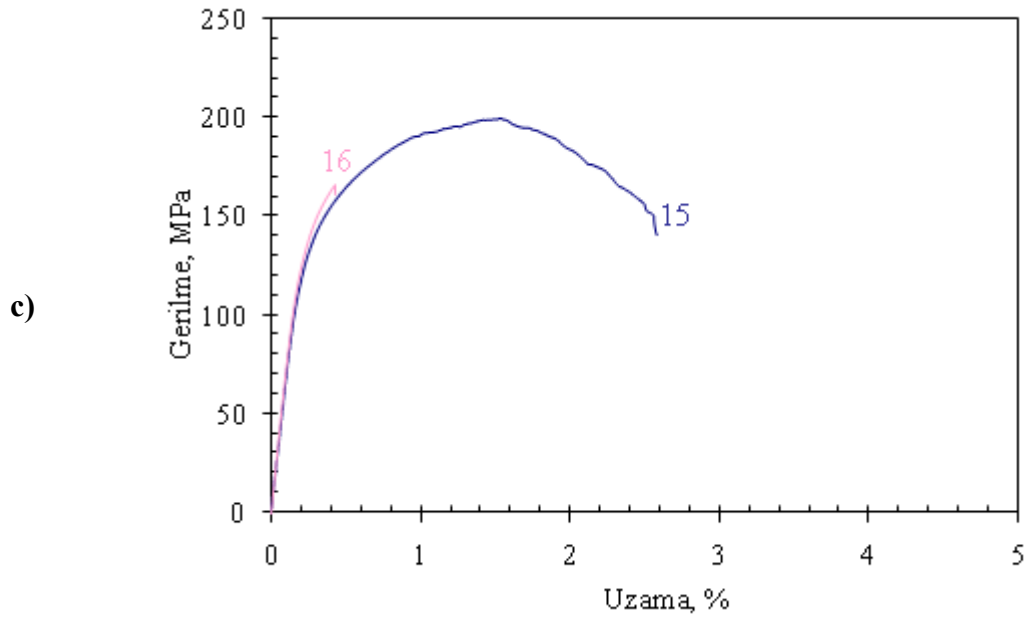
2250 dev/dak ve 60 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 15 ve 16 nolu kaynaklı

bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 15 ve 16 nolu numunelerde kısmi yüzey pürüzlülüklerine ve kaynak hatasına rastlanmıştır.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 15 nolu numunenin 198.91 MPa, 16 nolu numunenin 169.39 MPa maksimum gerilme değerlerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 15 nolu numunede % 4.35, 16 nolu numunede % 0.21 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında yüksek devir ve orta ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine etki ettiği ve AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin yüksek olduğu, % uzamada ise kaynak konumunun önemli etkisi olduğu ve AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede uzamanın düşük olduğu görülmüştür.



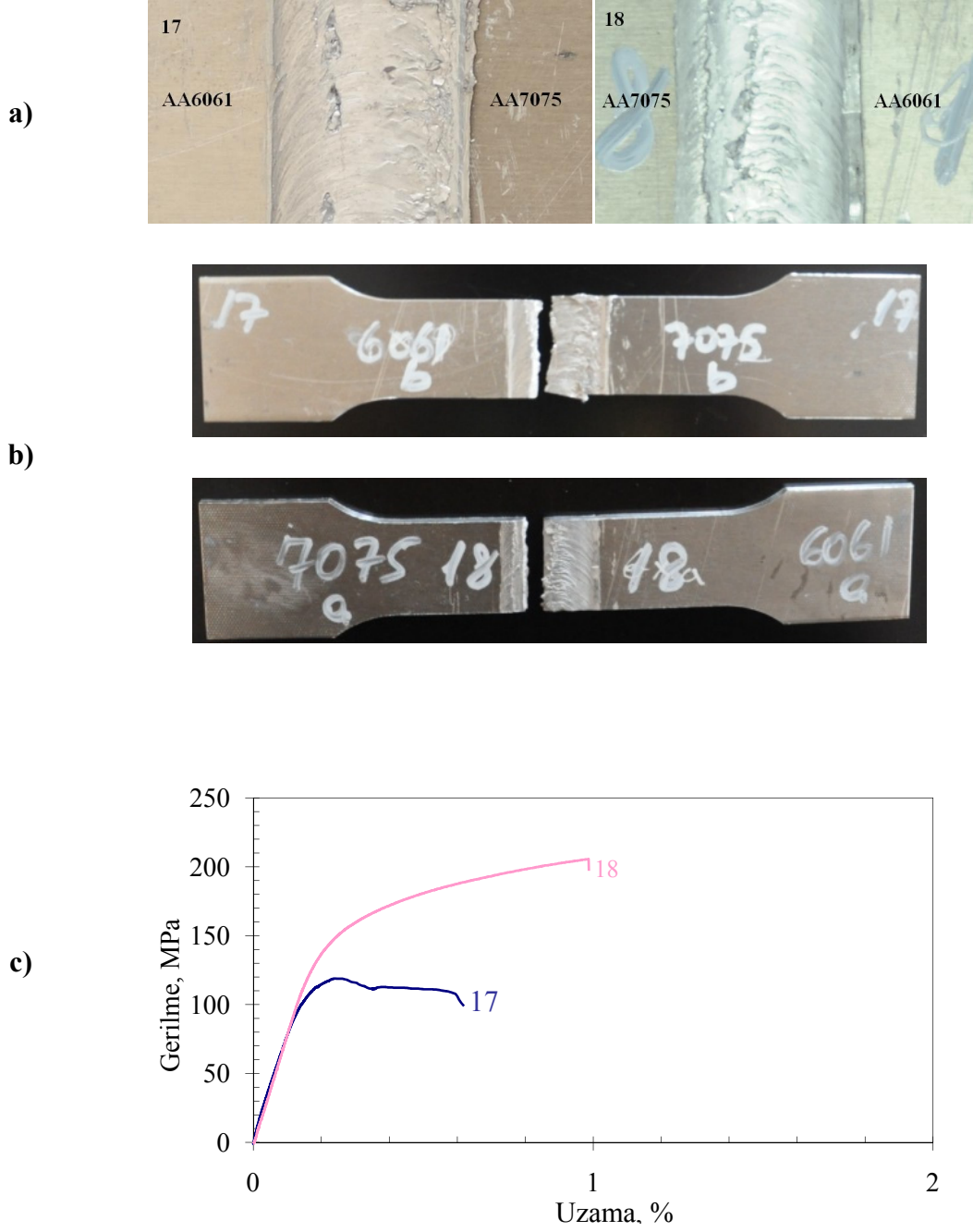
Şekil 4.29. a) 60 mm/dak ile birleştirilmiş 15 ve 16 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 15 ve 16 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf



