

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE YAPILAN  
ALÜMİNYUM ALAŞIMI BİRLEŞTİRMELERDE  
OPTİMUM PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ**

**ŞEREF ÖCALIR**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
EYLÜL – 2009**

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE YAPILAN  
ALÜMİNYUM ALAŞIMI BİRLEŞTİRMELERDE  
OPTİMUM PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ**

**ŞEREF ÖCALIR**

**Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi  
Ana Bilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKCI**

**MERSİN  
Eylül – 2009**

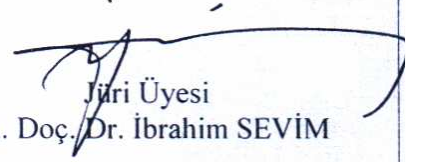
Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKCI



Jüri Üyesi  
Yrd. Doç. Dr. Funda KAHRAMAN



Jüri Üyesi  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEVİM

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...15./12./2009 tarih ve 2009:24...657. sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mahir TURHAN  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Bu çalışmada AA-1050 alüminyum alaşımı malzemenin sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi ile birleştirilerek optimum kaynak parametreleri saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri ve mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiştir. Mikroyapı özellikleri ise mikrosertlik testi ve optik mikroskop ile alınan görüntülerin değerlendirilmesi ile belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar çekme test performansının ve kaynaklı bölgedeki sertlik düşüşünün pim çapı, takım ilerleme hızı ve takım devri gibi kaynak parametrelerinden etkilendiğini göstermiştir. Kaynaklı birleştirmede kaynak merkezi ve ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) yumuşama olduğu gözlemlenmiştir. Optimum SKK parametreleri çekme testi sonuçları ve sertlik testi sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi sonucu saptanmıştır.

Çalışmanın sonucunda en iyi kaynak performansı pim çapının büyük, takım ilerleme hızının yüksek ve takım devrinin düşük olduğu parametreler ile elde edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi, AA-1050 alüminyum alaşımı, optimum kaynak parametreleri.

## ABSTRACT

In this study the friction stir welding (FSW) of AA-1050 aluminium alloy was performed to assign the optimum FSW parameters. In the study the mechanical properties and microstructures of the joints were determined. The mechanical properties of the joints were evaluated via tensile tests. The microstructure of the joints was evaluated via microhardness tests and optic microscopy.

The experimental results showed that the tensile properties and hardness reduction of the joints are significantly affected by the welding process parameters, such as tool pin diameter, welding speed and rotation speed. A softened region located at the weld nugget and heat affected zones in the joints. The optimum FSW parameters have assigned from the tensile properties and hardness properties.

The results of the study showed that the best welding performance can be obtained with bigger tool pin diameter, high tool traverse and low rotation speed.

**Key Words:** Friction stir welding (FSW) method, AA-1050 aluminium alloy, optimum welding parameters.

## TEŞEKKÜR

Akademi hayatımın baŐlangıcından bu yana her zaman yanımda olan ve bu tezin tamamlanmasında bana rehberlik eden tez danıŐman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKCI' ye sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sürecinde derslerinden aldığım bilgilerden ve yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Funda KAHRAMAN ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEVİM hocama teŐekkürlerimi sunarım.

Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi öğretim elemanlarına akademik ve sosyal desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım için teknik olanaklarını bana açan Tarsus E.M.L.'ye ve Makine Teknolojisi Bölümü öğretmenlerine teŐekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımda bana makine ve teknik donanımları ile her zaman yardımda bulunan KARMAN MAKİNE ve BERDAN MAKİNE kuruluşlarına teŐekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
2.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI YÖNTEMİ	3
2.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI TAKIMLARI	3
2.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK BAĞLANTISININ İÇYAPI ÖZELLİKLERİ	5
2.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK UYGULAMALARI	6
2.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANDIĞI ENDÜSTRİYEL ALANLAR	7
2.6. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ ÜSTÜNLÜKLERİ VE SINIRLILIKLARI	8
2.7. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI	9
2.8. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
<b>3. MATERYAL ve METOT</b>	<b>21</b>
3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ	23
3.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK MAKİNESİ	23
3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TAKIMI	24
3.4. MEKANİK TESTLER VE NUMUNE HAZIRLAMA SÜREÇLERİ	25

3.4.1. Çekme Testi Numunesinin Hazırlanması ve Deney Süreci	26
3.4.2. Mikrosertlik Testi Numunesinin Hazırlanması ve Deney Süreci	28
3.4.3. Kaynak Bölgesinin Görsel İncelenmesi	29
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>31</b>
4.1. KAYNAK PERFORMANSI	31
4.2. SKK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN PLAKALARIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ	44
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>62</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 2.1. Seçilen bazı alüminyum ve alüminyum alaşımlarının karakteristikleri ve tipik uygulamaları.....	11
Çizelge 3.1. SKK ile birleştirilen alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi.....	23
Çizelge 3.2. SKK ile birleştirilen alüminyum malzemenin mekanik özellikleri .....	23
Çizelge 4.1. Kaynak parametreleri numunelerinin numaralandırılması.....	31
Çizelge 4.2. Çekme testi sonucu elde edilen veriler.....	32
Çizelge 4.3. Numunelere ait ortalama akma ve ortalama çekme dayanımları.....	37

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynak (SKK) takımının hareketi.....	3
Şekil 2.2. Özel tasarlanmış M5 vida adımlı batıcı uç.....	4
Şekil 2.3. SKK bölgesinde oluşan içyapı.....	5
Şekil 2.4. Farklı geometrilerdeki SKK birleştirmeler.....	6
Şekil 2.5. SKK yöntemi uygulanmış bir alüminyum jant.....	7
Şekil 2.6. SKK ile alüminyum alaşımından imal edilmiş bir bağlantı elemanı.....	8
Şekil 2.7. Farklı türdeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi .....	12
Şekil 3.1. SKK yöntemi uygulamasına ait şematik gösterim .....	21
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin uygulanışı .....	22
Şekil 3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak işleminde kullanılan dik freze tezgahı.....	24
Şekil 3.4. Kaynak işleminde kullanılan takımlar.....	25
Şekil 3.5. TS EN 288–4’e uygun olarak kaynaklı levhadan test numunelerinin çıkarıldığı bölgeler.....	26
Şekil 3.6. TS 138 EN 10002–1’e uygun çekme testi numunesine ait boyutlar.....	27
Şekil 3.7. Mikrosertlik test cihazı.....	28
Şekil 3.8. Sertlik ölçüm numunesine ait çizim .....	29
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan metal mikroskobu .....	30
Şekil 4.1. Esas malzemeye ait çekme test cihazından elde edilen çekme grafiği.....	34
Şekil 4.2. En büyük akma dayanımı değeri.....	35
Şekil 4.3. En büyük çekme dayanımı değeri.....	35

Şekil 4.4. 5 Numaralı numuneye ait çekme test cihazından elde edilen çekme grafiği.....	36
Şekil 4.5. Kaynaklı numunelere ait ortalama akma dayanımları.....	38
Şekil 4.6. Kaynaklı numunelere ait ortalama çekme dayanımları.....	38
Şekil 4.7. M5, 1400 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi.....	40
Şekil 4.8. M5, 2000 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi.....	40
Şekil 4.9. M6, 1400 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi.....	41
Şekil 4.10. M6, 2000 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi.....	41
Şekil 4.11. Çekme testi sonrası kopmuş olan kaynaklı numuneler .....	42
Şekil 4.12. 14.1. numaralı numuneye ait çekme test cihazı çekme grafiği.....	43
Şekil 4.13. 14.2. numaralı numuneye ait çekme test cihazı çekme grafiği.....	44
Şekil 4.14. Esas malzemeye ve kaynaklı numunelere ait ortalama sertlik değerleri.....	45
Şekil 4.15. Esas malzemedен ölçülen mikrosertlik değerleri değişimi .....	45
Şekil 4.16. 1 Numaralı numuneye ait sertlik değerleri dağılımı.....	46
Şekil 4.17. 20 Numaralı numuneye ait sertlik değerleri dağılımı .....	47
Şekil 4.18. Kaynaklı bağlantının ilerleme yönü ile yığılma yönü arasındaki sertlik değişimi .....	48
Şekil 4.19. M5 takım pim çapı ile kaynatılan numunelere ait sertlik değişimi.....	49
Şekil 4.20. M6 takım pim çapı ile kaynatılan numunelere ait sertlik değişimi.....	49
Şekil 4.21. 5 numaralı numuneye (M5, 160 mm/dak, 1400 dev/dak) ait görüntü .....	50
Şekil 4.22. 5 numaralı numuneye (M5, 160 mm/dak, 1400 dev/dak) ait ×100 büyütme ile alınan görüntü.....	51

Şekil 4.23. Esas malzemeye ait $\times 100$ büyütme ile alınan görüntü.....	52
Şekil 4.24. 12 numaralı numuneye (M6, 56 mm/dak, 1400 dev/dak) ait $\times 50$ büyütme ile alınan görüntü.....	53
Şekil 4.25. 7 numaralı numuneye (M5, 56 mm/dak, 2000 dev/dak) ait $\times 50$ büyütme ile alınan görüntü.....	54

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Alüminyum alaşımı
SKK	: Sürtünme karıştırma kaynağı
ITAB	: Isı tesiri altındaki bölge
MIG	: Metal inert gaz
TIG	: Tungsten inert gaz
TWI	: The welding institute
H13	: Hot-work tool steel
TDEB	: Termodinamik olarak etkilenen bölge
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
Zn	: Çinko
Li	: Lityum
Ti	: Titanyum
mm	: Milimetre
dev	: Devir
dak	: Dakika
TEB	: Termo-mekanik etkilenen bölge
MAX	: Maksimum
MIN	: Minimum
Fe	: Demir
MPa	: Mega paskal
TS EN:	Türk Standartları Enstitüsü
Ls	: Son boy
Li	: İlk boy
HV	: Hardness Vickers
Re	: Akma dayanımı
Rm	: Çekme dayanımı

## 1. GİRİŞ

Metal malzemelerin birleştirilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan kaynak teknolojisi genel olarak ergitme kaynağını ve katı hal kaynağını kapsamaktadır [1–5].

Ergitme kaynağı yönteminde metallerin birleşmesi kimyasal olarak gerçekleşmektedir. Bu birleşme için harici bir elektrot, kaynak teli ve ek bir dolgu malzemesine ihtiyaç duyulur. Ayrıca bu yöntemin etkili ve sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için kaynak bölgesinin özel bir atmosferle kaplanması gerekmektedir. Ergitme kaynağı yapılacak metaller için önceden kaynak ağzının hazırlanması gerekmektedir. Ergitme kaynak yönteminde, metaller ergime sıcaklığına kadar ısıtıldığı için yüksek sıcaklıklar sonucu kaynaklı bağlantılarda düşük çekme dayanımı, düşük yorulma dayanımı ve düşük süneklik gibi mekanik davranışların yanı sıra, boşluklar, oksitler, sıcak çatlaklar gibi mikro hatalar görülmektedir. Ergitme kaynak yöntemine metal inert gaz kaynağı (MIG) ve tungsten inert gaz kaynağı (TIG) yöntemleri örnek olarak verilebilir. Bu geleneksel kaynak yönteminin sınırlılıklarına farklı iki metalin kaynatılmasındaki güçlükler de örnek olarak verilebilir [1–6].

Mühendislik malzemeleri içerisinde yer alan çelik ve çelik alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları, bakır, pirinç gibi metaller hem kendi aralarında hem de farklı türden malzemelerle kaynatılmasına endüstrinin çeşitli alanlarında ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı metallerin kaynağı fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeni ile ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen hemen imkânsız gibidir. Oysa metal ve alaşımlarının kaynağına mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda katı hal kaynak yöntemleri bulunmuştur. Kaynak işlemi sırasında ergime olmadığından katılaşma da olmamaktadır. Dolayısıyla katılaşma sırasında oluşabilecek kristal yapı farklılaşması, ergimiş metal içerisinde yabancı madde kalma riski ve katılaşma hızına bağlı olarak meydana gelebilecek çatlaklar sürtünme kaynak yönteminde görülmemektedir [2–6, 9–15].

1990'ların başında The Welding Institute (TWI) tarafından geliştirilen bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi güç olan, özellikle yaşlandırma sertleştirilmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak konstrüksiyonu güç olan malzemelerin birleştirilmesinde kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü üstünlüklerinden dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir [3–6, 9–40].

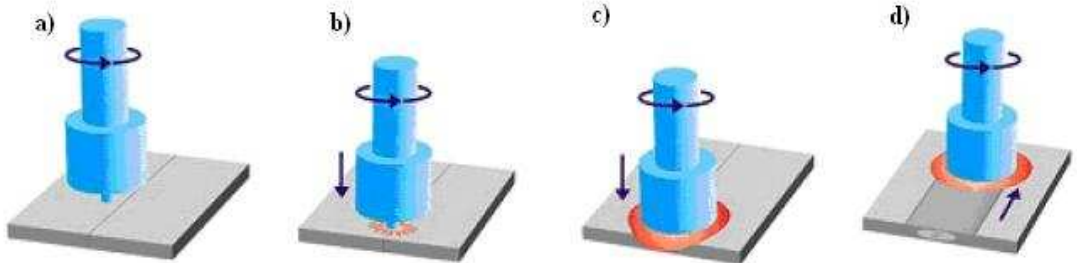
Günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi ve helikopter gibi araçların imalatında hafifliğinin yanı sıra mekanik özellikleri de çok iyi olan alüminyum alaşımları büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri hem problemlidir hem de zordur. Bu problemlerin çözümü için yeni birleştirme tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve endüstrideki uygulamalarına başlanmış bir birleştirme tekniğidir [2–3, 20–45].

Bu çalışmada AA–1050 alüminyum alaşımı malzemenin sürtünme karıştırma kaynak yöntemi (SKK) ile birleştirilerek optimum kaynak parametreleri saptanmaya çalışılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI YÖNTEMİ

Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminde kaynak işlemi süresince kaynak sıcaklığını oluşturacak herhangi bir takım kullanılmaktadır. Kaynağı yapılacak malzeme alüminyum ise genelde birleştirecek takım H13 takım çeliği kullanılırken daha sert malzemelerin birleştirilmesinde tungsten karbür gibi sert takım malzemeleri kullanılmaktadır. Kaynak işlemi, sağlam bir şekilde sabitlenen iş parçalarının kaynak çizgisi üzerine hazırlanan takımın daldırılması ve hat boyunca ilerletilmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Özel şekil verilmiş pim ve omuzdan oluşan takım kaynatılacak levha yüzeyine sürtünmesi sonucu oluşan ısı ile malzeme çamur kıvamına gelir ve pimden aldığı hareketle yumuşayan malzeme karışır ve kaynak işlemi gerçekleşir. Şekil 2.1.'de sürtünme karıştırma kaynağı takımının hareketi ve levhaların birleştirilmesi görülmektedir [4].



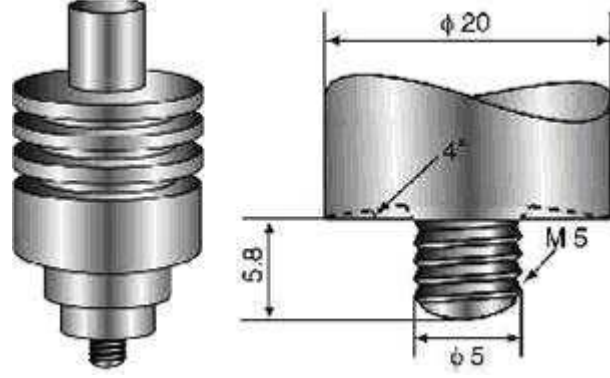
Şekil 2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynak (SKK) takımının hareketi [4]

### 2.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI TAKIMLARI

Sürtünme karıştırma kaynağının başarılı bir şekilde gerçekleşmesinde kaynak takımının önemi büyüktür. Takım şekli ve boyutu, malzeme akışı, kaynak bölgesindeki ısı oluşumu, gibi kaynak bölgesini şekillendiren özellikleri etkilemektedir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ilk geliştirildiği yıllarda kullanılan batıcı uçlar yüzeyine helisel diş açılmış uzunluğu kaynak edilecek levha kalınlığından biraz kısa silindirik takımlardı. Son yıllarda sürtünme sonucu açığa



çıkan ısı ile akıcı kıvama gelen malzemenin kaynak bölgesinde kalması için takımlar geliştirilmiştir. Şekil 2.2.'de SKK yönteminde kullanılan kaynak takımlarından birine ait çizim gösterilmiştir [5,6].



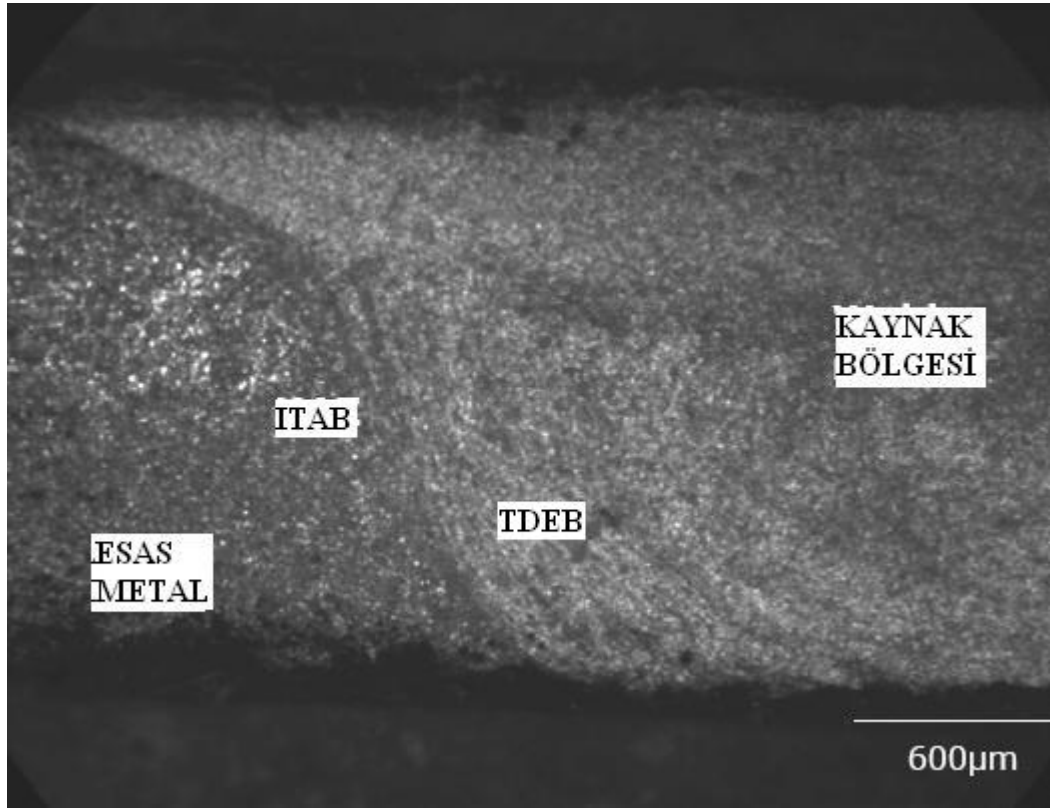
Şekil 2.2. Özel tasarlanmış M5 vida adımlı batıcı uç [6]

Sürtünme karıştırma kaynağında, özellikle kalın levhaların birleştirme işlemlerinde kaynak bölgesinde boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktör, dinamik süpürme hacminin (karıştırıcı ucun dönmesi sırasındaki hacminin) statik hacme oranıdır. Bu oran batıcı uç yüzeyine değişik profiller işlenerek artırılabilir, dolayısıyla batıcı uç etrafında ve altında malzeme akış yolları genişletilerek malzemenin kaynak dikişi içerisinde kalması desteklenir. Bu amaçla, kalın levhaların kaynağında ince levhalar için geliştirilmiş olan geleneksel silindirik karıştırıcı ucun yerine hacminin yaklaşık %60-70'i boşaltılmış olan konik uç kullanılmaktadır. Bu sayede kaynak esnasında gerekli kuvvet de azaltılmış olur. Batıcı ucun geometrisi ve ebadı kaynaklanacak levhaların kalınlığına ve kaynağın türüne bağlıdır [6].

