

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA
KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK
EDİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Anıl EMİRALIOĞLU

Ekim, 2017
İZMİR

**FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA
KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK
EDİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Programı

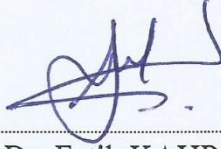
Anıl EMİRALIOĞLU

Ekim, 2017

İZMİR

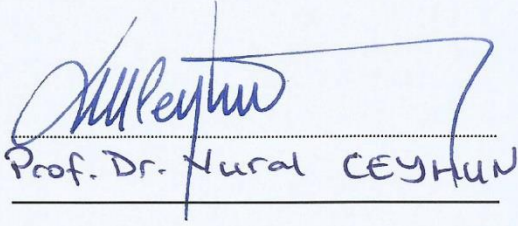
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ANIL EMİRALİOĞLU, tarafından YRD. DOÇ. DR. FATİH KAHRAMAN yönetiminde hazırlanan “FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



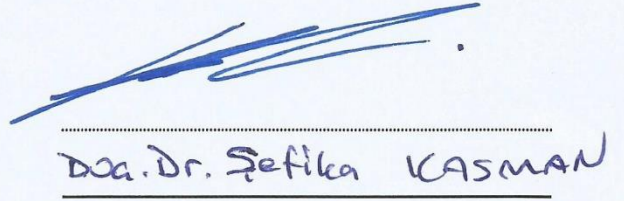
Yrd. Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN

Yönetici



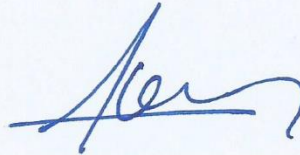
Prof. Dr. Nural CEYHAN

(Jüri Üyesi)



Doç. Dr. Şefika KASMAN

(Jüri Üyesi)



Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

İlk olarak yüksek lisans tezimin tüm aşamalarında beni destekleyen ve ışık tutan, bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra insani yönleri ile de ilerideki yaşamımda bana örnek teşkil eden değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN' a şükranlarımı sunarım.

Çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve birikimlerini esirgemeyen Doç. Dr. Şefika KASMAN' a teşekkür ederim.

Kaynak sonrası gerekli testlerin yapılması sırasında laboratuvar imkânlarından yararlanmamı sağlayan Ar. Gör. Haydar KAHRAMAN' a teşekkür ederim. Ayrıca sertlik testlerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Ar. Gör. Ramazan DALMIŞ' a teşekkür ederim.

Tez yazımı esnasında manevi desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Oya TABANOĞLU' na teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmemde bana karşı maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Anıl EMİRALIOĞLU

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ

ÖZ

Sürtünme karıştırma kaynağı yeni bir katı hal birleştirme işlemidir. Bu kaynak yöntemi otomotiv, havacılık, gemi taşımacılığı, raylı sistemler ve makine endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem klasik kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi zor olan yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları ve diğer metal alaşımların birleştirilmesinde kullanılabilir. Tez kapsamında AA6082-T6 ve AA7075-T651 alaşımı plakaların sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynak edilebilirliğine ve kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerine takım pim profilinin, takım dönme hızının ve takım ilerleme hızının etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üçgen, beşgen ve helisel olmak üzere üç farklı takım pim profili kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin yapısal incelemeleri yapılmış, sertlik ve çekme değerleri ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre helisel profilli pim ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, takım pim profili, takım dönme hızı, takım ilerleme hızları, AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımları

EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON WELDABILITY AT FRICTION STIR DISSIMILAR WELDING OF ALUMINUM ALLOYS

ABSTRACT

Friction stir welding is a new solid-state joining process. This welding method is used widely in automotive, aerospace, shipping, railway rolling stock and machine industry. This method can be used to join high-strength aluminum alloys and other metallic alloys that are hard to join by conventional welding processes. The aim of this thesis is to investigate the effect of pin shape, tool rotational speed and welding speed on mechanical properties of dissimilar friction stir welding of AA6082-T6 and AA7075-T651 aluminum alloys. Three different pins shaped in triangular, pentagonal and helical are used in welding process. Structural investigations, hardness tests and tensile tests applied on welded samples. From the tensile test results and hardness measurement results, it was found that helical pin has better results than the other pin profiles.

Keywords: Friction stir welding, tool rotational speed, welding speed, pin shape, AA6082-T6 and AA7075-T651 aluminum alloys

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş.....	1
BÖLÜM İKİ - SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	5
2.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK)	5
2.1.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları	6
2.1.2 Uygulama Alanları.....	7
2.1.2.1 Gemi İnşa ve Denizcilik Endüstrisi	7
2.1.2.2 Havacılık Endüstrisi.....	8
2.1.2.3 Demiryolu Endüstrisi	8
2.1.2.4 Karayolu Ulaşımı	9
2.1.3 Sürtünme Karıştırma Kaynağının Metalürjik Yapısı.....	10
2.1.3.1 Isıdan Etkilenen Bölge (IEB).....	11
2.1.3.2 Termomekanik Etkilenen Bölge (TEB).....	11
2.1.3.3 Kaynak Merkezi (KM).....	11
BÖLÜM ÜÇ - DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	12
3.1 Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	12

3.2 Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulaması	12
3.2.1 Kaynak Ön Hazırlığı.....	12
3.2.2 Takım Pimi ve Kaynak Bağlantı Elemanları	13
3.2.3 Kaynak İşlemi.....	15
3.2.4 Kaynak Parametreleri.....	16
3.3 Numunelerin Hazırlanması.....	18
3.3.1 Metalografik Muayene İçin Numune Hazırlanması	18
3.3.2 Çekme Testi İçin Numune Hazırlanması.....	19
3.3.3 Mikrosertlik Ölçümleri İçin Numune Hazırlanması.....	19
BÖLÜM DÖRT – BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1 Metalografik Muayene	20
4.1.1 Makroskobik Muayene.....	20
4.1.1.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları .	20
4.1.1.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları .	23
4.1.1.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları .	26
4.1.2 Mikroskobik Muayene.....	29
4.1.2.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskobik Muayene Sonuçları..	30
4.1.2.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskobik Muayene Sonuçları..	31
4.1.2.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskobik Muayene Sonuçları..	33
4.2 Çekme Testi.....	35

4.2.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları.....	35
4.2.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları.....	37
4.2.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları.....	40
4.3 Mikrosertlik Değerleri	43
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi	5
Şekil 2.2 Katamaran gövdesi yapımında SKK kullanımı	7
Şekil 2.3 Uçak gövdesi ve roket yakıt tanklarında SKK kullanımı	8
Şekil 2.4 Banliyö treni gövdesinde SKK kullanımı	9
Şekil 2.5 Silindir ve jant üretiminde SKK kullanımı	10
Şekil 2.6 SKK'nın kaynak bölgesinin metalurjik yapısının şematik görünümü.....	10
Şekil 3.1 Farklı geometriye sahip takım pimi ve takımların tasarımı	13
Şekil 3.2 Kaynak kalıbı ve numune bağlama aparatı.....	14
Şekil 3.3 Hızlı bağlantı elemanı	14
Şekil 3.4 SKK yapılan universal freze tezgahı.....	15
Şekil 3.5 Kaynak işlemi ve kaynak dikişi	16
Şekil 3.6 Metal Parlatma Tezgahı	18
Şekil 3.7 Çekme Testi Numunesi.....	19
Şekil 4.1 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	21
Şekil 4.2 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	21
Şekil 4.3 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	21
Şekil 4.4 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	22
Şekil 4.5 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	22
Şekil 4.6 TDH=500 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	23
Şekil 4.7 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	23
Şekil 4.8 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	24

Şekil 4.9 TDH=500 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	24
Şekil 4.10 TDH=630 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	24
Şekil 4.11 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	25
Şekil 4.12 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	25
Şekil 4.13 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	25
Şekil 4.14 TDH=500 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	26
Şekil 4.15 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	27
Şekil 4.16 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	27
Şekil 4.17 TDH=500 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	27
Şekil 4.18 TDH=630 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	27
Şekil 4.19 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	28
Şekil 4.20 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	28
Şekil 4.21 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü	28
Şekil 4.22 IEB ve KM bölgesindeki tane yapıları (50x).....	30
Şekil 4.23 TEB ve KM bölgeleri ile soğan halkası oluşumu (5x)	30
Şekil 4.24 7 ve 23 no'lu numunelerdeki boşluk hataları (5x)	30
Şekil 4.25 IEB-TEB-KM kaynak bölgeleri (5x).....	31
Şekil 4.26 14 no'lu numunenin kaynak bölgeleri (5x).....	31
Şekil 4.27 14 no'lu numunenin TEB ve KM tanecik yapıları (50x).....	32
Şekil 4.28 10 no'lu numunenin KM, TEB ve IEB tanecik yapıları (50x)	32

Şekil 4.29 Boşluk Hataları (5x).....	32
Şekil 4.30 Helisel pim ile kaynağı gerçekleştirilen numunelerin kaynak bölgelerinin genel olarak görüntüsü (5x).....	33
Şekil 4.31 Kaynak bölgelerinin tanecik yapıları	33
Şekil 4.32 21 ve 22 no'lu numunelerde meydana gelen boşluk hataları (5x)	34
Şekil 4.33 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Üçgen pim)	37
Şekil 4.34 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Beşgen pim)	39
Şekil 4.35 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Helisel pim)	42



TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri.....	12
Tablo 3.2 AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşenleri.	12
Tablo 3.3 Kaynak parametreleri.....	16
Tablo 3.4 Kaynak parametrelerinin numunelere göre dağılımı	17
Tablo 4.1 Çekme testi sonuçları.....	36
Tablo 4.2 Çekme testi sonuçları.....	38
Tablo 4.4 Üçgen pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri.....	44
Tablo 4.5 Beşgen pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri.....	45
Tablo 4.6 Helisel pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri	46

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Alüminyum alaşımlarının sahip olduğu, ağırlığına oranla yüksek dayanım gösterebilme, yüksek korozyon dayanımı, yüksek elektrik ve termal iletkenlik, kolay şekillendirilebilme gibi özellikler bu tür alaşımlara olan talebin artmasına sebep olmuştur (Lakshminarayanan, Balasubramanian ve Elangovan, 2009). Bu talep artışı nedeniyle alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde endüstride en sık kullanılan imal usüllerinden olan kaynak yönteminden faydalanmak zorunluluk haline gelmiştir. Fakat alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağında, kaynaklı bağlantıda kötü mekanik özellikler, kaynak bölgesindeki alaşım elementlerinde kayıplar ve porozite ve çatlak hataları gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (DebRoy ve Bhadeshia, 2010).

Ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirliği düşük bir malzeme olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında karşılaşılan sorunların birçok nedeni vardır. Alüminyumun oksijene karşı olan ilgisi yüksek olduğundan hava ile temasında yüzeyinde çok çabuk bir şekilde alüminyum oksit (Al_2O_3) tabakası oluşur. Bu oksit tabakasının ergime sıcaklığının saf alüminyumun ergime sıcaklığına göre oldukça yüksek olması nedeniyle ergitme kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak işlemlerinde bu tabakanın ergitilebilmesi için yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Fakat bu sıcaklıklardan çok daha düşük ergime noktasına sahip olan alüminyum malzemesi ergir ve dolgu malzemesiyle esas malzeme birleşmemiş olur. Aynı zamanda ısı iletim katsayısı yüksek olan alüminyum malzemelerin ergitme kaynağı yöntemleriyle kaynağında yüksek ısı girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Kaynak bölgesinin ısı yoğunluğunun sağlanabilmesi yüksek ısı girdisine bağlıdır. Yüksek ısı girdisi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB)' ın daha geniş olmasına yol açmaktadır. Ergiyen malzeme yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğundan çabuk katılaşma gerçekleşmekte ve bu durum gözeneklerin meydana gelme olasılığını arttırmaktadır. Bunun yanında yüksek ısıl genleşme nedeniyle büyük distorsiyonlar ve bu distorsiyonların bir sonucu olarak gerilme çatlakları oluşur. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme

karıştırma kaynağı yöntemi ise malzemelerin ergitilmeden birleştirilmesini sağladığı için bu sorunların oluşması olabildiğince engellenebilmektedir (Çam, 2002).

AA6082-T6 alaşımı 6000 serisi alüminyum alaşımları arasında iyi mekanik özelliklere sahip olmasıyla ve özellikle yüksek korozyon direnciyle dikkat çekmektedir. Alaşımın ana elementleri magnezyum ve silisyumdur. Kafes sistemine sahip yapılarda, vinçlerde ve köprü vb. yapılarda kullanılmaktadır. AA7075-T651 alaşımını oluşturan ana elementler ise çinko ve magnezyum elementleridir. Nispeten tok bir yapıya sahip olan AA7075-T651 alaşımı, yüksek korozyon direncine ve mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle havacılık ve uzay sektörü kullanım alanlarının büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Bu iki alaşım da geleneksel kaynak yöntemleriyle kaynak edilebilirliği düşük alaşımlardır. Bu nedenle birleştirme işlemi için sürtünme karıştırma kaynağı uygun bir yöntemdir.

Sürtünme karıştırma kaynağı Wayne Thomas tarafından The Welding Institute (TWI) çatısı altında 1991 yılında geliştirilen bir katı hal kaynak yöntemidir (Takhakh ve Shakir, 2012). Geleneksel kaynak yöntemlerine göre oldukça yeni sayılabilecek bu yöntem önemli avantajlara sahiptir. Alüminyum, bakır, magnezyum gibi görece düşük erime sıcaklığına sahip, yumuşak ve ergitilerek birleştirilmesi zor olan malzemelerin kaynak işlemlerinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Wei, Li, Xiong, Huang ve Zhang, 2012). Yüksek ısılara çıkılmaması nedeni ile düşük distorsiyona neden olması, ısıl gerilmelerinin az olması nedeniyle kırılmaları engellemesi, mekanik özelliklerde iyi sonuçlar vermesi, hızlı soğumanın neden olduğu porozite oluşumunu engellemesi ve hızlı bir proses olması başlıca avantajlarıdır (DeRoy ve Bhadeshia, 2010).

Daniolos ve Pantelis (2016), AA7075-T651 ve AA6082-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilmesini sağlamış ve kaynak sonrası elde edilen numunelerin mikro ve makroyapılarını, mikrosertliklerini ve çekme sonuçlarını incelemişlerdir. Sol helisel silindirik pim kullanılan çalışmada takım ilerleme hızı ve devir sayısı sabit tutulup sonuçlar aynı malzemelerin birbirleriyle SKK yardımıyla birleştirilmesi sonucu elde edilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Çekme testleri sonucu tüm numunelerin ısı etkisi altındaki bölgeden koptuğu ve bunun kaynak bölgesinin istenilen kalitede olduğunun kanıtı olduğu, farklı

malzemelerin birleştirilmesi sonucu çekme değerlerinin düştüğü, kaynağın daha sünek davranış sergilediği, mikrosertlik ölçümlerinde düzenli bir dağılım gözükmediği gözlemlenmiştir.

Barlas (2015), AA7075-T651 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde, takım dönme hızı parametresini sabit tutup farklı takım ilerleme hızları kullanarak takım ilerleme hızının kaynak işlemine olan etkilerini incelemiştir. Takım ilerleme hızındaki artışın boşluk, oyuk vb. kaynak hatalarına yol açtığı ve bu nedenle takım ilerleme hızı yükseldikçe çekme özelliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Palanivel, Koshy Mathews, Murugan ve Dinaharan (2012), AA5083-H111 ve AA6351-T6 alüminyum alaşımlarını SKK kullanarak birbirleri ile birleştirmiş, farklı takım pim profillerinin ve takım dönme hızının mikroyapı özellikleri ve çekme dayanımlarına etkisini incelemiştir. Kare, altıgen, sekizgen, konikleştirilmiş kare ve konikleştirilmiş sekizgen olmak üzere beş farklı takım pim geometrisi kullanılan çalışmada konikleştirilmiş takım pimleriyle yapılan birleştirilme işlemlerinin mikroyapısal incelemelerinde tünel benzeri oyuk hataları gözlemlenmiştir. Dolayısıyla çekme testlerinde konikleştirilmiş uçların daha düşük sonuçlar verdiğine ulaşılmıştır.

Ravikumar, Rao ve Ranjan (2013), AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının SKK ile birleştirilmesinde takım dönüş hızının, takım ilerleme hızının ve farklı geometriye sahip takım pimlerinin etkisini incelemiştir. Konikleştirilmiş silindirik dişli pim, konikleştirilmiş kare pim ve kare pim olmak üzere üç farklı geometriye sahip pim kullanılmış, en iyi sonucu konikleştirilmiş silindirik dişli pim ile elde etmişlerdir. Fakat takım eğiklik açısını sıfır derece tutarak gerçekleştirdikleri birleştirme işlemlerinde kaynak bölgesinde hatalar olduğunu ve malzeme dayanımının azaldığını gözlemledikleri için bir veya iki derecelik açı vermenin daha iyi sonuçlara ulaştıracağını belirtmişlerdir.

Erişime açık literatürde AA6082 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının SKK ile birleştirilmesinde farklı takım pim geometrilerinin etkilerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez kapsamında, bir katı hal kaynak yöntemi olan

sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilen AA6082-T6 ve AA7075-T651 malzemelerinin birbirleri ile kaynak edilebilirliğine, takım dönme hızının, takım ilerleme hızının ve takım pim geometrisinin etkileri mikro ve makroyapısal olarak, mikrosertlik ve çekme testleri sonuçları yardımıyla incelenmiştir.