Şekil 4.29. (Devam) c) 15 ve 16 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

2250 dev/dak ve 100 mm/dak ilerleme hızında alaşım plakalarının konumu olarak AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 şeklinde birleştirilen 17 ve 18 nolu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları, çekme testi sonrası fotoğraf ve gerilme-uzama grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir. Kaynak bölgesinin makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde, 17 ve 18 nolu numunelerde oldukça fazla yüzey pürüzlülüğüne ve kaynak hatasına rastlanmıştır.

Çekme-uzama grafikleri incelendiğinde ise; 17 nolu numunenin 117.55 MPa, 18 nolu numunenin 206.37 MPa maksimum gerilme değerine sahip olduğu, % uzama değerlerine bakıldığında 17 nolu numunede % 0.53, 18 nolu numunede % 0.83 olduğu görülmektedir. Bu veriler göz önüne alınıp değerlendirme yapıldığında yüksek devir ve yüksek ilerleme hızında kaynak konumunun çekme gerilmesine etki ettiği ve diğer numunelerin aksine AA6061/AA7075 konumundaki birleştirmede çekme gerilmesinin düşük olduğu, % uzamanın ise her iki konumda da düşük olmakla beraber AA7075/AA6061 konumundaki birleştirmede yüksek olduğu görülmüştür.

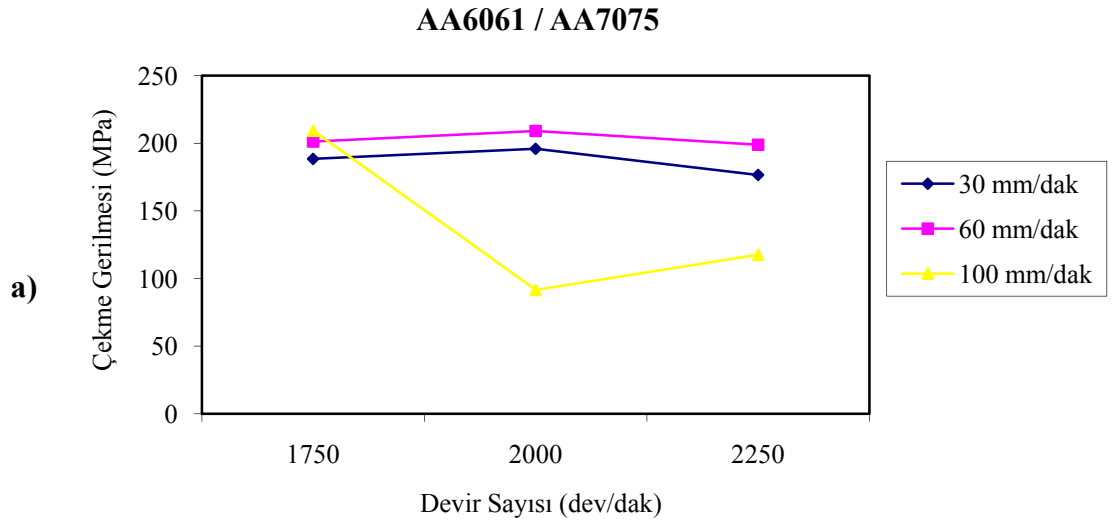


Şekil 4.30. a) 100 mm/dak ile birleştirilmiş 17 ve 18 nolu numunelere ait kaynak sonrası makro yüzey fotoğrafları, b) 17 ve 18 nolu numunelere ait çekme testi sonrası fotoğraf, c) 17 ve 18 nolu numunelere ait gerilme-uzama eğrisi

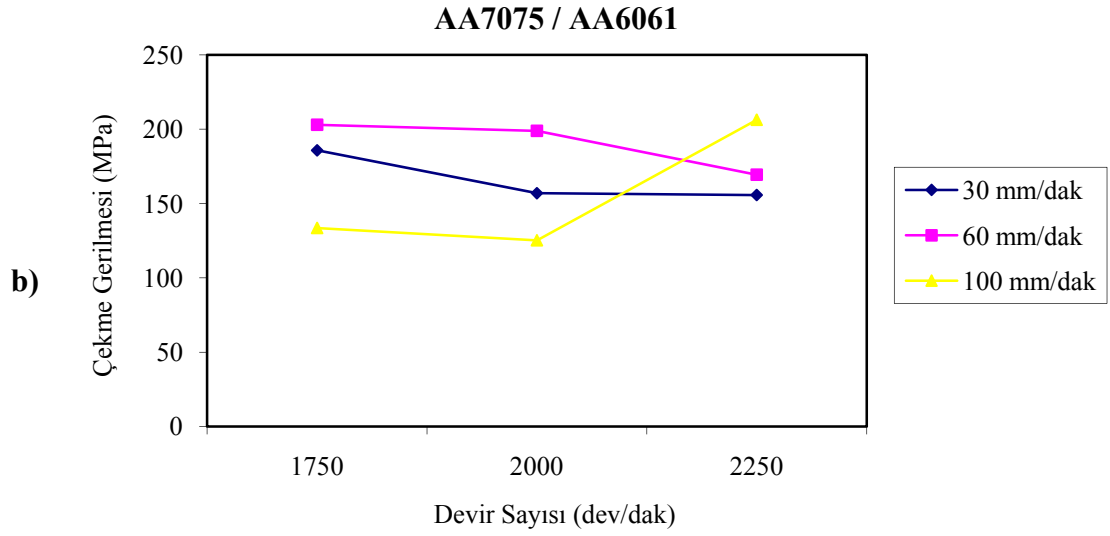
4.3.5 Kaynaklı Numunelerin Devir Sayısının Çekme Gerilmesi ve Uzamaya Etkisi

