



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞINDA MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BEKİR BURAK GÜNDÜZ

Kasım 2017

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞINDA MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BEKİR BURAK GÜNDÜZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kemal NURVEREN

Kasım 2017

Bekir Burak GÜNDÜZ tarafından Yrd.Doç.Dr. Kemal NURVEREN danışmanlığında hazırlanan “6082-T6 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ, (Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü)

Üye : Doç.Dr. Murat GÖKÇEK, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye : Yrd.Doç.Doç.Dr. Kemal NURVEREN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

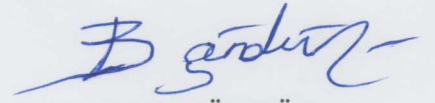
...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Bekir Burak GÜNDÜZ

ÖZET

6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞINDA MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

GÜNDÜZ, Bekir Burak
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Kemal NURVEREN

Kasım 2017, 38 sayfa

Bu tez çalışmasında, AA 6082 alüminyum alaşıma MIG kaynağı ile farklı alaşımdaki kaynak telleri kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinin alaşımının mekanik özelliklerine ve mikro yapısına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı alaşımdaki kaynak telleri ile farklı kaynak akım değerlerinde yapılan kaynak işlemlerinin alaşımın sertlik, akma ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerine etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca mikro yapı fotoğrafları çekilerek inceleme yapılmıştır. Kullanılan tel değişkenine bağlı olarak kaynak akım şiddeti arttıkça genel olarak alaşımın dayanım değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: AA 6082 alaşım, MIG kaynağı, mekanik özellikler, mikro yapı

SUMMARY

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 6082-T6 ALUMINIUM ALLOY IN MIG WELDING

GÜNDÜZ, Bekir Burak

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Kemal NURVEREN

November 2017, 38 pages

In this thesis study, it is aimed to investigate the effects on the mechanical properties and microstructure of the AA 6082-T6 alloy performing MIG welding processes using different alloy welding wires. The effects of different welding currents using with different welding wires on the mechanical properties such as hardness, yield and tensile strength of the alloy have been studied comparatively. Microstructure photographs are taken and examined. As the welding current intensity increases according to the used welding wire, a decreasing of the mechanical properties of the alloy is seen generally.

Keywords: AA 6082 alloy, MIG welding, mechanical properties, microstructure.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında çok sayıda katkısı bulunan danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Kemal NURVEREN hocama ve deneyleri yapmamda yardımlarını esirgemeyen Sn. Arş. Gör. Habip Gökay KORKMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Alüminyumun Elde Edilmesi.....	8
1.2.1 Alüminyumun genel özellikleri	9
1.2.2 Alüminyum ve alaşımları.....	10
1.2.2.1 İsimlendirme kriterleri ve standartları	11
1.2.2.2 Isıl işlem tanımları	12
1.3 AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri.....	13
1.3.1 1XXX serileri.....	13
1.3.2 2XXX serileri.....	14
1.3.3 3XXX serileri.....	14
1.3.4 4XXX serileri.....	14
1.3.5 5XXX serileri.....	15
1.3.6 6XXX serileri.....	15
1.3.6.1 AA 6082 serisinin karakteristik özellikleri.....	15
1.3.6.2 AA 6082 serisinin uygulama yerleri	16
1.3.7 7XXX serileri.....	16
1.3.8 8XXX serileri.....	16
1.4 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler.....	17
1.5 Alüminyum Alaşımlarının Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri	17
1.6 Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı	20
1.6.1 MIG kaynak yöntemi ile kaynatılan alüminyum ve alaşımları.....	20
1.6.2 MIG kaynak makinesinin alüminyum ve alaşımları kaynağı için ayarları	21
1.6.3 Alüminyum ve alaşımları kaynağında kullanılan teller.....	21

1.6.4 Kaynak öncesi temizleme	21
1.6.5 MIG ile alüminyum ve alaşımları kaynağında kullanılan gazlar.....	21
1.7 MIG Kaynağı ile Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı	22
BÖLÜM II MATERYAL VE METOT	23
2.1 Materyal	23
2.2 Deneylerde Kullanılan Kaynak Telleri	26
2.2.1 MAL 4043 özellikleri	26
2.2.2 MAL 5356 özellikleri	27
BÖLÜM III BULGULAR VE TARTIŞMA	28
3.1 Çekme Deneyi Bulguları	28
3.1.1 Kaynak teli-4043.....	28
3.1.2 Kaynak teli-5356.....	30
3.2 Sertlik Ölçümleri.....	31
3.2.1 MAL 4043 ile yapılan kaynak işlemi sonrası	31
3.2.2 MAL 5356 ile yapılan kaynak işlemi sonrası	32
3.3 Mikroyapı İncelemeleri.....	32
BÖLÜM IV SONUÇ	34
KAYNAKLAR	35
ÖZ GEÇMİŞ	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Alüminyumun genel özellikleri	9
Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarının değişik standartlardaki kısa gösterimi	11
Çizelge 1.3. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	12
Çizelge 1.4. Alüminyum alaşımlarının ısıtma işlem seri numaraları	13
Çizelge 1.5. Bazı döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	18
Çizelge 1.6. Bazı döküm alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri	20
Çizelge 2.1. AA 6082 alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri	24
Çizelge 2.2. Deney numunelerinin kodları ve yapılan işlemler.....	25

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Birincil alüminyum üretim aşamaları.....	8
Şekil 1.2. İkincil alüminyum üretim aşamaları.....	9
Şekil 2.1. Alüminyum parçaların kaynak işlemi sırasında desteklenmeleri.....	22
Şekil 2.2. Kaynak işlemi esnasında torcun pozisyonu.....	22
Şekil 3.1. 4 serisi numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	28
Şekil 3.2. 4 serisi numunelerde akım şiddetine bağlı olarak akma dayanımı ve çekme dayanımı ilişkisini gösteren grafikler.....	29
Şekil 3.3. 5 serisi numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	30
Şekil 3.4. 5 serisi numunelerde akım şiddetine bağlı olarak akma dayanımı ve çekme dayanımı ilişkisini gösteren grafikler.....	30
Şekil 3.5. 4 serisi numunelerde MIG kaynağı sonrası sertlik dağılımları	31
Şekil 3.6. 5 serisi numunelerde MIG kaynağı sonrası sertlik dağılımları	32

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Çekme deneyi numunesi	23
Fotoğraf 2.2. Çekme deneyi cihazı	24
Fotoğraf 2.3. Vickers sertlik ölçüm cihazı.....	25
Fotoğraf 3.1. AA 6082-T6 alüminyum alaşımın mikro yapı fotoğrafı.....	33
Fotoğraf 3.2. Numunelere ait kaynak bölgelerinin mikro yapıları	33



BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Alüminyumun endüstride kullanımını her geçen gün artmakta olup, alüminyumun ve alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı çelikten sonra ikinci göze çarpan malzeme olmuştur.

Alüminyum ağırlıkça hafiftir. Ayrıca elektrik ve ısı iletkenlik açısından çok iyidir. Korozyon dayanımı açısından da başarılı olup, ayrıca zehirli değildir ve doğa dostudur. Alüminyum döküm yöntemi ile üretilip döküm şekli ile de kullanılabilir, ayrıca dövülüp dövme şeklinde üretimi de söz konusudur. Çünkü şekillendirilebilme kabiliyeti oldukça iyi olup, şekillendirmeden sonra üstün yüzey kalitesi elde edilebilir. Alüminyum, sahip olduğu dile getirilen bu olumlu özellikleri sayesinde mühendislik malzemesi olarak pekçok alanda yer bulabilmektedir (Smith, 2001).

Alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olup çelik ($7,83 \text{ g/cm}^3$) ve bakır ($8,93 \text{ g/cm}^3$) gibi metallerin yoğunluğu ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dayanım açısından çeliklerden zayıf olmasına rağmen geometrik açıdan yapılacak iyileştirmelerle çeliğe yakın bir dayanıma ulaşabilmektedir. Pek çok yapı ve makine elemanlarında alüminyum alaşımlarının kullanılması hafiflikten dolayı avantaj sağlamaktadır. Düzgün bir mühendislik tasarımı sonrasında, elde edilen yapı üzerinde nerdeyse yarıdan daha fazla olacak kadar bir hafiflik sağlanabilmektedir.

Alüminyum imalatı yapan firmalar tarafından verilen bilgilere göre alüminyum ve alaşımların en yaygın kullanıldığı mühendislik alanı taşıma sektörüdür. Bunun yanısıra ambalajlama sektörü, taşımacılık sektörünün hızla gerisinden gelmektedir.

Alüminyum ve alaşımları dayanım, güvenlik ve rahatlıktan ödün vermeden üretilecek bir otomobilin tasarımında kullanılacak en önemli yapı malzemesi olmaktadır. Alüminyum ve alaşımları, otomobillerde genellikle döküm alaşımı formunda özellikle

motor ve şanzıman parçalarının imalatında kullanılırken, dövme esaslı alaşımları çubuk, levha ve değişik geometrilere profil gibi yapısal elemanlar olarak kasa ve soğutma sistemi gibi aksamlarda daha çok tercih edilmektedir (Zeytin, 2000). Alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş ürünlerin hemen hemen dörtte biri taşıtlarda kullanılmaktadır. Tahmin edileceği üzere bir aracın ne kadar hafif olması onun o kadar az enerji tüketmesini sağlayacaktır. Bu sayede hem yakıt tüketimi azalacak hem de nispeten daha çok yük taşıma kapasitesi sağlanmış olacaktır. Günümüzde araba olarak tanımladığımız herhangi bir taşıma aracında 60-70 kg civarı alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Bu sayede karşılaştırma yapıldığında hemen hemen 120 kg çelik kullanımından kazanç sağlanmaktadır. Yapılan hesaplamalar, alüminyumun kullanıldığı bir araç ile kıyaslayacak olursak, alüminyum kullanılmamış başka bir araca nazaran kullanım ömrü boyunca tonlara varan yakıt kazancı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Alüminyum alaşımlarının hafif olması ve dayanıklı olması sayesinde yine aynı şekilde alüminyumun havacılık endüstrisinde yoğun olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bugün bir uçağın ağırlık olarak yarısından fazlası alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş parçalardan oluşmaktadır. Alüminyum özellikle alityum ile alaşımlandırılarak daha da hafif hale getirilebilmektedir. Alüminyum ve alaşımları, daha önce de bahsedildiği gibi korozyon dayanımı açısından oldukça iyi özellikler sergilediği için deniz taşımacılığı sektöründe de geniş kullanım alanına sahip olmuştur.

Alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş döküm ya da dövme parçalar olduğu gibi her durumda kullanılmayabilmektedir. Bazı hallerde birkaç parçanın daha sonra birleştirilmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda akla ilk gelen şey güçlü bir çözülemes bağlantı sağlayan kaynak işlemi olmaktadır. Alüminyum ve alaşımları üzerine yapılan kaynak etme çalışmalarında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, kaynak işlemi için en ideal kaynak türü bir gaz altı kaynak işlemi olan MIG (Metal Inert Gaz) kaynağıdır. Alüminyum MIG ile kaynak edildiğinde, kaynak edilebilme kabiliyeti oldukça iyidir (Askeland, 1998).

