



**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK
EDİLEN 5083 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA KAYNAK
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Onur AKYEL



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEN 5083
ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

Onur AKYEL

0000-0001-9467-1224

Doç Dr. Hakan AYDIN

000-0001-7364-6281

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

TEZ ONAYI

Onur AKYEL tarafından hazırlanan “Sürtünme Karıştırma Yöntemi İle Kaynak Edilen 5083 Alüminyum Alaşımında Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon Ve İmalat Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hakan AYDIN
Orcid No: 000-0001-7364-6281

Başkan : Doç. Dr. Hakan AYDIN
Orcid No: 000-0001-7364-6281
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Betül GÜLÇİMEN ÇAKAN
Orcid No: 000-0003-1739-1143
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mümin TUTAR
Orcid No: 000-0002-7286-3433
Milli Savunma Üniversitesi, Hava Astsubay MYO,
Teknoloji Bilimleri Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10/01/2020

**İmza
Onur AKYEL**

ÖZET

Yüksek Lisans

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEN 5083 ALÜMİNYUM
ALAŞIMINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Onur AKYEL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan AYDIN

Bu çalışmada, 5mm kalınlığında 5083 - H111 alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. Bağlantıların mekanik ve mikro yapısal özelliklerini incelemek amacıyla, alüminyum alaşımı levhalar, sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile üç takım devir (600, 1200, 1600) ve üç kaynak hızı (50, 100, 200) ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi, hammaddesi plastik kalıp çeliği olan 2738 'den imal edilen takımla yapılmıştır. Birleştirme işlemleri bilgisayar destekli universal freze tezgahında (CNC) yapılmıştır. Kaynak parametre optimizasyonunda TAGUCHI yöntemi kullanılmıştır. Kaynak kalitesi, iç yapı incelemesi, mikro sertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Kaynak parametleri, Kaynak Optimizasyonu, 5083 Al. Alaşımı, FSW, Çekme deneyleri

2020, viii + 71 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

OPTIMIZATION OF WELDING PARAMETERS IN 5083 ALUMINUM ALLOY WELDED BY FRICTION STIR WELDING

Onur AKYEL

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Construction and Manufacturing

Supervisor: Associate Professor Hakan AYDIN

In this study, 5083 - H111 aluminum alloy sheets of 5mm thickness were used. In order to examine the mechanical and microstructural properties of the joints, aluminum alloy plates were combined by friction mixing welding method with three sets of revolutions (600, 1200, 1600) and three welding speeds (50, 100, 200). The welding process was made with a tool made from 2738 whose raw material is plastic mold steel. The joining operations were performed on a Computer Numerical Control (CNC) machine. TAGUCHI method was used for source parameter optimization. Weld quality was determined by internal structure examination, micro hardness measurements and tensile tests.

Key words: Friction Stir Welding, Parameters of Welding, Optimization of Welding, 5083 aluminum alloy, FSW, Tensile test

2020, viii + 71 page.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımda desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Doç. Dr. Hakan AYDIN' a ve Laboratuar çalışmalarında bana destek olan Sayın Öğr. Gör. Dr. Kurtuluş YİĞİT' e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca birçok konuda desteklerini esirgemeyen Coşkunöz Holding Ar-Ge ekibine, Mesut KAYA ve Metin ÇALLI' ya teşekkür ederim.

Bana her konuda destek ve yardımcı olan eşim Nurten'e, arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