Kaynaklı numunelerin AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumlarındaki devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir. AA6061/AA7075 konumundaki devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği incelendiğinde en iyi gerilme değerlerinin 3 devir sayısındaki 60 mm/dak ilerleme hızında elde edildiği görülmüştür. Aynı konumda, yüksek ilerleme hızı ve yüksek devirlerde çekme gerilmesinin önemli düşüş yaptığı tespit edilmiştir.

AA7075/AA6061 konumundaki devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği incelendiğinde düşük devir ve düşük ilerleme hızlarında çekme gerilmesinin iyi olduğu ancak devir sayısı arttıkça düşük ilerleme hızlarında çekme gerilmesinin azaldığı fakat yüksek devir yüksek ilerleme hızında en yüksek gerilme değerinin elde edildiği görülmüştür.



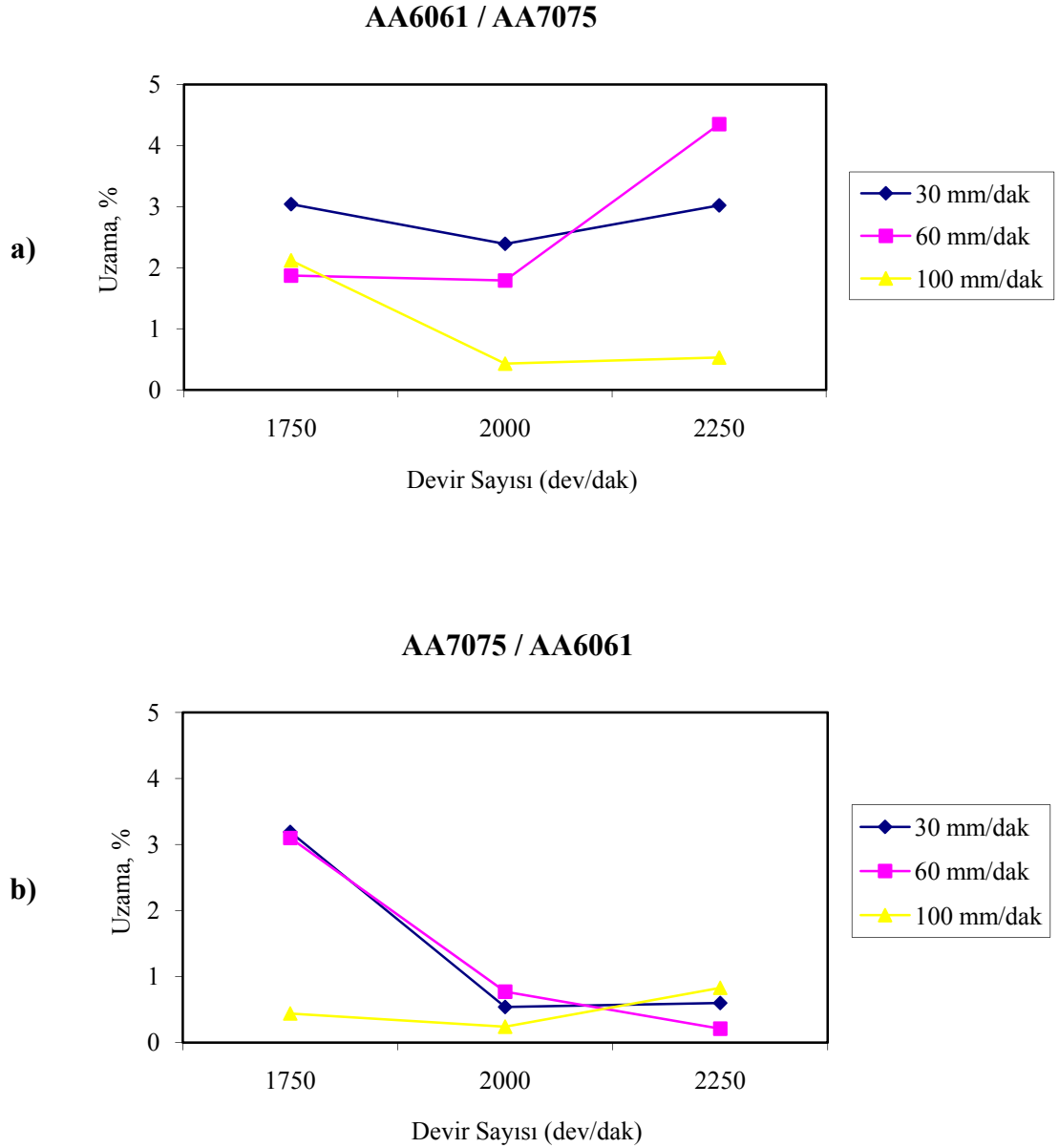
Şekil 4.31. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği



Şekil 4.31. (Devam) b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede devir sayısı-çekme gerilmesi grafiği

Kaynaklı numunelerin AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumlarındaki devir sayısı-uzama grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir. AA6061/AA7075 konumundaki devir sayısı-uzama grafiği incelendiğinde düşük devir düşük ilerleme hızlarında % uzama değerlerinin yüksek olduğu, yüksek devir-yüksek ilerleme hızında ise % uzamanın oldukça düştüğü görülmüştür. Aynı konumda yüksek ilerleme hızları ve yüksek devirlerde çekme gerilmesinin önemli düşüş yaptığı tespit edilmiştir.