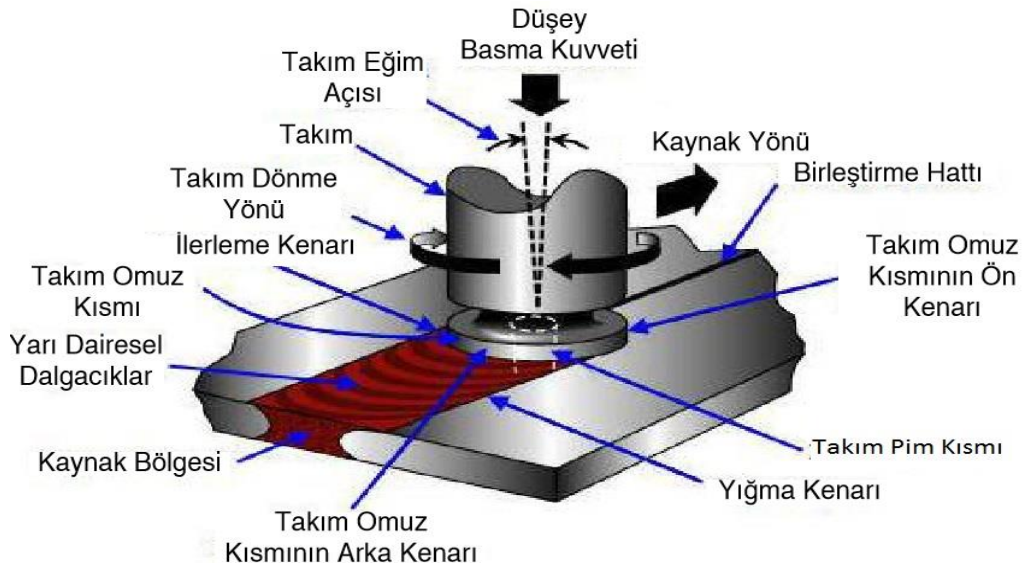
BÖLÜM İKİ

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

2.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK)

Sürtünme karıştırma kaynağı iki ince levha ya da sac tabakalarının birleştirilmesinde genellikle ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinde zorlanılan alüminyum, bakır, magnezyum gibi yumuşak malzemelerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Wei ve diğer., 2012).

Birleştirme işleminde kullanılan takım (Şekil 2.1), takım pimi ve omuz olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Takım pimi alın altına kaynak yapılacak şekilde sabitlenmiş levhaların bitişik yüzeylerine daldırılır, omuz kısmı ise levhaların yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanır. Kaynak nüfuziyeti, takım piminin dalma miktarıdır. Belirli bir devirle dönmesi sağlanan takım, sürtünmenin yardımıyla ısı oluşturur ve malzemeleri yumuşatmaya başlar. Yumuşamaya başlayan malzemeler takımın dönme hareketi ve ilerleme hareketini bir arada yapmasıyla levhalar boyunca birbirleriyle karışır ve kaynak dikişini oluşturur (Ambriz ve Mayagoitia, 2011).



Şekil 2.1 Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (Yılmaz ve diğer., 2016)

2.1.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları

SKK işlemi birleştirilecek malzemelerin katı fazda birleşmesini sağlayarak ergitme kaynağı ile birleştirme işlemi sırasında meydana gelebilecek kaynak hatalarının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda otomasyonunun kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve işlemin hızlı olması da ekonomik açıdan büyük avantajlarıdır. Yöntemin diğer avantajları şunlardır:

- Porozite oluşmaz.
- Distorsiyon ve çekme payı değerleri ergitme kaynağına göre düşük seviyededir.
- Ark oluşumu olmadığından duman meydana gelmez.
- Enerji verimliliği yüksektir.
- Alüminyum kaynakları için koruyucu gaza ihtiyaç yoktur.
- Kaynak teline ihtiyaç yoktur.
- 75 mm'den daha kalın alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi tek pasoda gerçekleştirilebilir.
- SKK ile birleştirilen malzemeler yorulma ve çekme testlerinde ergitme kaynağı ile birleştirilen malzemelere kıyasla iyi sonuçlar vermektedir.
- Herhangi bir sıçramaya neden olmaz.
- Kaynak işleminden sonra daha az taşlama vb. yüzey temizleme proseslerine ihtiyaç duyulur. Duruma göre ihtiyaç duyulmayabilir.
- Kaynak takımı özellikle yumuşak malzemelerin kaynağında uzun süre işlevini yitirmez (The Welding Institute [TWI], bt).

Yöntemin dezavantajları ise şunlardır:

- İş parçalarının kaynak işlemi için sıkıca sabitlenmesi gereklidir.
- Kalın levhaların birleştirilmesi için özel tezgahlara gerek duyulmaktadır.
- Tam nüfuziyet için birleştirilen levhalara sadece ön yüzeylerden değil, arka yüzeylerden de kaynak yapılması gerekmektedir.
- İş parçalarının kaynağa hazırlık sürecinde tezgaha sabitlenmesi için gereken süre fazladır.

2.1.2 Uygulama Alanları

SKK diğer kaynak yöntemlerine görece yeni bir kaynak yöntemi olmasına rağmen, avantajları sayesinde sanayide hızlıca yayılmış ve birçok farklı alanda kullanılır hale gelmiştir. Özellikle güvenliğin ön planda olduğu havacılıkta kullanılan yakıt tanklarının kaynağında, demiryolu alanında, otomotiv ve denizcilik endüstrilerinde gün geçtikçe kullanımı artmaktadır (TWI, bt).

2.1.2.1 Gemi İnşa ve Denizcilik Endüstrisi

TWI raporlarına göre sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin en sık kullanıldığı iki alandan biridir.

SKK'nin kullanıldığı alanlar:

- Gemi bölmelerinde kullanılan panellerin birleştirilmesinde,
- Geminin su içinde yüzen kısmında ve üst yapılarda,
- Helikopter iniş bölgelerinde,
- Nakliye gemilerinde,
- Gemi ana direklerinin gövde ile birleştirilmesinde,
- Soğutma tesislerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 Katamaran gövdesi yapımında SKK kullanımı (TWI, bt)

2.1.2.2 Havacılık Endüstrisi

Askeri ve sivil havacılıkta birçok alanda kullanılmaktadır. Hem ürün yapımında hem de prototip yapımında tercih edilmektedir. Özellikle alüminyum yakıt tanklarının kaynağında iyi sonuçlar vermiş olması bu alanda büyük kolaylıklar sağlamıştır.

SKK'nin kullanıldığı alanlar:

- Gövde, kanatlar ve kuyrukta,
- Uzay araçları için soğuk iklim yakıt tanklarında,
- Uçaklar için kullanılan yakıt tanklarında,
- Askeri ve bilimsel roketlerin yakıt tanklarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Uçak gövdesi ve roket yakıt tanklarında SKK kullanımı (TWI, bt)

2.1.2.3 Demiryolu Endüstrisi

SKK'nin kullanıldığı alanlar:

- Yüksek hızlı trenler,
- Demiryolu tankerleri ve yük vagonları,
- Konteynır gövdeleri,
- Yeraltı taşımacılığı, lokomotifler ve tramvaylar.



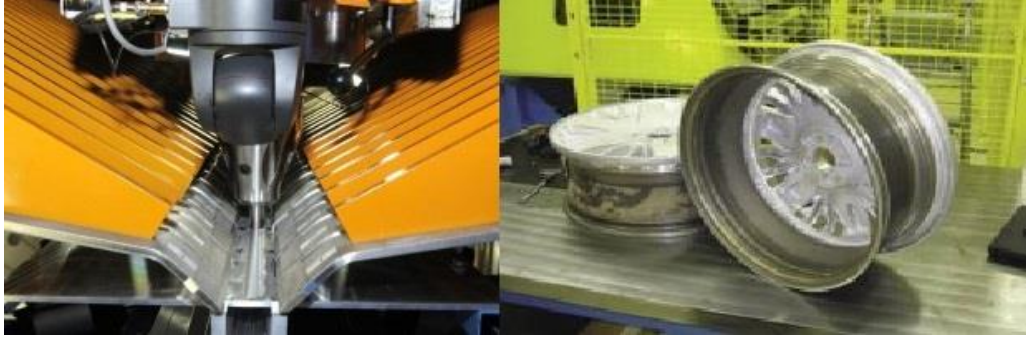
Şekil 2.4 Banliyö treni gövdesinde SKK kullanımı (TWI, bt)

2.1.2.4 Karayolu Ulaşımı

Birçok otomotiv şirketi ve tedarikçileri tarafından sürtünme karıştırma kaynağı günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır.

SKK'nin kullanıldığı alanlar:

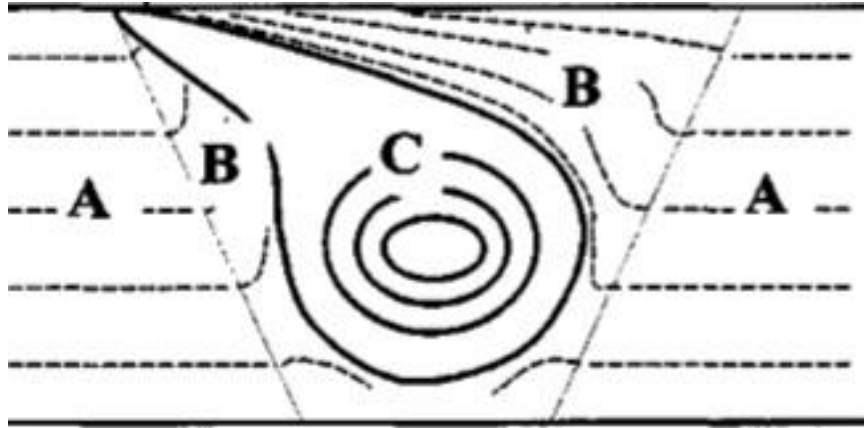
- Motor ve şasi yatakları,
- Jantlar,
- Yakıt tankları,
- Karavanlar,
- Gezer vinçler,
- Otobüs ve uçak pisti taşıtları,
- Zırhlı araçlar,
- Kamyon ve tır gövdesi ile römork bağlantıları.



Şekil 2.5 Silindir ve jant üretiminde SKK kullanımı (TWI, bt)

2.1.3 Sürtünme Karıştırma Kaynağının Metalürjik Yapısı

Sürtünme karıştırma kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğundan yüksek sıcaklıklara ulaşılmadan kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle ergitme kaynak yöntemlerine kıyasla ısıdan etkilenen bölge oldukça dardır. Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler kaynak merkezi (KM) ya da dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge, termomekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve ısıdan etkilenen bölge (IEB) olarak adlandırılmaktadır (Kurt, Boz ve Özdemir, 2004). Şekil 2.6’da sürtünme karıştırma kaynağının kaynak bölgesinin metalürjik yapısının şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 2.6 SKK'nın kaynak bölgesinin metalürjik yapısının şematik görünümü (Ataoğlu, Mıstıkoğlu ve Çam, 2003)

A bölgesi (IEB) : Isıdan etkilenen bölge

B bölgesi (TEB): Termomekanik olarak etkilenen bölge

C bölgesi (KM) : Kaynak Merkezi

2.1.3.1 Isıdan Etkilenen Bölge (IEB)

Isıdan etkilenmeyen ana malzemeye en yakın kaynak bölgesidir. Kaynak işlemi sırasında bu bölge ısıdan etkilenir ve ana malzemeye göre tane yapılarında değişimler gözlenir. Bu değişimler genellikle tane irileşmesi ve tane sınırlarında meydana gelen çökeltiiler şeklinde oluşmaktadır (Mahoney ve diğer., 2001). Bu bölgede plastik deformasyon oluşmaz.

2.1.3.2 Termomekanik Etkilenen Bölge (TEB)

Isıdan etkilenen bölge ile kaynak merkezi arasında kalan bölgedir. Bu bölge yüksek sıcaklık ve yüksek deformasyona maruz kalan bölgedir. Kaynak merkezindeki tanelerin TEB'e ekstrüze edilmesi sonucu yoğun bir dövme olayı meydana gelir. Isı nedeniyle ise tanelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri değişir. Taneler uzar ve yassılaştır.

2.1.3.3 Kaynak Merkezi (KM)

Bu bölgede yoğun plastik deformasyon ve yüksek sürtünme sıcaklıkları meydana gelmektedir. Bunun sonucunda yeniden kristalleşmiş ince taneler oluşmaktadır. Bu nedenle bu bölgenin literatürdeki diğer adı dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgedir (Mishra ve Ma, 2005).

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak birleştirilen iş parçaları olan AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de, kimyasal bileşenleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	AA6082-T6	AA7075-T651
Çekme Dayanımı (MPa)	293,21	576
Uzama (%)	8,12	9
Sertlik Değerleri (HV)	98	175
Elastisite Modülü (GPa)	70	71,7
Özkütle (g/cm ³)	2,70	2,81

Tablo 3.2 AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşenleri

Alaşım / Bileşen	Cu	Si	Mg	Mn	Zn	Ti	Cr	Fe	Al
AA6082 – T6	0,23	0,98	1,02	0,6	0,21	0,01	0,03	0,6	Bal.
AA7075 – T651	1,45	0,15	2,58	0,06	5,72	0,03	0,2	0,16	Bal.

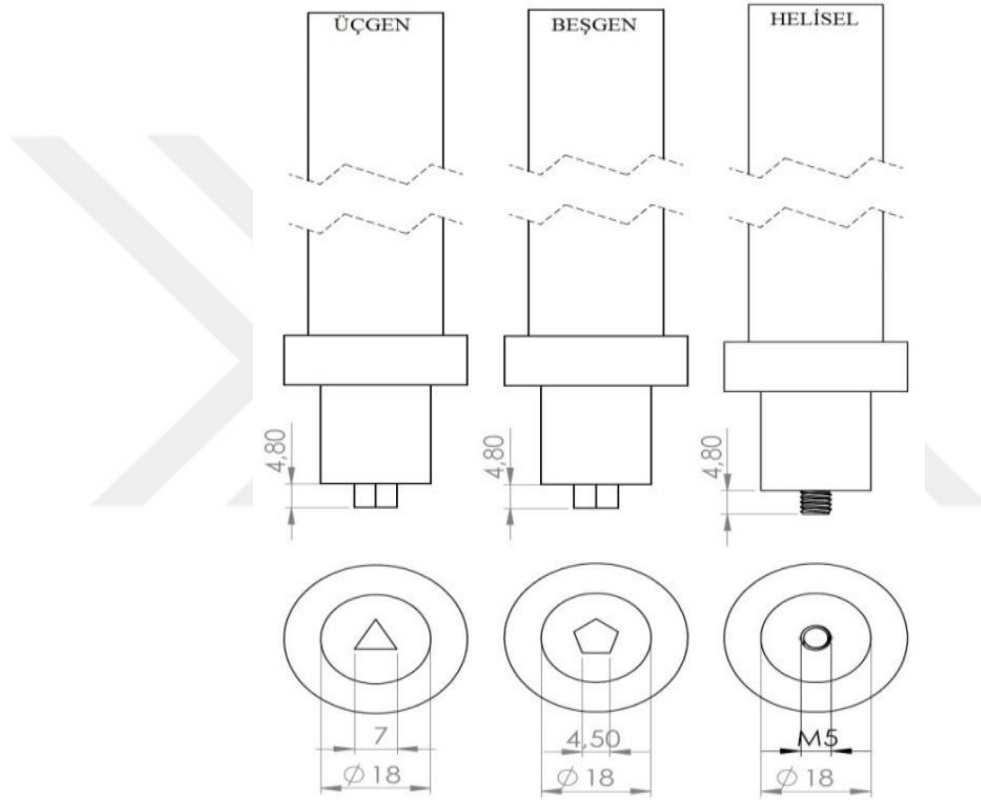
3.2 Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulaması

3.2.1 Kaynak Ön Hazırlığı

AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımları kaynak işlemi için 200x100x5 mm boyutlarında kesilerek levhalar haline getirilmiştir. Kaynak işlemine ön hazırlık olarak kesilen levhaların yüzeyleri temizlenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin avantajlarından biri olarak, geleneksel kaynak yöntemlerinin birçoğunun gerektirdiği yüzey işleme, kaynak ağzı açma veya ısıl işlem uygulama gibi ön hazırlık işlemlerine gerek duyulmamıştır.