Günümüzde levhaların gerek alın gerekse daha geniş kaynak bölgesi istenen bindirme kaynağı için ayrı ayrı özel batıcı uçlar üretilmektedir. Yeni üretilen takımların omuz profilleri de yumuşamış malzemenin takım üzerine sıvanmasını engelleyecek profillerde tasarlanmaktadır [6].

### 2.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK BAĞLANTISININ İÇYAPI ÖZELLİKLERİ

SKK yöntemi sırasında birleşme işlemi için gerekli olan ısı takımın dönmesi ve bu sayede omuz ve pimin malzemeyle sürtünmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Sürtünmenin ve dolayısı ile ortaya çıkan ısı neticesinde kaynaklanan malzemelerin içyapısında bir takım değişiklikler olmaktadır [9]. SKK bölgesinde oluşan içyapı Şekil 2.3.'de şematik olarak gösterilmiştir [1].



Şekil 2.3. SKK bölgesinde oluşan içyapı [1]

Kaynak bölgesindeki mikro yapıları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Esas metal
- Isının tesiri altındaki bölge (ITAB)
- Termodinamik olarak etkilenen bölge (TDEB)
- Kaynak bölgesi

Esas metal: Bu bölge kaynak bölgesinin dışında kalan ve deformasyona uğramayan ancak sıcaklığın etkisinde kalan bölgedir. Esas metal bölgesindeki sıcaklık, yapıda mekanik ve fiziksel bir değişim yapmamaktadır.

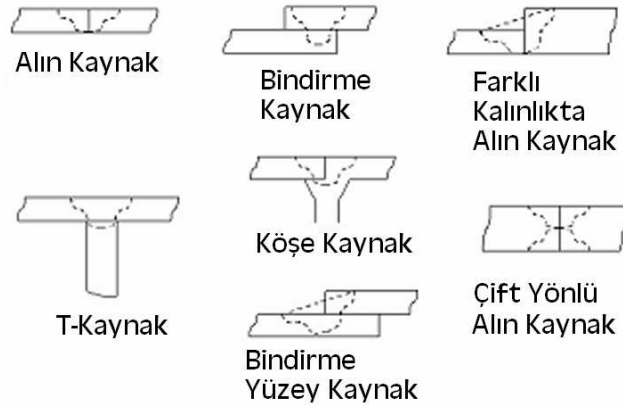
Isının tesiri altındaki bölge (ITAB): Isının etkisi ile bölgede mikro yapı ve mekanik olarak değişimler olurken plastik deformasyon görünmemektedir.

Termodinamik olarak etkilenen bölge (TDEB): Bu bölgede malzeme plastik deformasyona uğrar. Kaynak işlemi sırasında oluşan sıcaklık bu bölgedeki malzeme özelliklerini etkiler. Alüminyum malzemelerde bu bölgede, yeniden kristalleşme olmadan plastik dayanım oluşumu görülmektedir.

Kaynak bölgesi: Termodinamik olarak etkilenen bölgenin yeniden kristalleşen kısmı kaynak bölgesi olarak isimlendirilir [9].

#### 2.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK UYGULAMALARI

SSK yöntemi dairesel, halka şeklinde, eğrisel ve üç boyutlu tüm kaynak uygulamaları için kullanılabilir. Bir katı hal kaynağı olan SSK yöntemi yerçekiminden etkilenmediği için bütün pozisyonlarda uygulanabilir. Yöntem alın, köşe, bindirme, T-kaynak şeklindeki imalatta kullanılmaktadır. SSK yöntemi ile birleştirilmiş farklı geometrilerdeki birleştirmeler Şekil 2.4.'de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.4. Farklı geometrilerdeki SSK birleştirmeler [10]

## 2.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANDIĞI ENDÜSTRİYEL ALANLAR

SKK yöntemi birçok üstünlüğü bakımından geleneksel kaynak yöntemlerinin uygulanması sonucu yeterli verimin alınmadığı endüstriyel alanlarda başarı ile uygulanmaktadır. SKK yönteminin uygulandığı alanları sıralarsak:

Gemi ve denizcilik endüstrisinde; güverte panellerinde, gemilerin yan yüzeylerde, ana gövde ve zeminde, helikopter iniş platformlarında, deniz ve taşımacılık yapılarında kullanılan bir yöntemdir.

Havacılık ve uzay endüstrisinde; kanatlar, uçak gövdesi, yakıt tankları, askeri ve bilimsel roketlerin imalatında uygulanan bir yöntemdir.

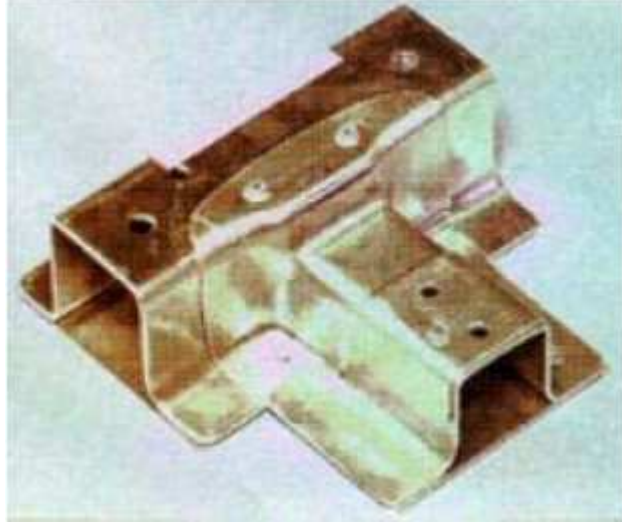
Kara taşımacılığında; motor ve şasi kısımlarının imalatında, tekerlek çerçevelerinin imalatında, hidroformlanmış boruların birleştirmelerinde uygulanmaktadır. SKK yöntemi uygulanmış bir alüminyum jant Şekil 2.5.'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2.5. SKK yöntemi uygulanmış bir alüminyum jant [9]

Yapı endüstrisinde; alüminyum köprüler, alüminyum bina kaplamaları, pencere çerçeveleri, alüminyum boru hatları, alüminyum reaktörler ve elektronik endüstrisi SKK yönteminin uygulandığı alanlardandır.

SKK yönteminin kullanıldığı diğer endüstri alanları ise; buzdolabı panelleri, mutfak ve pişirme eşyaları, gaz tankları ve mobilya imalatlarıdır. SKK yöntemi ile Alüminyum alaşımından imal edilmiş bir birleştirme elemanı Şekil 2.6.'da gösterilmiştir [9].



Şekil 2.6. SKK ile alüminyum alaşımından imal edilmiş bir bağlantı elemanı [9]

## 2.6. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ ÜSTÜNLÜKLERİ VE SINIRLILIKLARI

Sürtünme karıştırma kaynağının belli sınırlamaları olduğu gibi geleneksel kaynak yöntemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir. Sürtünme karıştırma kaynağının bazı avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yöntem ergime sıcaklığının altında gerçekleştiği için ergimeyi kolaylaştıran malzemeye ve atmosfere gereksinim yoktur.
- Kaynak için ilave metal kullanımı ve ark gereksinimi yoktur.
- Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerine göre çok azdır.
- SKK yöntemi diğer birleştirme yöntemlerine göre daha temiz ve güvenlidir.
- Kaynak bölgesinde ısıdan etkilenen alan çok dardır ve bu bölgedeki gözenek yapısı ana malzemeninkinden daha küçüktür.

- Farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilir.
- Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde birleştirme öncesi yüzeyde bulunan ince oksit tabakasının temizlenmesine gerek duyulmadan işlem gerçekleştirilebilir.
- Geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi güç olan 2000 ve 7000 seri alüminyum alaşımları SKK yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir.
- Katı hal kaynak yöntemi olduğundan alüminyum alaşımı birleştirmelerde katılaşıma ve sıvılaşıma çatlakları görülmez.
- SKK yöntemi ile yapılan birleştirmelerin çekme, yorulma ve kopma mukavemetleri yüksektir.
- İnsan sağlığına zararlı kaynak dumanı, radyasyon v.b. durumlar oluşmaz.
- Yöntem tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilmektedir [2].

Sürtünme karıştırma kaynağının bazı sınırlılıkları aşağıdaki gibidir:

- Her malzemenin kaynağı mümkün değildir. Özellikle düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin kaynağına uygundur.
- Kaynak hızı bazı ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır.
- Kaynaklanacak parçaların çok sıkı sabitlenmesi gereklidir.
- Birleştirilecek parçaların arkadan desteklenmeye ihtiyacı vardır.
- Tek parçalı takım kullanıldığında kaynak sonunda delik oluşmaktadır.
- Kalın parçaların kaynaklanmasında güçlü tezgâhlara ihtiyaç duyulur [6].

## 2.7. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Alüminyum yeryüzü kabuğunda en fazla bulunan metallere biridir. 19. yüzyılda çelik, mühendislik uygulamalarında en fazla kullanılan malzemedir fakat günümüzde alüminyum, çelikle rekabet edecek kadar birçok mühendislik uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır. Endüstride alüminyum ve alüminyum alaşımlarının yaygın olarak kullanılması, dayanımının ağırlığa oranının diğer

metallere göre daha yüksek oluşu, birçok kimyasala karşı korozyon direncinin iyi olması, sıcaklık ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması, kolay işlenebilmesi ve manyetik özelliğinin olmaması gibi faktörlere bağlıdır. İşlenmiş alüminyum alaşımları dört rakamla belirtilmektedir alaşım içerisinde en fazla bulunan element ilk rakamda ifade edilir.

- 1xxx- Ticari saf alüminyum: %99.00 (minimum) alüminyum içerir. Korozyon direnci mükemmeldir, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği vardır, kolay işlenebilir, düşük dayanım ve ısıl işlem uygulanabilir.
- 2xxx- Bakır: Ağırlığa oranla yüksek dayanım özelliği gösterir, korozyon direnci düşüktür, ısıl işlem uygulanabilir.
- 3xxx- Manganez: Kolay işlenebilir, orta derecede dayanıma sahiptir, genelde ısıl işlem uygulanmaz.
- 4xxx- Silikon: Düşük kaynama noktasına sahip, genellikle ısıl işlem uygulanmaz.
- 5xxx- Magnezyum: Korozyon direnci iyidir, kaynak kabiliyeti iyidir, dayanımı yükseğe yakındır, ısıl işlem uygulanmaz.
- 6xxx- Magnezyum ve silikon: Orta dayanımda, iyi işlenebilir, iyi kaynak özelliğine sahip, korozyon direnci iyi, ısıl işlem yapılabilir.
- 7xxx- Çinko: Yüksekçe yakın dayanıma sahip, ısıl işlem uygulanabilir.
- 8xxx- Diğer elementlerle elde edilen alüminyum alaşımıdır [7].

Alüminyumun, kap ve paketlemede, binalarda ve diğer yapılarda, ulaşım ve taşımacılıkta, elektrik endüstrisinde, dayanıklı tüketim ürünlerinde vb. olmak üzere temel kullanım alanlarına sahiptir. Çizelge 2.1.'de işlenmiş alüminyum ve

alaşımlarının bir kısmının karakteristikleri ve endüstriyel uygulamaları verilmiştir [1,7].

Çizelge 2.1. Seçilen bazı alüminyum ve alüminyum alaşımlarının karakteristikleri ve tipik uygulamaları [7]

<b>Karakteristikler (A, mükemmel; D, zayıf)</b>				
<b>Alaşım</b>	<b>Korozyon Direnci</b>	<b>İşlenebilirliği</b>	<b>Kaynak Özelliği</b>	<b>Tipik Uygulamaları</b>
1100	A	C-D	A	Sac metal işleri, konserve kutusu, vb.
2024	C	B-C	B-C	Kamyon tekerleri, vidalı makine ürünleri, uçak sanayi vb. yapılarda.
3003	A	C-D	A	Pişirme kapları, kimyasal gereçler, basınç kapları, sac metal işleri, depolama tankları.
5052	A	C-D	A	Sac metal işleri, hidrolik borular, otobüs, kamyon ve deniz ulaşımı uygulamaları.
6061	B	C-D	A	Ağır iş yapıları, kamyonet ve deniz taşıma yapıları, tren yolu araçları, mobilya, boru hatları, köprü yolları, hidrolik borular.
7075	C	B-D	D	Uçak sanayi ve diğer yapılarda, anahtarlarda, hidrolik tesisatlarda.

SKK yöntemi birçok malzeme ve malzeme kombinasyonlarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak yapılması malzeme kalınlığına ve kaynak makinesinin gücüne bağlıdır. TWI tarafından  $\geq 75$ mm kalınlığında 6xxx alaşımı başarılı bir şekilde tek pasoda birleştirilmiş ve daha kalın materyallerin de bu şekilde birleştirilebileceğinin mümkün olduğu görülmüştür [8].

- 2000 alüminyum serisi (Al–Cu)
- 5000 alüminyum serisi (Al–Mg)
- 6000 alüminyum serisi (Al–Mg–Si)
- 7000 alüminyum serisi (Al–Zn)
- 8000 alüminyum serisi (Al–Li) SKK ile kaynaklanabilen alüminyum alaşımlarına örnek olarak verilebilir.

Yukarıdaki seriler dışında 1000 (saf ticari), 3000 (Al–Mn), 4000 (Al–Si) serileri ve alüminyum dökümlere de SKK yöntemi uygulanabilmektedir [8].



Alüminyum dışında SKK ile birleştirilebilen malzemeler:

- Bakır ve alaşımları (50mm'ye kadar tek pasoda)
- Kurşun
- Titanyum ve alaşımları
- Magnezyum ve alaşımları
- Çinko
- Plastikler
- Yumuşak çelikler ve paslanmaz çelikler
- Nikel alaşımlarıdır [8].

SKK yöntemi farklı yapıdaki alaşımların birleştirilmesinde de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Farklı türdeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi Şekil 2.7.'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2.7. Farklı türdeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi [9]

İlk etapta SKK yönteminin alüminyum alaşımı malzemelerinin birleştirilmesinde kullanılabilirliği üzerinde araştırmalar yapılmıştır [11–13]. SKK, geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynağı güç olan özellikle yaşlanma sertleştirilmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılmıştır [14,15].

## 2.8. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bir katı hal birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak konstrüksiyonu güç olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir [11, 16–18]. Yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi daha birçok üstünlüğün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [19–22].

Yöntem uçak, uzay, gemi, otomotiv sektöründe, yakıt deposu, gıda depolama elemanları ve radyoaktif atık madde taşıyıcılarının üretiminde kullanılan 2000, 5000, 6000, 7000 ve 8000 serisi Al alaşımlarının yanı sıra Cu alaşımlarının, Ti alaşımlarının ve bazı tür çeliklerin birleştirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır.

Konu üzerinde yapılan çalışmalar daha sonraları farklı alaşım türlerinin kaynaklanabilirliği üzerine yoğunlaşmıştır [23–27]. SKK ile elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikro yapıları üzerine yapılmış olan çalışmalar, SKK ile elde edilen birleştirmelerin geleneksel ergitmeli kaynaklardan oldukça üstün olduğunu göstermektedir [31]. Metalik malzemelerin SKK ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak aparatlarının tasarımı ve özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır [32].

Son zamanlarda SKK üzerine yapılan çalışmalar, kaynak parametrelerinin elde edilen kaynaklı birleştirmelerin özelliklerine etkisi üzerine odaklanmıştır [20, 33–37].

Şık [3] yaptığı çalışmada Al alaşımı (AA–1050) levhaları SKK ile birleştirerek kaynak parametrelerinin birleşebilirliğe ve eğme yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. Al alaşımlarını farklı devir sayısı ve ilerleme hızlarında SKK

yöntemi ile tek taraflı alın kaynağı ile birleştirmiştir. Kaynak sonrası kaynak kalitesini belirlemek için kaynak bölgesine gözle muayene ve yorulma dayanım testleri uygulamıştır. Çalışmaları sonucunda SKK yöntemi ile birleştirilen kaynak bölgesinin dikişi geleneksel kaynaklarla elde edilen dikiş görüntüsünden daha iyi olduğunu belirtmiştir. Kaynak ilerleme hızı sabit iken devir sayısının artırılması ısı girdisini de arttırdığı için kaynak görüntüsünde ondüleli bir yapı oluştuğunu belirtmiştir. Esas malzemenin eğmeli yorulma dayanımı kaynaklı numunelere göre yüksek olduğunu ifade etmiştir. Kaynak ilerleme hızı sabit iken artan devir sayısı eğmeli yorulma dayanımını da düşürdüğünü belirtmiştir. Kaynak ilerleme hızı sabit, artan devir hızlarında kaynaklı malzemenin yorulma dayanımında düşüş olduğunu belirtmiştir. Bu düşüşün nedeni kaynak ilerleme hızı sabit iken, kaynak devir sayısı arttıkça malzemeye giren ısı miktarı artmakta ve mekanik özellikler bakımından zayıf olan ITAB bölgesinin genişlemesi sonucu olduğunu saptamıştır. Böylece kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölgesinde mukavemet artırıcı partiküllerin malzeme içinde daha kaba (inhomojen) şekilde çökmesi nedeni ile bağlantının yorulma dayanımını düşürdüğünü ifade etmiştir.

Kurt ve ark. [38] çalışmalarında SKK hızının birleştirilebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Al alaşımı malzemeleri 800 dev/dak dönme hızına karşılık 6.25, 10, 16 ve 20 mm/dak ilerleme hızları ile birleştirmişlerdir. Karıştırıcı uç profili olarak silindirik helisel vida açılmış takım kullanmışlardır. SKK yöntemi ile elde edilen birleştirmelere, metalografik inceleme, çekme ve sertlik gibi mekanik testler uygulamışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda çekme testi uygulanan numunelerin kaynak dikişi dışında koptuğunu gözlemlemişlerdir. Kopmanın gerçekleştiği bölge toparlanma bölgesi ile ısı tesiri altındaki bölge arasında bir noktada olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak ilerleme hızının artırılması ile kopma mukavemetinde az da olsa bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak ilerleme hızının artması ile kaynak yüzeyinin görünümünde de düzelme olduğunu belirtmişlerdir.