AA7075/AA6061 konumundaki devir sayısı-uzama grafiği incelendiğinde en iyi % uzama değerlerinin 1750 dev/dak devir sayısında-düşük ilerleme hızlarında elde edildiği görülmüştür. Devir sayısı arttığında ise % uzama değeri düşerken yüksek ilerleme hızında artış eğilimi gösterdiği görülmüştür.



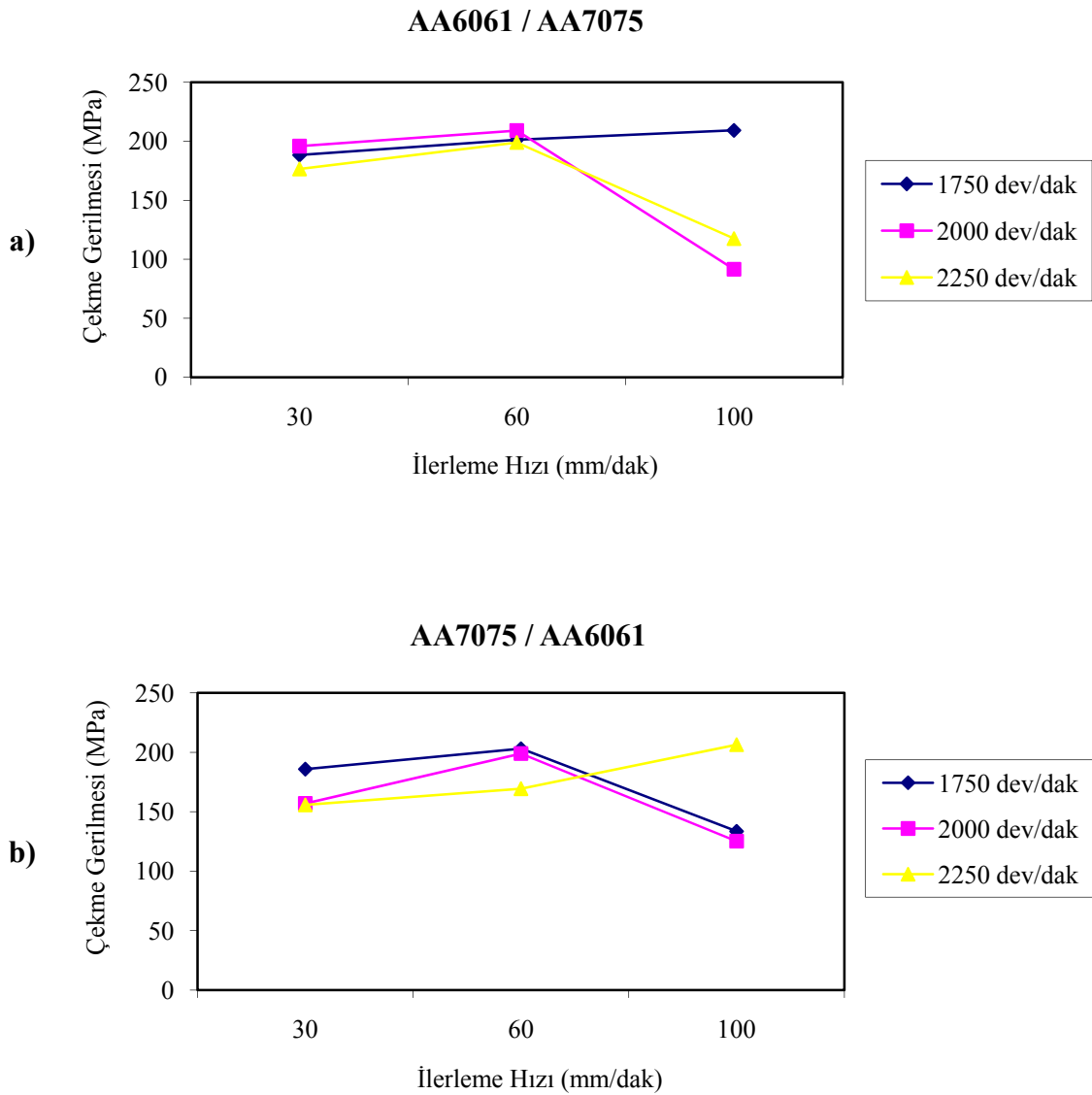
Şekil 4.32. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede devir sayısı-uzama grafiği
b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede devir sayısı- uzama grafiği

4.3.6. Kaynaklı Numunede İlerleme Hızının Çekme Gerilmesi ve Uzamaya Etkisi

Kaynaklı numunelerin AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumlarındaki ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir. AA6061/AA7075 konumundaki ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği incelendiğinde en iyi gerilme

değerlerinin 3 devir sayısında da 60 mm/dak ilerleme hızında elde edildiği görülmüştür. İlerleme hızı arttığında ise yüksek devirlerde çekme gerilmesi önemli düşüş gösterirken aynı ilerleme hızında düşük devirde çekme gerilmesinin arttığı görülmüştür.