Babu vd. (2012) yaptıkları çalışmada kaynak işleminde metalin mikro yapısındaki tane boyutu ve tane şekli ile bağlantılar araştırılmıştır. Bu çalışmada, dolgu için Skandiyum (Sc) elementi eklenmiş ve AA 6082 alaşımına GTA (Gaz Tungsten Ark) kaynağı ile işlem uygulanmıştır. Kaynak işlemi sonrasında oluşan birleştirmenin mekanik özellikleri ve

mikro yapısı incelenmiştir. Tane boyutunu küçültmek amacı kontrollü bir şekilde ve değişik miktarlarda Sc eriyik havuzunun içine daldırılmıştır. Tane boyutunun artan Sc miktarı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Al_3Sc parçacıkları tarafından tane boyutu inceltmenin esas sebebi $\alpha-Al$ tanelerinin heterojen çekirdeklenme yaparak hareket etmesidir. Diğer kaynaklar ile karşılaştırıldığında AA 5356 döküm parçası ile hazırlanan kaynakların, yüksek dayanıklılık ve süneklik sergilediği görülmüştür. Gözlenen tane inceltme sonucu füzyon bölgesinde sertlik mukavemet ve esneklikte kayda değer bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Cavaliere'nin (2013) yılında yaptığı çalışmada, FSW (friction stir welding-sürtünme karıştırma kaynağı) katı hal birleştirme yöntemi kullanılmıştır. İşleme koşullarının ve malzeme özelliklerinin kaynak edilecek malzemenin mikro yapısını ve mekanik davranışlarını etkilediği görülmüştür. Kaynak sürecine dâhil ana parametreler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar çalışmada paylaşılmıştır. FSW birleştirme yöntemi kullanılarak kaynak edilen birkaç alüminyum alaşımının yorulma ve çatlak davranışları incelenmiştir. Nihai mekanik performansı belirlemek amacıyla tüm malzeme özellikleri ve işlem parametreleri arasında bir bağlantı kurmak için bir çok optimizasyon aracı kullanılmak suretiyle kaynak analizi yapılmıştır.

Scialpi vd. (2007) yaptıkları çalışmada, uçak ve otomotiv sanayinde yaygın kullanım alanı bulan ve katı hal birleştirme tekniği olan FSW yöntemi ile farklı alüminyum alaşımlarının kaynak yapılabirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada kalınlığı 0.8 mm 2024-T3 ve 6082-T6 alüminyum alaşımı levhalar, IFSW (ultra-ince levhalar için FSW) yöntemi ile haddeleme yönüne paralel şekilde kaynak edilmiştir. Benzer ve farklı birleştirmeler başarıyla üretilmiş ve analiz edilmiştir. Mekanik karakterizasyon için sabit yükte ve genlikte statik ve tek eksenli yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak mikro sertlik, kalıntı gerilme ölçümleri kaynaklı levhalar üzerinde yapılmıştır.

Ericsson ve Sandström (2002) yılında yaptıkları çalışmada, alüminyum alaşımları için FSW, MIG ve TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemleri çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklı kaynak yöntemlerinin farklı kaynak hızlarında malzemenin yorulma dayanımı üzerine etkileri analiz edilmiştir. T4 ve T6 temper koşullarında olan Al-Mg-Si alaşımı numuneler kaynak işlemleri sonrasında yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, düşük ve yüksek kaynak hızı aralığı içinde

kaynak hızı, FSW kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde mekanik ve yorulma özellikleri üzerinde büyük bir etkide bulunmaktadır. Düşük kaynak hızlarında yapılan kaynak işlemleri sonucu malzemenin yorulma performansının artması, muhtemelen birim uzunluk başına kaynak için sağlanan ısının miktarının artmasına bağlı olarak arttığı düşünülmüştür. MIG ve TIG kaynakları ile yapılan numunelerde FSW kaynak yöntemine göre daha düşük statik ve dinamik dayanım gözlemlenmiştir.

Kouadri ve David (2013) yaptıkları çalışmada, DP600 çelik ve alüminyum 6082 arasında lazer kaynağı ile heterojen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerin fizibilitesi üzerinde durmuşlardır. Kabul edilen süreçte 2 modda lazer gücü kullanılmıştır: Anahtar deliği ve lazer kaynaklı reaktif ıslatma. Elde edilen sonuçlara göre galvanizli tabakalarda lazer kaynak kullanımında, anahtar deliği modunda, 600 lümen ile sınırlı olmaktadır. Ayrıca süreç parametreleri optimize edilerek nüfuziyet kontrol edilerek malzemenin kesme mukavemeti 140 MPa değerlerine çıkarılmıştır. Bu kaynak yöntemi ile bir başka önemli faktör, çinko buharının kaçmasını sağlamak için rijit bir sıkma sistemi kullanarak tabakalar arası boşluk kontrolü yapılabilmektedir. Bu yaklaşım ile elde edilecek 200 MPa kesme mukavemetine kadar bir artış sağlanabilmektedir. Lazer kaynaklı reaktif ıslatma modu ile yapılan işlemlerde bir reaksiyon katmanı oluşumu görülmekte ve kaynak birleşimi daha kırılğan olmaktadır. Bu mod, çinkonun varlığı, reaksiyon katmanı büyümesini sınırlar ve bu durum mekaniksel dayanım açısından düşüğe yol açan bir faktör olmaktadır. Elde edilen test sonuçları, mekanik mukavemet artışının yaklaşık 80 MPa ile sınırlı olduğunu göstermektedir.

Ruan vd. (2012) yaptıkları çalışmada, MIG kaynağı kısmen SiO₂ akısı ile birlikte 6 mm kalınlığında 6082-T6 Al-alışımı plakaya uygulanmıştır. Kaynak bağlantısının mikroyapısal özellikleri optik, SEM (scanning electron microscope) ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özellikler mikro-sertlik ve çekme testi ile çalışılmıştır. Sonuçlara göre, SiO₂ akısı olmadan hazırlanan birleşimlerin mikroyapısında hiçbir belirgin fark yoktur, SiO₂ akısı ile yapılan kaynak işlemlerinde HAZ (heat affected zone-ısıdan etkilenen bölge) bölgesinin biraz daha geniş olduğu gözlemlenmiştir. SiO₂ akısı ile kaynak sonrası penetrasyonun SiO₂ akısı olmayana göre yaklaşık % 26 daha derin olduğu görülmüştür. Derinliğin başlıca nedeni arkın yapısı ve yüksek ark sıcaklığıdır. Tüm çekme testi parçalarında çukur plastik kırılma yüzeyleri

görülmüştür ve SiO₂ akısının kaynak yerinde mikro sertlik ve dayanıklılık üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Cavaliere vd. (2009) Al-Li alaşımları ile çalışmışlardır. Bu alaşımlar güçlü anizotropik özellikleri ile karakterize edilmektedir. 2198 Al-Li saclar FSW yöntemiyle haddelene yönüne paralel ve dikey olarak birleştirilmiştir. Malzemenin mikro yapısı ve değişik fazlarla üretilen birleştirmelerin mikro yapıları TEM (Transmisyon elektron mikroskopu) ile gözlemlenmiştir. Buna ek olarak oda sıcaklığında yorulma testleri ile mekanik özellikler ve gerilmeler değerlendirilmiştir. Yorulma deneyleri, farklı kaynak koşulları için $R=r_{\min}/r_{\max} = 0,33$ eksenel kontrol modunda yapılmıştır. Kaynak bölgesinde çatlak oluşumu ve ilerlemesi de tek kenar çentikli numuneler kullanılarak, döngüsel yorulma testleri sırasında TSA (Termoelastik gerilme analizi) uygulanarak incelenmiştir. Termoelastik gerilme analizi verileri asal gerilmeleri ölçmek için kullanılmış ve elde edilen verilerden görülen büyüme oranına göre çatlak ucu etrafındaki yüzey, çatlak evrimini modellemek için FEM (sonlu elemanlar analizi) kullanılarak incelenmiştir.

F. Ay (2012) yılında yaptığı çalışmada 6061-T6 ve 7075-T651 alüminyum alaşımlarının RSW (direnc nokta kaynak) kabiliyetini araştırmıştır. Ticari ve yaşlandırılmış numunelerin farklı varyasyonları ile direnc nokta kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Mikro yapılar SEM, EDS, XRD (X-ışını kırınımı) ve EPMA (elektron prob mikro-analizler) ile yapılmış ayrıca mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak kesme gerilme testleri, mekanik özelliklerin incelenmesi ve kaynak yapılmış yerin kırılma davranışını tespit etmek için yapılmıştır. Testler, kaynak öncesi yaşlanma ısıl işlem mekanik özelliklerini artırdığı sonucuna varıldı.

P. Cavaliere vd. (2007) yılında yaptığı çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen AA 6082 alaşımların birleşme yerlerinin mekanik ve mikro yapıları üzerinde işleme parametrelerinin etkilerini analiz etmişlerdir. Farklı kaynak örnekleri 1600 rpm sabit döner hız kullanılarak ve 40 ile 460 mm/dk arasında kaynak hızları seçilerek üretilmiştir. Birleşme yerlerinin mekanik özellikleri oda sıcaklığında çekme testi vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Yorulma testleri sabit genlikli kumandadan 250 Hz sinüzoidal yükleme altında bir rezonans elektro-mekanik test makinesi kullanılarak yapılmıştır. Yorulma testleri $R_{\max} = 0.1$ olacak şekilde mevcut çalışmada kullanılan dönen bir hız ile eksenel kontrol modunda yapılmıştır. Malzemenin mikroyapısal gelişimi kaynak edilmiş olan bölgelerin kesitleri alınarak incelenmiştir.

Güngör vd. (2013) yılında yapmış oldukları çalışmada, özellikle yüksek korozyon direnci sayesinde gemi inşaat sektöründe kullanılan 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımları darbeli robotik CMT (soğuk metal transferi)-MIG teknolojisi kullanılarak kaynak edilmiştir. Kaynak edilen numunelere çekme, eğilme ve yorulma testleri yapılmıştır. Yorulma testine tabi tutulan numunelerinin kırılma yüzeyleri LOM (ışık optik mikroskobu) ve SEM yardımı ile incelenmiştir. Ayrıca kaynak bölgelerinin mikro yapıları incelenmiş ve mikro sertlik profilleri elde edilmiştir. Sonuçlara göre, CMT-MIG kaynak yöntemi ile yüksek kaynak hızlarında dahi oldukça iyi çekme ve yorulma performansı elde edilmiştir.

Sanchez-Amaya vd. (2009)'da yaptıkları çalışmada alüminyum alaşımları 5083-T0 ve 6082-T6 numuneler, yüksek güç diyot lazer kullanarak iletim rejimi altında kaynak edilmiştir. Lazer gücü ve doğrusal kaynak hızı gibi deneysel değişkenlerin, yapılan alın kaynakta malzemenin tane boyutları ve özellikleri üzerine etkisi çalışılmıştır. Kaynak tanelerinin derinlikleri ve genişlikleri ölçülmüş, mikro yapı, mikro sertlik profili ve korozyon direnci çalışılmıştır.