Onur AKYEL
10/01/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağı	6
2.1.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Prosesinin Özellikleri	9
2.1.2. SKK İşlem Parametreleri	10
2.1.3. SKK'nın Mikroyapısı	11
2.1.4 5083 Alüminyum Alaşımlarında Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Yapılan Çalışmalar	13
2.1.5 5000 Serisi Alüminyum Alaşımları	15
2.2. Modifiye Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemleri	16
2.2.1. Sabit Omuzlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SOSKK)	17
2.2.2. Ters Çift Dönümlü Sürtünme Karıştırma Kaynağı (TÇDSKK)	19
2.2.3. Bobin Uçlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı (BUSKK)	20
2.3. Taguchi Methodu İle Kaynak Optimizasyonu	22
2.3.1. Taguchi Metodu	22
2.3.2. Taguchi Metodu Algoritması	23
2.3.3. Taguchi Metodu Data Analizi	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1 SKK'da Kullanılan Plaka Malzemesi	27
3.2 Karıştırıcı Uç Malzemesi Ve Geometrisi	30
3.3 SKK İçin Kullanılan Bağlama Aparatı	32
3.4 SKK İçin Kullanılan CNC Makinası	35
3.5 SKK Parametreleri	36
3.6. Kaynak Bölgesi İç Yapısının İncelenmesi	38
3.7. Kaynaklanan Parçaların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	41
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
4.1. Araştırma Bulgular	45
4.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları	47
4.3. Mikrosertlik Sonuçları	57
4.4. Çekme Deneyi Sonuçları	59
4.5. Taguchi Deney Bulguları	62
4.6. SKK'nın, TIG ve MIG Kaynakları İle Yüzeylerinin Kıyaslanması	65
5. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

HV – Vickers Sertliği

Kısaltmalar Açıklama

SKK - Sürtünme Karıştırma Kaynağı

NASA- National Aeronautics and Space Administration

FSW- Friction Stir Welding

ITAB -Isının Tesiri Altındaki Bölge

TEB –Termo-mekanik Olarak Etkilenmiş Bölge

TM- Temel Malzeme

DYKB- Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge

KM- Kaynak Merkezi

CNC- Computer Numerical Control

RPM- Revolutions Per Minutes

SPF- Superplastic Forming

DOE- Design Of Experiment

TWI- The Welding Institute

SOSKK- Sabit Omuzlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı

TÇDSKK- Ters Çift Dönüştü Sürtünme Karıştırma Kaynağı

BUSKK- Bobin Uçlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı

VB- Ve Benzeri

CAM- Computer Aided Manufacturing

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Sürtünme karıştırma tabanlı teknolojilerin sınıflandırılması.....	2
Şekil 1.2. Sürtünme karıştırma işlemlerinde üçüncü vücut bölgesi ile (a) Sürtünme karıştırma kaynağında olduğu gibi sarf malzeme olmayan uç (b) Sürtünme yüzeyinde olduğu gibi sarf malzeme olan uç.....	3
Şekil 1.3. Yüksek hızlı gemilerde kullanılan Al-ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi.....	5
Şekil 1.4. Japonya'da yüksek hızlı trenlerin imalatında Al panellerin SKK ile birleştirilmesi.....	5
Şekil 1.5. SKK ile kaynaklanmış parçaların kaynak dikişi. Resim ucun giriş (başlangıç) kısmını göstermektedir.....	6
Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma işleminin şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.2. Genel kaynak ucu şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.3. FSW işleminin dört aşamasının şematik gösterimi: (A) Dalma aşaması, (B) Bekleme aşaması, (C) Kaynak ve (D) Geri çekme/Soğutma aşaması.....	10
Şekil 2.4. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan kaynak bölgesi iç yapısının şematik görünümü a: Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DYKB)/ Kaynak Merkezi (KM) b: Termo-mekanik Olarak Etkilenen Bölge (TEB), c: Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), d: Temel Malzeme (TM).....	12
Şekil 2.5. Artan Mg çeriği ile değişen gerilme dayanımı.....	16
Şekil 2.6. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.7. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı ucu görselleri.....	18
Şekil 2.8. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanmış bir örnek görseli.....	19
Şekil 2.9. Ters çift dönüşlü sürtünme karıştırma kaynağında uç sistemi görseli.....	20
Şekil 2.10. Bobin takımının şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.1. Kullanılan plakaların şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.2. SKK için kullanılan standart uç teknik resmi.....	31
Şekil 3.3. SKK için kullanılan standart uç görseli.....	31
Şekil 3.4. Bağlama 2. şekli şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.5. Bağlama 2. şekli görseli.....	34
Şekil 3.6. Bağlama aparatı şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.7. Son bağlama aparatı görseli.....	35
Şekil 3.8. DMG MORI CNC görseli.....	36
Şekil 3.9. Metalografi numunesi görseli.....	39
Şekil 3.10. Metalografi numunesi birleştirilmesi görseli.....	39
Şekil 3.11. Metalografi numunelerinin parlatılması görseli.....	40
Şekil 3.12. Metalografi numunelerinin dağlama sonrası görselleri.....	40
Şekil 3.13. Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892'ye uygun çekme numuneleri şematik gösterimi.....	41
Şekil 3.14. Çekme numuneleri görseli.....	42
Şekil 3.15. Çekme numunelerinin zımparalanması görseli.....	42
Şekil 3.16. Çekme numunelerinin, sertliklerinin ölçülmesi görseli.....	43
Şekil 3.17. Çekme numunelerinin, çekme cihazına bağlanması görseli.....	43
Şekil 3.18. Mikrosertlik ölçüm aralıklarının şematik gösterimi.....	44