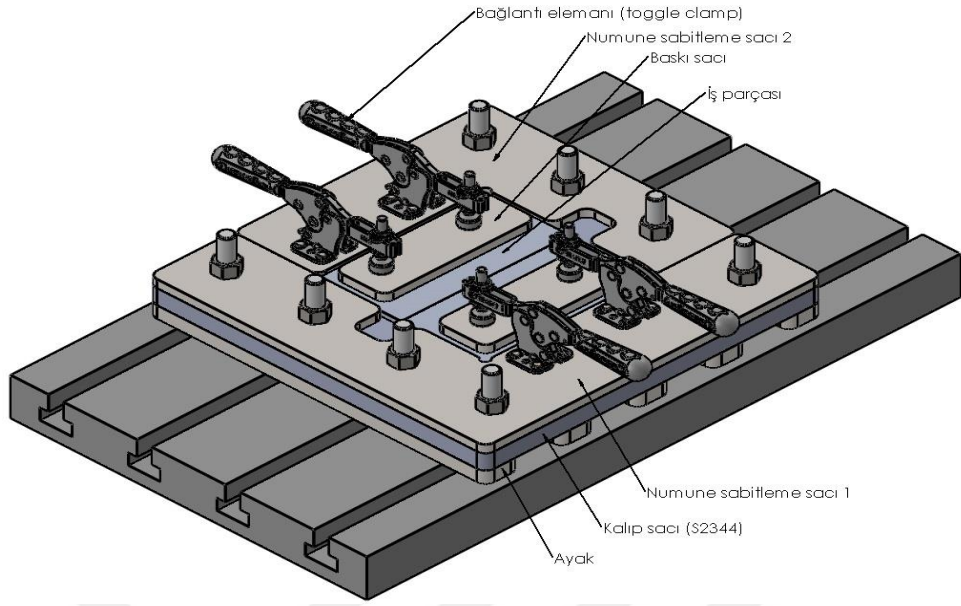
3.2.2 Takım Pimi ve Kaynak Bağlantı Elemanları

Takım pim geometrisinin etkisi tez kapsamında incelenmek istenilen faktörlerden biri olduğu için üçgen, beşgen ve helisel olmak üzere üç farklı takım pim geometrisi kullanılmıştır. Takımlar sıcak iş takım çeliğinden üretilmiştir. Daha sonra takımların sertliği, ısıl işlem uygulanarak 53 HRC değerine ulaşana kadar artırılmıştır. Şekil 3.1’de farklı geometriye sahip takımların tasarımı gösterilmiştir.

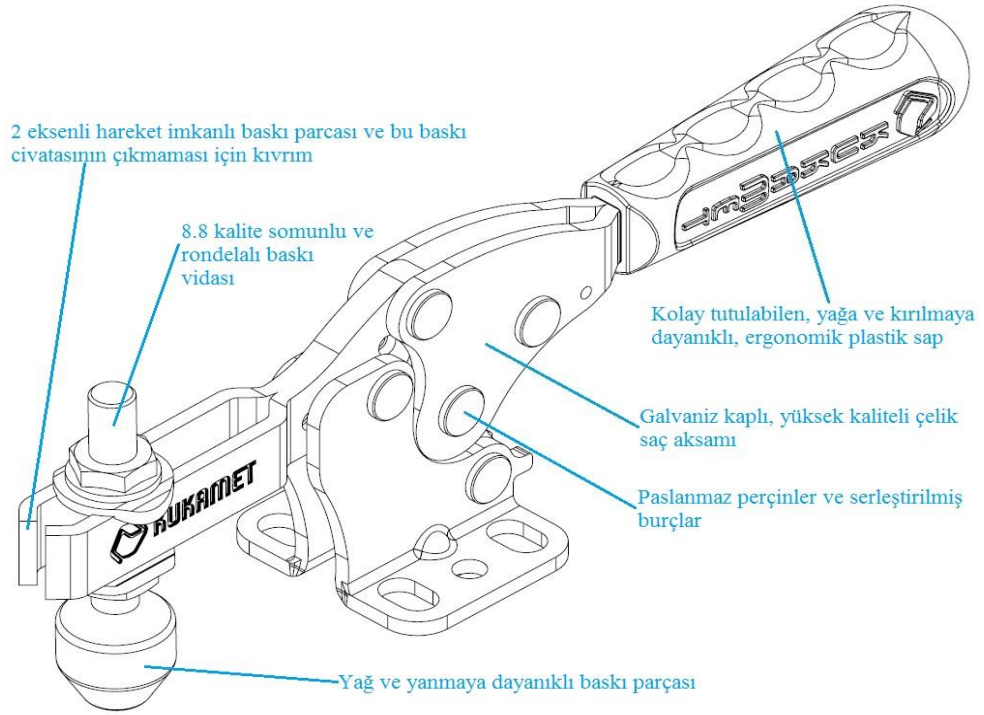


Şekil 3.1 Farklı geometriye sahip takım pimi ve takımların tasarımı

Çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı alın altına kaynak şeklinde yapılacağından, alüminyum alaşımı levhalar alın altına getirilerek aralarında herhangi bir boşluk kalmayacak şekilde rijit olarak sabitlenmiştir. Levhaları sabitlemek için tasarlanan kaynak kalıbı ve numune bağlama aparatları Şekil 3.2’de verilmiştir. Kaynak işlemi için levhaların rijit olarak sabitlenmesi gerektiğinden, levhaların birleştirme işlemi öncesinde bağlantı elemanları kullanılmıştır. (Şekil 3.3)



Şekil 3.2 Kaynak kalıbı ve numune bağlama aparatı



Şekil 3.3 Hızlı bağlantı elemanı (Kukamet, bt)

3.2.3 Kaynak İşlemi

AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi işleminde yarı otomatik üniversal freze tezgahı kullanılmıştır. (Şekil 3.4) Frezenin yatay kısmına kaynak kalıbı monte edilirken, düşey kısmına takım monte edilmiştir.



Şekil 3.4 SKK yapılan üniversal freze tezgahı (Kişisel arşiv, 2015)

Levhalar alın altına gelecek şekilde sabitlendikten sonra takımın omuz kısmı levhalara temas edene kadar takım pimi levhaların birleşme bölgesine daldırılmıştır. Takım eğiklik açısı 2° olarak ayarlanmıştır. Takımın dönme hareketi sonucu sürtünmeden meydana gelen ısının yeterli seviyeye ulaşması için 20 saniye boyunca sadece dönme hareketi yapılmıştır. Yeterli ısıya ulaşıldıktan sonra takıma, parametrelerde yer alan değerlere göre belirli bir takım ilerleme hızı verilerek yatay düzlemde hareket etmesi sağlanmış ve kaynak dikişi oluşturulmuştur. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Kaynak işlemi ve kaynak dikişi (Kişisel arşiv, 2015)

3.2.4 Kaynak Parametreleri

Tez kapsamında gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde takım dönme hızı (TDH), takım ilerleme hızı (TİH) ve takım pim geometrileri (PG) değişken parametreler, takım eğiklik açısı, bekleme süresi ve takım omuz çapı ise sabit parametreler olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere göre 24 adet kaynaklı levha elde edilmiştir. Birleştirme işlemi üçgen pim geometrisine sahip takım ile gerçekleştirilen 500 d/d takım dönme hızı ile 50 mm/d ve 63 mm/d takım ilerleme hızlarına sahip 1 ve 4 no'lu levhalar ile 630 d/d takım dönme hızı ile 63 mm/d takım ilerleme hızına sahip 5 no'lu levhada gözle görülür kaynak hataları oluşmuştur. İstenilen şekilde bir birleştirme işlemi gerçekleştirilemeyen bu levhalardan numune çıkarılmasına gerek duyulmamıştır. Buna göre Tablo 3.3'te kaynak uygulamaları kapsamında kullanılan parametreler ve bu parametreler için seçilen değerler verilmiştir. Tablo 3.4'te ise parametrelerin numunelere göre dağılımları görülmektedir.

Tablo 3.3 Kaynak parametreleri

Parametreler (Birim)	Sembol	Değerler			
Takım Dönme Hızı (d/d)	<i>TDH</i>	500	630	800	1000
Takım İlerleme Hızı (mm/d)	<i>TİH</i>	50	63	80	100
Takım Pim Geometrisi	<i>PG</i>	Ü	B	H	
Takım Omuz Çapı (mm)	D	18			
Takım Eğiklik Açısı (°)	α	2			
Bekleme Süresi (s)	t	20			

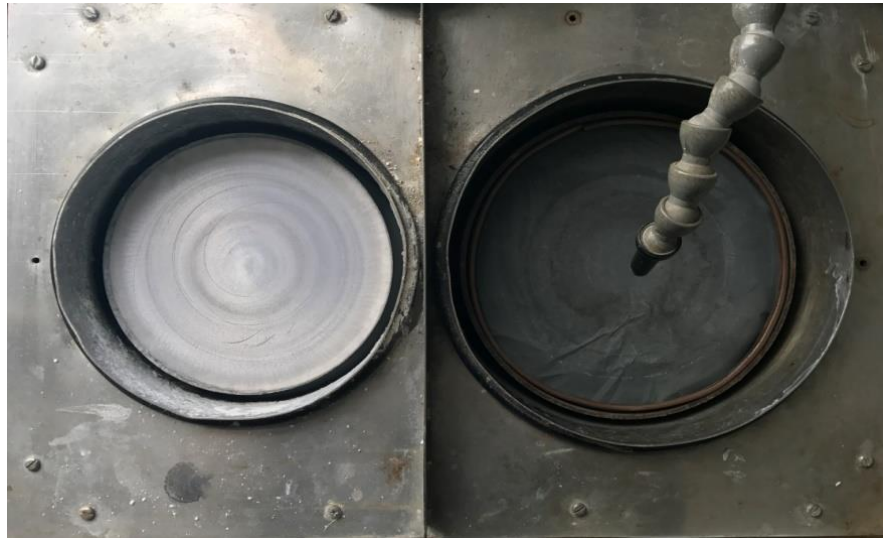
Tablo 3.4 Kaynak parametrelerinin numunelere göre dağılımı

Deney No.	Takım Pim Geometrisi	Takım Dönme Hızı (d/d)	Takım İlerleme Hızı (mm/d)
1	ÜÇGEN	500	50
2		630	50
3		800	50
4		500	63
5		630	63
6		800	63
7		800	80
8	BEŞGEN	500	50
9		630	50
10		800	50
11		500	63
12		630	63
13		800	63
14		800	80
15	HELİSEL	500	50
16		630	50
17		800	50
18		500	63
19		630	63
20		800	63
21		800	80
22		1000	100
23	ÜÇGEN	1000	100
24	BEŞGEN	1000	100

3.3 Numunelerin Hazırlanması

3.3.1 Metalografik Muayene İçin Numune Hazırlanması

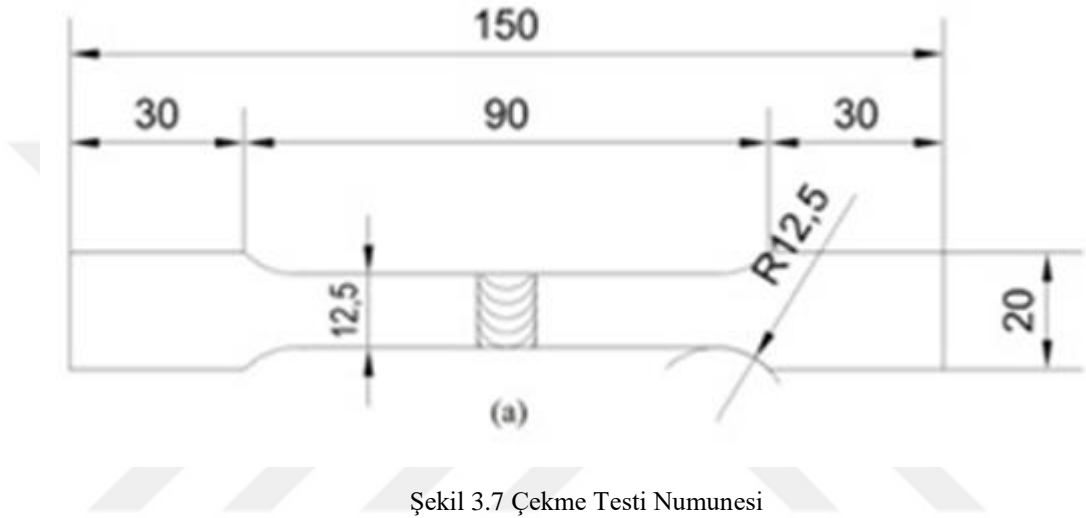
Kaynaklı levhaların mikroyapı ve makroyapı incelemeleri için her bir birleştirilmiş levhadan metalografi numunesi çıkarılmıştır. Bu numuneler uygun boyutta plastik kalıpların içine kaynak kesiti yukarıya gelecek şekilde yerleştirilip sabitlenerek oda sıcaklığında katılaştıran polyester ile kalıplanmıştır. Ardından numuneler sırasıyla 80,400,1200 ve 2000 grid zımpara kağıtları ile zımparalanmıştır. Zımpara işlemi bittikten sonra 0.5 µm tane boyutunda Al₂O₃ (Alümina) solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işleminden sonra dağlama işlemine geçilmiş, numuneler, mikroskopik muayene için hazırlanan 6 ml HF (hidroflorik asit), 3 ml HNO₃ (nitrik asit) ve oda sıcaklığındaki 150 ml H₂O (saf su) çözeltisinde daldırma yöntemi ile 3 dakika boyunca bekletilmiştir. Makroskopik muayene için 25 ml CH₃OH (metil alkol), 25 ml HCl (hidroklorik asit), 25 ml HNO₃ (nitrik asit) ve 1 ml HF (hidroflorik asit) içeren çözelti hazırlanmış ve numuneler yaklaşık 4 dakika boyunca daldırma yöntemiyle çözeltinin içinde bekletilerek dağlanmıştır. Dağlama işlemlerinin ardından numuneler metalografik muayene için hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.6'da deneysel çalışmalar için kullanılan metal parlatma tezgahı görülmektedir.



Şekil 3.6 Metal Parlatma Tezgahı (Kişisel arşiv, 2017)

3.3.2 Çekme Testi İçin Numune Hazırlanması

Tez kapsamında sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile kaynak işlemi gerçekleştirilen 21 adet kaynaklı levhadan ASTM E8M-04 standartlarına uygun olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin tasarımı ve ölçüleri Şekil 3.7’de görülebilmektedir. Her bir kaynaklı levhadan üçer adet çekme numunesi hazırlanarak ölçümlerin daha gerçekçi bir sonuç vermesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.7 Çekme Testi Numunesi

3.3.3 Mikrosertlik Ölçümleri İçin Numune Hazırlanması

Mikrosertlik ölçümleri yüzeyi parlatılmış ve dağlanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 1 mm aralıklarla 100 gr yükün 15 sn uygulanması sonucu oluşan izlerin ölçülmesi ile kaynak bölgesi ve ana malzemenin içinde olduğu bir sertlik profili oluşturulmuştur.

BÖLÜM DÖRT

BULGULAR VE TARTIŞMA

AA6082-T6 ve AA7075-T651 alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birbirleriyle birleştirilmeleri sonucu elde edilen numunelerin mikroyapı incelemeleri ve mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Böylece farklı parametreler ile gerçekleştirilen kaynak işlemi sonucunda bu parametrelerin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir.

4.1 Metalografik Muayene

SKK yöntemiyle kaynak işlemi gerçekleştirilen levhalardan elde edilen numuneler metalografik muayene için hazırlandıktan sonra makroskobik muayene için stereomikroskop kullanılarak, mikroskobik muayene için de optik mikroskop kullanılarak inceleme yapılmıştır.

4.1.1 Makroskobik Muayene

Kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin hepsinin makroskobik muayenesi yapılmıştır. Makroskobik muayene sonucunda hem kaynak bölgesinin genişliği ve hem de kaynak bölgesinde parametrelerin etkisi ile oluşabilecek kaynak hataları incelenmiştir.

4.1.1.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları

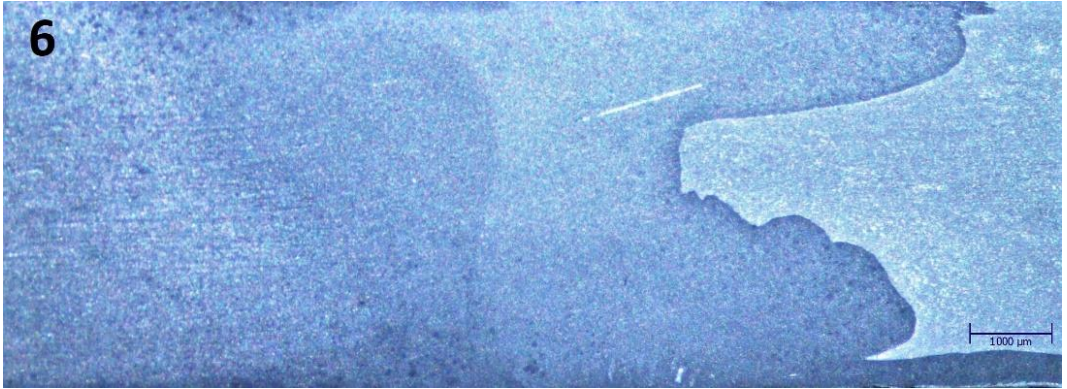
Üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen 5 adet numunenin kaynak bölgelerinin stereomikroskop yardımıyla 1x büyütme ile çekilmiş fotoğrafları Şekil 4.1-4.5'te verilmiştir.