Kumar vd. (2008) yılında yapılan çalışmada, GMA (Gas metal arc) ile kaynak edilen 1 mm 6082 Al alaşımlarda mikro yapı araştırmaları, kaynak boncuğu geometrisi, seyreltme ve alın kaynağının mekanik özelliklerinin araştırılmasını yapmışlardır. Metal transfer davranışları yüksek çözünürlüklü fotoğraflar ile gösterilmiştir. Kaynak birleşim yerinin sağlamlığı için makroskobik ve mikroskobik olarak araştırmalar yapılmıştır. Kaynaklı birleşim yerlerinin mekanik özellikleri, gerilme mukavemeti ve sertlik açısından değerlendirilmiştir.

Scialpi vd. (2005) yılında yaptıkları çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan kaynak işlemlerinde birleşim yerlerinin farklı omuz geometrilerinin mekanik ve mikro yapıya etkisi ele alınmıştır. Proseste 1,5 mm kalınlığında 6082 T6 alaşımı kullanılmıştır. Omuz geometrilerin etkisi numunelerin 3 farklı yerinden HV mikro sertlik alınarak, eğilme testi ise oda sıcaklığında çekme cihazı ile analiz edilmiştir.

Ahmad ve Bakar'ın (2011) yılında yaptıkları çalışmada, MIG ve CMT yöntemi kullanılarak kaynaklı AA6061 numunelere kaynak sonrası ısıl işlemin mekanik ve mikro

yapı özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. CMT yöntemi ile büyük ölçüde boşluk doldurma özelliği, düşük ısı girişi, yüksek esneklik derecesi ve sıçrama olmayan kaynak edilebilirlik sağlanmıştır. Daha sonra numunelere PWHT (kaynak sonrası ısıl işlem) işlemi uygulanmıştır. Her iki farklı yöntemle kaynak edilmiş numuneler gerilme mukavemetini incelemek ve birleşme yerinde daha çok uzama elde etmek için ASTM E8M-04 standardına uygun olarak kesilmiştir. Gerilme testi yapılan numunelerin mikro yapıları SEM kullanılarak analiz edilmiştir. Vickers sertlik test makinesi kaynak birleşme yerinin sertliğini ölçmede kullanılmıştır. GMAW (Gas metal arc welding) ve CMT ile kaynak edilen AA6061'in PWHT sonuçları mekanik ve mikro yapısal özelliklerin geliştirilebileceğini göstermiştir.

Moreira vd. (2008) yılında yaptıkları çalışmada 6082-T6 ve 6061-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynaklı alın birleşme yerlerinin mekanik ve metalürjik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma için, her iki alaşımda da benzer birleştirme malzemeleri kullanılmıştır. Birleşme yerlerinin mikro yapısı, mikro sertlik, çekme ve tüm birleşme yerlerinin bükülme testleri dâhil olmak üzere incelenmiştir.

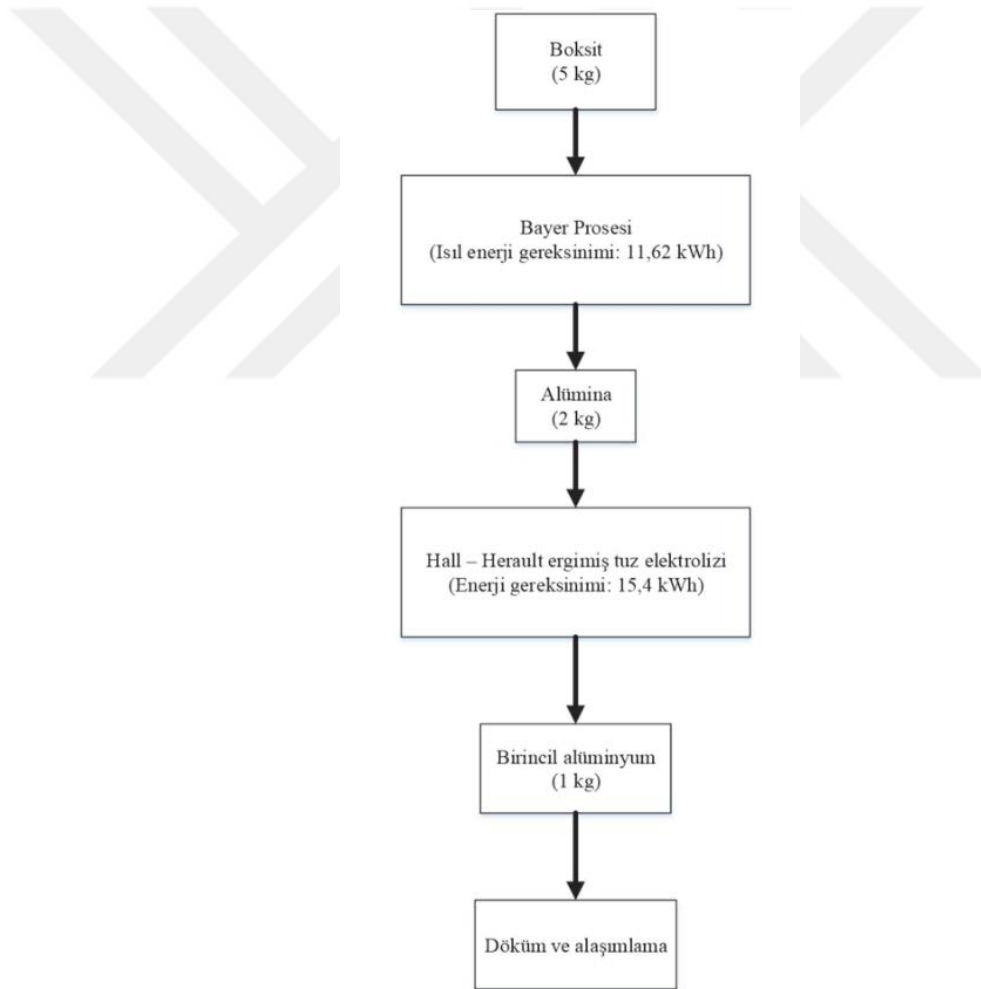
Uematsu vd. (2009)'da yaptığı çalışmada 4 farklı alüminyum alaşımın sürtünme karıştırma kaynağı sonrası yorulma davranışı araştırmak amacıyla tam tersine doğru aksenal yorulma testleri yapılmıştır. Bütün alaşımların, ana malzeme ve kaynak arasındaki yorulma davranışı üzerinde karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Kaynakların yorulma davranışı; karıştırma bölgesi, termomekanik olarak etkilenen bölge ve ısıdan etkilenen bölge olarak ele alınıp mikro yapılar incelenmiştir ve etkilendiği görülmüştür. Kaynaklı numunelerin yorulma mukavemetlerinin kaynak edilmemiş numuneden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Gözlenen yorulma kuvvetleri ile mikro yapı ve çatlak başlama davranışları incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada AA 6082-T6 alüminyum alaşımının çözülemez birleştirme yöntemlerinden birisi olan MIG kaynağı ile kaynak edilmesi sonrasında mekanik dayanımının ve mikro yapı durumunun nasıl değişim gösterdiği incelenmiştir. Farklı işlem parametreleri kullanılarak MIG yöntemi ile kaynak edilmiş olan numuneler daha sonra çekme testlerine tabi tutulmuştur. Bu amaçla iki farklı alaşımdan oluşan kaynak telleri kullanılmış ve bu teller ile kaynak makinesinden farklı akım şiddetleri seçilerek

numuneler kaynak edilmiştir. Kaynak bölgesinden alınan mikro yapı fotoğrafları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirme yapılmıştır.

1.2 Alüminyumun Elde Edilmesi

Alüminyum, bir asırdan beri tüm dünyada bilinen üretim yöntemi ile üretilmektedir. Alüminyumun elde etmek amacı ile iki aşamalı bir işlem uygulanmaktadır. Birinci aşamada, Bayer yöntemi adı verilen bir yöntem ile boksit cevherinden alumina (alüminyum oksit) elde edilmektedir. İkinci aşamada ise, elektroliz işlemi yapılarak bir önceki aşamadan elde edilmiş olan alumina, alüminyuma dönüştürülmüş olur.

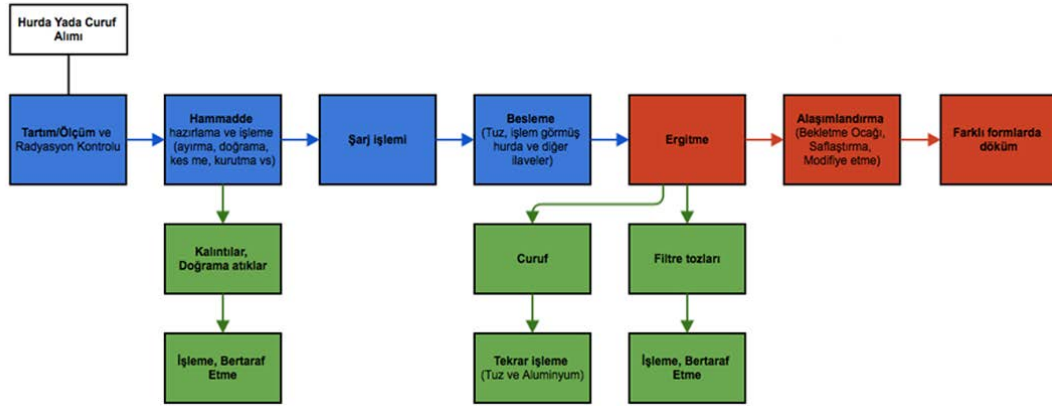


Şekil 1.1. Birincil alüminyum üretim aşamaları

Bahsedilen bu kimyasal işlemler ile elde edilen alüminyum “birincil alüminyum” olarak tanımlanır. Alüminyum ardından yarı mamül ve nihai mamüle dönüştürülmek üzere,

gerekirse da alaşımlandırma yapılarak slab, külçe veya ingot gibi formlarda olan yarı mamuller halinde dökülür ve piyasaya sunulur.

İkincil alüminyum üretimi, alüminyum endüstrisinde yeni hurda olarak adlandırılan ve üretim işlemleri sırasında oluşan çok çeşitli atıklardan yeniden ergitme yolu ile ya da eski hurda olarak bilinen kullanım ömrünü yitirmiş alüminyum ürünlerinin yeniden değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir (Askeland, 1998) .



Şekil 1.2. İkincil alüminyum üretim aşamaları

Alüminyum kolayca geri kazanılabilmektedir. İkincil üretim için gerekli olan enerji miktarı yaklaşık olarak birincil alüminyum üretimi prosesi için gerekli olan enerjinin %5-7'si civarındadır.