Külekci ve Şık [20] çalışmalarında Al-1050-H18 alaşımını farklı ilerleme hızı ve farklı devir sayıları ile SKK yöntemi ile birleştirmişler ve bu birleştirmelerin

yorulma özellikleri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Takım devir sayısı ve takım ilerleme hızlarını farklı parametrelerde alarak bunların oranlarından optimum bir parametre elde etmek için bir endeks oluşturmuşlardır. Çalışmaları sonucunda takım ilerleme hızı sabit iken takım devir sayısının artması ile yorulma dayanım sınırlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda takım ilerleme hızı sabit iken takım devir sayılarının 1000, 1500 ve 2500 dev/dak olarak artması sonucu kaynak bölgesinde sıcaklığın arttığını ve bunun sonucunda yorulma dayanım sınırlarının olumsuz etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Cavaliere ve ark. [34] yaptıkları çalışmada SKK yöntemi ile AA-6056 alüminyum alaşımını farklı parametrelerde birleştirmişler ve bu parametrelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Birleştirme parametreleri olarak 500, 800, 1000 dev/dak takım devri ve 40, 56 ve 80 mm/dak ilerleme hızlarını seçmişlerdir. Elde edilen kaynaklı birleştirmelere oda sıcaklığında mikrosertlik ve çekme testleri uygulamışlardır. Çalışmalarında oda sıcaklığında elde edilen çekme testleri sonucunda kaynak bölgesinin en yüksek süneklik değeri 40 mm/dak ve 56 mm/dak kaynak hızlarında ve en düşük takım devri olan 500 dev/dak ile elde edilmiştir. En yüksek yorulma dayanımı devir sayısı en yüksek olan 800 dev/dak ve 1000 dev/dak olduğunda en yüksek seviyeye çıktığını saptamışlardır. Yorulma dayanım eğrileri farklı kaynak parametrelerinde değişiklik gösterdiğini saptamışlardır. Yüksek devirlerde ve ilerleme hızlarında kaynak bölgesinin sertlik değerinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Elde edilen tüm kaynak bağlantılarının mikroyapı özelliklerinin çok düzgün olduğunu belirtmişlerdir.

Ericsson ve ark. [35] SKK ilerleme hızının yorulma dayanımını ve bu yöntemle elde edilen sonuçları MIG ve TIG kaynak gibi geleneksel kaynak yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Al-Mg-Si 6082 alaşımını çalışmada kullanılacak materyal olarak belirlemişlerdir. Birleştirilecek parçalar 700 veya 1400 mm/dak ilerleme hızı ile birleştirmişlerdir. Yüksek ilerleme hızında 2500 dev/dak, düşük ilerleme hızında ise 2200 dev/dak hızlarda birleştirme yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda SKK yöntemi ile elde edilen kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı MIG ve TIG ile elde edilen bağlantıya göre daha iyi olduğunu saptamışlardır. Öte yandan

MIG ile elde edilen kaynağın TIG' e göre daha iyi yorulma özelliği gösterdiğini saptamışlardır. Mekanik ve yorulma özelliklerinin SKK yönteminde kaynak hızıyla yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşük kaynak hızının gelişmiş özellikleri de ortaya çıkardığını ifade etmişlerdir. SKK hızının birleşim bölgesinin sertliğini de etkilediğini belirtmişlerdir.

Gharacheh ve ark. [37] SKK yöntemi ile AZ31 magnezyum alaşımını birleştirmişler ve devir sayısı/ilerleme hızı oranının kaynak bölgesindeki mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 9 mm kalınlığında 50 mm genişliğinde ve 150 mm uzunluğunda magnezyum alaşımı levhaları alın kaynağı ile birleştirmişlerdir. Takım omuz çapını 25 mm ve pim çapını 7 mm olarak belirlemişlerdir. Pim boyu ise 7.5 mm olarak almışlardır. Çalışmalarında devir sayısı/ilerleme hızını 500/200, 600/100, 650/60, 950/40, 1200/30, 1400/20 gibi bir endeks oluşturacak şekilde belirlemişlerdir. Kaynaklı bağlantılardan elde edilen deneysel çalışmalar sonucunda 1400/20 ve 650/60 endekslerini karşılaştırmışlar ve artan indeks oranına göre kaynak merkezinin büyüklüğünde de artış olduğunu saptamışlardır. Bunun yüksek ısı girdisi sonucunda oluşan bir yapı olduğunu belirtmişlerdir.

Boz ve Kurt [39] SKK yönteminde karıştırıcı geometrisinin birleşme ve kaynak bağlantılarının mekanik özellikler üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında Al-1080 alüminyum alaşımını beş farklı karıştırıcı uç profilinde SKK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Karıştırıcı uç profilleri olarak kare ve silindirik kesitli olarak seçmişlerdir. Silindirik kesitli olan pimin adım mesafeleri 0.85, 1.10, 1.40 ve 2.0 mm olarak belirlenmiş. Kaynak işlemini 1000 dev/dak takım devri ve 200 mm/dak ilerleme hızı ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda en iyi birleştirme 0.85 ve 1.10 dış adımları açılmış pimle elde edilmiştir. Aynı zamanda en iyi mekanik ve yapısal özellikler de bu profillerden elde edilen kaynaklı bağlantılarda olduğunu gözlemlemişlerdir.

Uzun ve ark. [14] Al-6031-T4 ve X5 CrNi18-10 alaşımlarını SKK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada SKK bölgesindeki mikroyapı,

mikrosertlik ve difüzyon özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarından elde ettikleri numunelerin mikroyapılarını optik mikroskop yardımı ile görüntülemişlerdir. Kaynak bölgesindeki elementlerin difüzyon seviyelerini X-ray spektroskop analiz sistemini kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kaynak bölgesinin kesit görüntüsünden bölgenin yedi farklı yapıdan oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu bölgeler: Paslanmaz çelik malzemesi, kaynak ilerleme yönünde paslanmaz çelik materyalindeki ITAB, paslanmaz çelik malzeme tarafında materyallerin ileri taşındığı TEB, kaynak merkezi, alüminyum alaşımının geri yığıldığı tarafındaki TEB, alüminyum alaşımının geri yığıldığı tarafındaki ITAB ve Al alaşımıdır. Takımın dönmesi ile paslanmaz çelik malzemedan parçalar koparak Al alaşımı içerisinde kompozit bir yapı oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak merkezinde paslanmaz çelik parçacıkları düzensiz bir şekilde ve homojen olmayan bir dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Bunun sonucunda kaynak bölgesinde çok farklı sertlik değerlerinin görüldüğü belirtilmiştir. En düşük sertlik Al-6013-T4 alaşımının ITAB'ında olduğunu gözlemlemişlerdir. Al-6013-T4 paslanmaz çelik bağlantısının yorulma özellikleri Al-6013-T4 ana malzemesine göre aşağı yukarı %30 daha düşük olduğunu saptamışlardır.

Zhou ve ark. [40] çalışmalarında Al-5083 alaşımının SKK yöntemi ile birleştirmişler ve kaynak bölgesinin yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri kaynak numunelerinin yorulma ömrü ve yorulma karakteristiklerini MIG kaynağı ile karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda kaynak bölgesinin mikroyapı özelliklerini incelenmişlerdir. Çalışmaları sonucunda SKK yöntemi ile elde edilen bağlantıların yorulma ömrünün MIG kaynağı ile elde edilene nazaran 9-12 kez daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Çatlak oluşmuş bütün numunelerde çatlaklar kaynak bağlantısının kök kısmından başladığını gözlemlemişlerdir.

Zhao ve ark. [41] SKK yönteminde kullanılan pim geometrisinin Al-2014 alaşımının mekanik özellikleri ve kaynaklanabilirliği üzerinde incelemeler yapmışlardır. Birleştirme parametresi olarak dört farklı pim profilini belirlemişlerdir. Kaynak ilerleme hızı olarak 100 mm/dak ve takım devrini 400 dev/dak olarak seçmişlerdir. Belirlemiş oldukları pim profilleri; vida açılmış silindirik, vida açılmış

konik, silindirik ve konik profilli pimledir. Kaynak işlemi sonrası numunelere gözle muayene yöntemi, çekme ve eğme testleri uygulamışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda pim profilleri birleştirmenin yapısını ve mekanik özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemekte olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda pim geometrilerinin plastize olmuş malzemenin akışını da etkilediğini gözlemlemişlerdir. En iyi kaynak yapısı vida açılmış konik uçla elde edilen bağlantılarda olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla beraber bu numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda kaynaklı bağlantının çekme dayanımı ana malzemenin çekme dayanımını %75'ine yakın bir değerde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Külekci ve ark. [42] çalışmalarında Al alaşımı AA-5754 (ETİAL-53) levhaları SKK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerinin birleşebilirliğe ve eğmeli yorulmaya etkisi araştırılmışlardır. Al alaşımı levhaların, sabit ilerlemede ve eşit omuz genişliğinde farklı devir sayıları ile farklı pim çapları gibi bazı parametreleri değiştirilerek sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme pozisyonunda kaynak işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan birleştirmelere, kaynak kalitesini belirlemek amacı ile görsel muayene yapıldıktan sonra eğmeli yorulma deneylerini yapmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin, kaynak dikişi görüntüsünün, diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha düzgün olduğu ve herhangi bir temizlik v.b. işleme gerek olmadığı görülmüştür. Kaynak numunelerine uygulanan eğme yorulma deneylerinde numunelerin kırılma yerleri ısıdan etkilenmiş bölgeden (ITAB) başlayarak ilerlediği ve kaynak dikişinin hemen yanında kopma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durum sonucunda, kaynak dikişinin sağlam olduğunun kanısına varmışlardır. Kaynak ilerleme hızı sabit, artan devir sayısında kaynaklı malzemenin yorulma dayanımında düşüş meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Çapı 3 mm olan pim ile kaynak yapılan numunelerde yorulma dayanımının yüksek çıktığını, çapı 5 mm olan pim ile kaynak yapılan numunelerde ise yorulma dayanımının en düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak devir hızının ve pim çapının artması ile malzemeye ısı girdisinin arttığı, ITAB bölgesinin genişlediği ve sertlik değeri düştüğü için yorulma dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Yüksek ilerleme ve düşük devir hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşünün

daha az olduğunu bildirmişlerdir. Bunun sebebi, yüksek hızla yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemet artırıcı partiküllerin kısmen tekrar çökmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Fujii ve ark. [43] çalışmalarında alüminyum alaşımlarının SKK yöntemiyle birleştirilmesinde kullanılan takım şekillerinin kaynak bağlantılarındaki mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında 1050–H24, 5083–O ve 6061–T6 alüminyum alaşımlarını kullanmışlardır. Malzemelerin kaynatılmasında kullandıkları takım profilleri; düz silindirik, vida açılmış silindirik ve üçgen prizmatik pimlerdir. Pim çapları 6 mm ve pim yüksekliği 4.7 mm olarak belirlemişlerdir. Elde edilen kaynak numuneleri üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda; deformasyon direnci düşük olan 1050–H24 alaşımı için vida açılmış silindirik pim ile elde edilen kaynak bağlantısının en iyi mekanik özelliği gösterdiğini tespit etmişlerdir. Benzer olarak deformasyon direnci düşük olan 6061–T6 alaşımının kaynatılmasında takım şeklinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde etkili olmadığını belirtmişlerdir. Deformasyon direnci yüksek olan 5083–O alaşımı için kaynak edilebilirlik takım devir sayısı ile yakından ilgili olduğunu belirtmişlerdir. 1500 dev/dak gibi yüksek devirlerde ve üçgen profile sahip takımlardan elde edilen kaynak bağlantısının en yüksek, 800 dev/dak gibi orta devirlerde ve vida açılmış silindirik pim profiline sahip takımlarla elde edilen bağlantılar iyi, 600 dev/dak ve pim profili fark etmeksizin mikroyapı ve mekanik özelliklerin etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Elangovan ve ark. [44] çalışmalarında takım uç profillerinin ve takım devir sayılarının SKK yöntemi ile birleştirilen AA–2219 alüminyum alaşımının kaynak bağlantıları üzerindeki etkilerinin incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında beş farklı pim profili (düz silindirik, vida açılmış silindirik, konik silindirik, kare prizma ve üçgen prizma) kullanmışlardır. Takım devir hızları olarak da 1500, 1600, 1700 dev/dak olarak üç parametreyi seçmişlerdir. Çalışmaları sonucunda; pim profiline bağlı olarak kaynak bölgesindeki malzeme akışında farklılık olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte üçgen ve kare kesitli pim profillerinde darbeli bir karıştırma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Beş farklı pim profilinden elde edilen



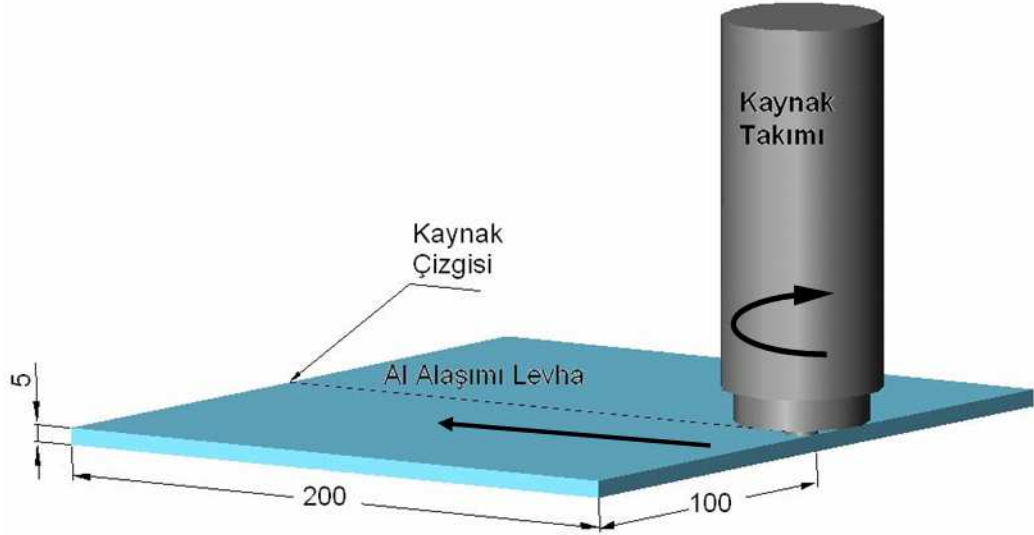
kaynak bağlantılarından en yüksek sertlik değeri kare prizma profile sahip takımdan elde edilmiştir. En düşük sertlik ise düz silindirik profilden elde edilen kaynak bağlantılarında görüldüğü belirtilmiştir. Takım devir sayısının bağlantı üzerindeki etkisi ise üç farklı devir sayısı ile elde edilen kaynak bağlantılarından en yüksek çekme dayanımını 1600 dev/dak gösterdiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda 1600 dev/dak takım dönüşü ve kare prizma pim profili ile elde edilen kaynak bağlantılarında düzgün tane yapısı ve iyi mikrosertlik özellikleri elde edilmiştir. Sonuçta optimum kaynak özelliği kare profilli takımın 1600 dev/dak dönme hızı ile elde edilen bağlantılarda olduğunu saptamışlardır.

Elangovan ve ark. [45] SKK yönteminde kullanılan takım pim profilinin ve takım omuz çapının birleştirilebilirliğine etkisini incelemişlerdir. AA-6061 Al alaşımını beş farklı pim profili (düz silindirik, konik silindirik, vida açılmış silindirik, üçgen prizmatik ve kare prizmatik) ve üç farklı omuz çapı (15 mm, 18 mm, 21 mm) ile farklı parametrelerde ve 1200 dev/dak sabit devirde 1.25 mm/saniye ilerleme hızı ile birleştirmişlerdir. Takımın omuz/pim oranı 2.5, 3.0, 3.5 ve pim yüksekliği 5.5 mm ve pim çapı 6 mm olarak saptamışlardır. Çalışmaları sonucunda her üç omuz çapının ve pim profillerinin kaynaklı bağlantıların çekme özelliklerini etkilediği gözlemlenmiştir. En iyi çekme özelliği omuz çapı 18 mm olan kare profile sahip takımla kaynaklanan bağlantıdan elde edilen numunelerde olduğunu saptamışlardır. Vida açılmış konik pim profili ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Omuz çapı 15 mm olan takımla elde edilen bağlantıların kaynak bölgesindeki taneciklerin yapısı kaba olduğunu ve aynı şekilde 21 mm çapındaki omza sahip takımda da benzer tane yapısı ve dengesiz bir tane dağılımının olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmalar kaynak parametrelerinin kaynak özelliklerine etkisini araştırmaktadır. Ancak bu araştırmalar incelendiğinde parametrelerin değiştirilmesinin kaynakların özelliğine etki ettiğini açıklamasına rağmen, çalışılan malzemeler için optimum parametrelerin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım içermedikleri görülmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen alüminyum levhaların mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen levhaların çekme, akma, süneklik ve mikrosertlik gibi mekanik özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiği ve bu parametrelerden hangisinin optimum değerde olduğu araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan alüminyum levhalar Teknikmetal Endüstri Malzemeleri Ticaret ve San. A.Ş.'den tedarik edilmiştir. AA-1050 ticari alüminyum levhalar alın pozisyonunda SKK yöntemi ile birleştirilmiştir. SKK yöntemine ait çizim Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. SKK yöntemi uygulamasına ait şematik gösterim

Çalışmada kullanılan Al alaşımı malzemeler 20 farklı parametrede sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu parametreler kaynak takımı pim çapı; M5 ve M6, takım devri; 1400 dev/dak ve 2000 dev/dak ve takım ilerleme hızı; 40 mm/dak, 56 mm/dak, 80 mm/dak, 112 mm/dak ve 160 mm/dak ile elde edilmiştir. Kaynak takımının levha yüzeyinden talaş kaldırmasını engellemek amacı ile takıma düşey düzlemde 2°'lik bir eğim verilmiştir. Bu eğim sonucunda takımın ön tarafının levha yüzeyine temasını sağlamak amacı ile takım dalma derinliği artırılmıştır. Dalma derinliğindeki artış kaynaklı bölgenin kalınlığında 0,01–0,53 mm arasında

değişen değerlerde azalma meydana getirmiştir. Kaynak kesit alanındaki değişim çekme deneyinde göz önünde bulundurulmuştur.

Sürtünme Karıştırma Kaynak işleminde kullanılan freze tezgâhı, tezgâha bağlanmış levhalar ve yöntemin uygulanışına ait fotoğraf Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin uygulanışı

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi kaynak yapılacak numunenin freze tezgâhına sabitlenmesi kaynak kalitesi açısından çok önemlidir. Çalışmada birleştirilecek levhaları freze tablasına sabitlemek için iki adet lama kullanılmıştır. Lamanın uçlarından delik açılmış ve bu deliklerden freze tezgâhının tablasındaki kanallara cıvata somun elemanları ile birleştirilmiştir.