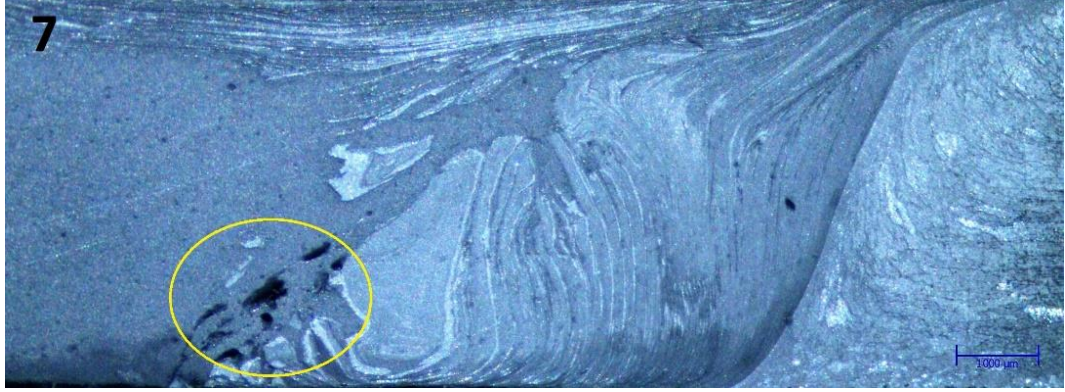
Şekil 4.1 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



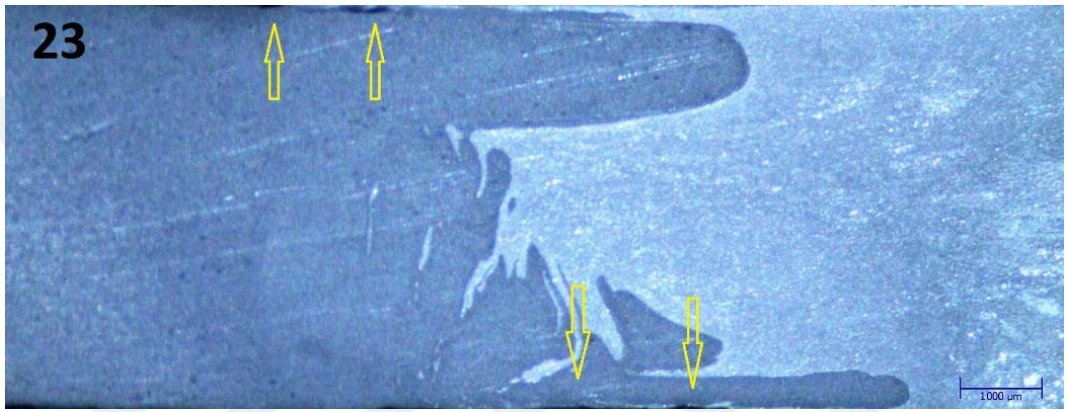
Şekil 4.2 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.3 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.4 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



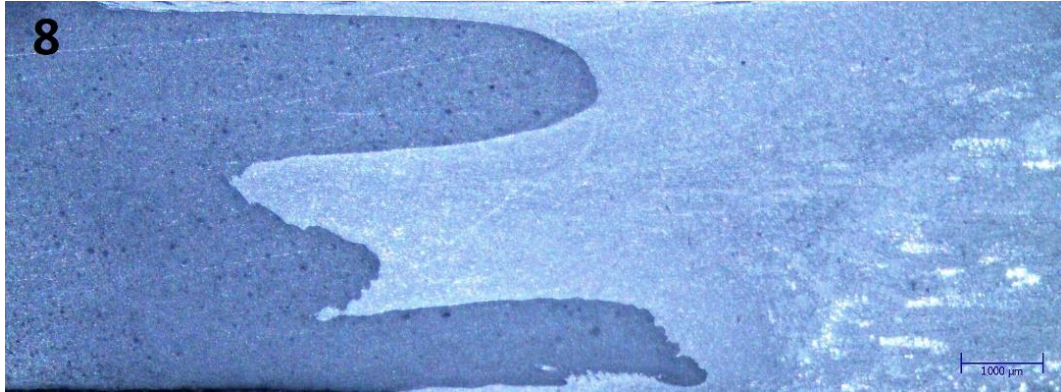
Şekil 4.5 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü

Takım dönme hızı (TDH) değeri 630 d/d, takım ilerleme hızı (TİH) değeri 50 mm/d, v (TDH/TİH) değeri 12,6 olan Şekil 4.1'deki 2 no'lu numunenin, TDH değeri 800 d/d, TİH değeri 50 mm/d, v değeri 16 olan Şekil 4.2'deki 3 no'lu numunenin ve TDH değeri 800 d/d, TİH değeri 63 mm/d, v değeri 12,7 olan Şekil 4.3'teki 6 no'lu numunenin makroskobik muayenelerinde herhangi bir kaynak hatası gözlemlenmemiştir. Bu numunelerin aksine Şekil 4.4'teki TDH değeri 800 d/d, TİH değeri 80 mm/d, v değeri 10 olan 7 no'lu numunenin makroskobik muayenesinde boşluk adı verilen kaynak hatalarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.5'teki TDH değeri 1000 d/d, TİH değeri 100 mm/d, v değeri 10 olan 23 no'lu numunenin makroskobik muayenesinde yüzeyin hemen altında küçük boyutta boşluk hatalarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu tip boşlukların, takımın ilerleme hareketi yaparken neden olduğu boşluğu, ısınmış malzemenin tam olarak dolduramaması sonucu oluştuğu bilinmektedir (Yükler, Bilici ve Fidaner, 2012).

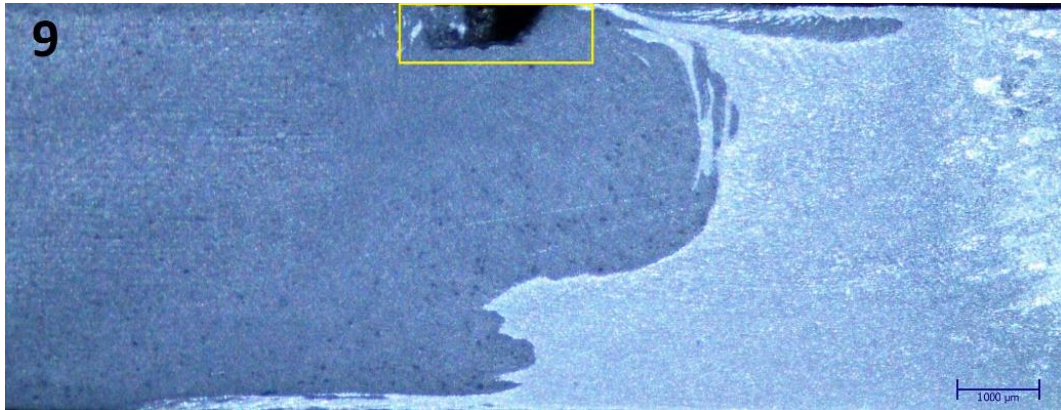
Üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen yukarıdaki numunelerden makroskobik muayene sonucu boşluk hatası tespit edilmemiş olanlarda takım dönme hızının takım ilerleme hızına oranı olan v değerinin 10'dan yüksek olması sebebiyle kaynak hızına yetecek şekilde ısı girdisinin sağlandığı ve iş parçalarının boşluk oluşturmayacak şekilde birleştiği gözlemlenmiştir. 7 ve 23 no'lu numunede ise v değeri 10 olduğundan yeterli ısı girdisi sağlanamadığı ve yüzeye yakın bölgede boşluk hatalarının meydana geldiği görülmüştür.

4.1.1.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları

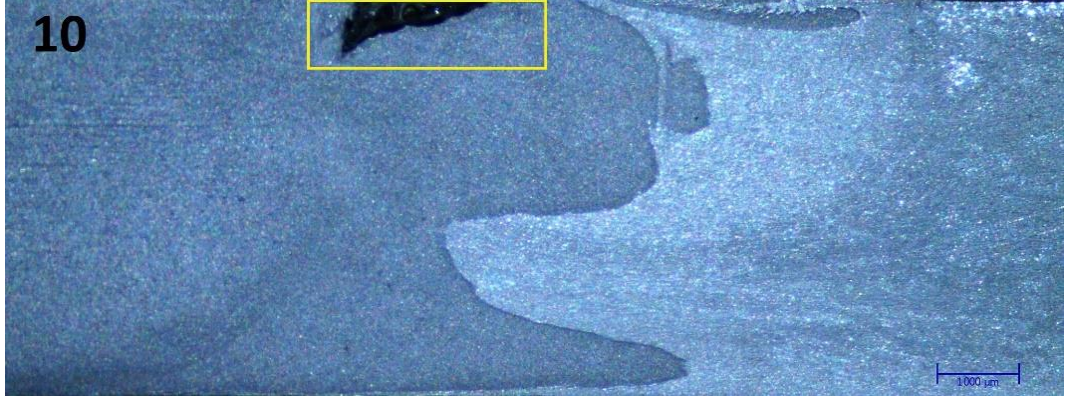
Beşgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen 8 adet numunenin kaynak bölgelerinin stereomikroskop yardımıyla 1x büyütme ile çekilmiş fotoğrafları Şekil 4.6-4.13'te gösterilmiştir.



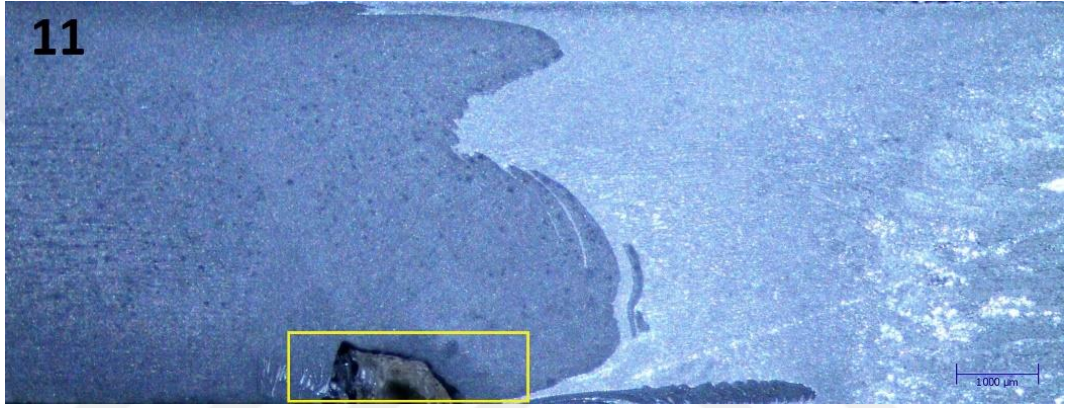
Şekil 4.6 TDH=500 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



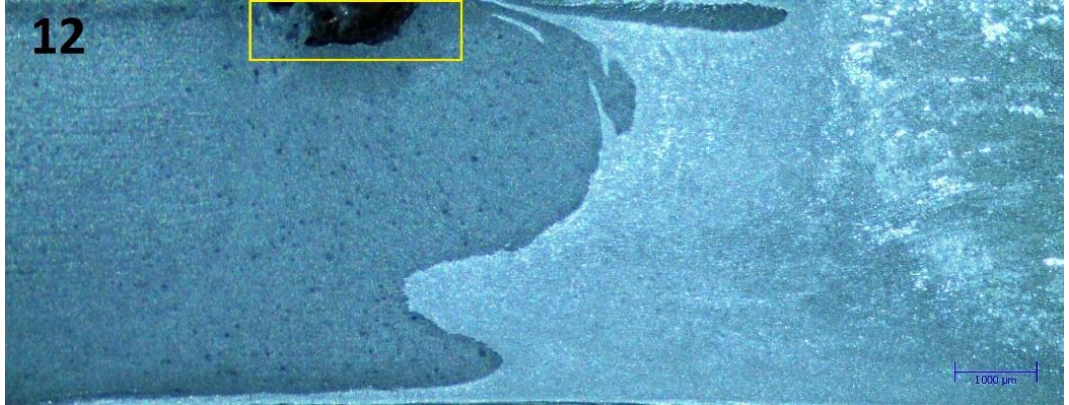
Şekil 4.7 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



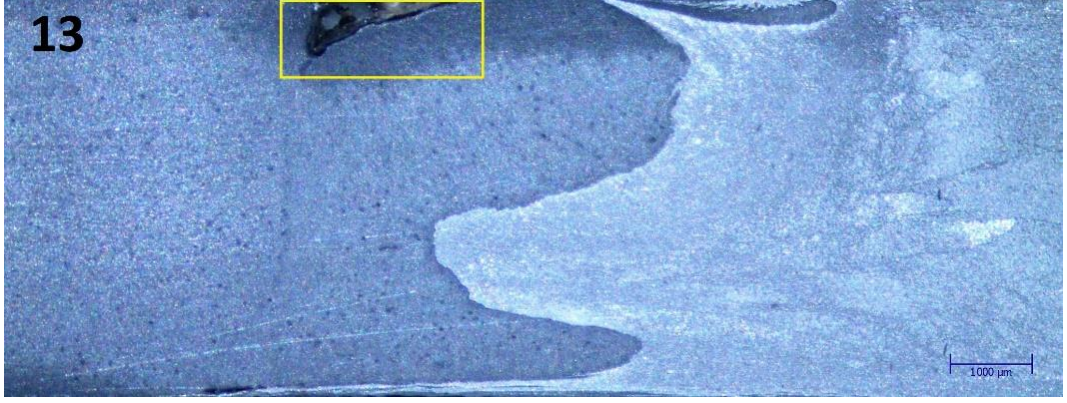
Şekil 4.8 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



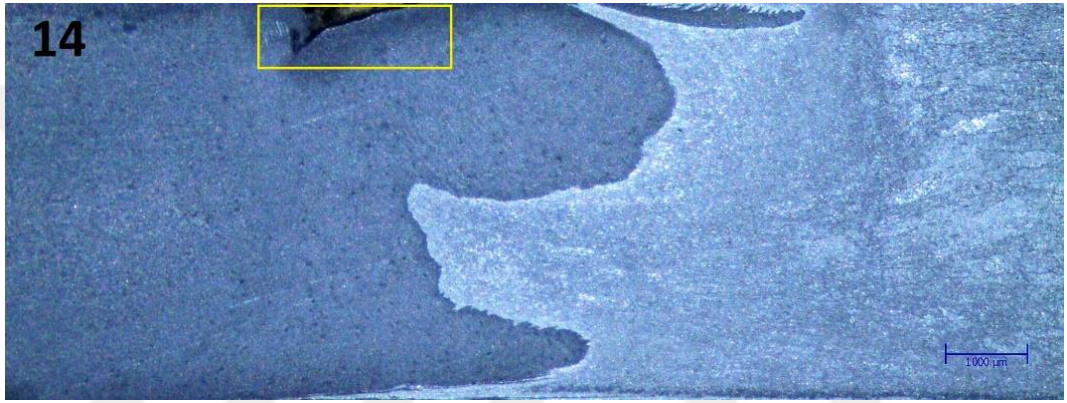
Şekil 4.9 TDH=500 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



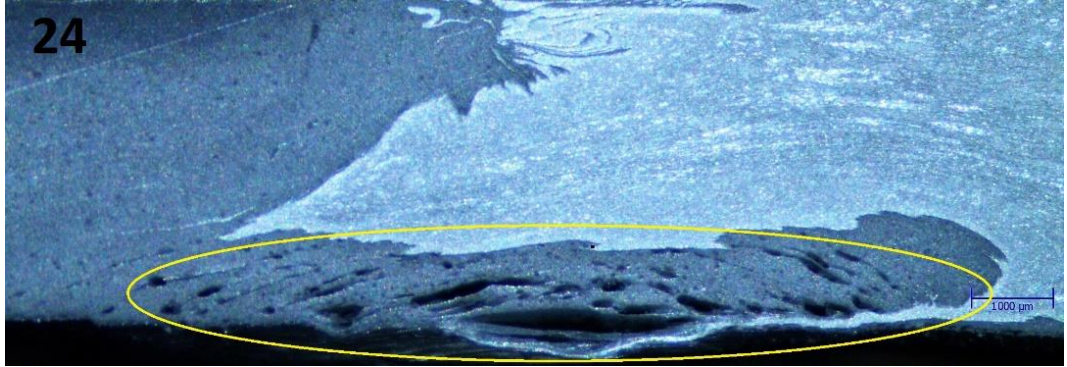
Şekil 4.10 TDH=630 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.11 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskopik görüntüsü



Şekil 4.12 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskopik görüntüsü



Şekil 4.13 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskopik görüntüsü

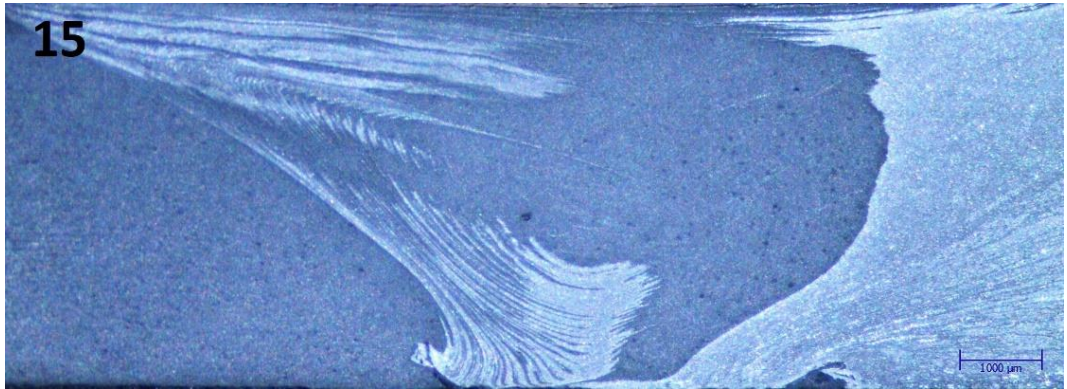
Beşgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen malzemelerden alınan numunelerden TDH değeri 500 d/d, TİH değeri 50 mm/d, ν değeri 10 olan Şekil 4.6'daki 8 no'lu numune hariç diğer numunelerde boşluk hataları gözlemlenmiştir. Bu hatalar Şekil 4.7-4.12 arasındaki resimlerdeki numunelerde yüzeye çıkan boşluk hataları, Şekil 4.13'deki TDH değeri 1000d/d, TİH değeri 100mm/d, ν değeri 10 olan 24 no'lu numunede ise yüzeyin hemen altında oluşan boşluk hataları olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.6'daki v değeri 10 olan 8 no'lu numunenin düşük takım dönme hızına sahip olmasına rağmen, aynı zamanda düşük takım ilerleme hızına sahip olması nedeniyle kaynak işlemi için gerekli olan ısı girdisinin sağlandığı ve kaynak işleminin başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 4.13'teki v değeri 10 olan 24 no'lu numunede ise yüksek takım dönme hızının ısı girdisini artırması nedeniyle sıcak yırtılma oluşmuştur. Bu tip hatalar düşük sıcaklıkta eriyen malzemelerin katı taneler arasında toplanması sonucu çekme gerilmelerine dayanamayıp ayrılması ile oluşur (Anık ve Vural, 2007).