1.2.1 Alüminyumun genel özellikleri

Çizelge 1.1. Alüminyumun genel özellikleri

Sembol	Al
Atom numarası	13
Yoğunluk	25 °C'de 2,6978 g/cm ³
Ergime sıcaklığı	660 °C
Buharlaşma sıcaklığı	2450 °C
Dövme sıcaklığı	300-500 °C
Yeniden kristalleşme	200-300 °C
Elastik modülü	6172 N/mm ²
Çekme dayanımı	101,9 N/mm ²
Akma dayanımı	N/mm ²
% Uzama	60
Sertlik	17 BSN (Brinell Sertlik Numarası)
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik (YKM)

Burada belirtilen özellikler %99.99'un üstündeki saflıkta bulunan saf alüminyum için geçerlidir. Söz konusu özelliklerden bazıları (dayanım, %uzama vb. gibi) alaşımda bulunan elementlere ve yüzdelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Askeland, 1998).

Alüminyumun başlıca mekaniksel ve fiziksel özellikleri:

- i. Hafiflik
- ii. Yüksek mukavemet/kütle oranı
- iii. Mükemmel işlenebilirlik
- iv. Yüksek termal ve elektriksel iletkenlik
- v. Yüksek korozyon direnci
- vi. Ani yüklemelere karşı yüksek elastiklik
- vii. Düşük sıcaklıkta tokluk

1.2.2 Alüminyum ve alaşımları

Alüminyumun, endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanması bakır, çinko ve kurşuna oranla yeni sayılır. Endüstrideki hızlı gelişme, hafif fakat mekanik özellikleri iyi malzemelere duyulan ihtiyacı körüklemiş ve alüminyumu birinci sıraya yükseltmiştir. Alaşımlandıma tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak alüminyumun kullanım alanlarında da artış gözlemlenmiştir.

Saf alüminyumun elastikliği ve sertliği oldukça düşüktür. Alüminyumdan daha yüksek dayanım beklendiğinde alaşımlandırma yapılır. Alaşımlandırmanın yeterli olmadığı durumlarda ise istenen dayanım değerlerine ulaşmak için bir takım ısı işlemler uygulanır. Birçok metalik element alüminyum ile alaşım yapabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan alaşım elementleri bakır, silisyum, çinko, mangan ve magnezyumdur. Eklenen diğer bazı elementler ise (krom, zirkonyum, vanadyum) ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı, temel empürüte elementlere karşı mikro yapıda blok etkisi sağlayarak dayanım arttırmak gibi özellikler kazandırmak amacı ile alüminyuma ilave edilir.

Alaşım elementlerinin eklemekteki temel amaç alaşıma yüksek uzama kabiliyeti ve yüksek korozyon dayanımı gibi faydalı özellikleri olumsuz etkilemeden saf alüminyumun düşük

olan akma dayanımını artırmaktır. Alüminyuma ilave edilen element türü ve miktarı alaşımları tanımlamada kullanılan ilk kriterdir. Kimyasal kompozisyonun yanısıra diğer başka kriterlere göre de sınıflandırma yapılabilmektedir (Askeland, 1998).

1.2.2.1 İsimlendirme kriterleri ve standartları

Alüminyum döküm alaşımları ve dövme alaşımları olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Döküm alaşımları ile dövme alaşımları arasındaki fark döküm alaşımları, alüminyum döküm parçalarının üretiminde kullanılır. Dövme alaşımları ise haddeleme, ekstrüzyon, dövme şekillendirme, derin çekme v.b. plastik şekillendirme esaslı işlemler için uygun alaşımlardır.

Bir diğer sınıflandırma yöntemi;

- i. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları
 - ii. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları
- olmak üzere ikiye ayrılır.

Alüminyum alaşımlarının isimlendirilmesinde nümerik sınıflandırma ve alfanümerik sınıflandırma standartları kullanılır. Nümerik olarak sınıflandırmada esas, alaşım kompozisyonlarının anlamlı olarak ifade edilmesidir. Alfanümerik sistemde ise her alaşım kompozisyonu harf grupları ve rakamlardan oluşan bir kod notasyonu ile tanımlanır.

Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarının değişik standartlardaki kısa gösterimi

TS	DIN	AA	CSA	ASTM	ISO	GOST	SAE
AlCuSiMg1	AlCuMg1	2017A	CM41	Cm41A	AlCu4MgSi	1100	SAE26
Al-Si12	G_AlSi12	A413	S12N	S12N	Al-Si12	AK12	GAISi13

TS: Türk Standartları
DIN: Alman Standartları
AA: Amerikan Alüminyum Birliği
CSA: Kanada Standartları

ASTM:	Amerikan Malzeme Muayenesi ve Malzeme Kurumu
ISO:	Uluslararası Standartlar Birliği
GOST:	Rus Standartları
SAE:	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği

Günümüzde Amerikan Alüminyum Birliği'nin oluşturduğu notasyon sistemi en yaygın olarak kullanılan isimlendirme metodudur. Bu sistem numerik sınıflandırma esasına dayanmaktadır (Askeland, 1998).

1.2.2.2 Isıl İşlem tanımları

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemleri dikkate alınarak “dövme” ve “döküm” olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımlar, döküm alaşımlarından oldukça farklı mikro yapı ve kompozisyona sahiptir. Her ana grup, ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılır.

Çizelge 1.3. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Sıfıkta (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Magnezyum varsa
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
Döküm Alaşımlar		
Döküm Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Sıfıkta (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XXX	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

Dayanım derecesi, alaşımın ısı işlem görebilir veya pekleştirilebilir (soğuk şekillendirme ile dayanım artırma) olmasına göre ısı işlem tanımlaması olan sırası ile T (tempering) ve H (hardening) ile gösterilir. Diğer tanımlamalar alaşımın tavlandığını (O), çözüldürme işlemi uygulandığını (W) veya üretildiği şekilde kullanıldığını (F) gösterir. T ve H'yi takip eden numaralar pekleşme miktarını, gerçek ısı işlem tipini veya alaşımın diğer özel üretim işlem durumunu gösterir (Askeland, 1998).

Çizelge 1.4. Alüminyum alaşımlarının ısı işlem seri numaraları

Kod	Uygulanan ısı işlem
F	Fabrikasyon durumunda (üretildiği gibi, işlem görmemiş)
O	Tavlanmış (En yüksek süneklik, en düşük dayanım)
H	Soğuk şekillendirilmiş
H1	Sadece soğuk şekillendirilmiş
H2	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış
H3	Soğuk şekillendirilmiş ve kararlı hale getirilmiş
T	Yaşlandırılmış
T1	Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
T2	Üretim sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış
T5	Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlanma ile kararlı hale getirilmiş
T8	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş
T10	Üretim sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

1.3 AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri

1.3.1 1XXX serileri

Saf ya da çok az alaşım elementi ihtiva eden malzemelerdir. ($Al > \%99.00$). Bu alaşımlar fazla dayanım istenmeyen korniş, kapı, pencere profile, mutfak eşyaları v.b. yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik

iletkenliği, düşük mekanik özellikleri ve yüksek işlenebilirlik ile karakterize edilir. Bu grupta deformasyon sertleşmesi ile az miktarda mukavemet yükselmesi elde edilebilir.

1.3.2 2XXX serileri

Bu seride bakır ana alaşım elemanıdır. Seriyeye ısıtılma işlemi gereklidir. Bu serinin korozyon direnci oldukça azdır. Bu alaşımların en iyi özelliklerini elde etmek için katı eriyik ısıtılma işlemi gereklidir.

Isıtılma işleminin ardından mekanik özellikleri, bazı durumlarda döküm çeliğini geçmektedir. Bakır oranı %12'ye kadar mekanik özellikler üzerinde olumlu etkileri görülmektedir. Bu serideki alaşımlar otomatik, vagon ve uçak sanayilerinde yüksek dayanım ve hafifliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

1.3.3 3XXX serileri

Bu seride ana alaşım elemanı mangandır. Mangano alaşımındaki yüzdesi 1,5 ile sınırlandırılmıştır. Yapıda ayrıca çok az miktarda demir ve silisyum elementi bulunmaktadır. Korozyona karşı yüksek mukavemet gösterirler. Kolay işlenebilirler. Bu serideki alaşımlar tanklar, toplama kapları ve caravan yapımında tercih edilmektedir.

1.3.4 4XXX serileri

Bu serinin ana alaşım elemanı silisyumdur. Bu serideki çoğu alaşıma ısıtılma işlemi uygulanmaz. %13 den fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi çok zordur. Düşük ergime sıcaklığı, esneklik ve dekoratif görünüm bu serinin önemli özellikleri arasında sayılabilir.

Bu serideki alaşımlar lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimleri imalinde kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek silisyum ihtiva eden dökümler içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve karakterde, ayrıca nikel gibi elementlerin ilavesiyle de piston imalinde kullanılırlar.

1.3.5 5XXX serileri

Magnezyum ana alaşım elementi olarak bu seri alaşımlarda kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirlik sahip oldukları önemli özelliklerdendir.

%10 oranında magnezyum içeren alüminyum alaşımları tavlama işleminde sonra bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti, uzama ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir. Ana alaşım elemanı olarak veya manganla kullanıldığı zaman orta yükseklikteki mukavemet değerlerine sahip olan ve ısıl işlem uygulanamayan bir alaşım olmaktadır. Bu serideki alaşımlar sertlik ve dayanım istenilen özel konstrüksiyonlar için kullanılmaktadır.

1.3.6 6XXX serileri

Alüminyum-magnezyum-silisyum (AlMgSi) veya alüminyum-magnezyum silisüd (AlMg₂Si) alaşımları olarak bilinen bu alaşımlar, alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan alaşımlar olup AA 6000 serisi alaşımlar olarak sınıflandırılırlar.

Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarından olan 6000 serisi alaşımlar oldukça iyi ekstrüde edilebilme kabiliyeti, yüksek korozyon dayanımı, iyi kaynak edilebilirlik, sıcak şekillendirmeden sonra temiz yüzey ve orta derece dayanım gibi özellikler sunmaktadır. Günümüzde ekstrüzyon ile üretilen alüminyum ürünlerinin %80'inden fazlası 6000 serisi alaşımlar, %70'ini de bu alaşımlardan AA 6063 alaşımını oluşturmaktadır.

1.3.6.1 AA 6082 serisinin karakteristik özellikleri

AA 6082 alaşımlarının korozyon dayanımı yüksektir ve çok iyi kaynak edilebilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemlerden sonra soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti iyi olup yorulma dayanımları orta seviyelerdedir.

1.3.6.2 AA 6082 serisinin uygulama yerleri

- Demiryolu vagonlarında ağır yapılar
- Kamyon korkulukları
- Gemi inşaat sektörü
- Köprüler
- Askeri köprüler
- Bisiklet imalatı
- Kazan
- Platform
- Flanş
- Hidrolik sistem ve parçalar
- Maden ekipmanları
- Pilon
- Kule
- Nükleer enerji
- Gemi direkleri ve kirişleri
- İskele boruları tüpleri
- Perçin

1.3.7 7XXX serileri

Bu seride ana katkı elemanı çinko elementidir ve %5 civarında alaşıma eklenir. Bu seride çinko dökülebilirliği düşürür. Ayrıca çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirler. Bu seride yüksek dayanım özellikleri görülmektedir. Bu seri alaşımları vinç, kamyon kasası ve vidalı makine parçalarının yapımında tercih edilmektedir.