Şekil 4.1. Soldan sağa doğru 1-2-3. kaynaklar (600 RPM 200-100-50 mm/dk)	46
Şekil 4.2. Soldan sağa doğru 4-5-6. kaynaklar (1200 RPM 200-100-50 mm/dk)	46
Şekil 4.3. Soldan sağa doğru 7-8-9. kaynaklar (1600 RPM 200-100-50 mm/dk).....	46
Şekil 4.4. 5083 alüminyum alaşımının temel malzeme içyapı ve tane boyutları görseli...	47
Şekil 4.5. Kaynak bölgesinin görseli.....	47
Şekil 4.6. 8. kaynağın 3. bölgesine ait içyapı görseli.....	48
Şekil 4.7. 8. kaynağın 2. bölgesine ait içyapı görseli.....	49
Şekil 4.8. 7. kaynağın 2. bölgesine ait içyapı görseli.....	50
Şekil 4.9. 8. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	51
Şekil 4.10. 1. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	51
Şekil 4.11. 2. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	52
Şekil 4.12. 3. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	52
Şekil 4.13. 4. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	53
Şekil 4.14. 5. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	53
Şekil 4.15. 6. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	54
Şekil 4.16. 7. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	54
Şekil 4.17. 8. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	55
Şekil 4.18. 9. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.....	55
Şekil 4.19. 2. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklüğü (μm)	56
Şekil 4.20. 5. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklüğü (μm)	56
Şekil 4.21. 8. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklüğü (μm)	57
Şekil 4.22. 2 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.....	58
Şekil 4.23. 6 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.....	58
Şekil 4.24. 6 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.....	59
Şekil 4.25. Çekme işlemi sonrası parça görselleri.....	59
Şekil 4.26. Örnek bir test grafiği.....	60
Şekil 4.27. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için S/N (larger is better) oranları.....	63
Şekil 4.28. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için ortalamalarının temel etki grafikleri.....	63
Şekil 4.29. SKK yönteminde kaynak parametlerine bağlı olarak kaynak mukavemeti değişimi.....	64
Şekil 4.30. ATOS cihazı ile yüzey tarama işleminin görüntüsü.....	65
Şekil 4.31. SKK yüzey taraması sonucu.....	66
Şekil 4.32. MIG kaynağı yüzey taraması sonucu.....	66
Şekil 4.33. TIG kaynağı yüzey taraması sonucu.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. M.T.S.M. Said'in çalışmasında kullandığı kaynak parametreleri.....	13
Çizelge 2.2. Taguchi L matrisi.....	23
Çizelge 2.3. Taguchi L18 matrisi.....	24
Çizelge 2.4. Taguchi L9 matrisi.....	25
Çizelge 2.5. Taguchi rank matrisi.....	26
Çizelge 3.1. 5083 kimyasal bileşimi.....	28
Çizelge 3.2. 5083 H111 Çekme testi mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 3.3. 5083 için kullanılan parametreleri.....	37
Çizelge 3.4. Al. 5083 için kullanılan kaynakların numaralandırılması.....	38
Çizelge 4.1. Örnek bir test sonucu.....	60
Çizelge 4.2. Çekme testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.3. Taguchi' de hesaplanan değerler.....	62
Çizelge 4.4 SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için ANOVA analizi.....	64