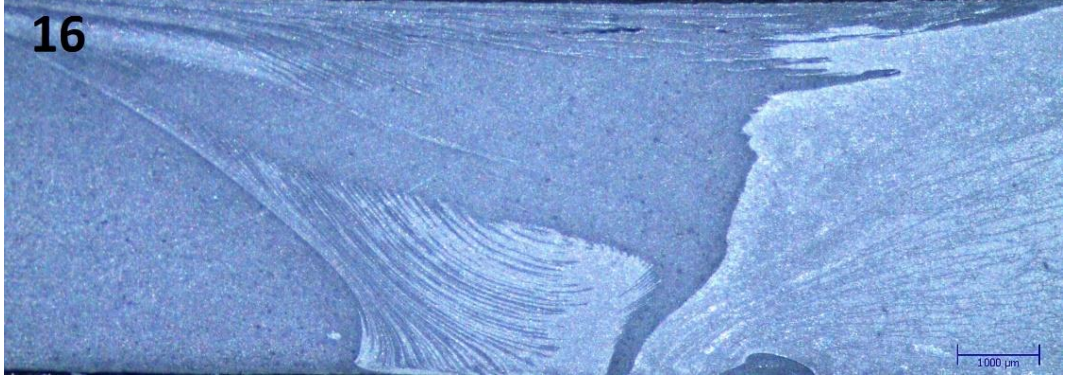
Şekil 4.7-4.12 arasındaki altı adet numunenin makroskobik muayenesinde, kaynak işlemi sırasında iş parçaları arasındaki boşluğun fazla olması sonucu kısmi nüfuziyet elde edilmiştir. Bu nedenle tespit edilen boşluk hatalarının büyük boyutta olduğu görülmektedir. Yükler, Bilici ve Fidaner (2012) alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak hatalarını incelediği çalışmalarında, AA1050 alüminyum alaşımı üzerinde iş parçaları arasındaki mesafenin kaynak bölgesinde neden olduğu değişimleri makroskobik olarak incelemiş ve bu mesafenin arttıkça kaynak bölgesinde oluşan hataların büyüyerek yüzeye ulaştığını tespit etmişlerdir.

4.1.1.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Makroskobik Muayene Sonuçları

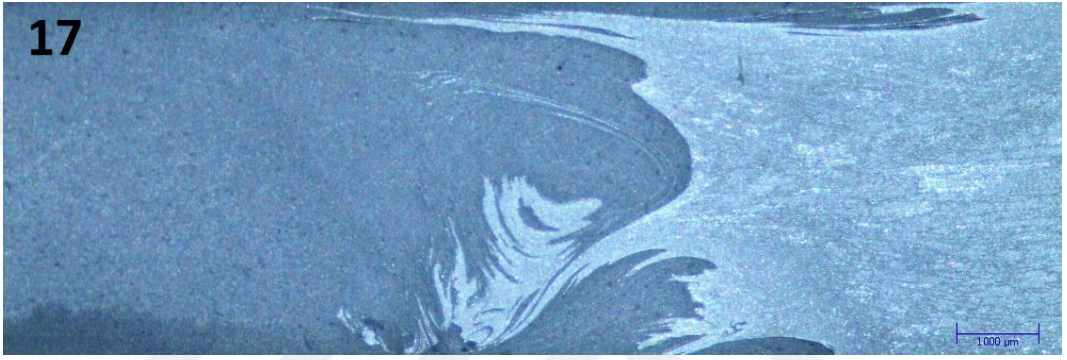
Helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen 8 adet numunenin kaynak bölgelerinin stereomikroskop yardımıyla 1x büyütme ile çekilmiş fotoğrafları Şekil 4.14-4.21'de gösterildiği gibidir.



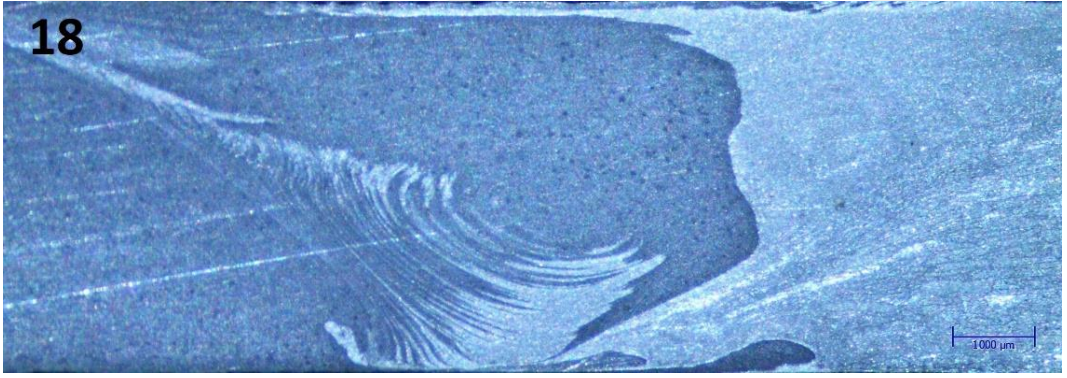
Şekil 4.14 TDH=500 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



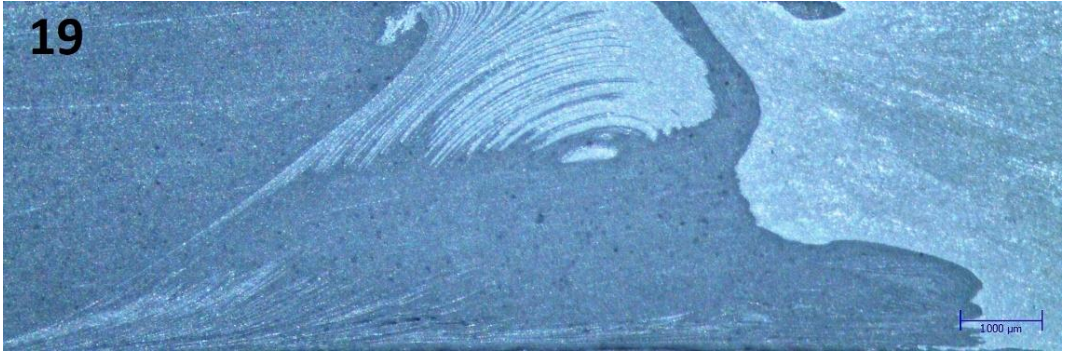
Şekil 4.15 TDH=630 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



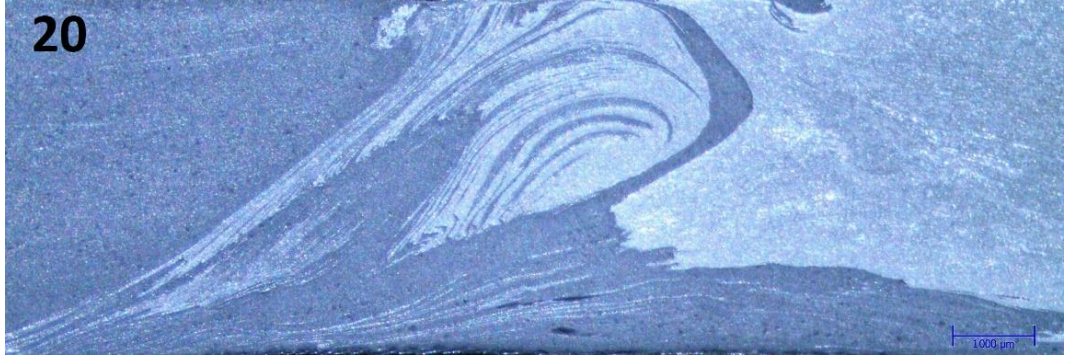
Şekil 4.16 TDH=800 d/d, TİH=50 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



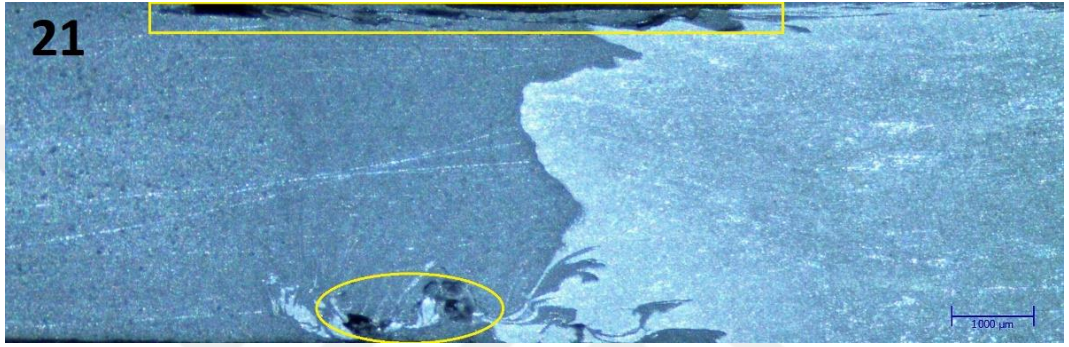
Şekil 4.17 TDH=500 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



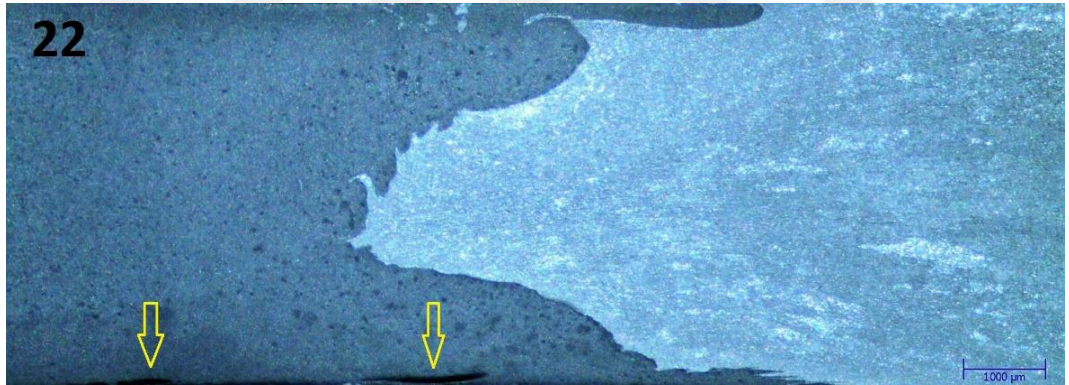
Şekil 4.18 TDH=630 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.19 TDH=800 d/d, TİH=63 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.20 TDH=800 d/d, TİH=80 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü



Şekil 4.21 TDH=1000 d/d, TİH=100 mm/d parametrelerine sahip numunenin makroskobik görüntüsü

Helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen iş parçalarından elde edilen numunelerde TDH değeri 800 d/d, TİH değeri 80 mm/d, v değeri 10 olan Şekil 4.20'deki 21 no'lu numunede ve TDH değeri 1000d/d, TİH değeri 100 mm/d, v değeri 10 olan Şekil 4.21'deki 22 no'lu numunelerde büyük boşluk hataları görülmektedir. Bu hatalar kaynak bölgesinde yüzeye ve dibe yakın kısımlarda meydana gelen hatalardır. Diğer numunelerde ise bu numunelere oranla makroskobik muayene sonucunda net olarak belli olan herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir. 21 ve 22 no'lu numunede kaynak bölgelerinin görüntüsü incelendiğinde,

takım ilerleme hızının yüksek olması nedeniyle malzeme akışının tam gerçekleşmeden birleştirme işleminin gerçekleştiği ve bu nedenle boşluklar oluştuğu görülmektedir.

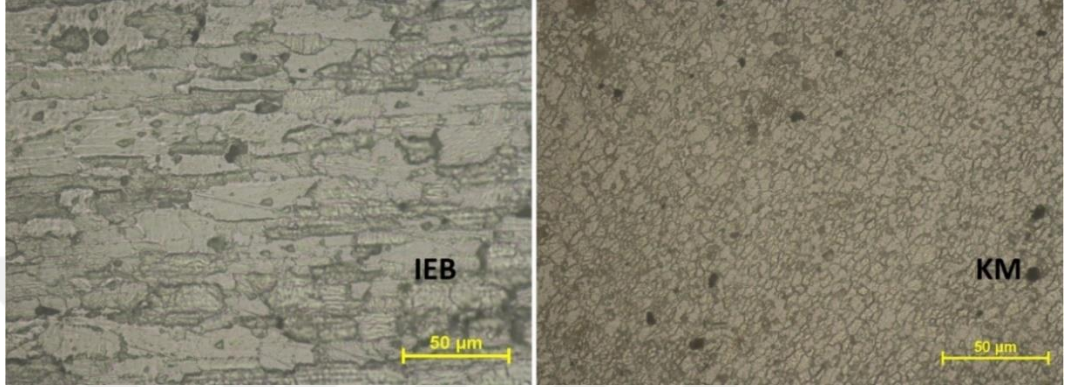
SKK yönteminde kaynak işlemi için gerekli ısı girdisi, yöntemin çalışma prensibinde açıklandığı üzere takımın dönmesiyle oluşan sürtünme sonucu meydana gelmektedir. Bu nedenle takım dönme hızının yüksek olması daha fazla sürtünmeye neden olmakta ve daha fazla ısı girdisi sağlamaktadır. Takım ilerleme hızının yüksek olması ise birim alana gelen ısı miktarının azalmasına neden olmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere ısı girdisi değeri TDH/TİH oranı ile doğru orantılıdır. Isı girdisinin pim geometrilerine göre değiştiği de bilinmektedir. R. R. Kumar, S. Kumar ve A. Kumar (2017) çalışmalarında birim uzunluktan elde edilen ısı girdisi miktarlarını karşılaştırmış, silindirik veya helisel yapıda olan pimlerin, çokgen geometriye sahip olan pimplere göre çok daha yüksek ısı girdisi sağladığı, çokgen pimplerde ise kenar sayısının artmasıyla ısı girdisinin yükseliş gösterdiğini analitik ısı girdisi hesaplamaları vasıtasıyla elde etmişlerdir. Helisel pim, sahip olduğu vida adımlarının diğer pimplere göre daha fazla sürtünmeye neden olması ve malzeme akışının daha başarılı olması nedeniyle daha düşük v değerlerinde daha başarılı kaynak işlemi sağlamaktadır. Tez kapsamında makroskobik muayene sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığı zaman helisel ve beşgen pim geometrilerine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş numunelerde, üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş numunelere göre daha düşük v değerlerinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

4.1.2 Mikroskobik Muayene

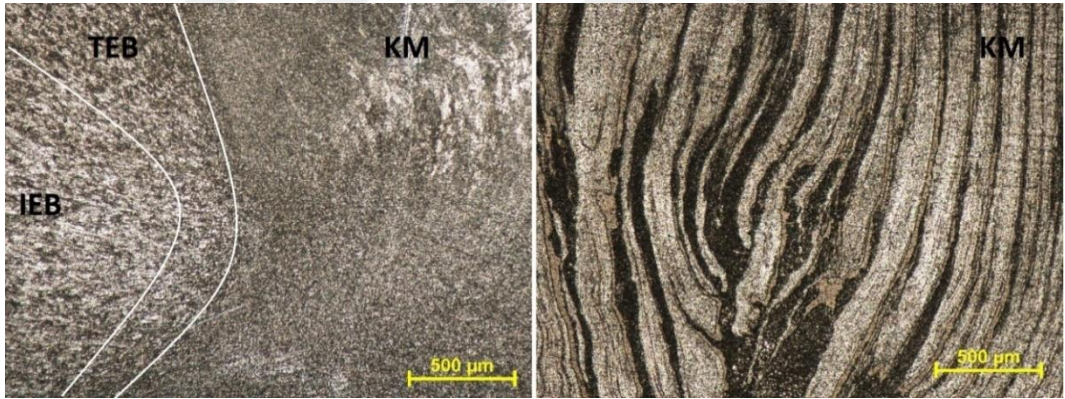
Kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin hepsinin optik mikroskop yardımıyla mikroskobik muayenesi yapılmıştır. Kaynak bölgesinin karakteristik bölgeleri olan kaynak merkezi, termomekanik etkilenen bölge ve ısıdan etkilenen bölgeler ve bu bölgelerde oluşan tane yapıları incelenmiştir.