1.3.8 8XXX serileri

Alüminyuma diğer bazı alaşım elementleri ilavesi ile elde edilen bir seri olma özelliğine sahiptirler. Örneğin; %2 lityum ihtiva eden alaşımda, hafiflik, yüksek çekme ve akma dayanımı özellikleri görülmektedir.

1.4 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl işlem, katı haldeki malzemeye bir veya bir kaç yöntemle dayanarak sıcaklık değişimleri ile belli özellikleri kazandırmaktır. Burada bahsedilen yöntemler; ısıtma, bekletme, soğutma gibi combine çevrimleri kapsamaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi sırasında oluşan özellik değişimi; çözünme, belirli bileşenlerin çökmesi yoluyla oluşur.

Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemlerinde kullanılan sıcaklıklar 120 °C-550 °C arasında değişmektedir. Alüminyum işlem alaşımları ısıl işlem açısından ikiye ayrılmaktadır.

- i. Isıl işlemler ile mukavemeti arttırılabilen alaşımlar: bu alaşım grubuna örnek olarak AlMgSiCu, AlCuMgMn ve AlZnMg işlem alaşımları verilebilir. Bu gruptaki alaşımlar su vermeye, yaşlandırmaya ve tavlama tabi tutulurlar.
- ii. Isıl işlemler ile mukavemeti arttırılamayan alaşımlar: Bu gruba örnek olarak AlMn, AlMg işlem alaşımları verilebilir.

1.5 Alüminyum Alaşımlarının Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

Aşağıdaki çizelgelerde bazı döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel ve mekaniksel özellikleri sayısal olarak verilmiştir.

Çizelge 1.5. Bazı döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

Alaşım Grubu	Nominal Kompozisyon %	Yoğunluk g/cm ³	Genleşme Kat. 20-100 °C 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Isıl İletkenlik 100 °C Wm ⁻¹ K ⁻¹	Özdirenç μΩm	Elastiklik Modülü MPa.10 ³
Al	Al	99,5	2,7	24	218	3
	Al	99	2,7	24	209	3,1
Al-Cu	Cu	4,5	2,75	22,5	180	3,6
	Cu	8	2,83	22,5	138	4,7
	Cu	12	2,93	22,5	130	4,9
Al-Mg	Mg	3,75	2,66	22	134	5,1
	Mg	5	2,65	23	130	5,6
	Mg	10	2,57	25	88	71
Al-Si	Si	5	2,67	21	159	4,1
	Si	11,5	2,65	20	142	4,6
Al-Si-Cu	Si	10	2,74	20	100	6,6
	Cu	1,5				
	Si	4,5	2,76	21	134	4,9
Al-Si-Cu-Mg	Si	17	2,73	18	134	8,6
	Cu	4,5				
	Mg	0,5				
Al-Cu-Mg-Ni	Cu	4	2,78	22,5	126	5,2
	Mg	1,5				
	Ni	2				
Al-Cu-Fe-Mg	Cu	10	2,88	22	138	4,7
	Fe	1,25				
	Mg	0,25				
Al-Si-Cu-Mg-Ni	Si	12	2,71	19	121	5,3
	Cu	1				
	Mg	1				
	Ni	2				
	Si	23	2,65	16,5	107	88
	Cu	1				
	Mg	1				
	Ni	1				

Çizelge 1.6. Bazı döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

	Nominal Kompozisyon		Kondisyon	Yoğunluk g/cm ³	Genleşme	Isıl	Özdirenç μΩm	Elastiklik Modülü MPa.10 ³	
	%				Katsayısı 20-100 °C 10 ⁻⁶ K ⁻¹	İletkenlik 100 °C Wm ⁻¹ K ⁻¹			
2014A	Cu	4,4		T4	2,8	22	142	5,3	74
	Mg	0,7		T6	2,8	22	159	4,5	
	Si	0,8							
	Mn	0,75							
2024	Cu	4,5		T3	2,77	25		5,7	73
	Mg	1,5		T6	2,77	23	151	5,7	73
	Mn	0,6							
5083	Mg	4,5	Levha	H111	2,67	24,5	109	6,1	71
	Mn	0,7		H12					
	Cr	0,15		H14					
Al-Li	Li	0,2	Levha	T6	2,56				77
6061	Mg	1	Bar	H111	2,7	23,6	180		68,9
	Si	0,6		T4	2,7	23,6	154		68,9
	Cu	0,2		T6	2,7	23,6	167		68,9
	Cr	0,25							
6063	Mg	0,5	Ekstrüde edilmiş	T4	2,7	23	193	3,5	71
	Si	0,5		T6			201	3,3	
6082	Mg	1	Ekstrüde edilmiş	T4	2,7	23	172	4,1	69
	Si	1		T6	2,7	23	184	3,7	69
	Mn	0,7							
6082	Mg	1	Levha	T4			188	3,6	69
	Si	1		T6	2,69	23	293	3,4	
Al-Zn-Mg	Zn	1	Dövme		2,91	23,5	151	4,9	
	Cu	1							
	Mn	0,7							
	Mg	0,4							
7075	Zn	5,7	Ekstrüde edilmiş	T6	2,8	23,5	130	5,7	72
	Mg	2,6							
	Cu	1,6							
	Cr	0,25							

Çizelge 1.7. Bazı döküm alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri

	Nominal		Kondisyon	0,20%	Akma Dayanım 1	Çekme Dayanım 1	%Uzam a 50mm	Sertlik HB	Yorulma Dayanım 1 500 MHz Mpa
	kompozisyon %								
2014	Cu	4,4	Levha	T451	290	425	22	108	140
	Mg	0,7		T651	415	485	10	139	125
	Si	0,8	Bar	T651					
	Mn	0,75		0	440	490	8		
2024	Cu	4,5	Levha	T3	345	485	18	120	140
	Mg	1,5		T351	325	470	19	120	140
	Mn	0,6							
5083	Mg	4,5	Tube	H111	170	310	21	72	
	Mn	0,7		H24	290	370	9	310	
	Cr	0,15			180	315	19	77	
6060	Mg	0,5	Bar	T4	90	150	20		
	Si	0,4		T5	130	175	13		
				T6	190	220	13		
6063	Mg	0,5	Dövme	F	85	155	30	35	
	Si	0,5		T4	115	180	30	52	
				T6	210	245	20	75	
			Tel	H111		115			
				T4	115	180		50	
				T6	195	230		70	
6082	Mg	1	Bar	T5	260	300	15	85	
	Si	1		T651					
	Mn	0,7	Levha	0	285	315	11		
				T451	150	240	19	68	
			T651	289	315	12	104		
			T6	285	315	12	100		
7075	Zn	5,6	Levha- Ekstrüde	H111	105	230	17	60	
	Mg	2,5		-	T4	505	570	11	150
	Cu	1,6	Dövme	T73	435	505	13		
	Cr	0,25							

1.6 Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı

1.6.2 MIG kaynak yöntemi ile kaynatılan alüminyum ve alaşımları

MIG kaynak yöntemi ile hemen hemen tüm alüminyum ve alaşımlarını kaynatmak mümkündür.

1.6.2 MIG kaynak makinesinin alüminyum ve alaşımları kaynağı için ayarları

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında doğru akım tercih edilmektedir. Isı iletkenliğinin fazla olması sebebiyle başlangıçta voltaj değeri artırılıp daha sonra uygun koşullar elde edildiğinde voltaj değeri düşürülür. Bu sebeple iş parçasını kaynak etmeden önce örnek parçalar hazırlayıp kaynak denemeleri yapılarak kaynak makinesinin uygun değerleri saptanır. Böylece hatalar önceden belirlenerek önüne geçilmiş olunabilir.

1.6.3 Alüminyum ve alaşımları kaynağında kullanılan teller

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan teller, ana malzemenin alaşım elementleri göz önünde bulundurularak çekme ve dayanım özellikleri açısından uygun sonuçlar elde edilecek şekilde tercih edilmelidir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynak işlemlerinde kullanılan tellerden DIN 1732'ye göre uygun olanlar seçilmiştir.

1.6.4 Kaynak öncesi temizleme

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında iyi bir bağlantı elde edebilmek için kaynak bölgesinin yağ, kir, oksit tabakası gibi kaynak kabiliyetine zarar verecek kalıntılardan temizlenmesi gerekir. Bu temizleme işlemi mekanik ve kimyasal olarak yapılabilir. Bu temizleme işlemlerinde paslanmaz tel fırçalardan yararlanır. Fırçaların yalnızca alüminyum ve alaşımlarının temizlenmesinde kullanılması önemlidir. Yağların temizlenmesi için özellikle aseton ve beyaz ispirto kullanılmaktadır. Oksitlerin kimyasal yolla temizlenmesinde fosforik asit şeklinde kimyasal çözeltiler tercih edilir. Bu çözeltilerin içine daldırılan malzeme çıkarıldıktan sonra bol su ile yıkanır ve ardından kuru hava üflenerek işlem tamamlanır.

1.6.5 MIG ile alüminyum ve alaşımları kaynağında kullanılan gazlar

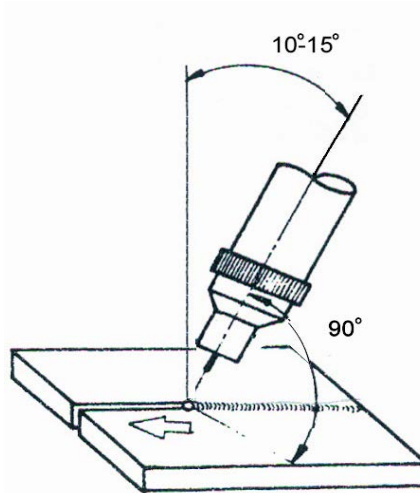
Alüminyum ve alaşımların kaynağında argon, helyum ve argon–helyum karışımı gazlar koruyucu gaz olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İnce parçaların kaynak işleminde genellikle argon, kalın parçaların kaynağında ise daha derin bir penetrasyon sağlamak amacı ile helyum veya argon–helyum karışımı gazlar kullanılmaktadır.

1.7 MIG Kaynağı ile Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı

Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında alaşımın yapısı ve levha kalınlığı dikkate alınacak başlıca faktörlerdir. Alüminyum parçaların kaynak edilirken ayrıca desteklenmeleri gerekmektedir. Şekil 1.1’de alüminyum alaşım parçaların kaynak esnasında desteklenmeleri görülmektedir. Alüminyum ve alaşımlarında daha çok spreyci ark geçişi tercih edilmektedir. Kalın parçaların kaynağında 200 °C’yi aşmamak kaydıyla bir ön ısıtma uygulanır. Kaynak esnasında torç 75°-80°’lik bir eğimle tutulur ve sola kaynak yöntemi uygulanır. Şekil 1.2’de kaynak esnasındaki torcun pozisyonu görülmektedir. Kaynak dikişi mümkün olduğu kadar düz olmalı ve torça çok az zikzak hareketi verilmelidir. MIG yöntemi alüminyumun kaynağında dikişin sonunda bir krater bırakır. Bu krater, kaynak sonunda torçu tersine doğru çevirerek doldurulur.