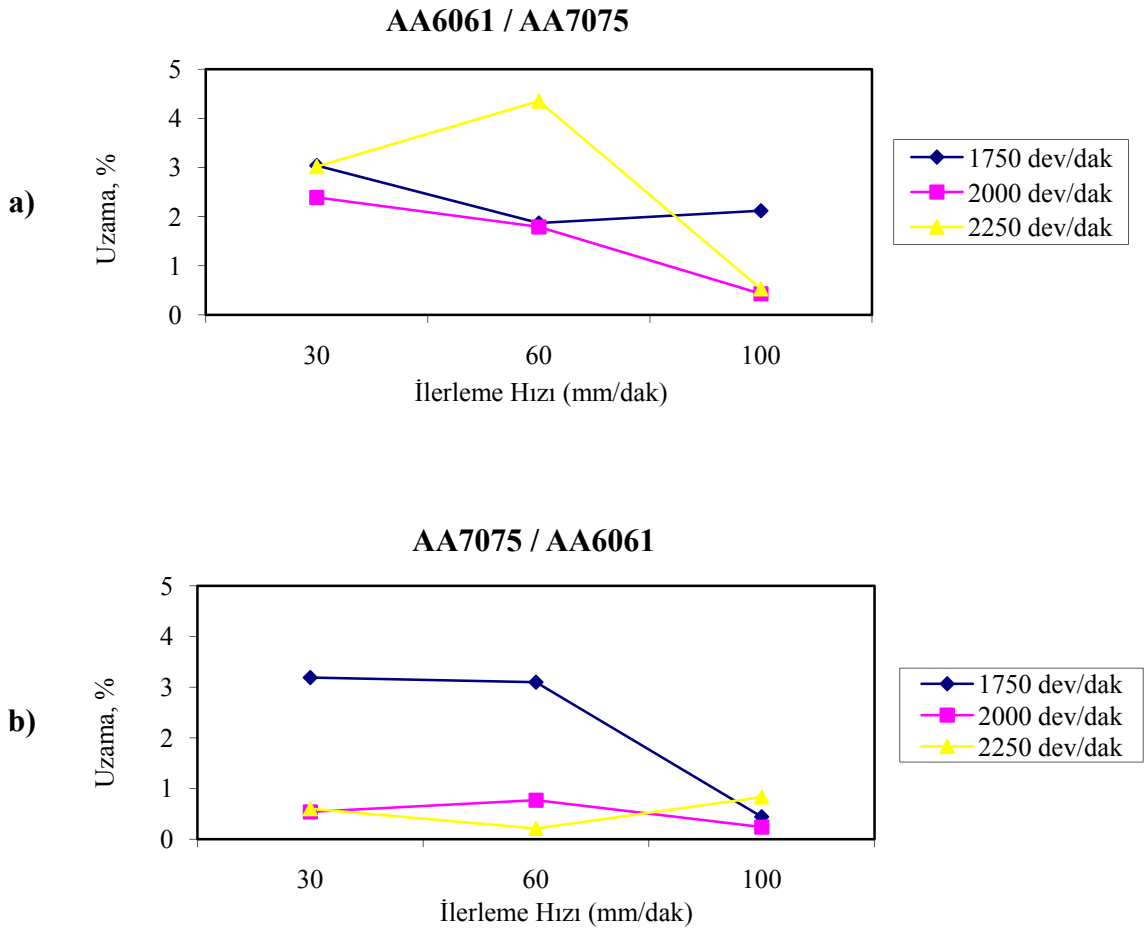
AA7075/AA6061 konumundaki ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği incelendiğinde düşük devir ve düşük ilerleme hızlarında çekme gerilmesinin iyi olduğu ancak ilerleme hızı arttıkça düşük devirlerde çekme gerilmesinin azaldığı fakat yüksek devirde çekme gerilmesinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4.33. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-çekme gerilmesi grafiği

Kaynaklı numunelerin AA6061/AA7075 ve AA7075/AA6061 konumlarındaki ilerleme hızı-uzama grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir. AA6061/AA7075 konumundaki ilerleme hızı-uzama grafiği incelendiğinde düşük devir düşük ilerleme hızlarında % uzama değerlerinin yüksek olduğu, en yüksek % uzama değerinin ise 60 mm/dak ilerleme hızında-2250 dev/dak devir sayısında elde edildiği görülmüştür. Ancak artan devir sayısı ve ilerleme hızlarında % uzama değeri düşmüştür.

AA7075/AA6061 konumundaki ilerleme hızı-uzama grafiği incelendiğinde en iyi % uzama değerlerinin 1750 dev/dak devir sayısında-düşük ilerleme hızlarında elde edildiği görülmüştür. Aynı devir sayısında ilerleme hızı arttığında ise % uzama değeri önemli ölçüde düşmüştür. Bunu yanı sıra 2000-2250 dev/dak devir sayılarında, her 3 ilerleme hızında % uzama değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34. a) AA6061/AA7075 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-uzama grafiği
b) AA7075/AA6061 alaşımı birleştirmede ilerleme hızı-uzama grafiği

Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonucu elde edilen veriler

Numune Kodu	Alaşım Plakalarının Konumları	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Çekme Gerilmesi (MPa)	R _{0,2} Akma Sınırı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
1	AA6061/AA7075	1750	30	188.39	149.11	3.04
2	AA7075/AA6061			185.84	131.89	3.19
3	AA6061/ AA7075		60	201.25	161.65	1.87
4	AA7075/AA6061			203.02	151.72	3.10
5	AA6061/AA7075		100	209.25	168.08	2.12
6	AA7075/AA6061			133.54	116.41	0.44
7	AA6061/AA7075	2000	30	195.86	160.49	2.39
8	AA7075/AA6061			156.99	140.72	0.54
9	AA6061/AA7075		60	209.06	166.42	1.79
10	AA7075/AA6061			198.92	163.89	0.77
11	AA6061/AA7075		100	91.54	87.67	0.43
12	AA7075/AA6061			125.22	93.82	0.24
13	AA6061/AA7075	2250	30	176.50	140.18	3.02
14	AA7075/AA6061			155.75	144.89	0.60
15	AA6061/AA7075		60	198.91	159.28	4.35
16	AA7075/AA6061			169.39	169.24	0.21
17	AA6061/AA7075		100	117.55	112.10	0.53
18	AA7075/AA6061			206.37	172.73	0.83