4.1.2.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskopik Muayene Sonuçları

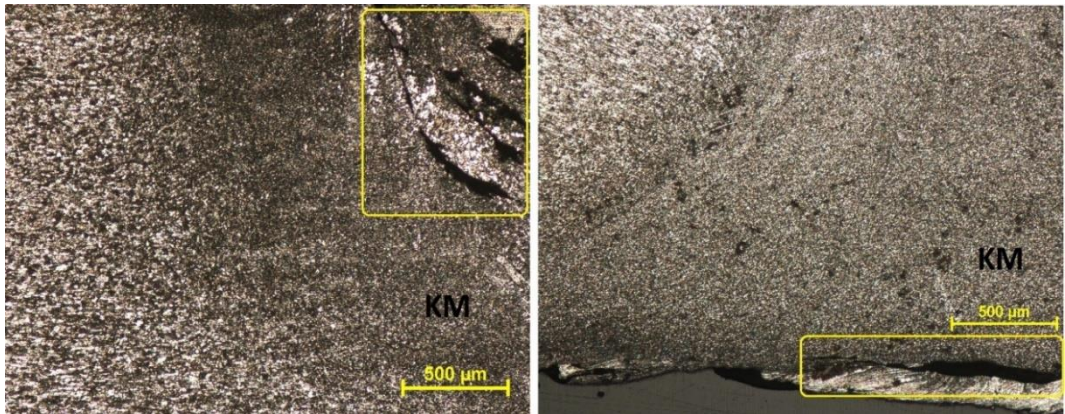
Üçgen pim ile kaynağı gerçekleştirilen 5 adet numunenin optik mikroskop yardımıyla alınan görüntüleri Şekil 4.22-4.24 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.22 İEB ve KM bölgesindeki tane yapıları (50x)



Şekil 4.23 TEB ve KM bölgeleri ile soğan halkası oluşumu (5x)

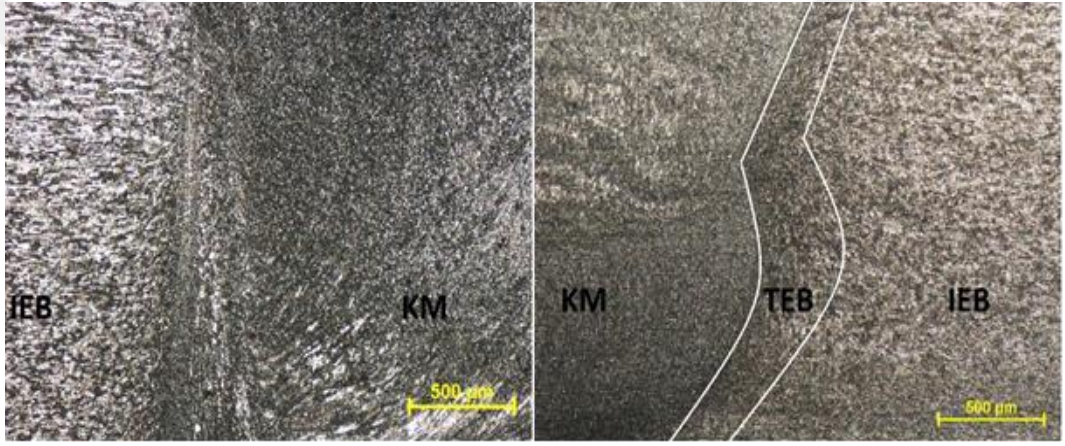


Şekil 4.24 7 ve 23 no'lu numunelerdeki boşluk hataları (5x)

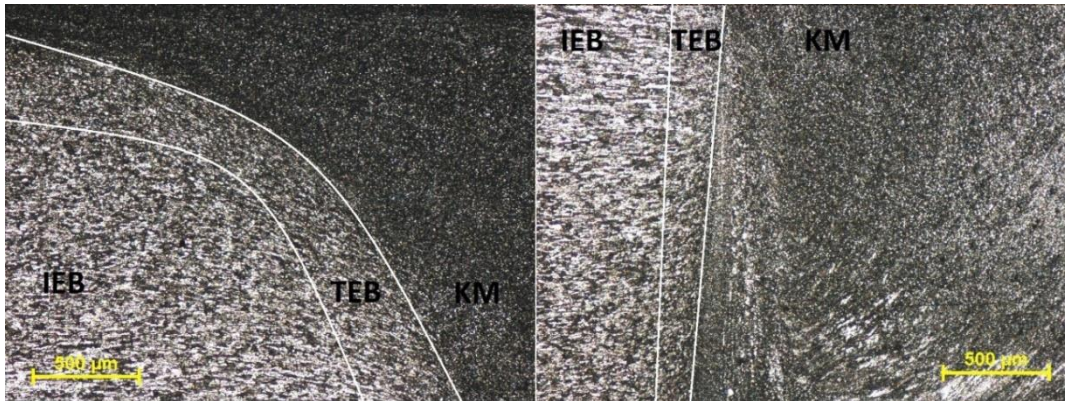
Makroskobik muayene sonucunda TDH/TİH değerinin düşük olduğu 7 ve 23 no'lu numunelerde boşluk hatalarının olduğu tespit edilmişti. Bu numunelerin hatalarının olduğu bölgeler 5x büyütme ile incelenmiştir. Şekil 4.24'te bu boşluk hatalarının kaynak merkezinde gerçekleştiği görülmektedir.

4.1.2.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskobik Muayene Sonuçları

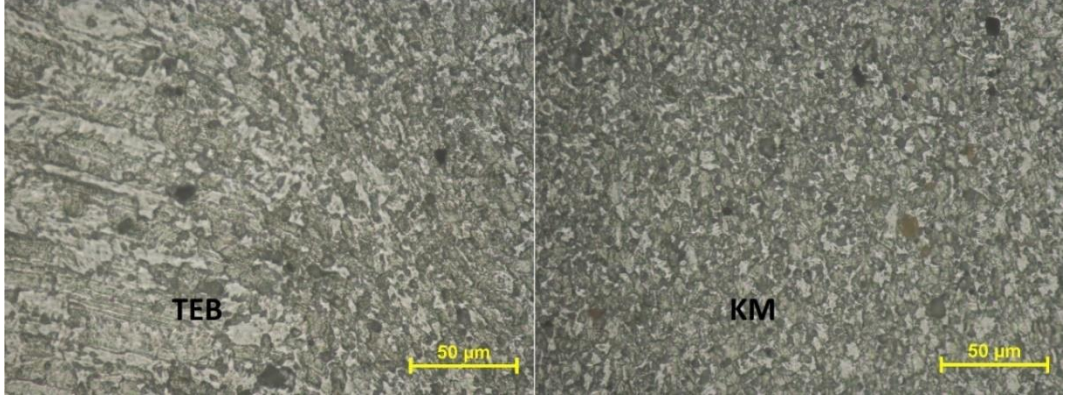
Beşgen pim ile kaynağı gerçekleştirilen 8 adet numunenin optik mikroskop yardımıyla alınan görüntülerinden bazıları Şekil 4.25-4.29 arasında gösterilmiştir.



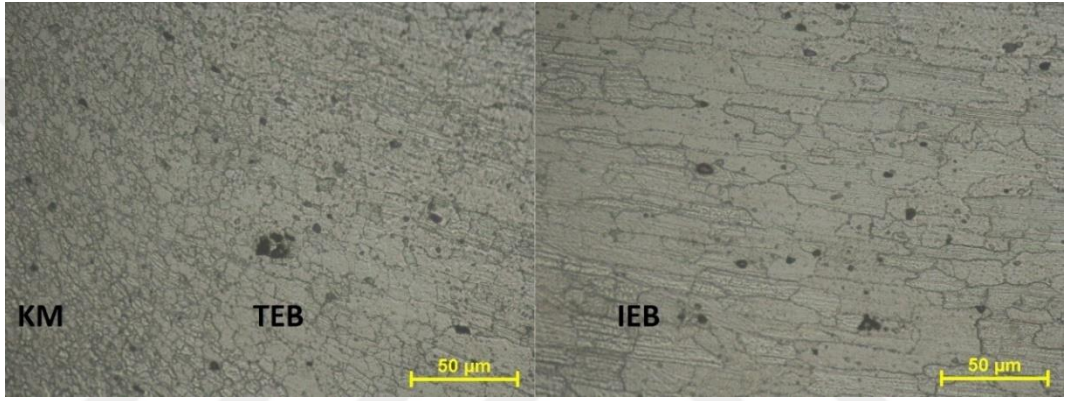
Şekil 4.25 IEB-TEB-KM kaynak bölgeleri (5x)



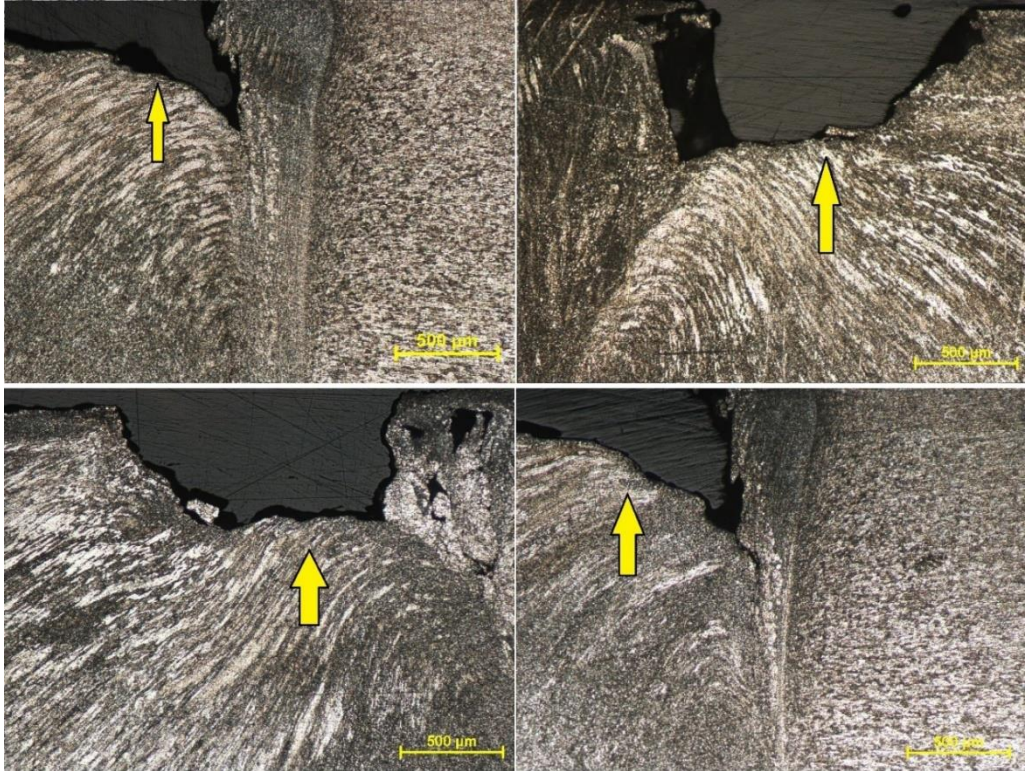
Şekil 4.26 14 no'lu numunenin kaynak bölgeleri (5x)



Şekil 4.27 14 no'lu numunenin TEB ve KM tanecik yapıları (50x)



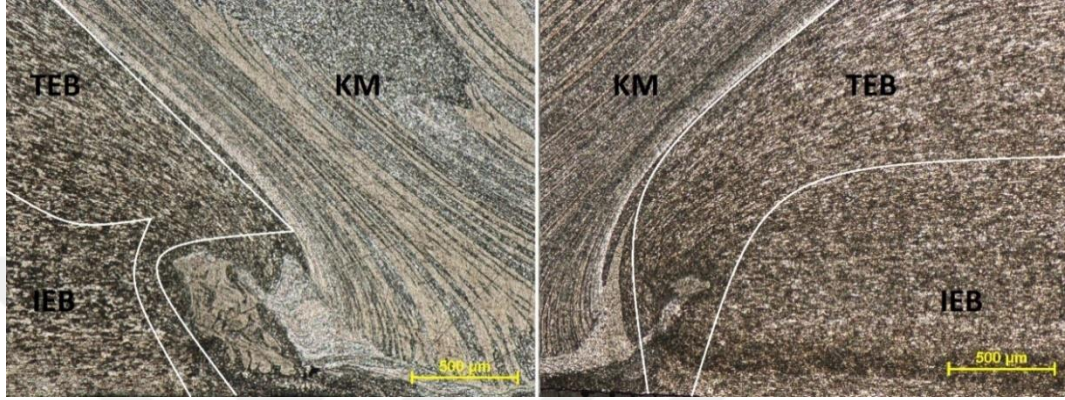
Şekil 4.28 10 no'lu numunenin KM, TEB ve IEB tanecik yapıları (50x)



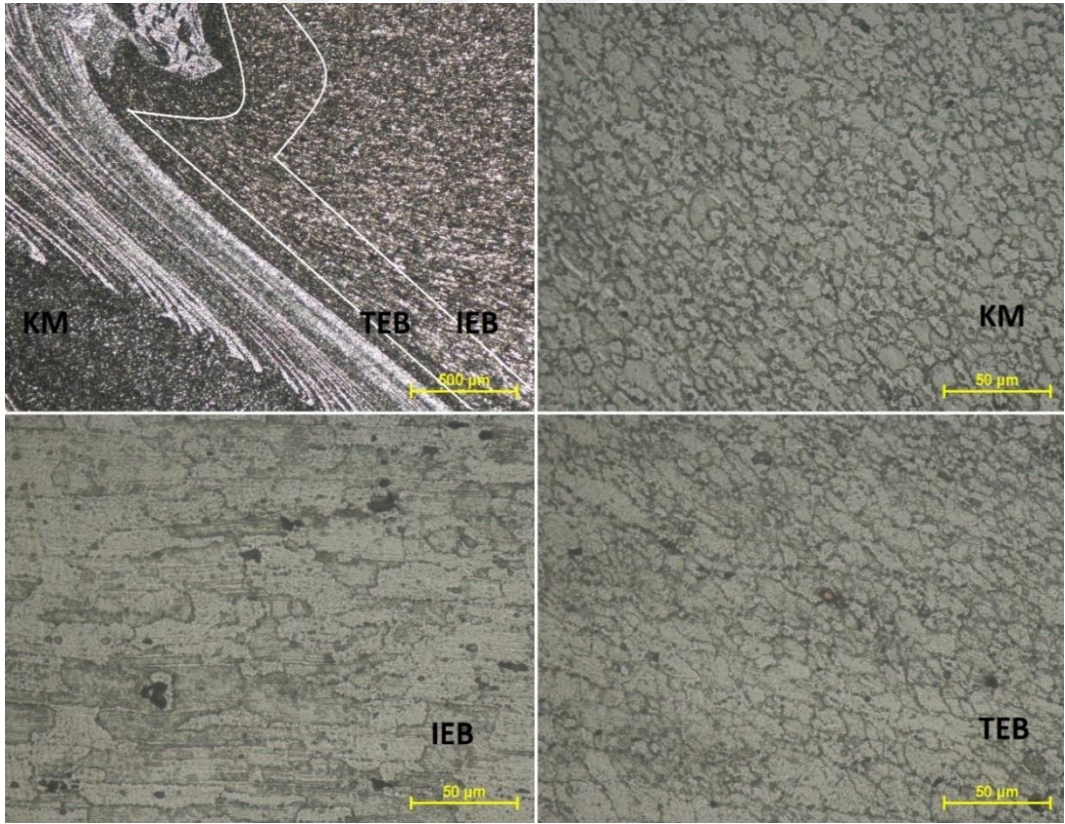
Şekil 4.29 Boşluk Hataları (5x)

4.1.2.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Mikroskopik Muayene Sonuçları

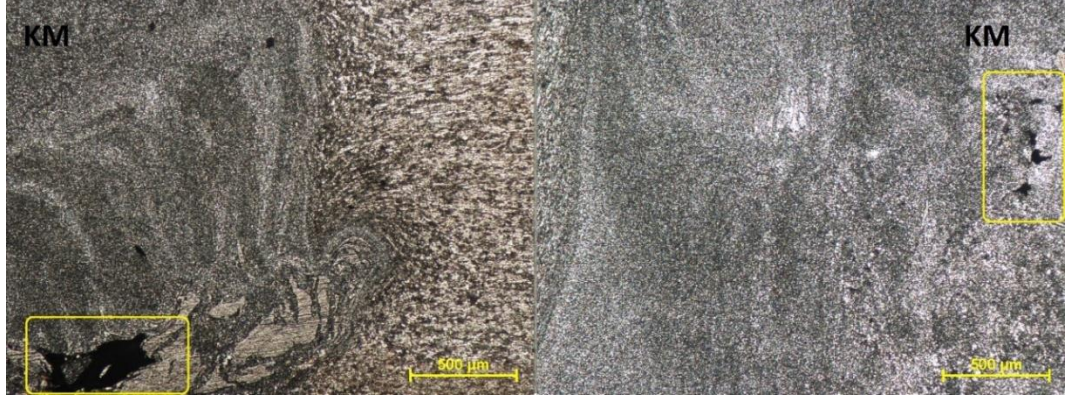
Helisel pim ile kaynağı gerçekleştirilen 8 adet numunenin optik mikroskop yardımıyla alınan görüntülerinden bazıları Şekil 4.30-4.32 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.30 Helisel pim ile kaynağı gerçekleştirilen numunelerin kaynak bölgelerinin genel olarak görüntüsü (5x)



Şekil 4.31 Kaynak bölgelerinin tanecik yapıları



Şekil 4.32 21 ve 22 no'lu numunelerde meydana gelen boşluk hataları (5x)

Mikroskobik muayene sonucunda kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak merkezi olarak adlandırılan karıştırma bölgesinde tane yapılarının daha ince olduğu, kaynak merkezi ile ısı etkisi altındaki bölge arasında kalan termomekanik etkilenen bölgede ise tanelerin deformasyona uğradığı ve bu nedenle uzamış ve yassılaştırmış bir yapıya sahip olduğu, ısı etkisi altındaki bölgede ise herhangi bir şekil değiştirme olmadığından tanelerin diğer kaynak bölgelerine göre daha iri bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar SKK yönteminde karakteristik bir durumdur.