Şekil 1.1. Alüminyum parçaların kaynak işlemi sırasında desteklenmeleri



Şekil 1.2. Kaynak işlemi esnasında torcun pozisyonu

BÖLÜM II

MATERYAL VE METOT

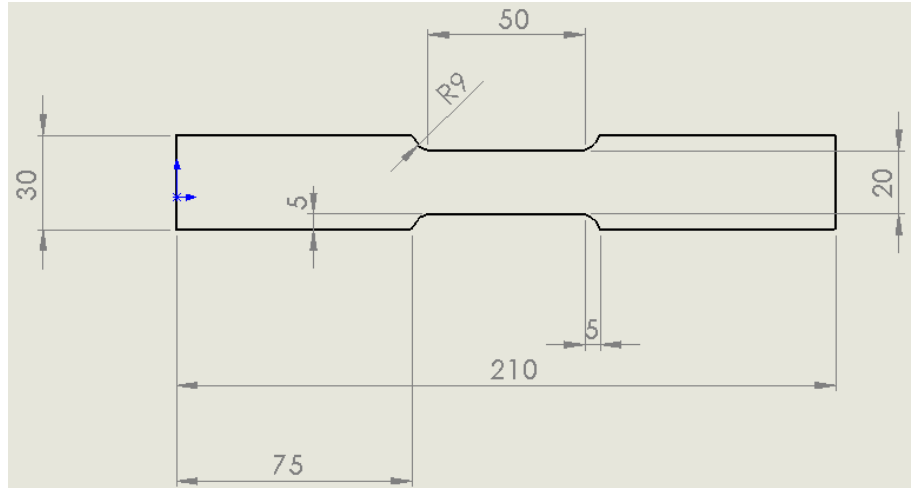
2.1 Materyal

Tez çalışmasında deneylerde kullanılan malzeme AA 6082-T6 alaşımı olup “Seykoç Alüminyum” firmasından 3 mm kalınlığında levhalar halinde satın alınmıştır. Çizelge 2.1’de alaşımın içerisinde bulunan elementler ve yüzde miktarları ağırlıkça verilmiştir.

Kaynak işlemi parametrelerinin AA 6082-T6 alaşımın mekaniksel özelliklerine etkisinin incelenmesi için sac levhalardan Fotoğraf 2.1’de görülen çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 2.1’de ise çekme numunelerine ait ölçüler verilmiştir.



Fotoğraf 2.1. Çekme deneyi numunesi



Şekil 2.1. Çekme deneyi numune ölçüleri

Çizelge 2.1. AA 6082 alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0.5	0.7-1.3	0.1	0.4-1.0	0.6-1.2	0.2	0.15	0.15	Kalan

Deneylerde kullanılmak üzere CNC router ile kesilmek sureti ile 60 adet numune hazırlanmıştır. Herbir sertlik deneyi için 3'er numune ve her bir çekme deneyi için 3'er numune kullanılmıştır.

Çekme numuneleri öncelikle tam orta yerinden kesilmiş, daha sonra ise beş farklı kaynak akım parametreleri altında (115 A, 125 A, 135 A, 145 A ve 155 A olmak üzere) iki farklı alaşımda kaynak teli seçilerek (MAL 4043 ve MAL 5356 alüminyum alaşım teller) MIG kaynağı yöntemi ile yeniden birleştirilmiştir. Numunelerin kodları ve karşılık gelen açıklamaları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Daha sonra çekme deneyleri yapılarak elde edilen mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Çekme deneyleri Fotoğraf 2.2'de görülen 100 kN kapasiteli Shimadzu Autograph çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 2.2. Çekme deneyi cihazı

Çizelge 2.2. Deney numunelerinin kodları ve yapılan işlemler

Kod numarası	Ana metal	İlave metal	Kaynak akım şiddeti (Amper)
41	AA 6082-T6	MAL 4043	115 A
42	AA 6082-T6	MAL 4043	125 A
43	AA 6082-T6	MAL 4043	135 A
44	AA 6082-T6	MAL 4043	145 A
45	AA 6082-T6	MAL 4043	155 A
51	AA 6082-T6	MAL 5356	115 A
52	AA 6082-T6	MAL 5356	125 A
53	AA 6082-T6	MAL 5356	135 A
54	AA 6082-T6	MAL 5356	145 A
55	AA 6082-T6	MAL 5356	155 A

Sertlik ölçümleri için ise Fotoğraf 2.3’de görülen Mitutoyo HV-112 Mikro Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılmış ve kaynak yapılan bölgeler üzerinde farklı noktalarda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca kaynak edilen bölgelerden numuneler hazırlanarak laboratuvarımızda bulunan Olympus BX51M optik mikroskop altında fotoğrafları çekilip mikroyapılarına bakılmıştır.



Fotoğraf 2.3. Vickers sertlik ölçüm cihazı

2.2 Deneylerde Kullanılan Kaynak Telleri

2.2.1 MAL 4043 özellikleri

%5 Si alaşımlı alüminyum gazaltı (MIG) kaynak telidir. %2'ye kadar Mg ve Si içeren alüminyum alaşımlarının ve %7'den az Si içeren dökme alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır. 4043 alaşımının mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Akma dayanımı	: 20-40 MPa
Çekme dayanımı	: 120-165 MPa
% Uzama (L=5d)	: 3-18

Genel özellikleri ise şu şekildedir.

- 6XXX serisi alaşımlar da dâhil olmak üzere ısıl işlem uygulanan alüminyum alaşımların kaynağı için tasarlanmıştır.
- 5XXX serisi dolgu alaşımlarından daha düşük ergime sıcaklığına ve daha yüksek akıcılığa sahiptir.
- 6XXX serisi alaşımların kaynağında kaynak dikişindeki olası çatlamalara karşı düşük hassasiyete sahiptir.
- Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan genel amaçlı kaynak telidir.
- Estetiğin önemli olduğu kullanım alanlarında mükemmel görünüme sahip kaynak dikişleri elde edilir.
- Anotlanmış malzemelerin kaynağı için önerilmez.
- MIG telleri tüm kaynak pozisyonlarında kullanılmaya uygundur.
- Mükemmel tel besleme kabiliyeti ve ark performansı için gerekli olan pürüzsüz bir tel yüzeyine sahiptir.
- Kaynak teli kimyasal kompozisyonunun hassas bir aralıkta sağlanabilmesi için ideal üretim prosesleri uygulanmıştır.
- Sorunsuz bir kaynak performansının garanti edilmesi amacıyla test aşamasında en gelişmiş teknolojik ekipmanlar kullanılmıştır.
- ISO 9001 kalite standardında üretilmiştir.

2.2.2 MAL 5356 özellikleri

% 3'ten fazla Mg içeren alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır. Dolgu metali deniz suyunun neden olduğu korozyona karşı dayanıklıdır ve yüksek sünekliliğe sahiptir. 5356 alaşımının mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Akma dayanımı : 110-120 MPa

Çekme dayanımı : 240-296 MPa

% Uzama (L=5d) : 17-26

Genel özellikleri ise şu şekildedir.

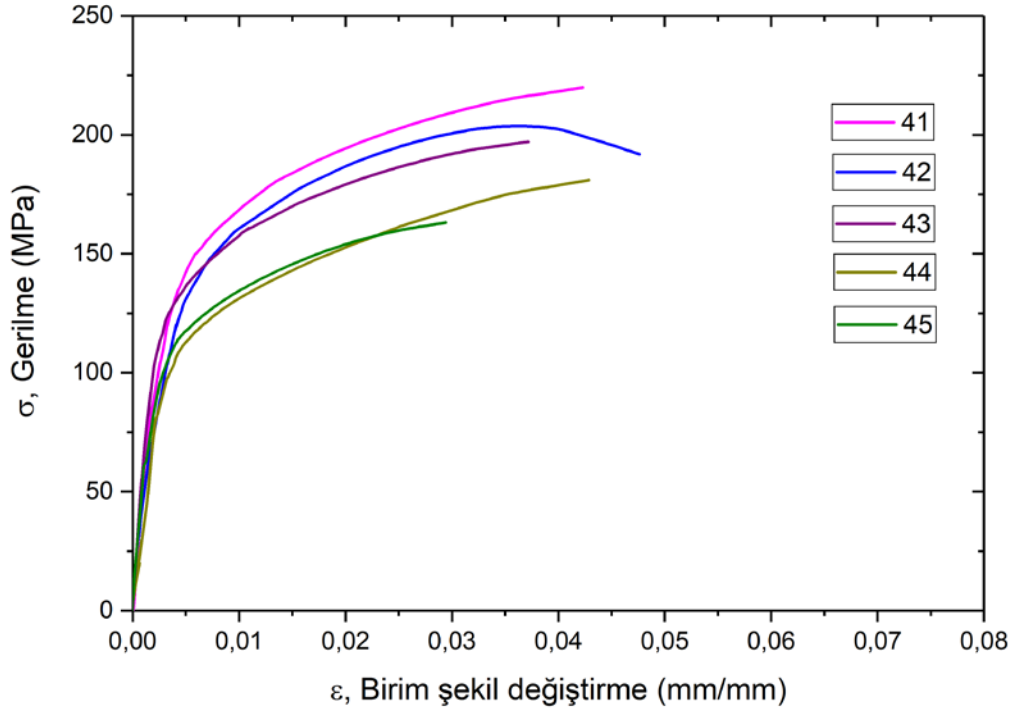
- 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan genel amaçlı kaynak telidir.
- Alüminyum alaşımlarının kaynağında en yaygın kullanılan kaynak telidir.
- MIG telleri tüm kaynak pozisyonlarında kullanılmaya uygundur.
- Mükemmel tel besleme kabiliyeti ve ark performansı için gerekli olan pürüzsüz bir tel yüzeyine sahiptir.
- Sorunsuz bir kaynak performansının garanti edilmesi amacıyla test aşamasında en gelişmiş teknolojik ekipmanlar kullanılmıştır.