1. GİRİŞ

Katı hal birleştirme ve işleme teknolojileri, geleneksel kaynak teknikleri kullanılarak birleştirilmesi zor olan yumuşak metal alaşımlarını birleştirmek için endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nispeten yeni olan bu kaynak tekniği, 1991 yılında The Welding Institute/İngiltere' de icat edilmiş ve tartışmasız en büyük katı hal birleştirme ve işleme teknolojilerinden biri olmuştur. (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018) Friction Stir Welding (FSW), dolgu malzemesi kullanmamakta ve önemli ölçüde hafiflik sağlamaktadır. Buluşun 28 yılı içerisinde, otomobil ve havacılık sektörlerinde rekabete dayanan yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde ön plana çıktığı ve diğer metalik alaşımların birleştirilmesinde de kısmi başarısının olduğu kanıtlanmıştır (R.S. Mishra, Z.Y. Ma, Mater. Sci. Eng. R 50 (2005)).

Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) katı hal birleştirme yöntemi, Boeing, Lockheed Martin, Airbus, General Dynamics, Alcoa gibi ünlü firmaların yanında TWI, EWI, USC, BYU, CTC, SDSMT, AJT gibi enstitülerce de kullanımı sürmektedir. Ülkemizde ise FNSS-Nurol Zırhlı araçlar Fabrikasında – Gölbaşı/ANKARA - ZMA araçlarında 40 mm kalınlığa kadar 5xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımlarında kullanılmaktadır (Hakan AYDIN 2008).

Uygulamalarına göre, sürtünme karıştırma bazlı işlemler, kaynak ve işleme olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Kaynak ve işleme kategorileri altında sınıflandırılan çeşitli işlemler şekil 1.1.' de gösterilmektedir. Kaynak kategorisi altındaki işlem teknolojileri esasen formatsal birleşimde kullanılırken, işleme teknolojileri fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler açıdan malzemenin kalitesini arttırmayı amaçlayan temel uygulamaları benimsemiştir.

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA TEKNOLOJİSİ

İŞLEME

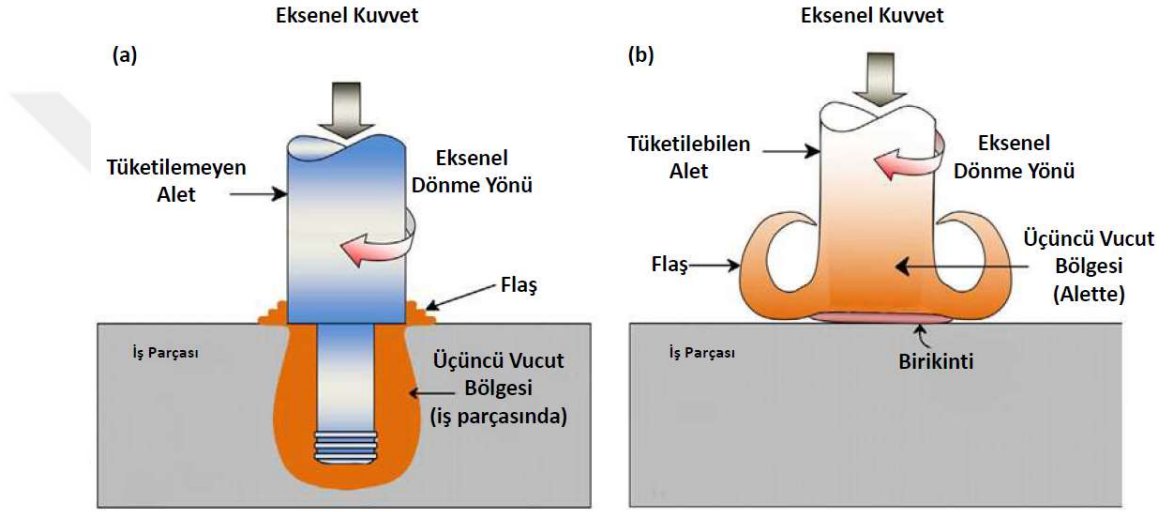
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA İŞLEMİ
- TANE ARITMA İŞLEMİ
- MİKRO YAPI HOMOJENİZASYONU
- YÜZEY/KÜTLE KOMPOZİSYONU
- ÇATLAK ONARIMI
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KANALI
- SÜRTÜNME YÜZEYİ
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA YÜZEYİ KAPLAMA
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA EKLEMELİ İMALAT
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA OLUŞUMU
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA EKSTRÜZYONU