Tane yapıları incelenirken özellikle tane sınırlarında bazı çökeltiler görülmüştür. Çökelti oluşumu ısıdan etkilenen bölgede daha fazla olurken kaynak merkezine yaklaştıkça azaldığı tespit edilmiştir. Isıdan etkilenen bölgede çökelti oluşumu 250°C aşıldığı zaman, bölgedeki tanelerin irileşmesi ve tane sınırlarında birikmesi nedeniyle meydana gelmektedir. Kaynak merkezinde taneler dinamik olarak yeniden kristalleştirdiğinden çökelti sayısı azdır (Yılmaz, Ünlü, Uzkut ve Ertürk, 2016).

Farklı pim geometrileri kullanıldığı için kaynak bölgelerinin şeklinin birbirinden farklı olduğu, fakat bu farklılığın farklı bölgelerdeki tane yapılarının karakteristik özelliklerine dikkate alınacak şekilde etki etmediği belirlenmiştir. Helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerde, üçgen pim ve beşgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen diğer numunelere kıyasla termomekanik etkilenen bölgenin daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Sarsılmaz ve Özdemir (2011), çalışmalarında kaynak bölgelerinde meydana gelen ebat farklılıklarını, kaynak sırasında meydana gelen ısı girdisi ile ilişkilendirmişlerdir. Buna göre yüksek ısı girdisine sahip kaynak işlemlerinde kaynak

bölgeleri daha geniş olurken düşük ısı girdisine sahip kaynak işlemlerinde daha dar olmaktadır. İncelenen numuneler göz önüne alındığında helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işleminde daha az sayıda kaynak hatası gözlemlenmiştir.

SKK yöntemiyle kaynak işlemi gerçekleştirilen bazı iş parçalarının kaynak merkezi bölgelerinde soğan halkası adı verilen oluşumlar meydana gelmektedir. Aynı malzemelerin birbiriyle kaynağında daha sık görülen soğan halkası oluşumu, farklı malzemelerin birbiriyle kaynağında kaynak merkezinin belirli bir düzene sahip olmayışından dolayı nadiren görülmektedir (Özsoy ve Kaluç, 2001). Çalışma kapsamında belirgin olarak sadece üçgen pim ile kaynağı gerçekleştirilen TDH değeri 800 ve TİH değeri 80 olan Şekil 4.24'teki numunenin mikroskobik görüntüsünde soğan halkası oluşumu görülmüştür.

4.2 Çekme Testi

Her bir parametre için hazırlanan üç adet numune oda sıcaklığında ilerleme hızı 2 mm/d olacak şekilde 500kN kapasiteli universal çekme testi cihazında çekme testlerine tabii tutulmuştur. Test sonuçları Tablo 4.1-4.3'te takım pim geometrilerine göre gruplara ayrılarak verilmiştir. Takım dönme hızının, takım ilerleme hızına oranını belirtmek için v sembolü kullanılmıştır. Numunelerin çekme dayanımları (σ) ile yüzde uzama oranları ($\%E$) çekme işlemlerinde dikkat edilen hususlardır. Her bir parametre için kaynak işlemi gerçekleştirilmiş üç adet numunenin çekme dayanımlarının ortalamasının, ana malzemenin çekme dayanımına oranı belirlenerek verimlilik hesabı yapılmıştır.

4.2.1 Üçgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

Üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen levhalardan elde edilen 5 adet numunenin çekme testi sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Çekme testi sonuçları

Num.	Parametreler				Kaynak Performansı			
	PG	TDH (d/d)	TİH (mm/dk)	v	ÇD (MPa)	ε (%)	Verimlilik (%)	
				$TDH/TİH$			6082	7075
2	Ü	630	50	12,6	222,75	3,12	75,63	38,50
					222,18	2,95		
					220,36	2,76		
					221,76	2,94		
3	Ü	800	50	16	229,69	2,67	77,78	39,59
					225,11	2,35		
					229,39	2,49		
					228,06	2,50		
6	Ü	800	63	12,7	233,40	2,65	80,22	40,84
					238,22	2,49		
					234,04	2,91		
					235,22	0,44		
7	Ü	800	80	10	231,81	2,54	73,06	37,19
					212,93	0,46		
					197,94	0,28		
					214,23	1,09		
23	Ü	1000	100	10	230,62	2,29	79,33	40,38
					232,55	2,54		
					234,62	2,65		
					232,60	2,49		

Numunelerin hepsinin çekme testi sonucunda Şekil 4.33'te gösterildiği gibi ısıdan etkilenen bölgeden (IEB) koptuğu gözlemlenmiştir. Kopmanın kaynak merkezinde (KM) yaşanmaması kaynak işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.33 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Üçgen pim) (Kişisel Arşiv, 2017)

Üçgen pim ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olan AA6082-T6 ve AA7075-T651 numunelerin çekme testi sonuçlarını göz önüne aldığımızda değerler 235,22 MPa ile 214,23 MPa arasında değişmiştir. En yüksek değer metalografik muayenede herhangi bir kaynak hatası tespit edilmeyen 6 no'lu numunede meydana gelmiştir. Bu numunenin TDH değeri 800 d/d iken TİH değeri 63 mm/d'dir. En düşük değer ise metalografik muayene sonucunda boşluk hatalarının tespit edildiği 7 no'lu numunede meydana gelmiştir. Bu numunenin TDH değeri 800 d/d iken TİH değeri 80 mm/d'dir. AA6082-T6 alaşımına göre verimlilik yüzdeleri %80,22 ile %73,06 arasında değişirken, AA7075-T651 alaşımına göre %40,84 ile %37,19 arasında değişim göstermiştir.

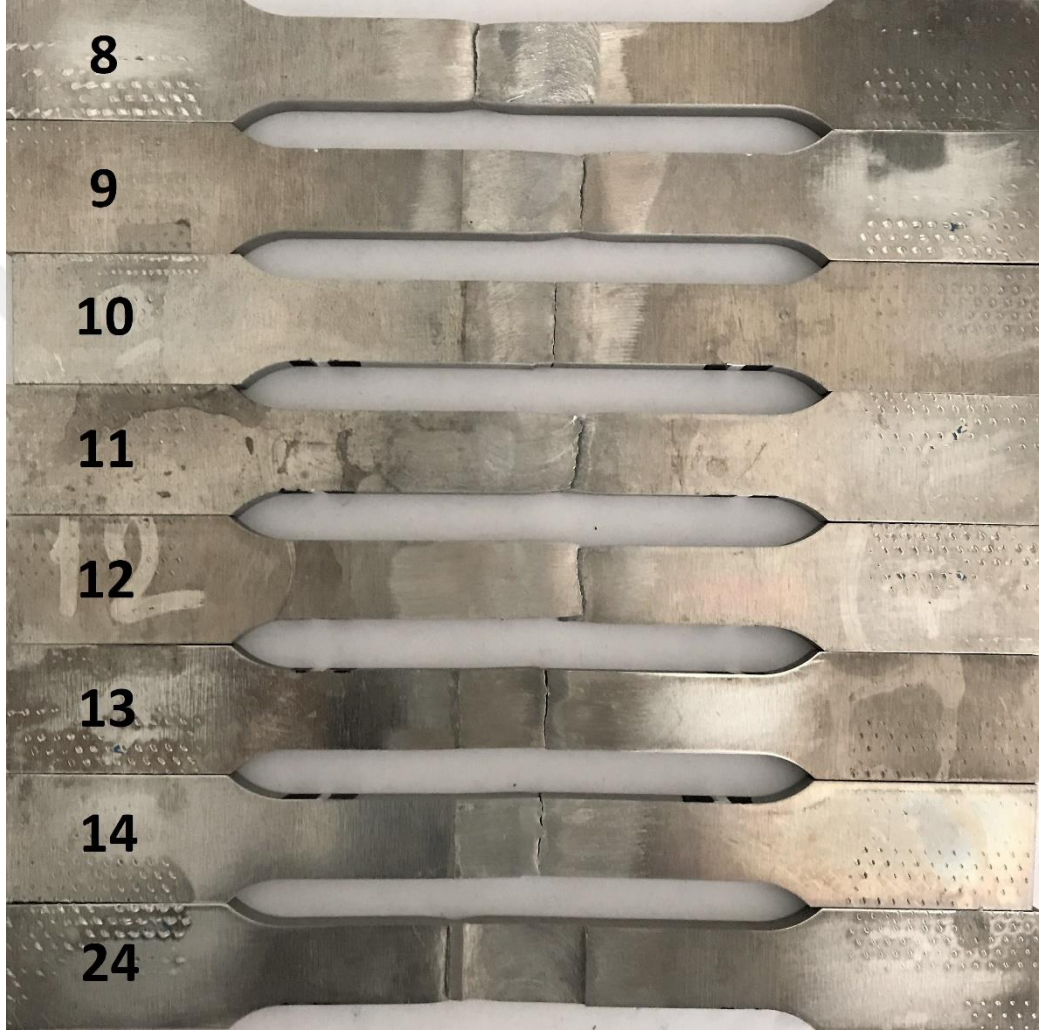
4.2.2 Beşgen Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

Beşgen pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen levhalardan elde edilen 8 adet numunenin çekme testi sonuçları Tablo 4.2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.2 Çekme testi sonuçları

Num.	Parametreler				Kaynak Performansı			
	PG	TDH (d/d)	TİH (mm/dk)	v	ÇD (MPa)	ε (%)	Verimlilik (%)	
				$TDH/TİH$			6082	7075
8	B	500	50	10	212,86	2,10	73,91	37,63
					221,54	2,31		
					215,77	2,24		
					216,72	2,22		
9	B	630	50	12,6	223,55	2,43	75,97	38,67
					220,49	3,18		
					224,19	2,60		
					222,74	2,73		
10	B	800	50	16	169,63	0,27	64,77	32,97
					191,67	0,44		
					208,44	0,62		
					189,91	0,44		
11	B	500	63	7,9	222,05	2,71	76,88	39,14
					228,66	2,83		
					225,56	2,84		
					225,42	2,79		
12	B	630	63	10	227,42	3,33	78,14	39,77
					229,19	2,57		
					230,69	2,54		
					229,10	2,81		
13	B	800	63	12,7	220,41	0,81	74,25	37,80
					214,50	0,67		
					218,21	0,86		
					217,71	0,78		
14	B	800	80	10	202,79	0,43	73,52	37,42
					210,51	0,58		
					233,4	1,09		
					215,57	0,70		
24	B	1000	100	10	224,75	0,84	81,56	41,51
					233,04	1,29		
					259,61	2,43		
					239,13	1,52		

Şekil 4.34'te numunelerin çekme testi sonucu hangi bölgelerden koptuğu gösterilmiştir. Buna göre 8 ve 24 numaralı numuneler hariç bütün numuneler kaynak merkezinden kopmuştur. Bu numunelerin kaynak merkezinden kopmalarının nedeni olarak metalografik muayene sonucu yüzeye çıkan boşluk hatalarının tespit edilmiş olması görülmektedir.



Şekil 4.34 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Beşgen pim) (Kişisel Arşiv, 2017)

Beşgen pim ile kaynağı gerçekleştirilmiş numunelerin birçoğunda metalografik muayene sonucunda boşluk hatalarının meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle çekme testi sonuçlarında herhangi bir düzen meydana gelmemiştir. En yüksek çekme dayanımına 239,13 MPa ile TDH değeri 1000 d/d ve TİH değeri 100 mm/d olan ve çekme testi sırasında kaynak merkezinden değil, ısı etkisi altındaki bölgeden kopan 24 no'lu numunede ulaşılmıştır. En düşük çekme dayanımı ise 189,91 Mpa ile

metalografik muayenede boşluk hatalarının tespit edildiği TDH değeri 800 d/d ve ilerleme hızı 50 mm/d olan 10 no'lu numunede tespit edilmiştir. Numune içindeki boşluklar çentik etkisi yarattığından çekme dayanımı düşüktür. AA6082-T6 alaşımına göre verimlilik yüzdeleri %81,56 ile %64,77 arasında değişirken AA7075-T651 alaşımına göre %41,51 ile %32,97 arasında değişim göstermiştir.

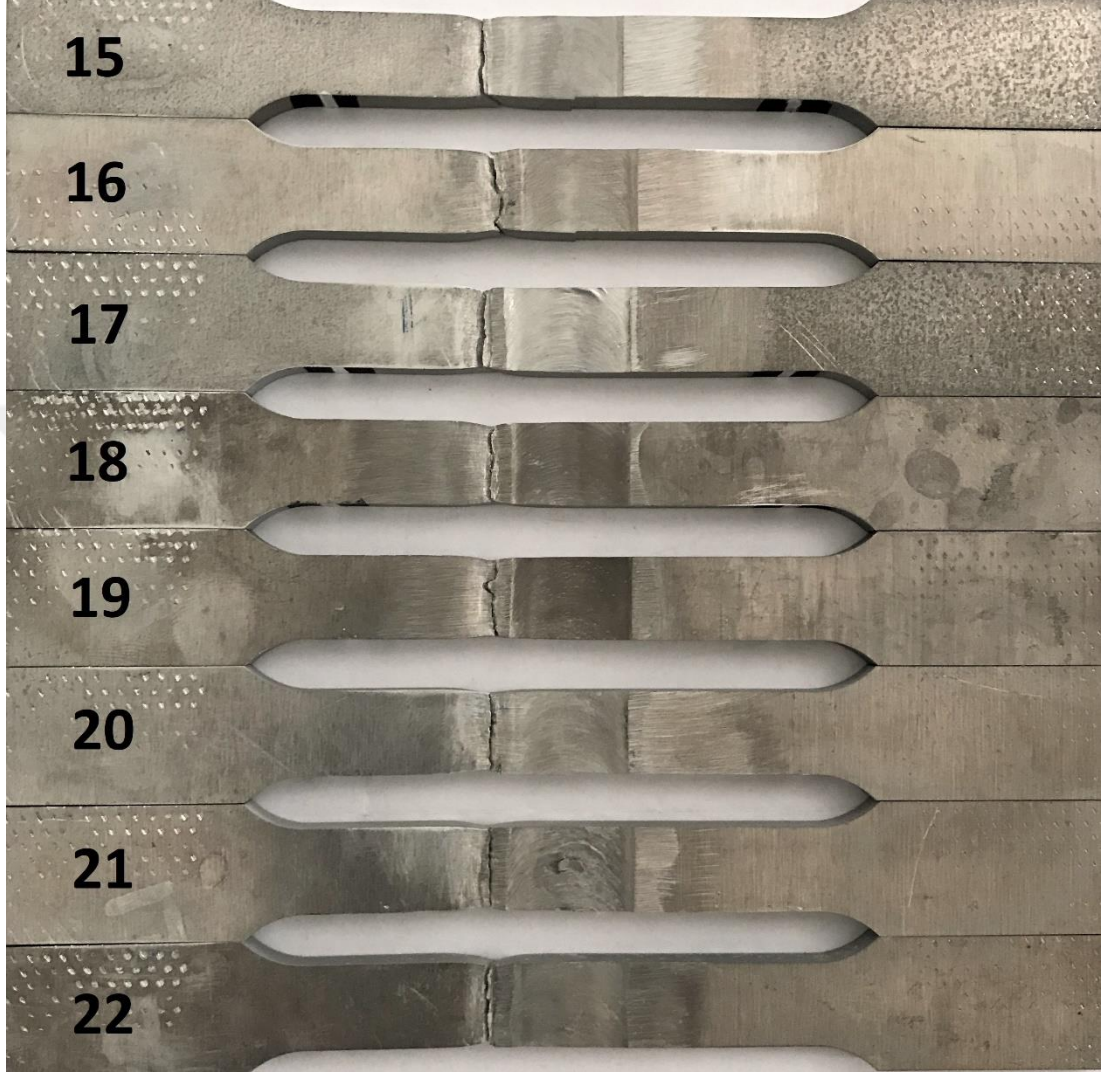
4.2.3 Helisel Pim Geometrisine Sahip Takım İle Kaynak İşlemi Gerçekleştirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

Helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen levhalardan elde edilen 8 adet numunenin çekme testi sonuçları Tablo 4.3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.3 Çekme testi sonuçları

Num.	Parametreler				Kaynak Performansı			
	PG	TDH (d/d)	TİH (mm/dk)	v	ÇD (MPa)	ε (%)	Verimlilik (%)	
				$TDH/TİH$			6082	7075
15	H	500	50	10	220,34	2,83	76,04	38,71
					223,14	2,74		
					225,37	2,71		
					222,95	2,76		
16	H	630	50	12,6	220,76	2,99	76,36	38,87
					227,9	3,16		
					223,01	3,64		
					223,89	3,26		
17	H	800	50	16	226,59	3,34	75,29	38,33
					219,90	2,96		
					215,79	3,17		
					220,76	3,16		
18	H	500	63	7,9	223,36	2,98	76,21	38,80
					225,27	3,18		
					221,75	3,44		
					223,46	3,20		
19	H	630	63	10	236,22	3,42	83,19	42,35
					245,28	3,58		
					250,29	3,15		
					243,93	3,38		
20	H	800	63	12,7	221,09	2,61	76,40	38,89
					225,31	3,04		
					225,67	2,48		
					224,02	2,71		
21	H	800	80	10	232,14	3,61	77,44	39,42
					222,1	2,04		
					226,92	3,47		
					227,05	3,04		
22	H	1000	100	10	238	2,86	81,29	41,38
					237,27	2,61		
					239,76	2,7		
					238,34	2,72		

Şekil 4.35'te numunelerin tamamının çekme testi sonucu kaynak merkezinden değil ısı etkisi altındaki bölgeden koptuğu görülmüştür.