BÖLÜM III

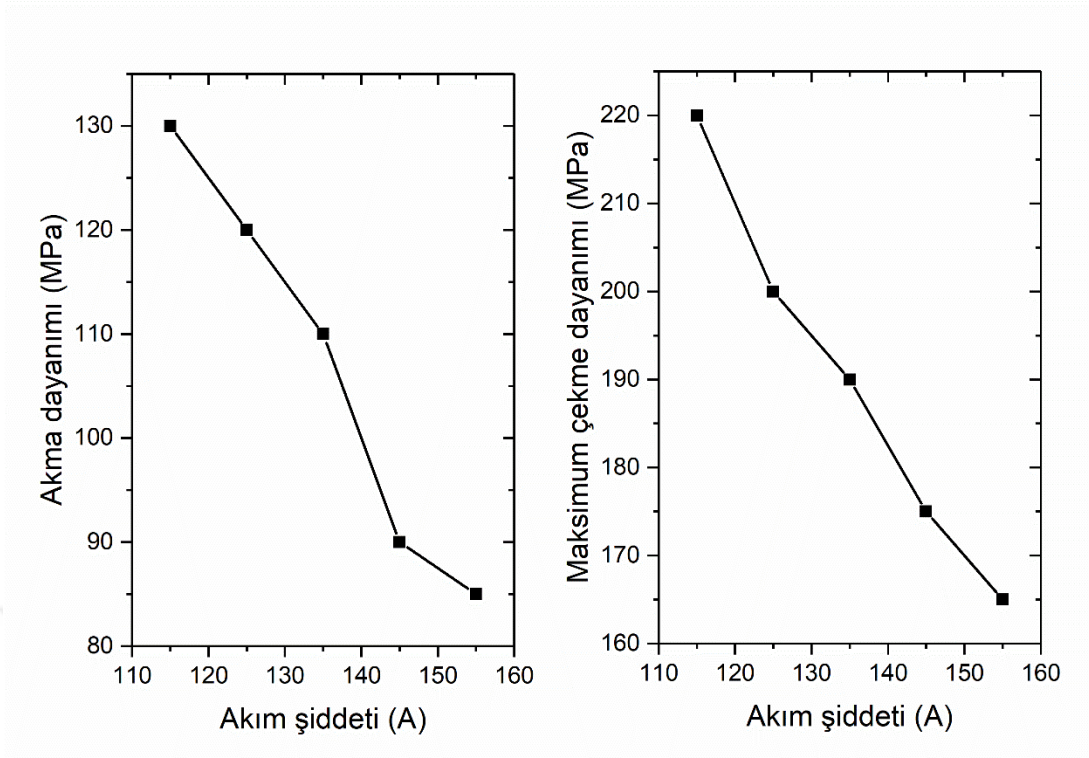
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Çekme Deneyi Bulguları

3.1.1 Kaynak teli-4043

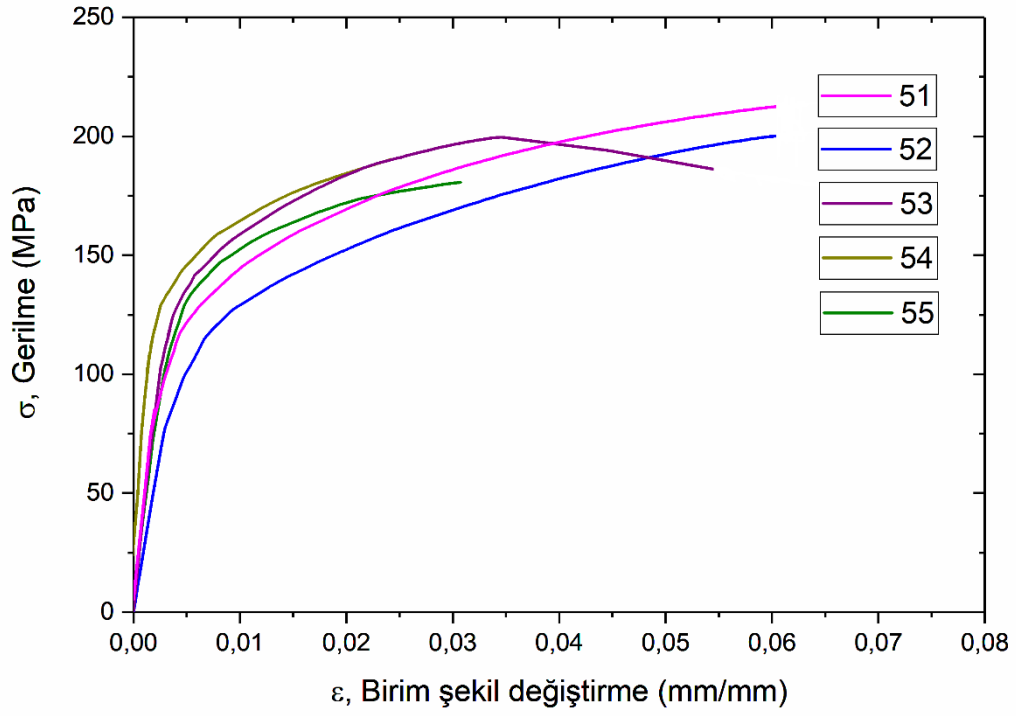


Şekil 3.1. 4 serisi numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

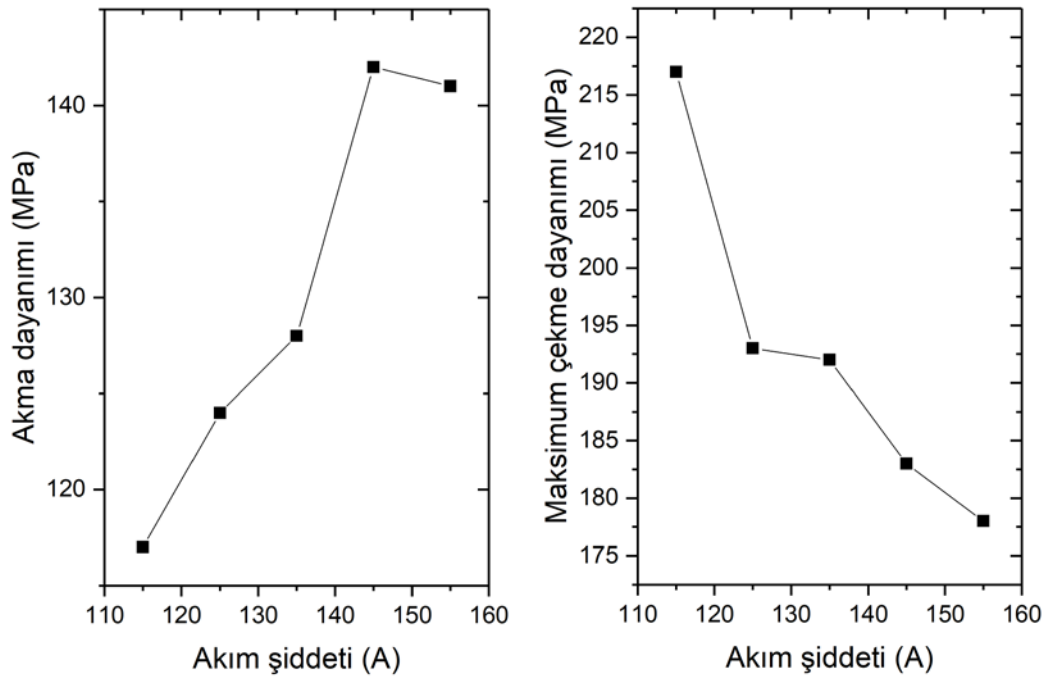


Şekil 3.2. 4 serisi numunelerde akım şiddetine bağlı olarak akma dayanımı ve çekme dayanımı ilişkisini gösteren grafikler

3.1.2 Kaynak teli-5356



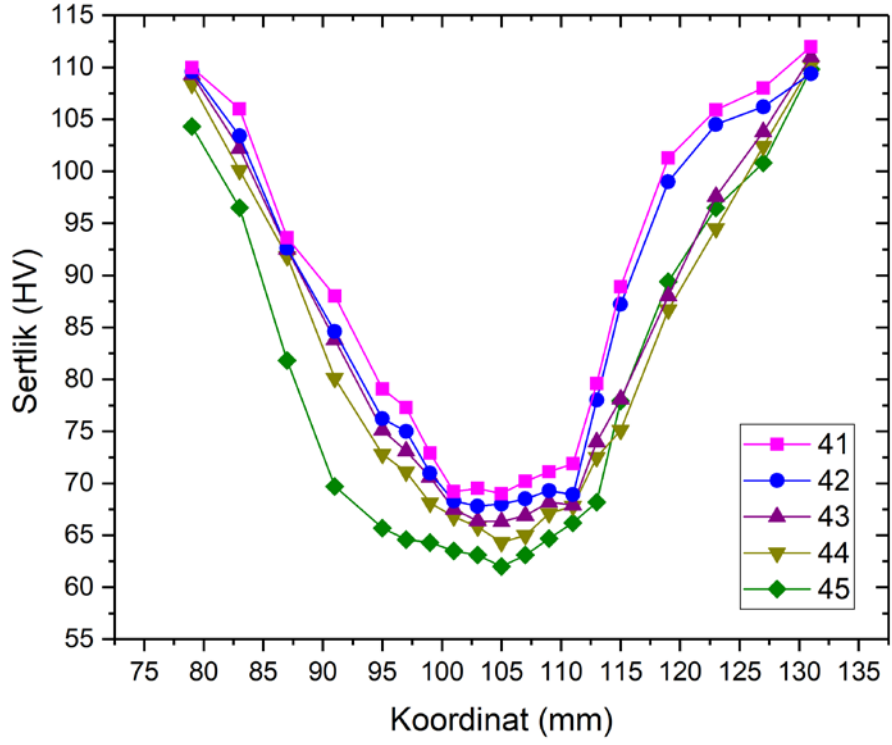
Şekil 3.3. 5 serisi numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri



Şekil 3.4. 5 serisi numunelerde akım şiddetine bağlı olarak akma dayanımı ve çekme dayanımı ilişkisini gösteren grafikler

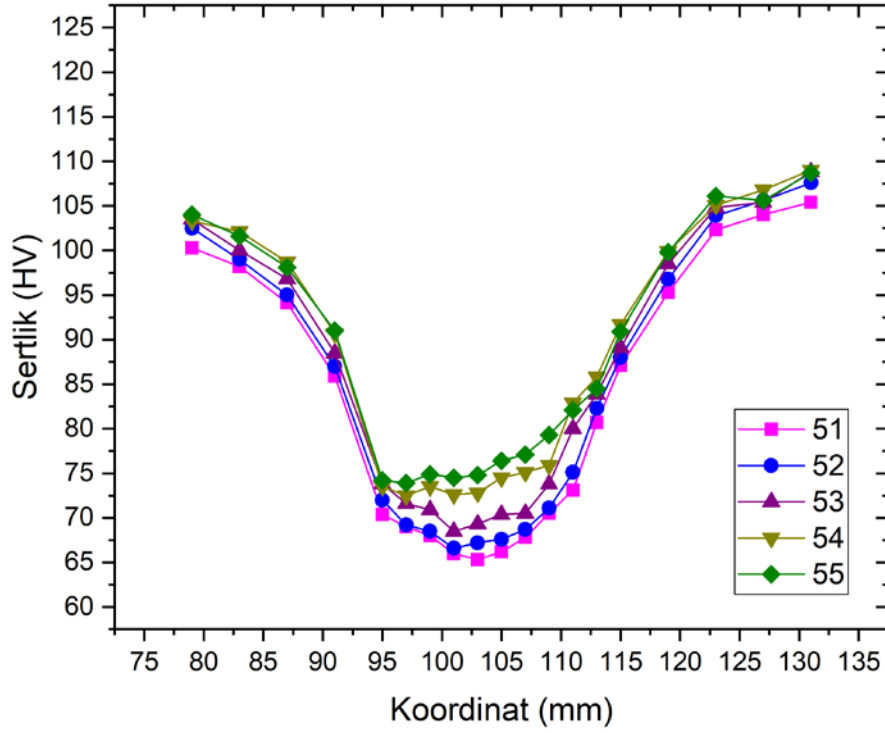
3.2 Sertlik Ölçümleri

3.2.1 MAL 4043 ile yapılan kaynak işlemi sonrası



Şekil 3.5. 4 serisi numunelerde MIG kaynağı sonrası sertlik dağılımları

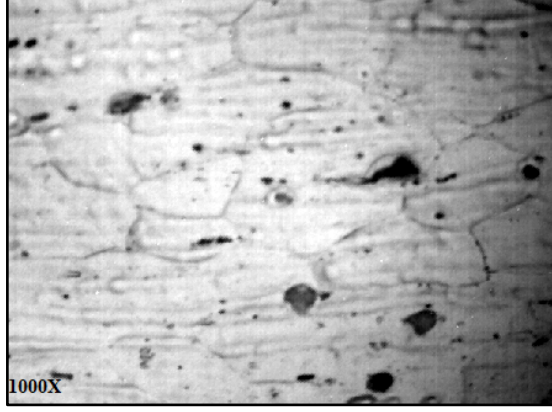
3.2.2 MAL 5356 ile yapılan kaynak işlemi sonrası