### 3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Çalışmada AA-1050 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan AA-1050 ticari alüminyum 2000 mm × 1000 mm × 5 mm boyutunda levha halinde alınmış ve 100 mm × 200 mm × 5 mm boyutuna dilimlenmiştir. Kaynak işleminde levhalar 200 mm × 200 mm × 5 mm ebatlarında olacak şekilde alın pozisyonunda freze tezgâhına sabitlenmiştir. SKK ile birleştirilen alüminyum malzemenin TSE – EN 485–1 standardına göre kimyasal bileşimi Çizelge 3.1.’de ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. SKK ile birleştirilen alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi

ALAŞIM		KİMYASAL BİLEŞİMİ (%)							
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
AA 1050	MAX	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	---
	MIN	---	---	---	---	---	---	---	99,50

Çizelge 3.2. SKK ile birleştirilen alüminyum malzemenin mekanik özellikleri

ALAŞIM	MEKANİK ÖZELLİKLER		
	MİN. AKMA (MPa)	ÇEKME (MPa)	MİN. UZAMA %
AA 1050	68.67	104.967	3.00

### 3.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK MAKİNESİ

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi için yarı otomatik dik freze tezgâhı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan freze tezgâhı maksimum 2000 dev/dak hıza ve maksimum 900 mm/dak ilerlemeye sahiptir. Freze tezgâhının bağlama tablası 1500 mm uzunluğundadır. Freze elektrik motoru ile çalışmakta, motordan aldığı dönme hareketini kasnak kayışı vasıtasıyla frezenin düşey başlığı içerisindeki freze başlık miline aktarmaktadır. SKK işleminde kullanılacak freze tezgâhının kaliteli kaynak

işlemi için kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada 1400 dev/dak ve 2000 dev/dak hızları ve 40 mm/dak, 56 mm/dak, 80 mm/dak, 112 mm/dak, 160 mm/dak ilerlemeler kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi için kullanılan freze tezgâhı Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak işleminde kullanılan dik freze tezgâhı

### 3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TAKIMI

SKK işleminde kullanılacak kaynak aparatı için 1050 takım çeliği kullanılmıştır. Kaynak işlemi yapabilmeleri için takım malzemesi uygun profile getirilmiştir. Kaynak takımının boyu 110 mm, omuz çapı 20 mm ve pim çapı M5 ve M6 olacak şekilde imal edilmiştir. Kaynak takımının toplam uzunluğu çok önemli olmamakla birlikte freze tezgâhına bağlanmaya uygun bir boyda imal edilmesi mümkündür. Kaynak işleminin gerçekleşebilmesi için kaynak takımının ucuna kaynak performansını desteklemesi amacı ile vida çekilmiştir. Kaynak takımının pim boyu birleştirilecek levha kalınlığından 0.5 mm kısa olarak üretilmiştir. 0.5 mm'lik fark pimin freze tablasına temas etmesini engellemek içindir. Çalışmada

kullanılmak üzere imal edilen kaynak takımlarının fotoğrafı Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

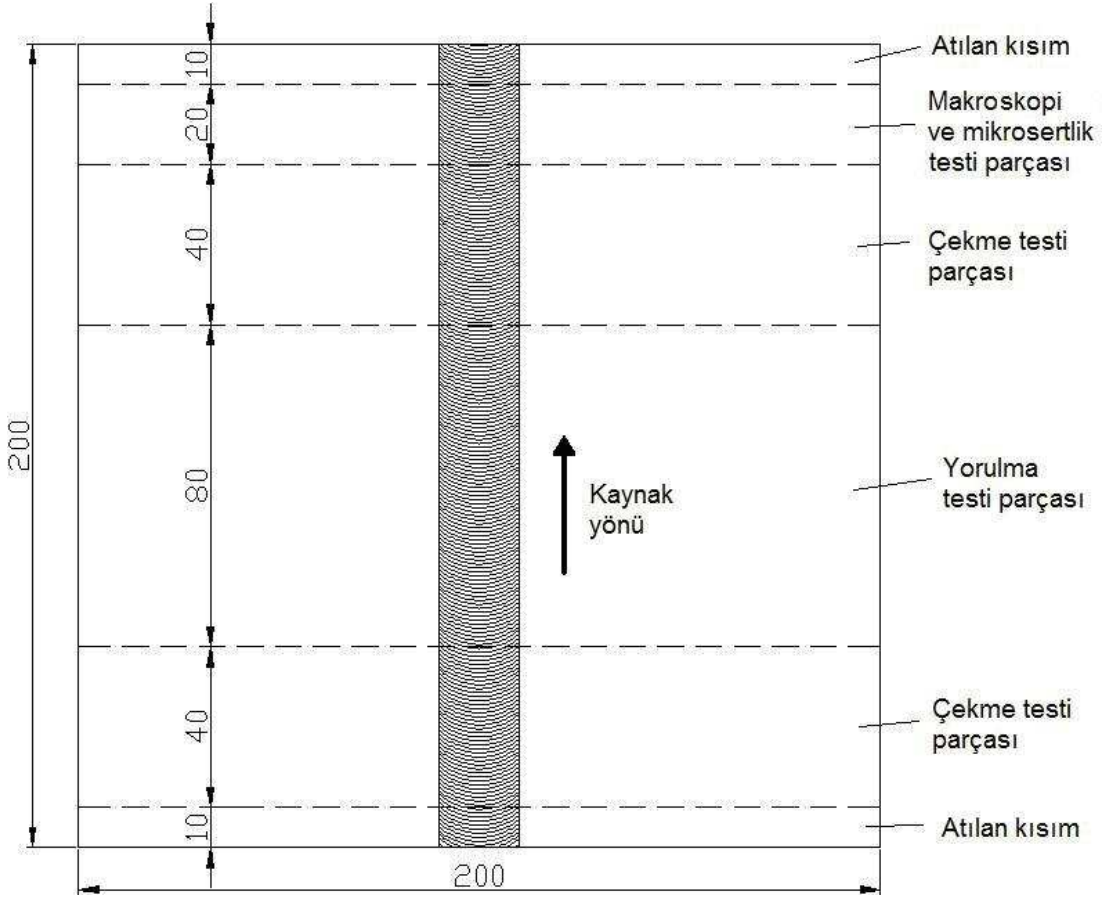


Şekil 3.4. Kaynak işleminde kullanılan takımlar

#### 3.4. MEKANİK TESTLER VE NUMUNE HAZIRLAMA SÜREÇLERİ

Çalışmada kaynaklı levhaların kaynak performanslarını ve bunlar arasından optimum birleşmeleri belirlemek amacı ile kaynaklı birleştirmelerden çekme deney numunesi, kaynaklı yüzeyden sertlik ölçüm numuneleri ve iç yapı görüntüleri için de optik mikroskopta incelenmek üzere numuneler hazırlanmıştır.

TS EN 288-4 Nisan 2002 Metalik Malzemelerin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Onayı'na uygun olarak kaynaklı levhalardan test numunesi çıkarılmak üzere levha Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi parçalara ayrılmıştır.



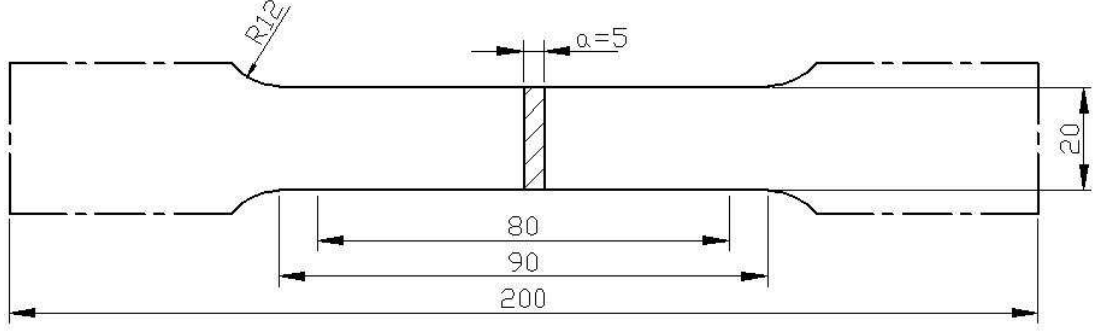
Şekil 3.5. TS EN 288-4'e uygun olarak kaynaklı levhadan test numunelerinin çıkarıldığı bölgeler

Kaynaklı levhalardan iki adet çekme testi numunesi, dört adet yorulma testi numunesi, sertlik numunesi ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması için bir adet numune çıkarılmıştır. Kaynaklı levhaların takımın malzemeye daldığı ve kaynak işlemi sonrası malzemeden çıktığı kısımları SKK işleminin yetersiz birleştirme olarak görülebileceği atık kısımları oluşturmaktadır. Ancak atılan kısmın çok az miktarda olması SKK yönteminin üstünlükleri yanında kayda değer bir miktarı teşkil etmemektedir.

#### 3.4.1. Çekme Testi Numunesinin Hazırlanması ve Deney Süreci

Çekme testi numuneleri TS 138 EN 10002-1/Nisan 2004 standardının orantısız deney parçaları için kullanılan ölçülere göre hazırlanmıştır. Çekme testi deney numunesine ait çizim Şekil 3.6.'da gösterilmektedir. Şekilde eksen çizgileri

ile gösterilen boyutlar çekme test cihazının tutucu çenelerine göre değişebilir ölçülerde olabileceğini ifade etmektedir.



Şekil 3.6. TS 138 EN 10002-1'e uygun çekme testi numunesine ait boyutlar

Çalışmada kullanılan çekme test cihazı Baz markadır. Çekme test cihazının yazılımı Teknodinamik Ltd. Şirketi'ne aittir. Test cihazı 60 ton kapasiteli hidrolik sisteme sahiptir. Test cihazı, destek yazılımı sayesinde numunelerin akma noktası, çekme noktası, akma dayanımı (Re) ve çekme dayanımının (Rm) yanı sıra % uzama değerlerini bilgisayar ortamında vermektedir.

Çalışmada her kaynak parametresinden iki adet çekme testi numunesi hazırlanmıştır. Çekme test cihazı % uzama miktarını hesaplamaktadır ancak çekme test cihazı % uzama sonuçları ile teorik % uzama hesapları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda test cihazından elde edilen sonuçlarla teorik olarak hesaplanan sonuçlar birbirini destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Numunelerin % uzama miktarını saptamak için kaynak merkezinden 40 mm uzaklıkta iki ölçü noktası alınmıştır. Belirlenen 80 mm uzunluk, çekme testi sonrası yeniden ölçülmüş ve % uzama miktarı elde edilmiştir. % uzamanın hesaplanmasına dair eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\% \text{ uzama} = \frac{L_s - L_i}{L_i} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada,

$L_s$  = Son boy

$L_i$  = İlk boy



Test işlemi için numuneler çekilecek bölge dışında deney cihazı çenelerine sabitlenmiş ve çekme deneyi uygulanmıştır. Esas malzemenin çekme özelliklerinin kaynaklı bağlantıların çekme davranışları ile mukayese edilmesi amacı ile iki adet esas malzemedan çekme numunesi hazırlanmış ve çekme deneyine tabi tutulmuştur.

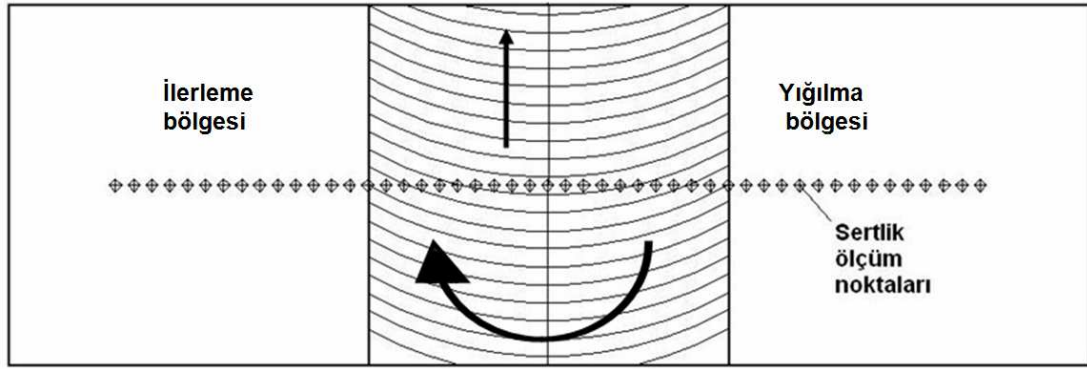
#### 3.4.2. Mikrosertlik Testi Numunesinin Hazırlanması ve Deney Süreci

Kaynaklı numunelere mikrosertlik testleri Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi makine laboratuvarında mevcut olan MICROHARDNESS TESTER HV-1000 marka mikrosertlik test cihazında yapılmıştır. Sertlik deneyinin yapıldığı test cihazı Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Mikrosertlik test cihazı

Testin sağlıklı olarak uygulanabilmesi için kaynaklı bağlantının yüzeyinin yeterince pürüzsüz olması için sırayla 240, 400, 800, 1000, 1200 grid zımpara ile zımparalanmış ve parlatılmıştır. Test koşulları oda sıcaklığında 200 g yük ile batıcı ucun 20 saniye bekleme süresi ile gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyinden sertlikler 1 mm aralıklarla alınmıştır. Kaynak merkezinden başlayarak malzeme taşınma bölgesi ve malzeme yığılma bölgelerinden 25 noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçüm numunesine ait çizim Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Sertlik ölçüm numunesine ait çizim

### 3.4.3. Kaynak Bölgesinin Görsel İncelenmesi

Kaynak bölgesi numune çıkarma sürecinde ve sonrasında görsel olarak incelenmiştir. Kaynak bölgesinin mikroyapısı Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi makine laboratuvarında bulunan L2003A REFLECTED LIGHT METALLURGICAL MICROSCOPE marka metal mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 3.9.'da çalışmada kullanılan metal mikroskobunun fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan metal mikroskobu

Kaynak bölgesinin mikroyapı görüntülerinin alınabilmesi için numunelerin kaynaklı yüzeyi düzgün bir şekilde kesilmiştir. Kesilen yüzeyler sırayla 240, 400, 800, 1000 ve 1200 grid zımpara kâğıdında zımparalanmış ve parlatma disklerinde parlatılmıştır. Parlatma işleminin ardından yüzeyden görüntü alabilmek amacı ile numuneler %37 saflıkta HCl asit çözeltisinde 60 saniye süre ile dağlanmışır.

Kaynaklı numune literatürdeki dağlama karışımlarına maruz bırakılmış ancak yeterli yüzey temizliği elde edilememiştir. Bu sebeple dağlama işlemi derişimi yüksek olan asit çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Asitle dağlanan numunelerden metal mikroskobuna monte edilen MOTIC marka kamera ile  $\times 50$  ve  $\times 100$  büyütmede görüntüler alınmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. KAYNAK PERFORMANSI

Çekme deneyi ile kaynaklı numunelerin kaynak performansı saptanmaya çalışılmıştır. Farklı kaynak parametrelerinden elde edilen numunelerin kolay tanımlanabilmesi için parametreler Çizelge 4.1.'de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır.

Çizelge 4.1. Kaynak parametreleri numunelerinin numaralandırılması

NUMUNE NO	PİM ÇAPI	İLERLEME HIZI	DEVİR SAYISI
1	M5	40	1400
2	M5	56	1400
3	M5	80	1400
4	M5	112	1400
5	M5	160	1400
6	M5	40	2000
7	M5	56	2000
8	M5	80	2000
9	M5	112	2000
10	M5	160	2000
11	M6	40	1400
12	M6	56	1400
13	M6	80	1400
14	M6	112	1400
15	M6	160	1400
16	M6	40	2000
17	M6	56	2000
18	M6	80	2000
19	M6	112	2000
20	M6	160	2000

Çekme testi sonuçlarına ilişkin veriler (akma dayanımı, çekme dayanımı, elastiklik modülü ve % uzama miktarı) Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Her parametreden iki adet çekme test numunesi hazırlanmış ve çekilmiştir. Bu numuneler 1.1. ve 1.2. gibi ikili sayı sistemi ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Çekme testi sonucu elde edilen veriler

NUMUNE	Re %0.2 (MPa)	Rm (MPa)	ELASTİKLİK MODÜLÜ (MPa)	UZAMA %
<b>Esas Malzeme</b>	<b>79,46</b>	<b>96,13</b>	<b>216241,83</b>	<b>45,00</b>
1.1.	68,96	87,21	217379,79	15,63
1.2.	73,47	90,84	196788,6	15,88
2.1.	64,64	86,13	206392,59	16,25
2.2.	72,98	91,62	200859,75	15,70
3.1.	73,08	87,30	185654,25	15,00
3.2.	72,98	92,01	186605,82	15,80
4.1.	74,35	90,93	202135,05	15,00
4.2.	74,75	91,62	211327,02	14,60
5.1.	53,26	88,48	211493,79	13,13
<b>5.2.</b>	<b>81,52</b>	<b>95,84</b>	<b>209620,08</b>	<b>13,00</b>
6.1.	49,93	89,85	203076,81	15,00
6.2.	73,96	93,58	181573,29	17,13
<b>7.1.</b>	<b>40,31</b>	<b>53,85</b>	<b>184104,27</b>	<b>14,75</b>
7.2.	71,31	90,54	188008,65	12,50
8.1.	73,96	89,95	198054,09	18,50
8.2.	72,49	92,70	186792,21	17,10
9.1.	76,91	89,56	190971,27	14,75
9.2.	74,16	92,90	190863,36	15,25
10.1.	58,17	88,09	195219	16,00
10.2.	70,43	91,13	211856,76	14,50
11.1.	69,25	87,01	194463,63	13,40
11.2.	74,75	90,93	217242,45	14,70
12.1.	57,87	87,30	195699,69	15,63
12.2.	73,67	91,23	181337,85	14,80
13.1.	73,86	94,27	206245,44	17,50
13.2.	73,47	91,91	179827,11	17,00
14.1.	76,51	93,97	198289,53	17,75
14.2.	75,73	92,01	210993,48	16,50

Çizelge 4.2. (devam)

15.1.	75,14	92,90	186929,55	17,88
15.2.	54,24	92,60	202851,18	15,60
16.1.	76,41	92,50	181769,49	16,06
16.2.	72,20	91,82	197131,95	15,25
17.1.	75,43	91,72	180141,03	17,63
17.2.	76,22	91,91	192678,21	16,00
18.1.	75,73	92,01	211886,19	17,25
18.2.	59,25	91,42	200212,29	16,20
<b>19.1.</b>	<b>72,98</b>	<b>90,35</b>	<b>212886,81</b>	<b>20,00</b>
<b>19.2.</b>	<b>75,43</b>	<b>92,01</b>	<b>202429,35</b>	<b>19,60</b>
20.1.	74,94	91,42	211905,81	17,75
20.2.	76,51	93,39	191824,74	17,60

Çizelge 4.2.'de görüldüğü gibi esas metali takiben en fazla uzama yüzdesi 19 (M6, 112 mm/dak, 2000 dev/dak) numaralı numunede görülmektedir.