Çizelge 4.3. Çekme mukavemeti kaynak performans değerleri

Alaşım Plakalarının Konumları	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Çekme Gerilmesi, Rm (MPa)	Kaynak Performansı Rm, (%)*
AA6061/AA7075	1750	30	188.39	59
AA7075/AA6061	1750	30	185.84	58
AA6061/AA7075	1750	60	201.25	63
AA7075/AA6061	1750	60	203.02	63
AA6061/AA7075	1750	100	209.25	65
AA7075/AA6061	1750	100	133.54	41
AA6061/AA7075	2000	30	195.86	61
AA7075/AA6061	2000	30	156.99	49
AA6061/AA7075	2000	60	209.06	65
AA7075/AA6061	2000	60	198.92	62
AA6061/AA7075	2000	100	91.54	28
AA7075/AA6061	2000	100	125.22	39
AA6061/AA7075	2250	30	176.50	55
AA7075/AA6061	2250	30	155.75	48
AA6061/AA7075	2250	60	198.91	62
AA7075/AA6061	2250	60	169.39	53
AA6061/AA7075	2250	100	117.55	37
AA7075/AA6061	2250	100	206.37	64

* Gerilme performansı= $(Rm_{\text{kaynak}} / Rm_{\text{Baz Metal, 6061}}) \times 100$

Çizelge 4.4. % Süneklik kaynak performans değerleri

Alaşım Plakalarının Konumları	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Uzama (%)	Kaynak Performansı Süneklik, (%)*
AA6061/AA7075	1750	30	3.04	34
AA7075/AA6061	1750	30	3.19	35
AA6061/AA7075	1750	60	1.87	21
AA7075/AA6061	1750	60	3.10	34
AA6061/AA7075	1750	100	2.12	24
AA7075/AA6061	1750	100	0.44	5
AA6061/AA7075	2000	30	2.39	27
AA7075/AA6061	2000	30	0.54	6
AA6061/AA7075	2000	60	1.79	20
AA7075/AA6061	2000	60	0.77	9
AA6061/AA7075	2000	100	0.43	5
AA7075/AA6061	2000	100	0.24	3
AA6061/AA7075	2250	30	3.02	34
AA7075/AA6061	2250	30	0.60	7
AA6061/AA7075	2250	60	4.35	48
AA7075/AA6061	2250	60	0.21	2
AA6061/AA7075	2250	100	0.53	6
AA7075/AA6061	2250	100	0.83	9

* Süneklik performansı= $(\%Uzama_{\text{kaynak}} / \%Uzama_{\text{Baz Metal, 6061}}) \times 100$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AA6061 ile AA7075 alaşımı alüminyum plakalara farklı devir sayıları (1750 dev/dak - 2000 dev/dak - 2250 dev/dak) ve ilerleme hızları (30 mm/dak - 60 mm/dak -100 mm/dak) kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle alın kaynağı yapılmıştır. Kaynak işleminde kullanılan parametrelere göre kaynaklı numunelerin, çekme deneyleri ve mikrosertlik ölçümleri yapılmış, mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Farklı iki alüminyum alaşımı birleştirilirken plakaların yerleşim konumu kaynak bağlantısında önemli mekanik ve mikroyapı özellik değişikliğine neden olmaktadır.
- ✓ Kaynak bölgesinin yüzey kalitesi incelendiğinde plakaların AA7075/AA6061 şeklinde, yani sert malzemedan yumuşak malzemeye doğru yerleştirilerek kaynak yapılması durumunda genellikle yüzey kalitesinin kötü olduğu görülmüştür.
- ✓ Kaynakla birleştirilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde kaynak işlemi sonucunda oluşan kaynak bölgesinin literatüre uygun olduğu görülmüştür. (C; karıştırma bölgesi (dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge - DKB), D; termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), E ve F; ısıdan etkilenen bölgeler (IEB))
- ✓ Kaynak merkezinde ölçülen en yüksek sertlik değeri 133.7 HV olarak 11 nolu numunede ölçülmüştür. En düşük ise 70.5 HV ile 1 nolu numunede ölçülmüştür.
- ✓ Alaşım plakaları 2000-2250 dev/dak'da ve AA6061/AA7075 konumunda (yumuşak malzemedan sert malzemeye doğru) kaynak edildiğinde AA7075/AA6061 konumuna göre oldukça yüksek % uzama gerçekleşmiştir. Ancak 1750 dev/dak'nın düşük ilerleme hızlarında tam tersi durum yani AA7075/AA6061 konumunda yüksek % uzama değeri elde edilmiştir.
- ✓ Alaşım plakalarının kaynağında devir parametrelerinin her 3'ünde de (1750 dev/dak - 2000 dev/dak - 2250 dev/dak) en düşük uzama, en yüksek ilerleme hızında (100 mm/dak) bulunmuştur.