Şekil 3.6. 5 serisi numunelerde MIG kaynağı sonrası sertlik dağılımları

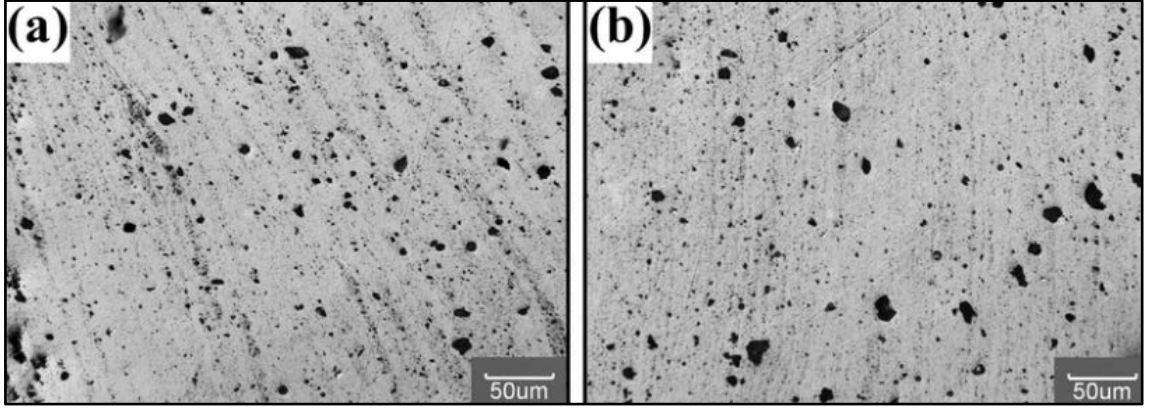
3.3 Mikroyapı İncelemeleri

Fotoğraf 3.1’de AA 6082-T6 alaşımının optik ışık mikroskopunda çekilen mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Mikroyapıda bulunan iri taneler dikkat çekmektedir. Koyu renkle görülen kısımlar Al ve Si açısından zengin bölgeleri göstermektedir. Bu bölgelerin özellikle tane sınırlarını tercih ederek kusura neden olduğu ve malzemenin dayanımını arttırdığı düşünülmektedir.



Fotoğraf 3.1. AA 6082-T6 alüminyum alaşımın mikro yapı fotoğrafı

Mekanik incelemeler sonucunda elde edilen bilgiler ışığı altında en dikkat çekiçici numunelerin 41 ve 51 kodlu numuneler olduğu saptanmıştır. Bu iki kaynak bölgesinin Fotoğraf 3.2 (a) ve (b)'de sırasıyla mikroyapıları gösterilmiştir. 41 kodlu numunede elde edilen en yüksek mekanik özelliklerin (akma ve çekme dayanımı ve sertlik değeri) altında yatan sebebin mikroyapı fotoğrafından da koyu renkli olarak görülen Al-Si esaslı çökeltiler olduğu düşünülmektedir.



Fotoğraf 3.2. Numunelere ait kaynak bölgelerinin mikro yapıları,
42 kodlu numune (a), 54 kodlu numune (b)

BÖLÜM IV

SONUÇ

Çekme dayanımı açısından incelediğimizde 41 ve 51 kodlu numunelerde diğerlerine nazaran daha yüksek değerler olduğu fark edilmektedir. Karşılaştırmalı baktığımızda ise hemen hemen aynı akma ve maksimum çekme dayanımı gözlemlenmesine karşın, 51 kodlu numunede daha yüksek birim şekil değiştirme olduğu dikkat çekmektedir. Tüm numuneler içinde bakıldığında en yüksek birim şekil değiştirme miktarının 51 kodlu numunede olduğu gözlemlenmiştir. 51 kodlu numunede elde edilen yüksek mekanik özelliklerin altında yatan sebebin görüntüsü alınan mikro yapı fotoğrafından da koyu renkli olarak görülen AlSi çökelti olduğu düşünülmektedir.

Akma dayanımı değerleri ise 4 serisi numunelerde artan akım şiddeti ile birlikte azalma eğilimindeyken, 5 serisi numunelerde tam tersi bir etki görülmektedir. Birim şekil değiştirme açısından bakıldığında daha yüksek akım şiddeti değerlerine çıkıldıkça birim şekil değiştirmenin azaldığı dikkat çekmektedir. Bu da numunelerde bir sertleşme olduğu izlenimini vermektedir.

Genel olarak söylenecek olursa kaynak bölgesinin sertliği kaynak edilmemiş olan bölgelere göre düşük seviyelerdedir. Numuneler içinde Vickers sertlik değerlerine bakıldığında MAL 4043 ve MAL 5356 alüminyum esaslı alaşım teller ile yapılan kaynak işlemlerinde 41 ve 55 kod numaralı numunelerde sertliğin birbirine yakın değerlerde, yaklaşık 70-75 HV olduğu ölçülmüştür. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin yeniden artış göstermek sureti ile alaşımın nominal değerlerine ulaştığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, R. and Bakar, M. A., "Effect of a post-weld heat treatment on the mechanical and microstructure properties of AA6061 joints welded by the gas metal arc welding cold metal transfer method", *Materials & Design*, 32(10), 5120-5126, 2011.

Askeland, D. R., Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, *Nobel Yayın Dağıtım*, 1998.

Babu, N. K., Talari, M. K., Pan, D., Sun, Z., Wei, J. and Sivaprasad, K., "Microstructural characterization and grain refinement of AA 6082 gas tungsten arc welds by scandium modified fillers", *Materials Chemistry and Physics*, 137(2), 543-551, 2012.

Bradley, G. R., Jones M.N., Geometry and Microstructure of metal inert gas and friction stir welded Aluminium alloy 5383-H321, www.researchgate.net/publication/238705366, 2000.

Cavaliere, P., "Friction stir welding of Al alloys: analysis of processing parameters affecting mechanical behavior", *2nd International through-Life Engineering Services Conference*, 11(139-144), 2013.

Cavaliere, P., Cabibbo, M., Panella, F. and Squillace, A., "2198 Al-Li plates joined by Friction Stir Welding: Mechanical and microstructural behavior", *Materials & Design*, 30(9), 3622-3631, 2009.

Cavaliere, P., Squillace, A. and Panella, F., "Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA 6082 joints produced by friction stir welding", *Journal of Materials Processing Technology*, 200(1-3), 364-372, 2008.

Ericsson, M. and Sandstrom, R., "Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG", *International Journal of Fatigue*, 25(12), 1379-1387, 2003.

Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E. and Sik, S. S. A., "Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys", *Materials & Design*, 54(207-211), 2014.

Hayat, F., "Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints", *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 556(834-843), 2012.

Kouadri-David, A. and Team, P., "Study of metallurgic and mechanical properties of laser welded heterogeneous joints between DP600 galvanised steel and aluminium 6082", *Materials & Design*, 54(184-195), 2014.

Kumar, R., Dilthey, U., Dwivedi, D. K. and Ghosh, P. K., "Thin sheet welding of Al 6082 alloy by AC pulse-GMA and AC wave pulse-GMA welding", *Materials & Design*, 30(2), 306-313, 2009.

Moreira, P. M. G. P., Santos, T., Tavares, S. M. O., Richter-Trummer, V., Vilaca, P. and de Castro, P. M. S. T., "Mechanical and metallurgical characterization of friction stir welding joints of AA6061-T6 with AA 6082-T6", *Materials & Design*, 30(1), 180-187, 2009.

Pal, K., Pal S.K., "Study of weld joint strength using sensor signals for various torch angles in pulsed MIG welding", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 3(1), 55-65, 2010.

Ruan, Y., Qiu, X. M., Gong, W. B., Sun, D. Q. and Li, Y. P., "Mechanical properties and microstructures of 6082-T6 joint welded by twin wire metal inert gas arc welding with the SiO₂ flux", *Materials & Design*, 35(20-24), 2012.

Sanchez-Amaya, J. M., Delgado, T., Gonzalez-Rovira, L. and Botana, F. J., "Laser welding of aluminium alloys 5083 and 6082 under conduction regime", *Applied Surface Science*, 255(23), 9512-9521, 2009.

Scialpi, A., De Filippis, L. A. C. and Cavaliere, P., "Influence of shoulder geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 aluminium alloy", *Materials & Design*, 28(4), 1124-1129, 2007.

Scialpi, A., De Giorgi, M., De Filippis, L. A. C., Nobile, R. and Panella, F. W., "Mechanical analysis of ultra-thin friction stir welding joined sheets with dissimilar and similar materials", *Materials & Design*, 29(5), 928-936, 2008.

Smith, W. F., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Literatür Yayınları*, 2001.

Uematsu, Y., Tokaji, K., Shibata, H., Tozaki, Y. and Ohmune, T., "Fatigue behaviour of friction stir welds without neither welding flash nor flaw in several aluminium alloys", *International Journal of Fatigue*, 31(10), 1443-1453, 2009.

Yun, M., Lokyer, S. and Hunt, J. D., "Twin roll casting of aluminium alloys", *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 280(1), 116-123, 2000.

Zeytin, H. K., Alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde uygulamaları ve geleceği, *MAM MKTAE Proje 50H5602*, 2000.

ÖZ GEÇMİŞ

Bekir Burak Gündüz 06.01.1987 tarihinde Konya’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Niğde’de tamamladı. 2005 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nden Temmuz 2009’da mezun oldu. 2011-2014 yılları arasında Ditaş Doğan Yedek Parça A.Ş.’de Kalite Güvence Mühendisi olarak çalıştı. 2014-2016 yılları arasında Vesbo A.Ş.’de Kalite Şefi olarak çalıştı. 2017 Mart ayından itibaren Konya’da bulunan Mesa Makine A.Ş.’de Kalite Sistem Yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Bilim dalındaki ilgi alanı malzeme bilimi ve sistemlerin yönetimidir.