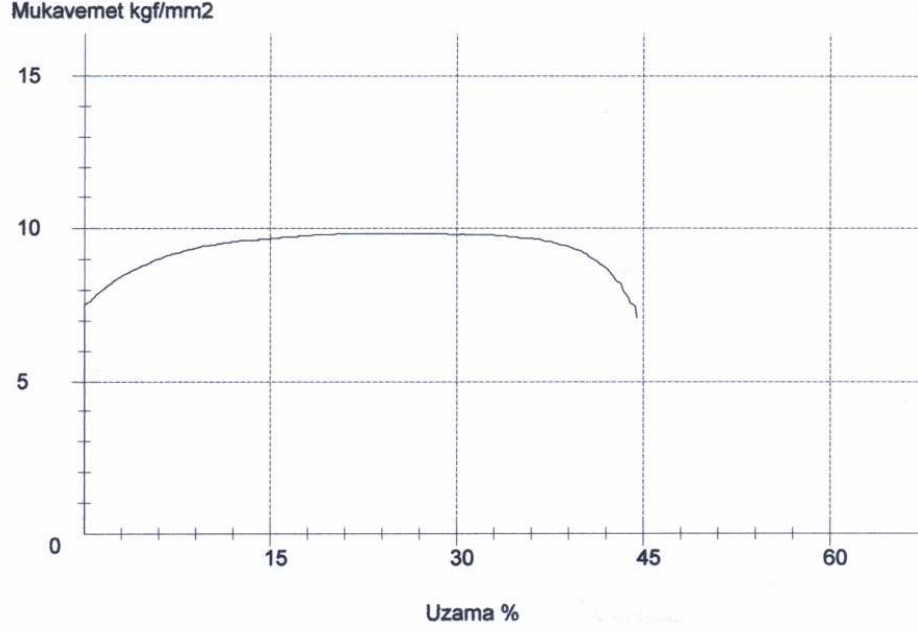
Çekme test cihazında esas malzemedan hazırlanan 2 adet numune çekilmiş ve deney sonuçları incelenmiştir. Esas malzemeye ait çekme testi sonuçlarından kaynak performansının yeterliliğini karşılaştırmak amacı ile en yüksek akma ve çekme değerinde olan numune çekme testi tablolarında “Esas Malzeme” olarak gösterilmiştir.

Esas malzemeye ait çekme test cihazından elde edilen çekme grafiği Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

## Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm <sup>2</sup>	L0 mm	L1 mm	Akma kgf	Re %0.2 kgf/mm <sup>2</sup>	Çekme Kuv. kgf	Rm kgf/mm <sup>2</sup>	Rm/Re	Uzama %	E Modulus kgf/mm <sup>2</sup>
2.	98.3	40.	58.	800.	8.1	960.	9.8	1.2	45.	22043.

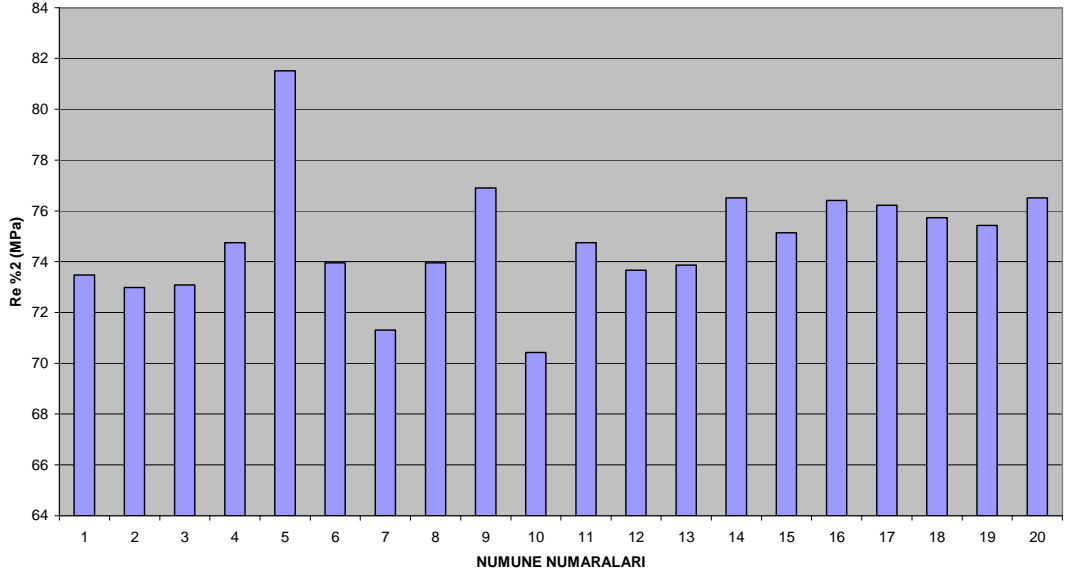
## Grafikler



Şekil 4.1. Esas malzemeye ait çekme test cihazından elde edilen çekme grafiği

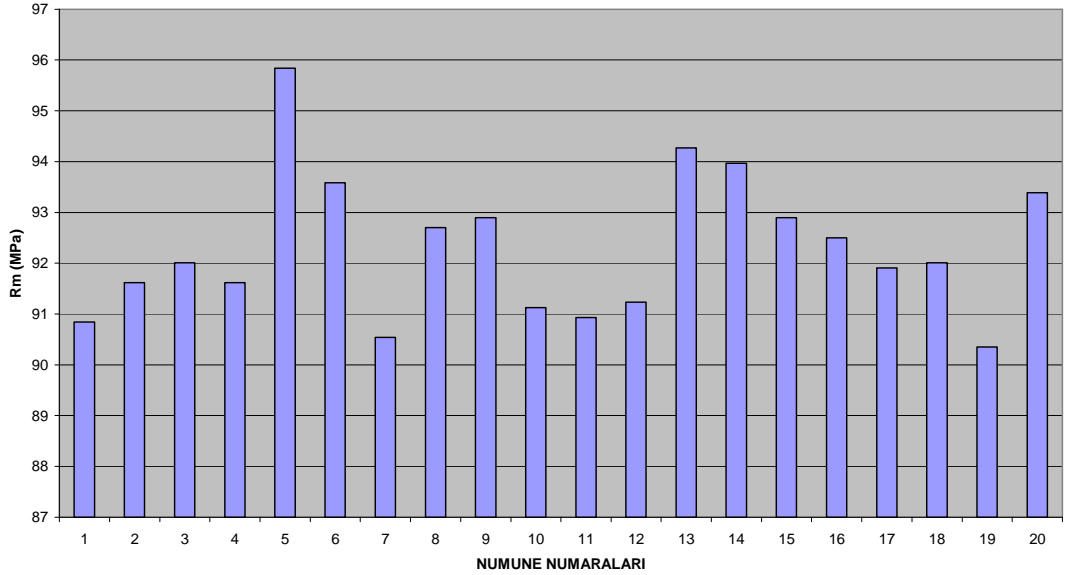
Çizelge 4.2’de numunelerden elde edilen en büyük akma dayanımı ve en büyük çekme dayanımı değerlerine ilişkin grafikler Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.’de gösterilmiştir.

#### EN BÜYÜK AKMA DAYANIMI DEĞERLERİ



Şekil 4.2. En büyük akma dayanımı değeri

#### EN BÜYÜK ÇEKME DAYANIMI DEĞERLERİ



Şekil 4.3. En büyük çekme dayanımı değeri

Yukarıdaki çekme deneyi verilerinden anlaşılacağı gibi SKK yöntemi ile birleştirilen kaynaklı levhalardan çekme testi sonuçlarına göre en iyi kaynak

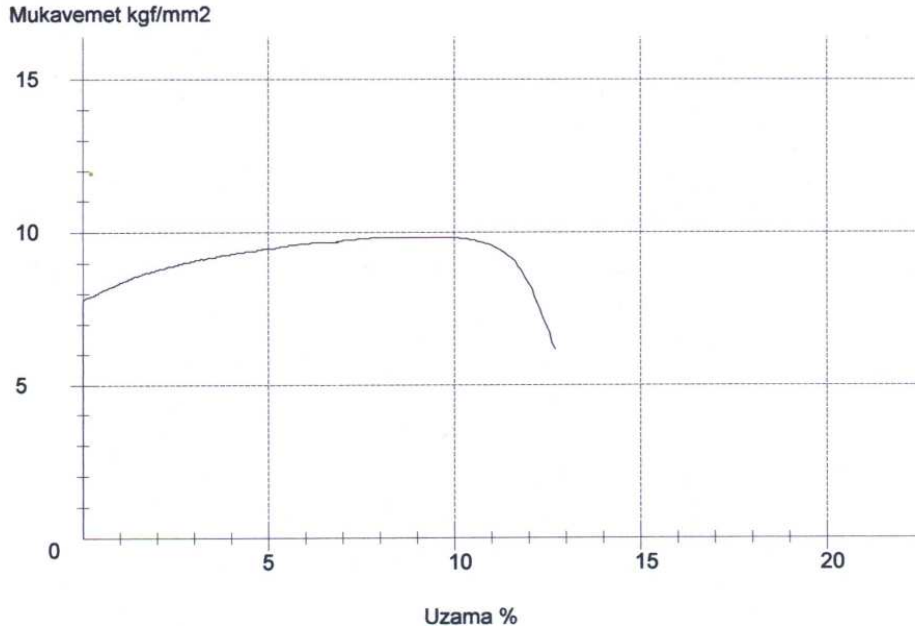


performansı 5 numaralı numuneden elde edilmiştir. Bu iki grafiğe ilişkin çekme testi cihazından elde edilen çekme grafiği Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.

## Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm <sup>2</sup>	L0 mm	L1 mm	Akma kgf	Re %0.2 kgf/mm <sup>2</sup>	Çekme Kuv. kgf	Rm kgf/mm <sup>2</sup>	Rm/Re	Uzama %	E Modulus kgf/mm <sup>2</sup>
5.	88.05	80.	90.4	732.	8.31	860.	9.77	1.17	13.	21368.

## Grafikler



Şekil 4.4. 5 Numaralı numuneye ait çekme test cihazından elde edilen çekme grafiği

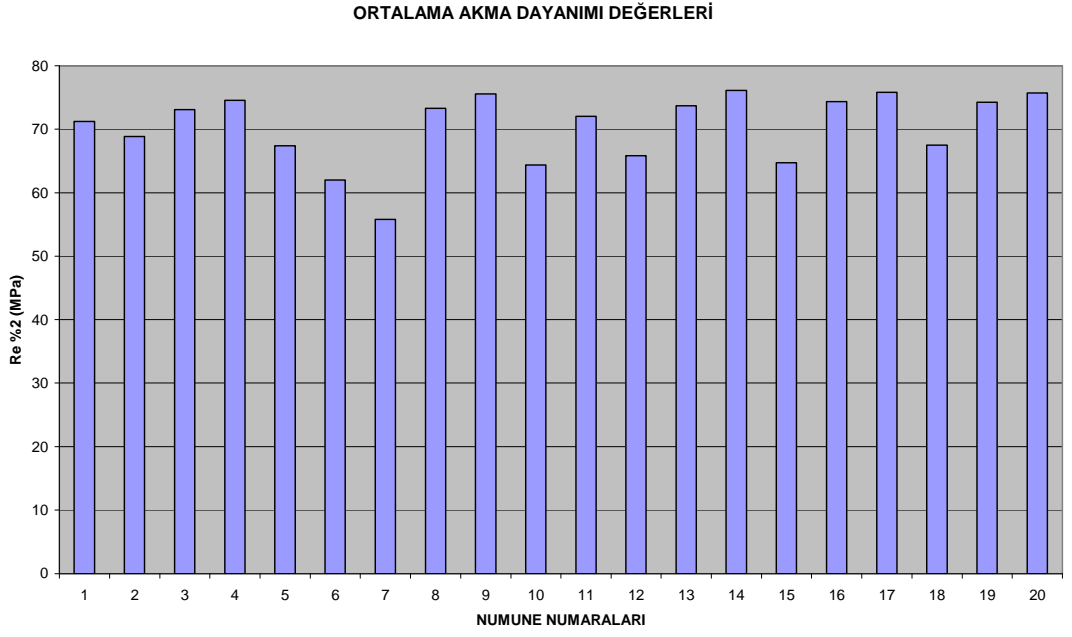
Yukarıdaki grafikler her parametreden çıkarılan çekme numuneleri içerisinde yüksek akma ve yüksek çekme değerlerinde olanlar alınarak oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra kaynaklı levhaların ortalama akma ve ortalama çekme dayanımının da çalışmada göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Aşağıda çekme deneyi numunelerinin aritmetik olarak hesaplanan ortalama akma ve ortalama çekme dayanımları ile elde edilen veriler Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir.

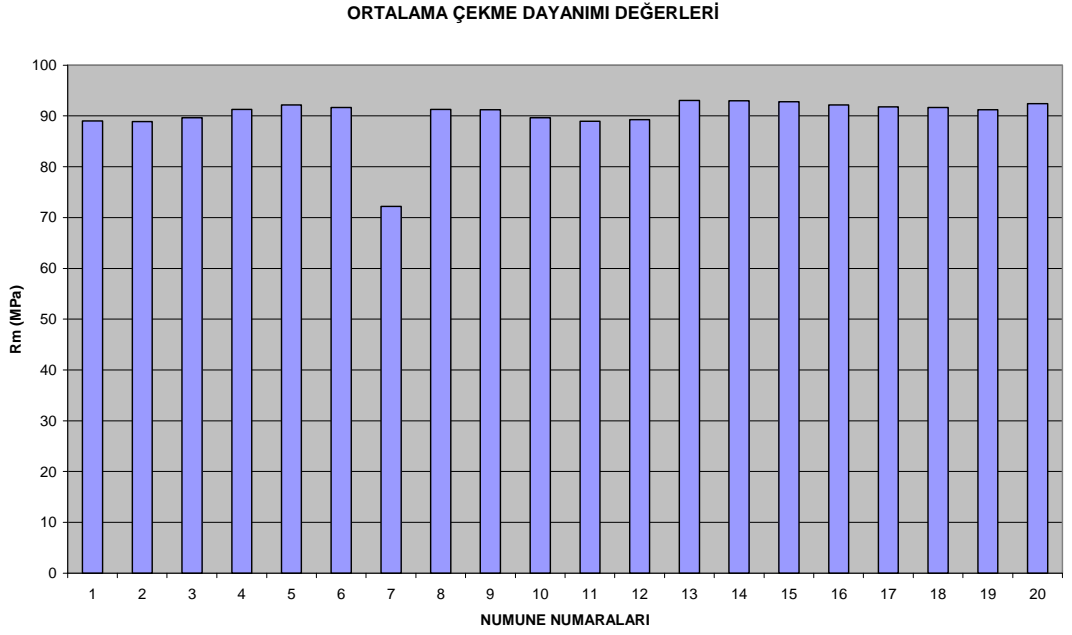
Çizelge 4.3. Numunelere ait ortalama akma ve ortalama çekme dayanımları

NUMUNE	Re %0.2 (MPa)	Rm (MPa)
<b>Esas Malzeme</b>	<b>79,46</b>	<b>96,13</b>
1	71,22	89,07
2	68,86	88,87
3	73,08	89,66
4	74,55	91,33
<b>5</b>	<b>67,39</b>	<b>92,21</b>
6	61,99	91,72
7	55,81	72,20
8	73,28	91,33
9	75,53	91,23
10	64,35	89,66
11	72,00	88,97
12	65,82	89,27
<b>13</b>	<b>73,67</b>	<b>93,09</b>
<b>14</b>	<b>76,12</b>	<b>92,99</b>
<b>15</b>	<b>64,74</b>	<b>92,80</b>
16	74,35	92,21
17	75,83	91,82
18	67,49	91,72
19	74,26	91,23
20	75,73	92,41

Çizelge 4.3.'de ortalama akma dayanımı ve ortalama çekme dayanımına ilişkin verilerin daha kolay irdelenmesi amacı ile Şekil 4.5.'de ve Şekil 4.6.'da çizelgeye ait grafikler gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Kaynaklı numunelere ait ortalama akma dayanımları



Şekil 4.6. Kaynaklı numunelere ait ortalama çekme dayanımları

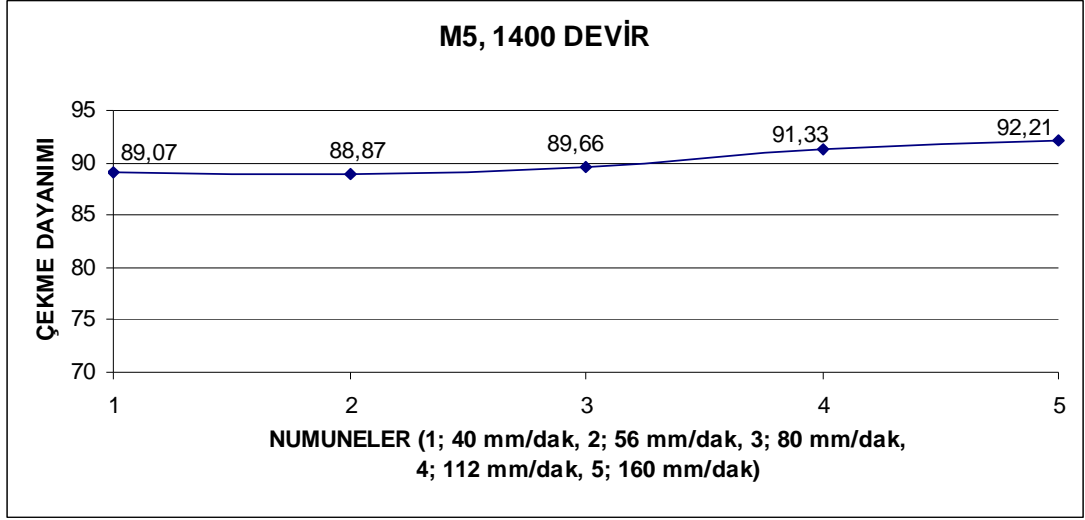
Ortalama akma grafiği incelenecek olursa en büyük ortalama akma dayanımı 76,12 MPa değeri ile 14 numaralı numuneye ait olduğu görülmektedir. En büyük

ortalama çekme dayanımı 93,09 MPa değeri ile 13 numaralı numuneye ait olduğu görülmektedir.

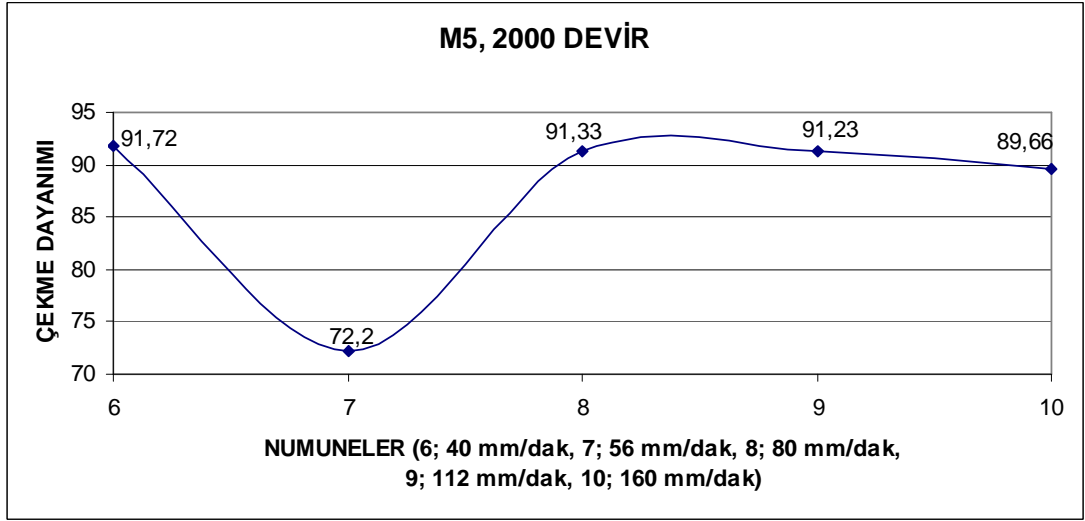
En büyük çekme dayanımı tablosu ve ortalama çekme dayanım tablosu birlikte incelendiğinde 5 numaralı numunenin ortalama çekme dayanımının 13 numaralı numunenin ortalama çekme dayanımından 0,88 MPa düşük bir değerde olduğu görülmektedir. Bu durum 13 numaralı numunenin kaynak performansı açısından daha iyi olduğu sonucunu vermektedir.