- ✓ En yüksek uzama değeri 2250 dev/dak ve 60 mm/dak parametresinde elde edilmiştir.
- ✓ Kaynaklı bağlantılarda en yüksek çekme gerilmesi (209 MPa) AA6061/AA7075 konumunda; 1750 dev/dak devir sayısı - 100 mm/dak ilerleme hızı ile 2000 dev/dak devir sayısı - 60 mm/dak ilerleme hızında, en düşük çekme gerilmesi ise (91.54 MPa) AA6061/AA7075 konumunda; 2000 dev/dak'da 100 mm/dak ilerleme hızında tespit edilmiştir.
- ✓ AA7075/AA6061 konumunda, düşük devir ve düşük ilerleme hızlarında çekme gerilmesinin iyi olduğu ancak devir sayısı arttıkça düşük ilerleme hızlarında çekme gerilmesinin azaldığı fakat yüksek devir yüksek ilerleme hızında en yüksek gerilme değerinin elde edildiği görülmüştür.
- ✓ Kaynak işleminde alaşım plakalarının konumuna göre çekme gerilmesine bakıldığında yüksek devir düşük ilerleme hızlarında AA6061/AA7075 konumunda yüksek değerler elde edilirken ilerleme hızı artırıldığında (100 mm/dak) çekme gerilmeleri düşmesine rağmen AA7075/AA6061 konumunda çekme gerilmeleri yükselmiştir.
- ✓ Düşük devir ve düşük ilerleme hızlarında (30-60 mm/dak) alaşım plakalarının yerleşim konumlarının çekme gerilmesini etkilemediği gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sonuçlarına göre; yüksek devir ve yüksek ilerleme hızında alaşım plakalarının AA6061/AA7075 konumunda yerleştirilerek kaynak yapılması yani çekme gerilmesi düşük malzemedan yüksek malzemeye doğru sürtünme karıştırma kaynağı yönü seçilmesi ve kullanılan takım geometrisi için 1750-2250 dev/dak devir sayılarında ilerleme hızının 60 mm/dak seçilmesi önerilmektedir. Kullanılan takım geometrisinin omuz çapı ve pim boyu değiştirildiğinde kaynak kalitesi de değişecektir. Ayrıca M6, 6 mm çapta karıştırıcı uç yerine 5 mm çapında (M5) uç kullanılarak maksimum çekme gerilmesi değerleri elde edileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Amancio-Filho, S.T. ve ark., 2008. **J. Mater. Process. Technol.**, 206 (1-3), pp. 132-142
- Anonim, 2003. Friction stir welding-a new joining method. <http://www.i-car.com.au/pdf/advantage/online/2003/071403.pdf>
- Anonim, 1972. **Metals Handbooks**. Volume 7 Atlas of microstructures of industrial alloys 8 th Edition
- Baumann, J.A. ve ark., 2003. **Friction Stir Welding and Processing II**, eds.: K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, and T.J. Lienert, TMS, pp. 199-207, Warrendale, PA, USA
- Biallas, G. ve ark., 1999. **Proc. 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, June 14-16 1999, Thousand Oaks, CA, USA
- Cavaliere, P. ve ark., 2009. **Mater. Des.**, 30, pp. 609-616
- Cavaliere, P. ve ark., 2005. **J. Mater. Sci.**, 44, pp. 3669-3676
- Cavaliere, P. ve ark., 2006. **Int. J. Mach. Tools Manuf.**, 46, pp. 588-594
- Chen, C.M. ve Kovacevic, R., 2004. **Int. J. Mach. Tool. Manufact.**, 44 (11), pp. 1205-1214
- Çam, G. ve Koçak, M., 1999. **Joining of Advanced Materials**, Area 6: Materials Science and Engineering, Topic 6.36.4: Materials Processing and Manufacturing Technologies, edited by Rees D. Rawlings, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, (on line). Available at: <http://www.eolss.net/>
- Çam, G., 2001. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, **Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, 19-20 October 2001, S. 267-277, İstanbul
- Çam, G., 2003. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, **Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı**, 24-26 Ekim 2003, S. 47-64, Kocaeli
- Çam, G., 2005. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, **Kaynak Teknolojisi V. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, 11-12 Kasım 2005, S. 87-97, Kocaeli
- Çam, G., 2005. **Mühendis ve Makina**, 46 (541), S. 30-39
- Çam, G. ve ark., 2009a. **Weld. J.**, 88 (11), pp. 225s-232s
- Çam, G. ve ark., 2009b. **Mat.-wiss. u. Werkstofftech.**, 40 (8), pp. 638-642
- Çam, G. ve ark., 2008. **Mat.-wiss. u. Werkstofftech.**, 39 (6), pp. 394-399
- Çam, G., 2011. **Int. Mater. Rev.**, 56 (1), pp. 1-48
- Dalle Donne, C. ve ark., 1998. **Mat.-wiss u. Werkstofftech.**, 29 (10), pp. 609-617
- Dawes, C.J. ve Thomas, W.M., 1995. Friction stir joining of aluminium alloys, **TWI Bulletin**, 6, Nov.-Dec. 1995
- Fuchs, U. ve ark., 2008. **Mat.-wiss. u. Werkstofftech.**, 39 (8), pp. 531-544
- Gerlich, A. ve ark., 2007. **Sci. Technol. Weld. Join.**, 12 (6), pp. 472-480
- Gerlich, A. ve ark., 2005. **Sci. Technol. Weld. Join.**, 10 (6), pp. 647-65
- Johnson, R., 2003. **Mater. Sci. Forum**, 419-424, pp. 365-370
- Kazi, S.H. ve Murr, L.E., 2001, in **Friction Stir Welding and Processing**, eds.: K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, and D.P. Field, TMS, 139, Warrendale, PA, USA
- Khan, M.I. ve ark., 2007. **Sci. Technol. Weld. Join.**, 12 (2), pp. 175-182
- Khodir, S.A. ve Shibayanagi, T., 2008. **Mater. Sci. Eng. B**, 148 (1-3), pp. 82-87