KAYNAK

- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI
- MODİFİYE EDİLMİŞ SKK
- SABİT OMUZLU SKK
- TERS ÇİFT DÖNÜŞLÜ SKK
- BOBİN UÇLU SKK
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PERÇİNLEME
- SÜRTÜNME PERÇİNLEME
- SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KÖR PERÇİNLEME
- SÜRTÜNME KENDİNDEN DELİCİ PERÇİNLEME
- ROTASYON SÜRTÜNME DELME PERÇİNLEME
- ROTASYON SÜRTÜNME BASINÇLI PERÇİNLEME
- ÇİZEREK SKK

Şekil 1.1. Sürtünme karıştırma tabanlı teknolojilerin sınıflandırılması.

SKK yöntemi özellikle düşük ergime sıcaklığına sahip demir dışı metallerin ve karışık bileşiklerin birleştirilmesi için uygundur. SKK sayesinde çok zor kaynaklanabilir veya farklı türden hammaddeler, örneğin alüminyum, magnezyum, bakır, titanyum veya çelik, birbiriyle birleştirilebilir. Diğer sürtünme kaynaklarında kaynaklanacak parçalar birbiri üstünde hareket ettirilirken, bu yöntemde alın altına sabitlenmiş parçalar birbirine sürtünmezler.



Şekil 1.2. Sürtünme karıştırma işlemlerinde üçüncü vücut bölgesi ile (a) Sürtünme karıştırma kaynağında olduğu gibi sarf malzeme olmayan uç (b) Sürtünme yüzeyinde olduğu gibi sarf malzeme olan uç (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018).

Sürtünme karıştırma işlemlerinde bir ucun bir iş parçası ile temas halinde dönme hareketini içerdiğini söyleyebiliriz. Şekil 1.2. 'da gösterilen bu takım (uç) ve iş parçası sürtünme ile işlem için gerekli sıcaklığı oluşturmaktadır.

SKK çalışma prensibinde, hem uç hem de iş parçasından fiziksel olarak ayrı bir bölge olan "Üçüncü vücut bölgesi" bulunur. Hala katı olmasına rağmen, üçüncü vücut bölgesi üç boyutlu akışkanlık gösterir ve iki malzemeyi kaynatırken aynı zamanda ara yüzeye akar. Üçüncü vücut bölgesinin oluşumu, çalışma arayüzlerinde sürtünmeli ısı oluşumu ile sağlanır. Bu bölge, nispeten yüksek viskozite ve düşük akış stresi ile karakterize edilen, malzemenin erime noktası ve erime noktası ile kristalleşme sıcaklığı arasındaki

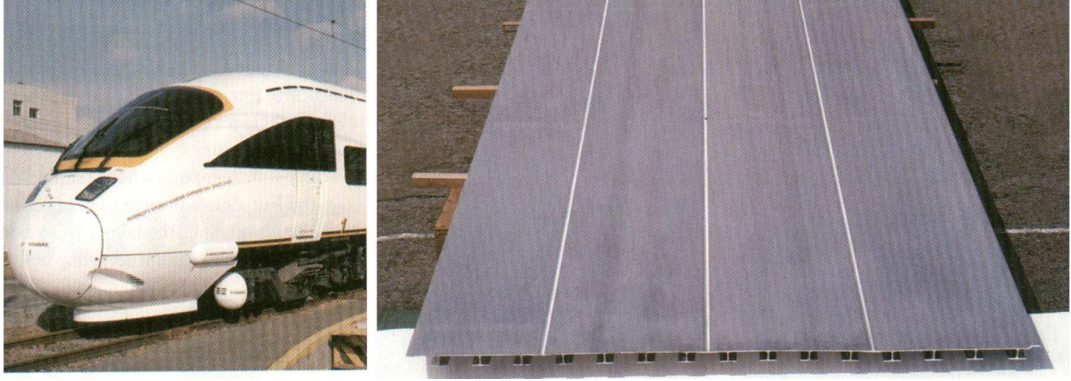
sıcaklıklarda ortaya çıkar. Bu bölgedeki malzeme, sürtünmeli karıştırma bazlı işlemlerde plastikleştirilmiş veya şekillendirilmiş malzemeye çok yakındır.