13 numaralı kaynak numunesinin içerisinde bulunduğu seri (13, 14, 15) ortalama çekme dayanımı değerleri açısından incelendiğinde en yüksek dayanıma sahip üçlü olduğu görülmektedir. Bu seri pim çapının M6 olduğu ve takım devir sayısının düşük (1400 dev/dak), takım ilerleme hızının yüksek olduğu (80 mm/dak, 112 mm/dak, 160 mm/dak) parametrelere sahip birleştirmelerdir. Akma dayanımı ve çekme dayanımı birlikte ele alınırsa bu seri içerisinde 14 numaralı numune hem akma dayanımı hem de çekme dayanımı değerleri bakımından yüksek kaynak performansına sahip olduğu görülmektedir.

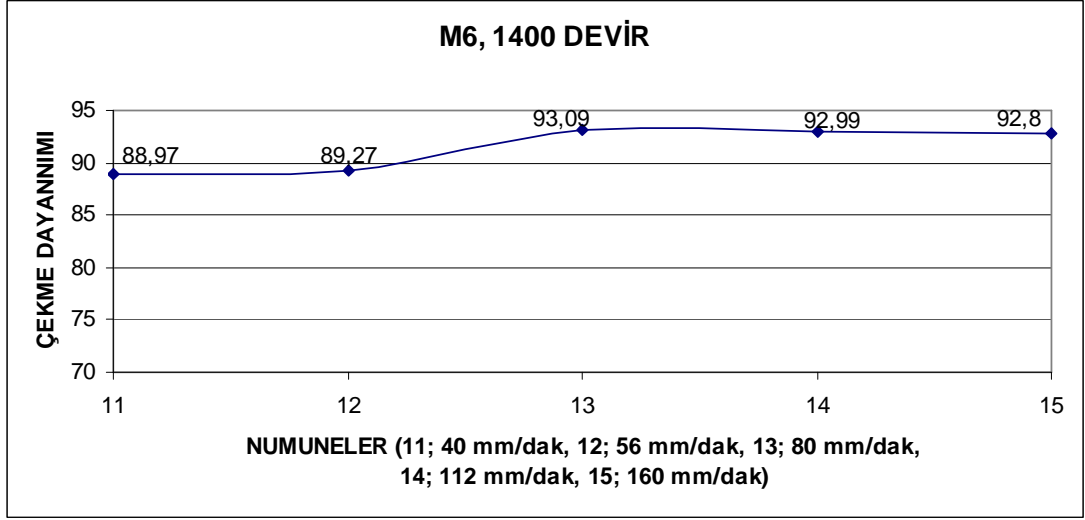
Kaynaklı numunelerden elde edilen çekme deneyi sonuçlarına göre ilerleme hızları ile çekme dayanımı değerlerindeki değişim Şekil 4.7., Şekil 4.8., Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.' da gösterilmiştir.



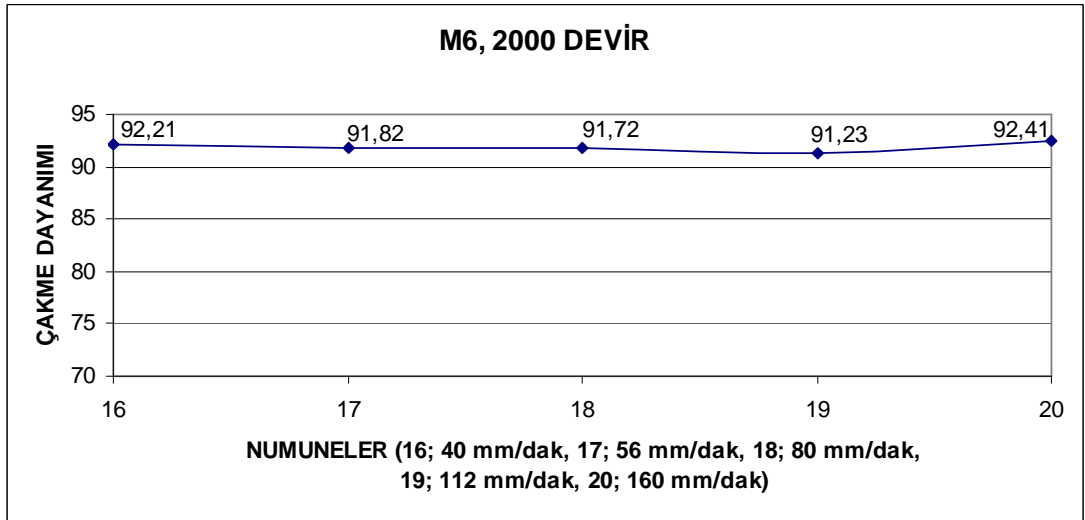
Şekil 4.7. M5, 1400 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi



Şekil 4.8. M5, 2000 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi



Şekil 4.9. M6, 1400 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi

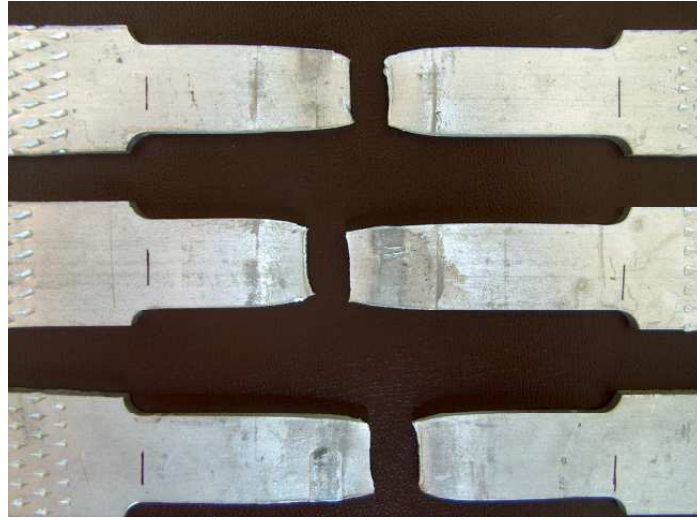


Şekil 4.10. M6, 2000 dev/dak parametrede ilerleme hızına bağlı çekme dayanımı değerleri değişimi

Kaynaklı birleştirmelerde ilerleme hızına bağlı çekme dayanımları incelendiğinde ısı girdisinin az olduğu 1400 dev/dak takım dönüş hızı ile birleştirilen numunelerde M5 pim çapı ile yapılan kaynaklar ilerleme hızı arttıkça çekme dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. M6 pim çapı ile birleştirilen numunelerde de benzer sonuçlar elde edilmekle birlikte 13, 14 ve 15 numaralı seriyi oluşturan 80

mm/dak, 112 mm/dak ve 160 mm/dak ilerleme hızlarında çekme dayanım değerlerinde yaklaşık değerler elde edilmiştir.

13, 14 ve 15 numaralı numuneler çekme deneyi sonrası incelendiğinde numunelerin hasara uğramaya başlayıp koptukları nokta ısı tesiri altındaki bölge olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. Çekme testi sonrası kopmuş olan kaynaklı numuneler

Bu durum kaynak merkezinde çekme dayanımının tatmin edici düzeyde olduğunu göstermektedir. Şekil 4.11.'de 13, 14 ve 15 numaralı numunelere ait çekme testi sonrası kopmuş olan kaynaklı numunelere ait resimler gösterilmektedir.

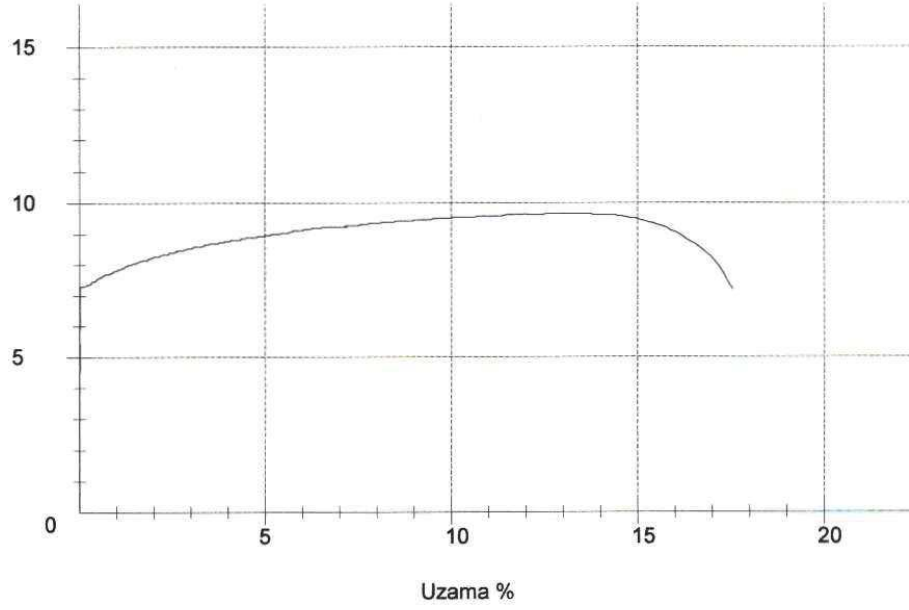
14 numaralı numuneden çekilen iki adet çekme test sonuçları Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.' da gösterilmiştir.

## Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm <sup>2</sup>	L0 mm	L1 mm	Akma kgf	Re %0.2 kgf/mm <sup>2</sup>	Çekme Kuv. kgf	Rm kgf/mm <sup>2</sup>	Rm/Re	Uzama %	E Modulus kgf/mm <sup>2</sup>
14.	93.8	80.	94.2	732.	7.8	899.	9.58	1.23	17.75	20213.

## Grafikler

Mukavemet kgf/mm<sup>2</sup>



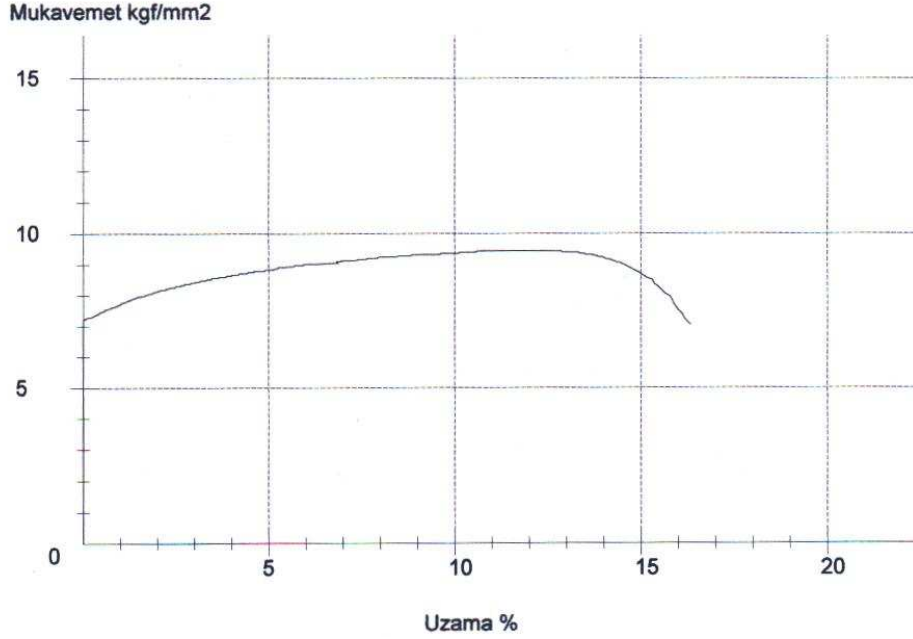
Şekil 4.12. 14.1. numaralı numuneye ait çekme test cihazı çekme grafiği



## Sonuçlar

Numune No	Kesit Alanı mm <sup>2</sup>	L0 mm	L1 mm	Akma kgf	Re %0.2 kgf/mm <sup>2</sup>	Çekme Kuv. kgf	Rm kgf/mm <sup>2</sup>	Rm/Re	Uzama %	E Modulus kgf/mm <sup>2</sup>
14.	94.81	80.	93.2	732.	7.72	889.	9.38	1.21	16.5	21508.

## Grafikler

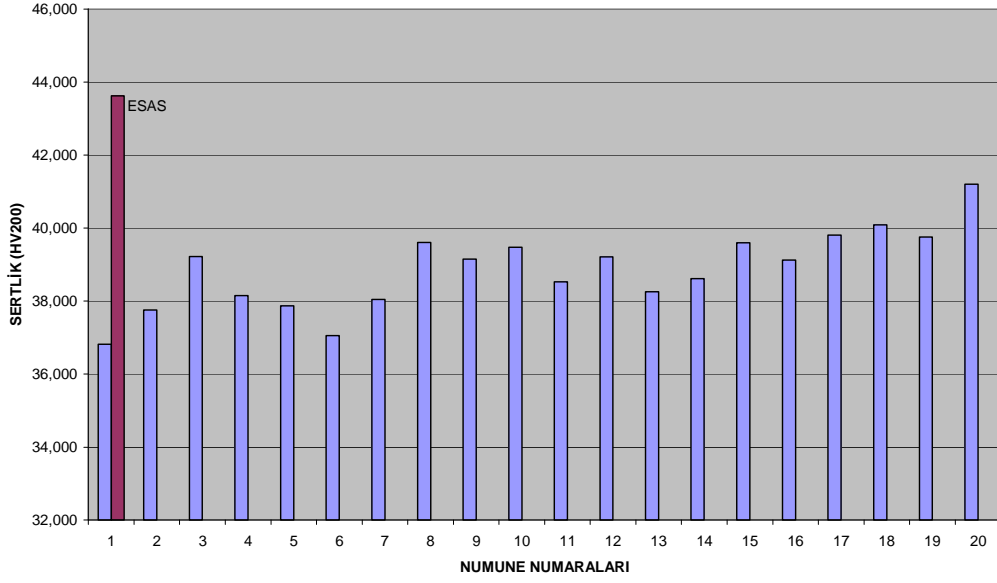


Şekil 4.13. 14.2. numaralı numuneye ait çekme test cihazı çekme grafiği

## 4.2. SKK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN PLAKALARIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

Kaynaklı bölgenin mikroyapısını incelemek amacı ile kaynaklı levhaların yüzeyinden mikrosertlik ölçümü yapılmış ve optik mikroskopla kaynaklı bölgeden Şekil 3.5.'de verilmiş olan plana göre kaynak numunelerinden  $\times 50$  ve  $\times 100$  büyütme ile görüntüler alınmıştır. SKK ile elde edilmiş numunelerden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi, tüm kaynaklı bağlantılarda ortalama sertlik değerinin esas malzemenin ortalama sertlik değerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

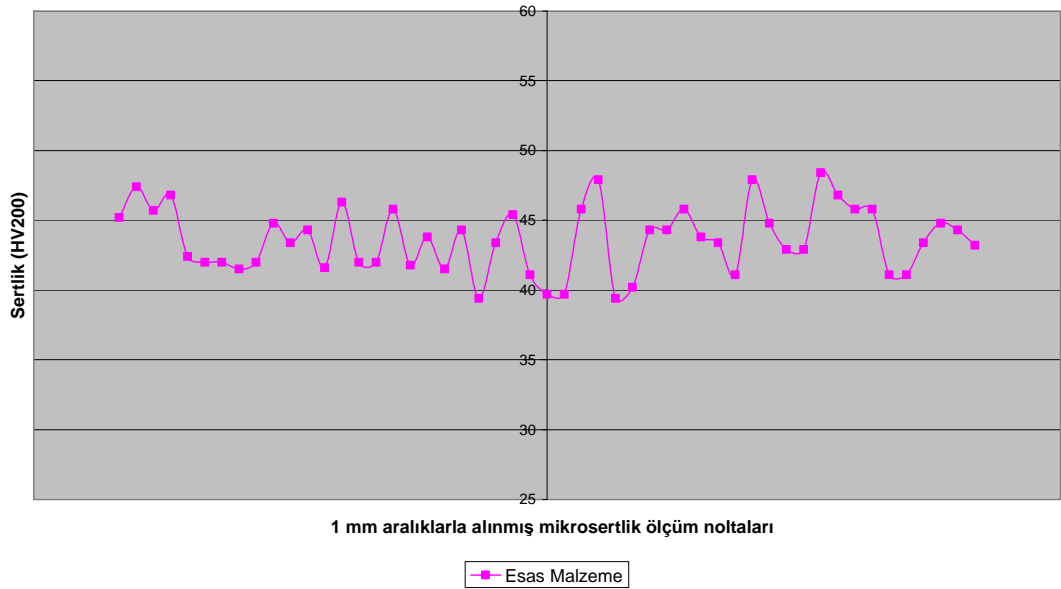
#### ORTALAMA SERTLİK DEĞERLERİ



Şekil 4.14. Esas malzemeye ve kaynaklı numunelere ait ortalama sertlik değerleri

Esas malzemenin ortalama mikrosertlik değeri 43.619 HV200 çıkmıştır. Esas malzemeye ait mikrosertlik ölçüm grafiği Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.