- Khodir, S.A. ve Shibayanagi, T., 2007. **Mater. Trans**, 48 (9), pp. 2501-2505
- Kimapong, K. ve Watanabe, T., 2004. **Weld. J.**, 83 (10), pp. 277s-282s
- Larsson, H. ve ark., 2000. **Proc. 2nd Int. Symp. on Friction Stir Welding**, June 26-28 2000, Gothenburg, Sweden
- Lederich, R.J. ve ark., 2001. **Friction Stir Welding and Processing**, eds.: K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, and D.P. Fiedel, TMS, pp. 71-81, Warrendale, PA, USA
- Lee, W.B. ve ark., 2001. **Friction Stir Welding and Processing**, eds.: K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, and D.P. Fiedel, TMS, p. 123, Warrendale, PA, USA
- Lee, W.B. ve ark., 2003. **Scripta Mater.**, 49 (5), pp. 423-428
- Li, Y. ve ark., 1999. **Scripta Mater.**, 40 (9), pp. 1041-1046
- Lim, S.G. ve ark., 2004. **Mater. Trans. A**, 35 (9), pp. 2837-2843
- Lomolino ve ark., 2005, On the fatigue behavior and design curves of friction stir butt-welded Al alloys, **International Journal of Fatigue**, 27, 305-316
- Mishra, R.S. ve Ma, Z.Y., 2005. **Mater. Sci. Eng. R**, 50 (1-2), pp. 1-78
- Moreira, P.M.G.P. ve ark., 2009. **Mater. Des.**, 30 (1), pp. 180-187
- Murr, L.E. ve ark., 1998. **Mater. Res. Innovat.**, 2 (3), pp. 150-163
- Murr, L.E. ve ark., 2000. **Mater. Technol.**, 15 (1), pp. 37-48
- Murr, L.E. ve ark., 2001. **Aluminum 2001-Proc. the TMS 2001 Annual Meeting Aluminum Automotive and Joining Symp.**, eds.: S.K. Das, J.G. Kaufman, and T.J. Lienert, TMS, 2001, Warrendale, PA, USA
- Nandan, R. ve ark., 2008. **Progress in Materials Science**, 53, pp. 980-1023
- Nicholas, D., 1999. **TWI Bulletin**, 6, Nov.-Dec. 1991, pp. 124-127
- Ouyang, J.H. ve Kovacevic, R., 2002. **J. Mater. Eng. Perform.**, 2002, 11 (1), 51-63
- P.M.G.P. Moreira, T. Santos, S.M.O. Tavares, V. Richter-Trummer, P. Vilaça, P.M.S.T. de Castro, 2009. Mechanical and metallurgical characterization of friction stir welding joints of AA6061-T6 with AA6082-T6. **Materials and Design**, 30, pp. 180-187
- Reynolds, A.P. ve ark., 1999. **Proc. 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, June 14-16 1999, Thousand Oaks, CA, USA
- Sarsilmaz, F., 2008. **PhD Thesis**, Firat University, Elazig, Turkey
- Sato, Y.S. ve ark., 2004. **Scripta Mater.**, 50 (9), pp. 1233-1236
- Somasekharan, A.C. ve Murr, L.E., 2004. **Mater. Charact.**, 52 (1), pp. 49-64
- Srivatsan, T.S. ve ark., 2007. **Mater. Sci. Eng. A**, 466 (1-2), pp. 235-245
- Su, P. ve ark., 2006. **Sci. Technol. Weld. Join.**, 11 (1), pp. 61-71
- Thomas, W.M. ve ark., 1991. **Friction stir butt welding**, International Patent Appl. No. PCT/GB92/0220 ve GB Patent Appl. No. 9125978.8, Dec. 1991, US Patent No. 5,460,317
- Threadgill, P.L., 1997. **TWI Bulletin**, March/April 1997
- Threadgill, P.L. ve ark., 2009. **Int. Mater. Rev.**, 54 (2), pp. 49-93
- Von Strombeck, A. ve ark., 2001. **Proc. of the TMS 2001 Annual Meeting Aluminum, Automotive and Joining** (New Orleans, Louisiana, USA, February 12-14, 2001), eds: S.K. Das, J.G. Kaufman, and T.J. Lienert, pub.: TMS, pp. 249-264, Warrendale, PA, USA
- Wert, J.A., 2003. **Scripta Mater.**, 49 (6), pp. 607-612
- Yavuz, H. ve Çam, G., 2001. **Endüstri ve Otomasyon**, 51, S. 18-20

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi, düzenlenmesi ve sonuçlandırılmasında özverili destek ve katkılarından dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Gürel ÇAM'a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Alüminyum levhaların temininde yardımcı olan SEYKOÇ Alüminyum'a, levhaların kesim işlemlerini yapan GÖKSAN Makine personeline, karıştırıcı uç malzeme ve imalatında katkı sunan ÖZNUR Metal'e, kaynak çalışmaları esnasında özverili desteğinden dolayı MEÜ TBMYO Makine laboratuvarı teknikeri Yıldırım ERDOĞAN'a, mekanik test numunelerinin hazırlanmasında [Altunorak Kalıp Makine ve İmalat San. Tic. Ltd.Şti.](#)'ne, mekanik ve metalografik numune deneme işlemlerinde yardımcı olan ÇÜ Makine Mühendisliği ve Maden Mühendisliği İnce Kesit laboratuvar personeline, çekme testlerini laboratuvarlarında yapma olanağı bulduğum Bursa [PMS Metal Profil Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.](#)'ye, metalografik yüzey hazırlama ve mikrosertlik ölçme işlemlerini yapmam için laboratuvar imkanlarını sunan [BERDAN Makine Cıvata Somun Tic. Ltd. Şti](#)'ne ve Metalurji Müh. Haluk SALTEKİN'e, MEÜ TEF Öğretim Üyesi Prof. Dr. Kemal KÜLEKÇİ'ye, Uzman Şeref ÖCALIR'a, mikroyapı görüntüleri almamda her türlü destek ve olanak sağlayan Prof. Dr. Fatih KÖLELİ'ye, tez çalışmam sürecinde göstermiş olduğu sonsuz sabır ve desteğinden dolayı Öğr. Gör. M. Akın ÇÖMELEKOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam esnasında manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim sevgili aileme, rahmetli babam İbrahim Halil METİN'e ve dostlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılı Elazığ doğumluyum. İlk, orta, lise ve üniversite öğrenimimi aynı ilde tamamlayıp Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 1996 yılında mezun oldum. Aynı yıl Bursa'da özel sektörde makine mühendisi olarak çalışmaya başladım. 1998 yılında Mersin Üniversitesi TBMYO'ya öğretim görevlisi olarak atandım. Halen MEÜ TBMYO'da Müdür Yardımcılığı ile Elektrik ve Enerji Bölüm Başkanlığı görevlerini yürütmekteyim.