Şekil 4.35 Çekme testi sonrası numunelerin kopma yerleri (Helisel pim) (Kişisel Arşiv, 2017)

Helisel pim ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olan numunelerin çekme testi sonuçlarını göz önüne aldığımızda değerler 243,93 MPa ile 220,76 MPa arasında değişmiştir. En yüksek çekme dayanımı değerine TDH değeri 630 d/d ve TİH değeri 63 mm/d olan 19 no'lu numunede, en düşük çekme dayanımı değerine TDH değeri 800 d/d ve TİH değeri 50 mm/d olan 17 no'lu numunede ulaşılmıştır. AA6082-T6 alaşımına göre verimlilik yüzdeleri %83,19 ile %75,29 arasında değişirken AA7075-T651 alaşımına göre %42,35 ile %38,80 arasında değişim göstermiştir.

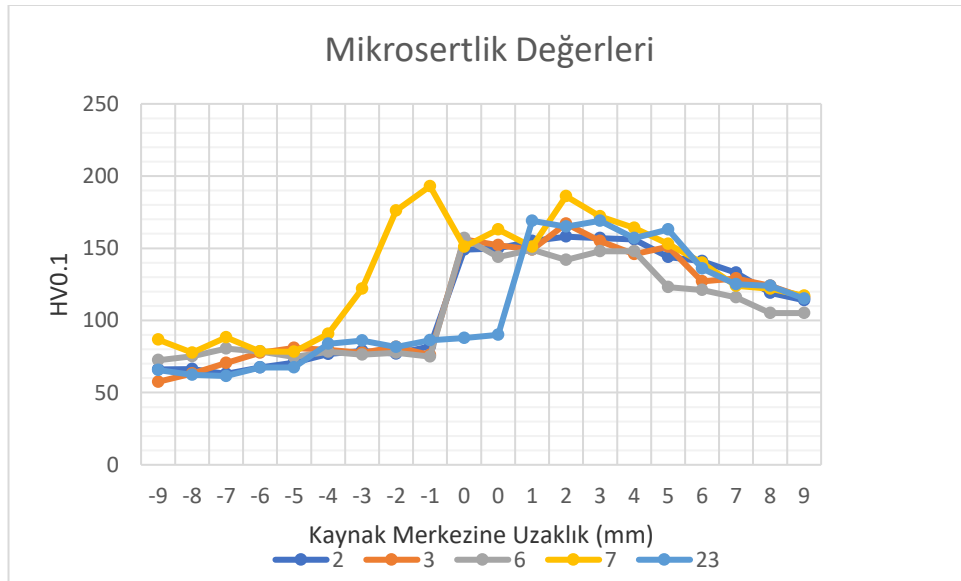
Yüzde uzama değerleri üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen iş parçalarında %1,09 ile %2,94 arasında, beşgen pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen parçalarda %0,44 ile %2,81 arasında ve helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen iş parçalarında %2,71 ile %3,38 arasında değişmektedir. Yüzde uzama değerlerinin çekme dayanımları ile doğru orantılı bir ilişkisi vardır. Çekme dayanımlarının verimlilik hesabıyla, numunelerin yüzde uzama değerlerinin ana metalin yüzde uzama değerlerine kıyasla oranlarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Metalografik muayene sırasında boşluk tespit edilen numunelerin çekme dayanımları ve yüzde uzama değerleri diğer numunelere göre düşük seviyededir.

4.3 Mikrosertlik Değerleri

Kaynak işlemi gerçekleştirilen AA6082-T6 ve AA7075-T651 alaşımlarının mikrosertlik ölçümleri 1 mm aralıklarla 100 gr yük altında yapılmıştır. Tablo 4.4-4.6 arasında farklı pim geometrilerine sahip numune gruplarının mikrosertlik dağılım değerleri tablo ve grafik şeklinde gösterilmiştir.

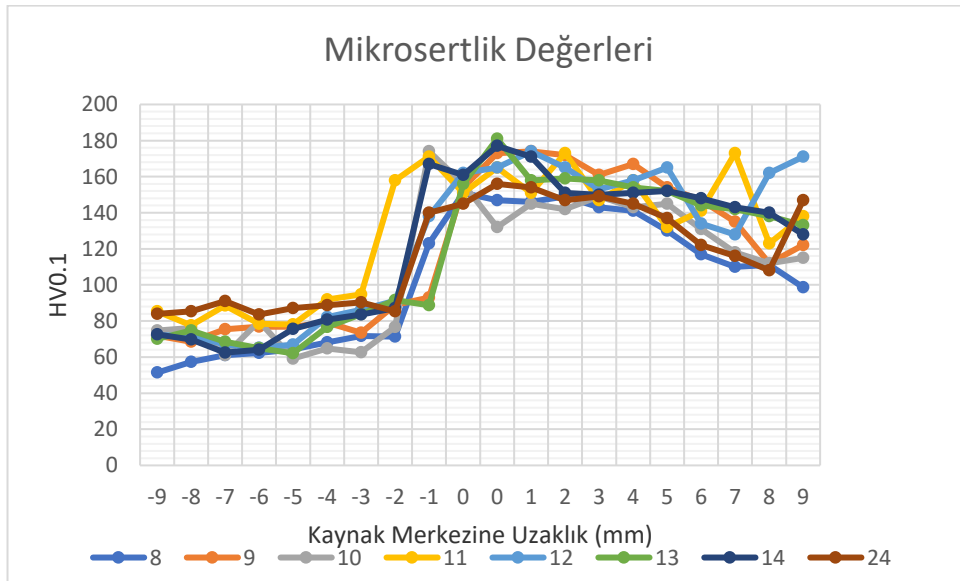
Tablo 4.4 Üçgen pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri

mm/num	2	3	6	7	23
-9	66	57,5	72,4	86,8	65,6
-8	66,2	63,2	75,2	77,7	62,2
-7	63	70,5	80,5	88,3	61,5
-6	67,3	77,6	78,4	78,5	67,3
-5	70,8	80,9	74,8	78,3	67,5
-4	76,7	79,7	78,3	90,7	83,9
-3	78,9	77,7	76,3	122	86,1
-2	76,9	81,7	77,6	176	81,6
-1	82,1	76	75	193	86,3
0	149	156	157	151	87,9
0	150	152	144	163	90
1	155	149	149	151	169
2	158	167	142	186	165
3	157	155	148	172	169
4	156	146	148	164	157
5	144	151	123	153	163
6	141	127	121	140	136
7	133	129	116	124	125
8	119	124	105	122	124
9	114	116	105	117	115



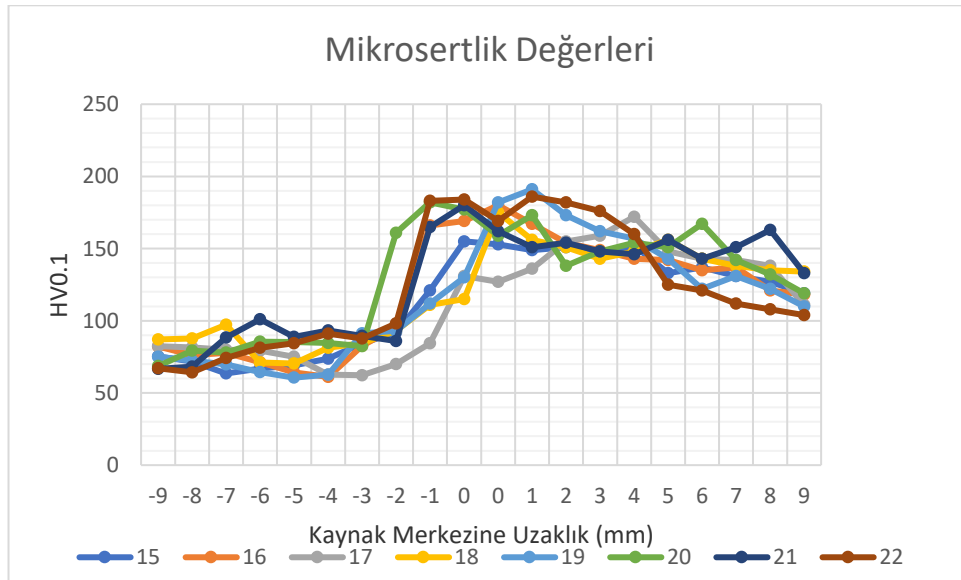
Tablo 4.5 Beşgen pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri

mm\nu m	8	9	10	11	12	13	14	24
-9	51,4	71,9	74,8	85,4	72,1	70,1	72,6	83,9
-8	57,3	68,5	76,2	77,6	72	74,7	69,7	85,4
-7	61	75,4	61	88,6	67	68,5	62,5	91
-6	62,3	76,8	79,8	78,4	65,1	64,9	64,1	83,6
-5	64,3	76,8	59,2	78,1	66,9	62,1	75,6	87,2
-4	68,1	79,2	64,7	91,9	82,2	76,7	80,7	88,7
-3	71,7	73,5	62,7	94,7	86,2	83,8	83,6	90,4
-2	71,4	88,9	76,6	158	91,3	91,6	87,1	85,4
-1	123	93	174	171	138	88,8	167	140
0	151	154	156	151	162	156	161	145
0	147	173	132	165	165	181	177	156
1	146	174	145	151	174	158	171	154
2	149	172	142	173	165	159	151	147
3	143	161	149	147	153	158	150	149
4	141	167	143	158	158	154	151	145
5	130	154	145	132	165	152	152	137
6	117	147	131	141	134	144	148	122
7	110	135	118	173	128	142	143	116
8	111	112	112	123	162	138	140	108
9	98,6	122	115	138	171	133	128	147



Tablo 4.6 Helisel pim numune grubuna ait mikrosertlik değerleri

mm/nu m	15	16	17	18	19	20	21	22
-9	75,4	82,1	82,4	87	75,1	68,6	66,7	67,1
-8	71,7	76,3	81,5	87,8	72,5	79,4	68,2	64,3
-7	63,5	77,8	79,9	97,3	69,7	78	88,3	74,3
-6	66,8	71,3	79,3	71	64,5	85,6	101	81,2
-5	69,1	64,3	75	70,4	60,6	85,2	88,9	84,4
-4	73,8	61,1	62,7	81,2	62,7	84,6	93,3	91
-3	84,4	82,6	62,3	84,7	91,2	82,5	89,6	87,8
-2	92	95,7	70	93	93	161	86	98,2
-1	121	166	84,4	111	112	182	165	183
0	155	169	131	115	130	177	180	184
0	153	180	127	175	182	159	162	169
1	149	167	136	156	191	173	151	186
2	151	154	155	151	173	138	154	182
3	147	149	159	143	162	148	148	176
4	152	143	172	148	157	154	146	160
5	133	142	148	156	143	151	156	125
6	137	135	143	143	122	167	143	121
7	131	137	142	138	131	142	151	112
8	127	121	138	135	122	132	163	108
9	119	118	111	134	110	119	133	104



Grafikler incelendiğinde kaynak merkezlerinde mikrosertlik değerlerinin yükselme eğiliminde olduğuna ulaşılmaktadır. Kaynak merkezinde metalografik muayene sonucu tespit edilen ince taneli yapı sertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur. Termomekanik etkilenen bölgede kaynak merkezine kıyasla daha düşük değerler görülürken ısı etkisi altındaki bölgeye kıyasla daha yüksek değerler görülmüştür. Isı etkisi altındaki bölgede diğer bölgelere göre fazla sayıda çökelti oluştuğu için ana malzemeye göre sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir.



BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Tez kapsamında 5 mm kalınlığındaki AA6082-T6 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarından oluşan levhaların, sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi kullanılarak birbirleri ile alın altına birleştirme işlemi yapılmıştır. Takım dönme hızı ve takım ilerleme hızı kaynak işlemi gerçekleştirilirken kullanılan değişken parametrelerdir. Aynı zamanda kaynak işlemleri sırasında farklı takım pim geometrileri kullanılarak, kaynak performansı üzerine yarattıkları etkilerin belirlenmesi amacıyla birleştirilmiş levhalardan elde edilen numunelerin incelemesi yapılmıştır.

- Makroskobik muayene sonucunda pim geometrisine bağlı olarak, kaynak işlemindeki yeterli ısı girdisinin farklı v değerleriyle sağlandığı tespit edilmiştir. Üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen gruplarda v değeri 10'dan yüksek olan numunelerde ısı girdisine bağlı olarak kaynak işlemleri başarılıyken, helisel ve beşgen pim gruplarında daha düşük v değerlerinde başarılı bir kaynak işlemi için yeterli ısı girdisi sağlanmıştır.
- Metalografik muayene sonucunda, kaynak merkezleri incelendiğinde v değerinin artmasıyla ısı girdisinin arttığı ve bunun sonucunda malzeme akışının daha iyi olduğu görülmektedir. Aynı v değerine sahip numunelerde ise en iyi malzeme akışı helisel pim grubunda gözlemlenmiştir.
- Mikroskobik muayene sonucunda tüm numunelerde kaynak merkezinde ince taneli yapı, termomekanik etkilenen bölgede deformasyona uğramış ve bunun sonucunda uzamış ve yassılaştırmış tane yapıları, ısıdan etkilenen bölgede ise iri taneli yapı tespit edilmiştir.
- Takım pim geometrileriyle ilişkili olarak kaynak bölgelerinde değişimler meydana gelmiştir. Üçgen pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen numunelerin kaynak merkezi oval bir yapıya sahipken, beşgen

pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen numunelerin bombeli bir yapıya sahip olduğu, helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynağı gerçekleştirilen numunelerin ise konik yapıda olduğu görülmüştür.

- Numunelerin çekme dayanımları ile takım dönme hızları arasında doğru orantılı bir ilişki olmasına rağmen v değeri 16 olan numunelerde en düşük değerlere ulaşılmıştır.
- Çekme testi sonucunda verimlilik yüzdeleri dikkate alındığında helisel pim geometrisine sahip takım ile kaynak işlemi gerçekleştirilen levhalardan elde edilen numunelerde en iyi sonuç elde edilmiştir.
- Sertlik sonuçlarının genel eğilimi dikkate alındığında IEB'nin ana malzemeye göre daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu, TEB'de bu değerlerin artış gösterdiği ve KM'de en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akinlabi, E.T. (2012). Effect of shoulder size on weld properties of dissimilar metal friction stir welds. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21, 1514-1519.
- Ambriz, R.R. ve Mayagoitia, V. (2011). "Welding of aluminum alloys", Recent trends in processing and degradation of aluminium alloys. *Intech*, ISBN: 978-953-307-734-5.
- Çam, G. (2001). Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 267-277.
- Çam, G. (2002). Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları. 9. *Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 450-458.
- Davoodi, A., Esfahani, Z. ve Sarvghad M. (2016). Microstructure and corrosion characterization of the interfacial region in dissimilar friction stir welded AA5083 to AA7023. *Corrosion Science*, 107, 133-144.
- DebRoy, T. ve Bhadeshia, H.K.D.H. (2010). Friction stir welding of dissimilar alloys – a perspective. *Science and Technology of Welding and Joining*, 15, 266–270.
- Kumar, R.R., Kumar, S. ve Kumar, A. (2017). Study on effect of tool geometry on energy and temperature of friction stir welding. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8, 742-754.
- Kurt, A., Boz, M. ve Özdemir, M. (2004). Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19 (2), 191-197.
- Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V. ve Elangovan, K. (2009) Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints. *Int J Adv Manuf Technol.*, 40, 286–296.

- Mahoney, M., Mishra, R.S., Nelson, T., Flintoff, J., Islamgaliev, R., Hovansky, Y., ve diğ er. (2001). Friction stir welding and processing. *TMS*, 183.
- Mishra, R. S. ve Ma, Z.Y. (2005). Friction stir welding and processing. *Mater. Sci. and Eng. R*, 50, 1-78.
- Özsoy, M. ve Kaluç, E. (2001). Sürtünen eleman ile birleştirme kaynağ ının esasları. *Mühendis ve Makina*, 43(513), 19-27.
- Rodriguez, R.I., Jordon, J.B., Allison, P.G., Rushing, T. ve Garcia L. (2015). Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welding of 6061 to 7050 aluminum alloys. *Materials and Design*, 83, 60-65.
- Sharma, C., Dwivedi, D.K. ve Kumar, P. (2012). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA7039 aluminum alloy. *Materials and Design*, 36, 379-390.
- Shojaeefard, M.H., Behnagh, R.A., Akbari, M., Givi, M.K.B. ve Farhani F. (2013). Modelling and pareto optimization of mechanical properties of friction stir welded AA7075/AA5083 butt joints using neural network and particle swarm algorithm. *Materials and Design*, 44, 190-198.
- Takhakh, M.A. ve Shakir, N.H. (2012). Experimental and numerical evaluation of friction stirs welding of AA 2024-W aluminum alloy. *Journal of Engineering*, 18.
- Wei, Y., Li J., Xiong J., Huang F. ve Zhang F. (2012). Microstructures and mechanical properties of magnesium alloy and stainless steel weld-joint made by friction stir lap welding. *Materials and Design*, 33, 111-114.
- Yılmaz, S.S., Ünlü B.S., Uzkut M. ve Ertürk D. (2016). Alüminyum alaşımlarında sürtünme karıştırma kaynağ ı ve uygulamalar. *Mühendis ve Makina*, 57 (676), 56-63.
- Yükler, A.İ., Bilici, M.K. ve Fidaner, O. (2012). Alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynak hataları. 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*.