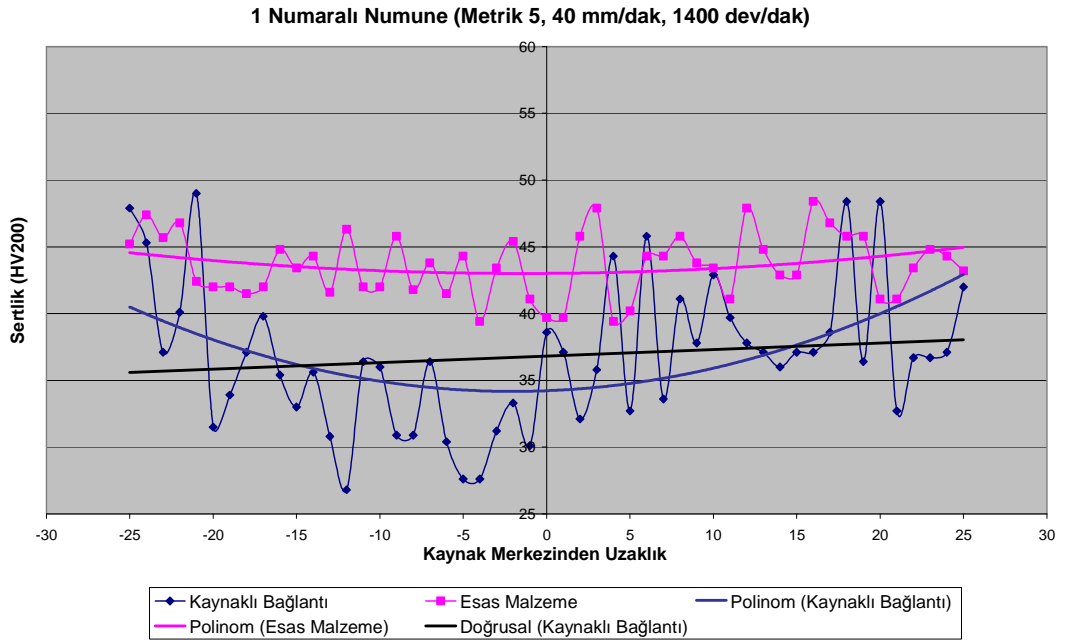
#### ESAS MALZEMEYE AİT MİKROSERTLİK DEĞERLERİ



Şekil 4.15. Esas malzemedan ölçülen mikrosertlik değerleri değişimi

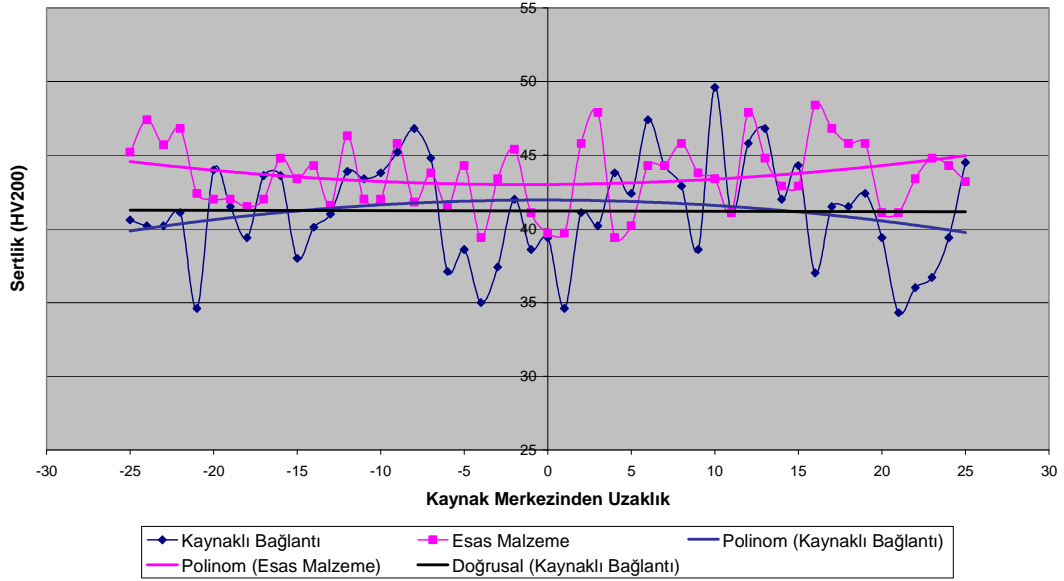
Kaynaklı numunelere ait ortalama sertlik değerleri ise 36.818 HV200 ile en düşük değeri alırken, 41.206 HV200 ile en yüksek değeri almıştır.

En düşük ortalama sertlik değeri 1 numaralı kaynaklı numunedan alınmıştır. En yüksek ortalama sertlik değeri ise 20 numaralı kaynaklı numuneye aittir. En düşük ve en yüksek sertliğe sahip numunelere ait sertlik değişim grafikleri Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de görülmektedir.



Şekil 4.16. 1 Numaralı numuneye ait sertlik değerleri dağılımı

20 Numaralı Numune (Metrik 6, 160 mm/dak, 2000 dev/dak)

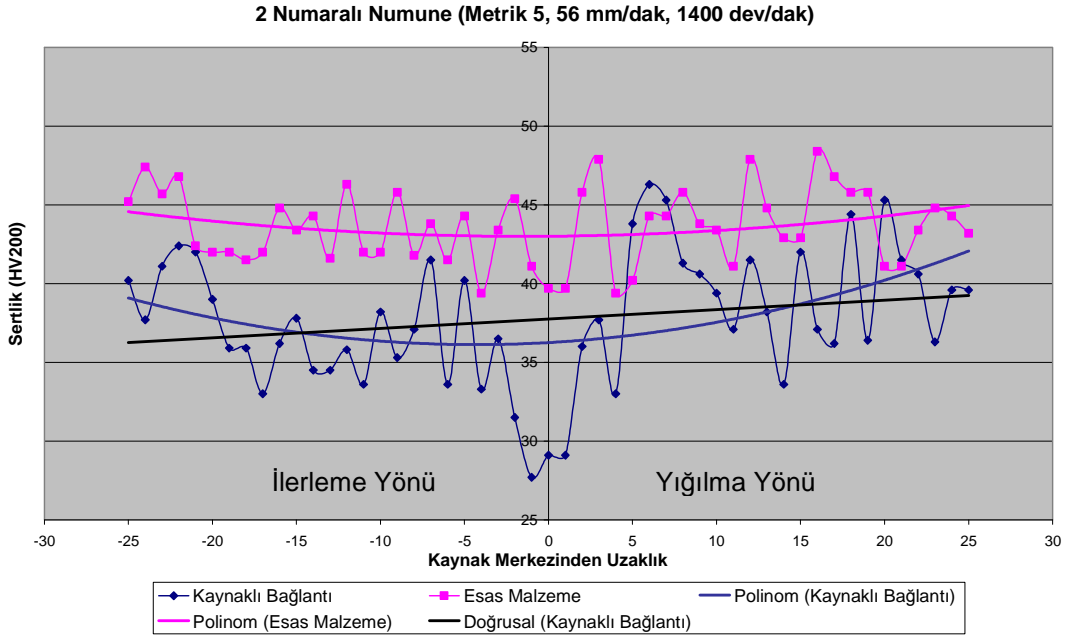


Şekil 4.17. 20 Numaralı numuneye ait sertlik değerleri dağılımı

Kaynaklı bağlantıların çoğunluğunda kaynak merkezinde (kaynaklanan plakaların ara yüzeyinde) sertlik değerinde artış olduğu görülmüştür. Kaynaklı bağlantılarda sertlik değerinin en düşük olduğu aralık ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen tüm kaynaklı bağlantılarda, kaynaklı bölgeden alınan ortalama mikrosertlik değerleri üzerinden geçirilen doğrusal çizgi ilerleme yönündeki sertlik değerleri yığılma yönündeki sertlik değerlerinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, kaynak takımının dönüş esnasında yığılma yönünde daha fazla plastik deformasyon oluştuğu ve alüminyum malzeme içerisinde bulunan alaşım elementlerinin ve alaşımın sertliğini arttıran partiküllerin yığılma yönüne taşınması sonucu ortaya çıkmış olabileceği ile açıklanabilmektedir.

İlerleme ve yığılma yönlerindeki sertlik değişimini tüm kaynaklı numuneleri temsil etmesi amacı ile Şekil 4.18.'de 2 numaralı kaynaklı bağlantıda görülmektedir.



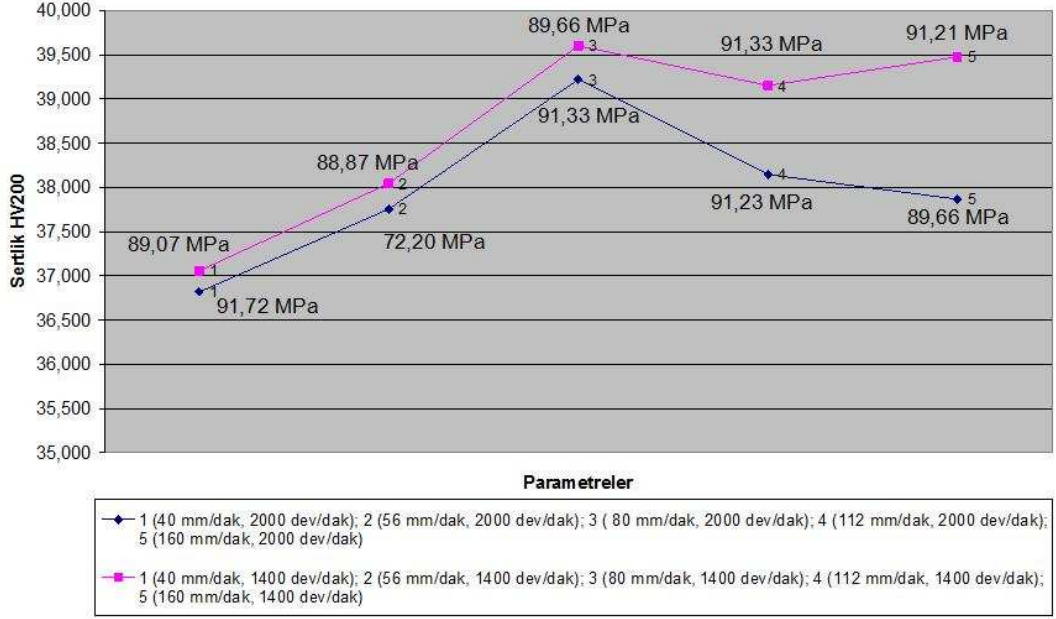
Şekil 4.18. Kaynaklı bağlantının ilerleme yönü ile yığılma yönü arasındaki sertlik değişimi

Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda devir ve ilerleme hızına bağlı olarak ortalama sertlik değerlerinde değişim olduğu gözlemlenmiştir. Farklı parametrelerde gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların sertlik değişimi Şık'ın [3] çalışmalarındaki sonuçlara uyumlu olarak yüksek devir ve ilerleme hızlarında sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar Cavalier ve ark. [34] tarafından yapılan çalışmalarda da tezimizi desteklemektedir.

Şekil 4.19.'da M5 pim çapı, farklı devir sayıları ve ilerlemelerle elde edilen kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi her iki devirde de takım ilerleme hızı arttıkça sertlik de artmaktadır.

Çalışılan 1050 alüminyum alaşımında M5 pim çapıyla 1400 ve 2000 dev/dak hızlarında yapılan kaynaklarda ana malzemeye en yakın sertlik değerleri 80 mm/dak ilerleme ile elde edilmiştir.

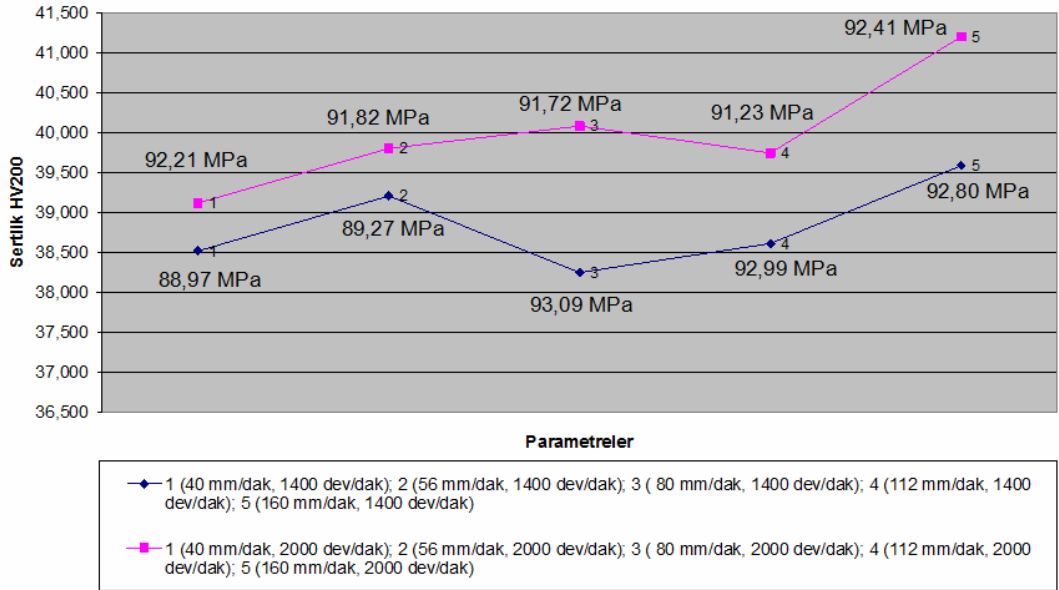
### METRİK 5 PİM ÇAPI İÇİN SERTLİK DAĞILIM GRAFİĞİ



Şekil 4.19. M5 takım pım çapı ile kaynatılan numunelere ait sertlik değışimi

Şekil 4.20.'de M6 pım çapı, farklı devir sayıları ve ilerlemelerle elde edilen kaynaklı birleştirmelerin sertlik değeri karşılaştırılmıştır.

### METRİK 6 PİM ÇAPI İÇİN SERTLİK DAĞILIM GRAFİĞİ

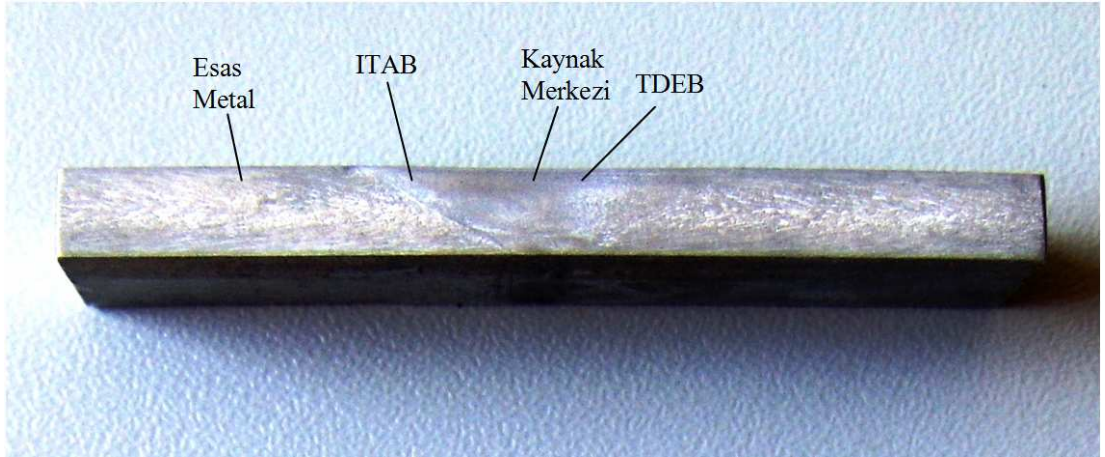


Şekil 4.20. M6 takım pım çapı ile kaynatılan numunelere ait sertlik değışimi

M6 takım pim çapı kullanılarak 2000 devirde yapılan kaynaklarda M5 pim çapı ile yapılan kaynaklara benzer bir grafik elde edilmiştir. Ancak 1400 devir ile kaynatılan levhaların 80 mm/dak ilerleme hızı ile yapılan kaynaklı birleştirmede sertlik değerinde düşüş olduğu görülmektedir. M6 pim çapı ve 1400 devirde gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda 112 mm/dak ve 160 mm/dak ilerleme hızlarında sertlik değerlerinde artış olup esas malzemeye yakın değerler elde edilmiştir.

Şekil 4.20.'deki M6 pim çapına sahip 112 mm/dak, 1400 dev/dak ve 160 mm/dak, 1400 dev/dak takım dönüş hızına sahip parametreler çekme performansı açısından optimum kabul edilebilir bir değere sahiptir. Bu sebeple yapılan mikrosertlik ölçümleri çekme testi sonuçlarını destekler niteliktedir.

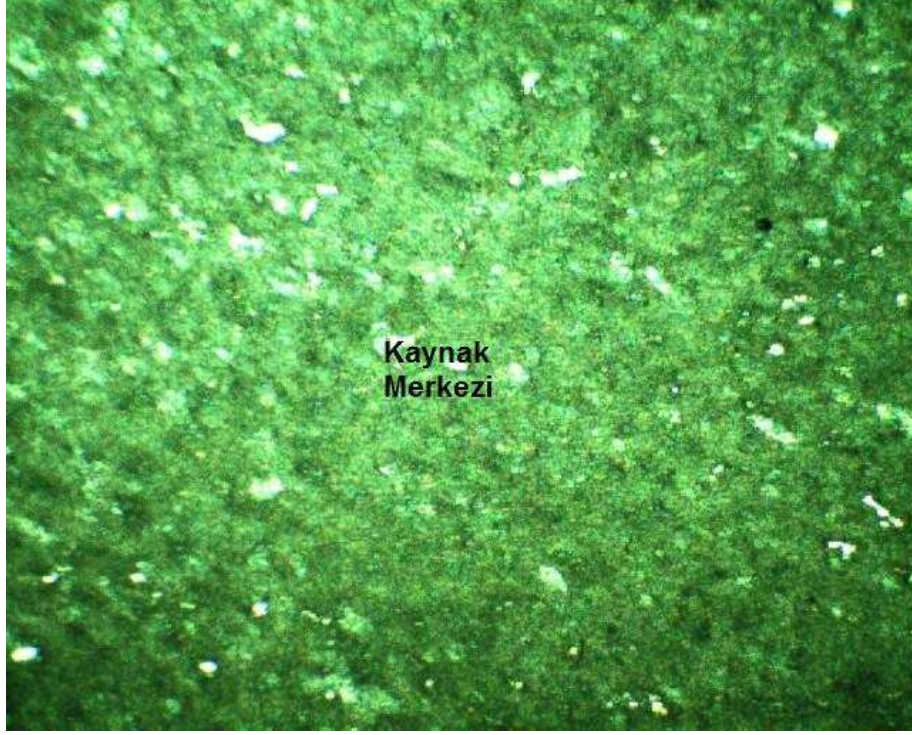
Yapılan çalışmada farklı parametrelerde SKK yöntemi ile birleştirilen Al alaşımı levhalar mikroyapı özellikleri ve kaynak hatalarının tespiti için metal mikroskopunda incelenmiştir. Numuneler hem göz ile muayene edilmiş hem de metal mikroskopu ile mikroyapısı incelenmiştir. Tüm kaynaklı birleştirmelerde kaynakların son derece düzgün olarak yapıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.21. 5 numaralı numuneye (M5, 160 mm/dak, 1400 dev/dak) ait görüntü

Optik mikroskop ile kaynaklı bağlantılardan  $\times 50$  ve  $\times 100$  büyütme ile görüntü alınarak kaynaklı bölgenin mikroyapısı incelenmiştir. Şekil 4.22.'de 5

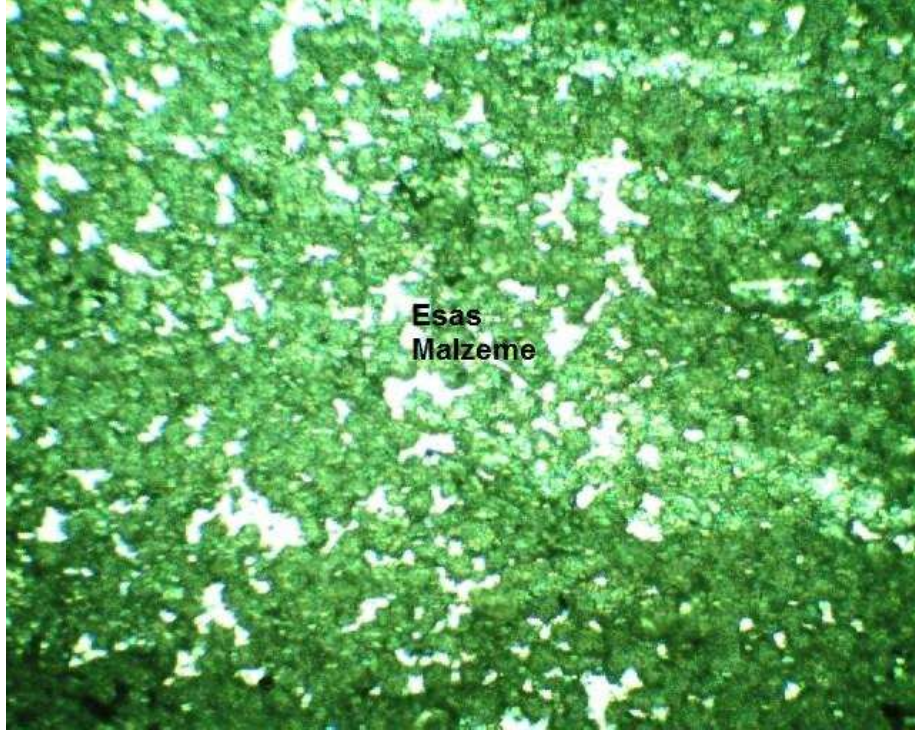
numaralı kaynaklı numuneye ait kesitin  $\times 100$  büyütme ile mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4.22. 5 numaralı numuneye (M5, 160 mm/dak, 1400 dev/dak) ait  $\times 100$  büyütme ile alınan görüntü

Şekil 4.23.'de esas metalin kesitinin  $\times 100$  büyütme ile mikroyapısı görülmektedir.

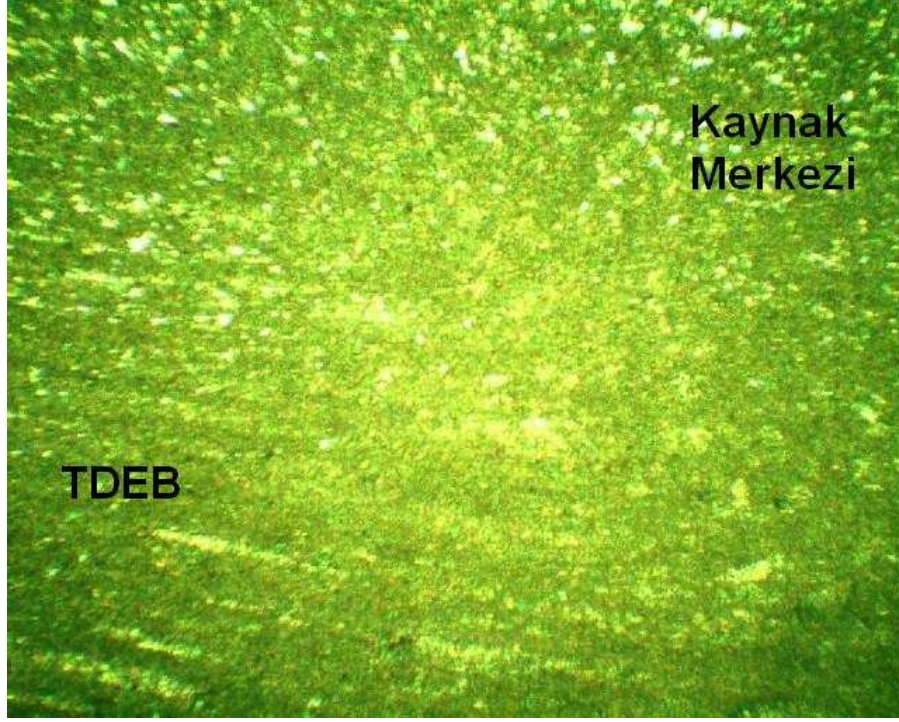




Şekil 4.23. Esas malzemeye ait  $\times 100$  büyütme ile alınan görüntü

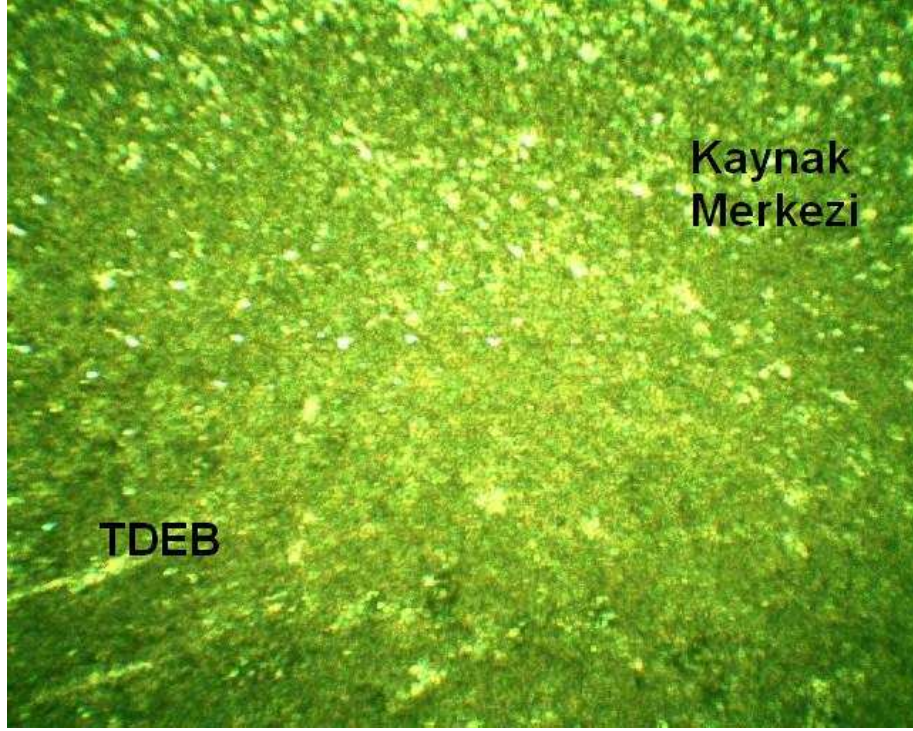
Kaynaklı bölgeden alınan  $\times 50$  büyütmedeki fotoğraflar incelendiğinde termodinamik olarak etkilenen bölge (TDEB) rahatlıkla seçilebilmektedir. Bu bölgede takımın dönmesi sonucu malzemedeki mikro düzeydeki akışlar görülebilmektedir.

Kaynak merkezi ve TDEB'in birlikte fotoğraflandığı görüntüler Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 12 numaralı numuneye (M6, 56 mm/dak, 1400 dev/dak) ait  $\times 50$  büyütme ile alınan görüntü

Şekil 4.24.'de 12 numaralı numunenin kaynaklı bölgenin kaynak yüzeyine yakın bir noktadan alınan fotoğraf görülmektedir. TDEB ve kaynak merkezi arasındaki mikroyapı farkı belirgin bir şekilde görülmektedir. Kaynak merkezinin yüzeyine yakın bölgelerde ısının büyük bir kısmını oluşturan omuz bölgesinde mikroyapının homojen bir yapıda olduğu görülmektedir. Ancak omuzun temas ettiği yüzey kaynak parametrelerine bağlı olarak ondüleli bir yapı alabilmektedir.



Şekil 4.25. 7 numaralı numuneye (M5, 56 mm/dak, 2000 dev/dak) ait  $\times 50$  büyütme ile alınan görüntü

Şekil 4.25.'de de TDEB ve kaynak merkezi belirgin olarak görülmektedir. Benzer olarak kaynak merkezinin tabana yakın olan bölümde de malzeme akışı geçiş bölgesine nazaran daha homojen ve hareketsiz olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki kaynaklı bağlantıların fotoğrafları ve diğer parametrelerin fotoğraflarında kaynaklı bölgedeki alaşım partikülleri homojen olarak dağılmış ve hiçbir numunede boşluk hatasına rastlanmamıştır. Bu durum kaynaklanan plakaların ara yüzeyindeki malzeme karışımının yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, SKK yöntemiyle farklı parametrelerde kaynaklı birleştirmeler elde edilmiş ve bu parametreler arasından optimum olanların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde kaynaklı birleştirmelerin kaynak performansını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Yapılan çalışmada bu parametreler iki farklı pim çapı, iki farklı takım devir hızı ve beş farklı takım ilerleme hızı kullanılarak elde edilmiştir.

Elde edilen kaynaklı bağlantılar arasından optimum kaynak parametresinin tespiti için kaynaklı birleştirmelerin kaynak performansı ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kaynak performansının belirlenmesi amacı ile çekme testi numunelerinin test sonuçları karşılaştırılmış ve bunlar arasından en iyi sonucu veren parametre optimum parametre olarak saptanmıştır. Bunun yanı sıra kaynaklı birleştirmelerden mikrosertlik ölçümleri yapılarak çekme testi sonuçları ile mikrosertlik değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Kaynak performansı açısından en yüksek çekme ve akma dayanımı 5.2. numaralı numuneye (M5, 160 mm/dak, 1400 dev/dak) ait olduğu saptanmıştır. Farklı parametrelerde kaynatılan levhaların ortalama akma ve çekme dayanımları değerlendirildiğinde en iyi kaynak performansını 13, 14 ve 15 numaralı numunelerin bulunduğu M6 pim çapında, 80 mm/dak, 112 mm/dak ve 160 mm/dak ilerleme hızlarında ve 1400 dev/dak takım devrine sahip seriden elde edildiği görülmüştür. Bu seri içerisinde 13 numaralı numunenin (80 mm/dak) ortalama mikrosertlik değerleri düşük çıkmıştır. 15 numaralı numunenin ise akma dayanımı diğer iki numuneye nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda kaynak performansı açısından 14 numaralı numuneyi temsil eden kaynak parametresi optimum parametre olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu parametre M6 pim çapı, 112 mm/dak ilerleme hızı ve 1400 dev/dak takım devir hızı ile elde edilen kaynaklı birleştirmedir.

14 numaralı kaynak parametresi ile diğer parametreler karşılaştırıldığında daha iyi mekanik özelliklerin büyük pim çapı, yüksek ilerleme hızı ve düşük devir sayılarında elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklı birleştirmelerin gözle ve metal mikroskobu ile görsel muayenesi yapılmış ve incelemeler sonucu kaynaklı birleştirmelerde boşluk gibi kaynak hatasına rastlanmamıştır.

Kaynaklı birleştirmeler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri sonucu, kaynak bölgesinde özellikle ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) sıcaklık artışı sebebi ile sertlikte düşüş gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Akula, D., R. “Characterization of Mechanical Properties and Study of Microstructures of Friction Stir Welded Joints Fabricated From Similar and Dissimilar Alloys of Aluminum”, Yüksek Lisans Tezi, Faculty of the Graduate School University of Missouri, Columbia, 81s (2007)
- [2] Özkan, S. “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Parçalarda Haddeme (Burnishing) İle Yüzeylerin İşlenmesi, Haddemenin Yüzey Pürüzlülüğü ve Sertleşmeye Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 138s (2006)
- [3] Şık, A. “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Alüminyum Levhaların Eğme Ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi **9(2)**, (2005)
- [4] Lasley, M., J. “A Finite Element Simulation of Temperature and Material Flow In Friction Stir Welding”, Yüksek Lisans Tezi, Faculty of Brigham Young University, (2005)
- [5] Covington., J., L. “Experimental and Numerical Investigation of Tool Heating During Friction Stir Welding”, Yüksek Lisans Tezi, Faculty of Brigham Young University, (2005)
- [6] Serindağ, H., T. “Pirinç Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Alın Kaynağı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antakya, 56s, (2006)
- [7] Kalpakjian, S., “Manufacturing Engineering and Technology” Third Edition, Addison Wesley, (1995)
- [8] Friction Stir Welding of Materials and Thicknesses, TWI, [http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band\\_1/fswmat.html](http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band_1/fswmat.html), (25.12.2007)
- [9] Dilek, M. “Mechanical Properties Of Different Aluminum Alloys Joined By Friction Stir Welding”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, 74s, (2006)

- [10] Friction stir welding technology from concept to production, <http://www.frictionstirlink.com/fsfswdescription.html> (25.12.2007)
- [11] Çam, G., Ventzke, V., Dos Santos JF., Koçak, M., Jennequin, G., Gontier-Maurin, P., “Characterization of electron beam welded aluminum alloys”, *Science and Technology of Joining and Welding*, **4(5)**: 317-323 , (1999)
- [12] Saito, N., Shigematsu, I., Komaya, T., Tamaki, T., Yamauchi, G., Nakamura, M. “Grain refinement of 1050 aluminum alloy by friction stir processing”, *Journal of Materials Science Letters*, **20(20)**:1913-1915, (2003)
- [13] Kulekci, M., K. “Mechanical properties of friction stir-welded joints of AlCu4SiMg aluminum alloy”, *Kovove Materialy*, **41(2)**: 97-102, (2003)
- [14] Uzun H., Done, C. D., Argagnotto, A., Ghidini T., Gambaro C. “Friction stir welding of dissimilar Al 6013-T4 to X5CrNi18-10 stainless steel”, *Materials & Design*, **26**: 41-46, (2005)
- [15] Lee W., B., Yeon, M.,Y., Jung, S.,B. “The joint properties of dissimilar formed Al alloys by friction stir welding according to the fixed location of materials”, *Scripta Materialia* **49(5)**: 423-428, (2005)
- [16] Lim, S., Kim, S., Lee, C.,G., Yim, C.,D., Kim, S.,G. “Tensile behavior of friction-stir-welded AZ31-H24 Mg alloy”, *Metals Materials Transactions* **36A**: 1609-1612, (2005)
- [17] Mishra, R.,S., Ma, Z.,Y. “Friction stir welding and processing”, *Materials Science and Engineering R* **50**: 1-78, (2005)
- [18] Miles, M., P., Decker, B.,J., Nelson, T.,W. “Formability and strength of friction-stir-welded aluminum sheets”, *Metallurgical and Materials Transactions A* **35A**: 3461-3468, (2004)
- [19] Cavaliere, P., Nobile, R., Panella, F., W., Squillace, A. “Mechanical and microstructural behavior of 2024–7075 aluminum alloy sheets joined by friction stir welding”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **46(6)**: 588-594, (2006)
- [20] Kulekci, M., K., Sik, A. “Effects of tool rotation and traverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA 1050-H18 aluminum alloy”, *Archives of Metallurgy and Materials* **51(2)**: 213-216, (2006)

- [21] Kulekci, M., K., Mendi, F., Sevim, I., Basturk, O. “Fracture toughness of friction stir-welded joints of AlCu4SiMg aluminum alloy”, *Metalurgija* **44(3)**: 209-213, (2005)
- [22] Cabibo, M., Meccia, E., Evangelista, E. “TEM analysis of a friction stir-welded butt joint of Al–Si–Mg alloys”, *Materials Chemistry and Physics* **81**: 289-292, (2003)
- [23] Lee, W., B., Jung, S., B. “The joint properties of copper by friction stir welding”, *Materials Letters* **58(6)**: 1041-1046, (2005)
- [24] Ulysse, P. “Three-dimensional modeling of the friction stir-welding process”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **42(14)**: 1549-1557, (2002)
- [25] Thomas, W., M., Threadgil, P., L., Nicholas, E. D. “Feasibility of friction stir welding steel”, *Science and Technology of Welding and Joining* **4(6)**: 365-372, (1999)
- [26] Flores, O., V., Kennedy, C., Murr, L. E., Brown, D., Pappu, S., Nowak, B. M., McClure, J.C. “Microstructural issues in a friction-stir-welded aluminum alloy”, *Scripta Materialia*, **38(5)**: 703-708, (1998)
- [27] Colligan, K. “Material flow behavior during friction stir welding of aluminum”, *Welding Research*, p.229, (1999)
- [28] Benavides, S., Li, Y., Murr, L., E., Brown, D., McClure, J. C. “Low-temperature friction-stir welding of 2024 aluminum”, *Scripta Materialia* **41(8)**: 809-815, (1999)
- [29] Jata, K. V., Semiatin, S. L. “Continuous dynamic recrystallization during friction stir welding of high strength aluminum alloys”, *Scripta Materialia* **43(8)**: 743-749, (2000)
- [30] Hassan, K. A. A., Norman. A., F., Price, D. A., Prangnell, P. B. “Stability of nugget zone grain structures in high strength Al-Alloy friction stir welds during solution treatment”, *Acta Materialia* **51(7)**:1923-1936, (2003)
- [31] Su, J., Q., Nelson, T.W., Mishra, R., Mahoney, M. “Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminum”, *Acta Materialia*, **51(3)**: 713-729, (2003)



- [32] Thomas, W. M., Johnson, K. I., Wiesner, C. S. “Friction stir welding – recent developments in tool and process technologies”, *Advanced Engineering Materials*, **5(7)**: 485-490, (2003)
- [33] Ying, L., Murr, L.E., McClure, J.C. “Solid-state flow visualization in the friction-stir welding of 2024 Al to 6061 Al”, *Scripta Materialia* **40(9)**:1041-1046, (1999)
- [34] Cavaliere, P., Campanile, G., Panella, F. W., Squillace, A. “Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by friction stir welding”, *Journal of Materials Processing Technology* **180**: 263-270, (2006)
- [35] Ericsson, M., Sandström, 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, (2002)
- [36] Ericson, M., Jin, L.Z., Sandström, R. “Fatigue properties of friction stir overlap welds”, *International Journal of Fatigue* **29**: 57-68, (2007)
- [37] Gharacheh, M. A., Kokabi, A. H., Daneshi, G.H., Shalchi, B., Sarrafi, R. “The influence of the “rotational speed/traverse speed” ( $\omega/v$ ) on mechanical properties of AZ31 friction stir welds”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **46 (15)**: 1983-1987, (2006)
- [38] Kurt, A., Boz, M., Özdemir, M. “Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **19(2)**: 191-197, (2004)
- [39] Boz, M., Kurt, A., “The influence of stirrer geometry on bonding and mechanical properties in friction stir welding process”, *Materials and Design*, **25**: 343-347, (2004)
- [40] Zhou, C., Yang, X., Luan, G. “Fatigue properties of friction stir welds in Al 5083 alloy”, *Scripta Materialia* **53**: 1187-1191, (2005)
- [41] Zhao, Y., Lin, S., Wu, L., Qu, F. “The influence of pin geometry on bonding and mechanical properties in friction stir weld 2014 al alloy”, *Materials Letters*, **59**: 2948-2952, (2005)

- [42] Kulekci, M. K., Şik, A., Kaluç, E. “Effects of rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints”, *Int J Adv Manuf Technol*, **DOI:** 10. 1007/s00170-006-901-z, (2006)
- [43] Fujii, H., Cui, L., Maeda, M., Nogi, K., “Effect of tool shape on mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys”, *Materials Science and Engineering*, **419**: 25-31, (2006)
- [44] Elangovan, K., Balasubramanian, V. “Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminum alloy”, *Materials Science and Engineering*, **459**: 7-18, (2007)
- [45] Elangovan, K., Balasubramanian, V. “Influences of tool pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminium alloy”, *Materials & Design*, **29(2)**: 362-373,(2008)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Şeref ÖCALIR 1982 yılında Tarsus'ta doğdu. 2000 yılında Adana Sabancı Anadolu Tekstil Meslek Lisesi Dokuma Teknolojisi Bölümü'nü bitirdi. 2006 yılında ME. Ü. Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun oldu. Aynı sene Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 Aralık'tan bu yana Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.