Genel olarak, üçüncü vücut bölgesi, füzyon teknolojileri için mevcut olmasa da tüm sürtünme esaslı operasyonlar için tipiktir. Çünkü malzemenin erime noktasında sürtünme ısısı oluşmaz. Üçüncü vücut bölgesi, nispeten yüksek sıcaklıklarda interatomik difüzyon ve malzeme karışmasını mümkün kılar. Bununla birlikte, daha düşük sıcaklıklarda veya daha yüksek basınçlarda, interatomik bağlanma aynı zamanda birleştirme veya işleme mekanizmasına da hakimdir. Bu nedenle, sürtünmeli karıştırma esaslı teknolojilerin temel amacı, malzemeyi birleştirmek veya işlemek amacıyla malzemenin üçüncü bir bölgesini oluşturabilen yeterli sürtünme ısını üretmektir. (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018)

SKK, daha az miktarda kusur ve kalıntı içeren, ince bir mikro yapı oluşturabilir. SKK daha az gerilme, daha az bozulma, daha iyi mekanik özellikler ve daha iyi boyutsal kararlılık ile konvansiyonel kaynak yöntemleri ile karşılaştırılabilir. SKK aynı zamanda farklı tabakaları birleştirmek için de kullanılabilir. Kaynağı yapılan malzemeler ince tane yapısı sayesinde yüksek süneklik ve dayanıklılık özelliğini korurlar. Son zamanlarda araştırmacılar, zırh özellikli alaşımlar ve çelik gibi malzemelerde SKK'ya odaklanmışlardır. SKK, otomobiller, demiryolu araçları, gemiler ve roketler gibi taşımacılık sektöründe, özellikle alüminyum alaşımları ile birçok uygulamayla ticarileştirilmiştir. Şekil 1.3. ve şekil 1.4.'da SKK'nın ticarileşmiş örnekleri verilmiştir. SKK, NASA tarafından Michoud araştırma tesisinde uzay mekiği dış yakıt tankı için büyük alüminyum parçalarını birleştirmek üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Ay roketi için tercih edilen NASA kaynak tekniğidir. Sürtünme karıştırma kaynağı geliştikçe ve daha fazla uygulamada kullanıldıkça, optimum kaynak verimliliği için takım malzemelerinin seçilmesi gerekecektir. Takım malzemesi, 5083-H32 alüminyum alaşımı üzerinde uygulanan sürtünme karıştırma kaynağının mekanik özellikleri belirleyecektir. Kaynak hattı boyunca sabit ısı girişi sağlayabilen SKK işlemi, kaynak sırasında ısı iletimi ve dağılmasını sağlayarak TEB ve ITAB'ın genişliğini kontrol eder ve kaynak özelliklerini geliştirir (R Saravanakumar 2018).



Şekil 1.3. Yüksek hızlı gemilerde kullanılan Al-Ekstrüzyon panellerinin SKK ile birleştirilmesi (Gürel Çam 2014).



Şekil 1.4. Japonya'da yüksek hızlı trenlerin imalatında Al panellerin SKK ile birleştirilmesi (Gürel Çam 2014).

Alüminyum ve alaşımlarında SKK'nın yaygın olarak kullanılabilmesi için, kaynak sırasında meydana gelen olayların iyi anlaşılması ve kontrol altında tutulabilmesi gerekmektedir. Ayrıca her malzeme ve malzeme çifti için kaynak parametrelerinin ayrı ayrı çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, mukavemetin önemli olduğu otomotiv, demiryolu, uzay sanayi gibi sektörlerde çok kullanılan 5083 Alüminyum alaşımında SKK parametrelerini optimize etmektir.

SKK ile kaynaklanmış alüminyum plakaların genel görünümü Şekil 1.5. 'da verilmiştir.

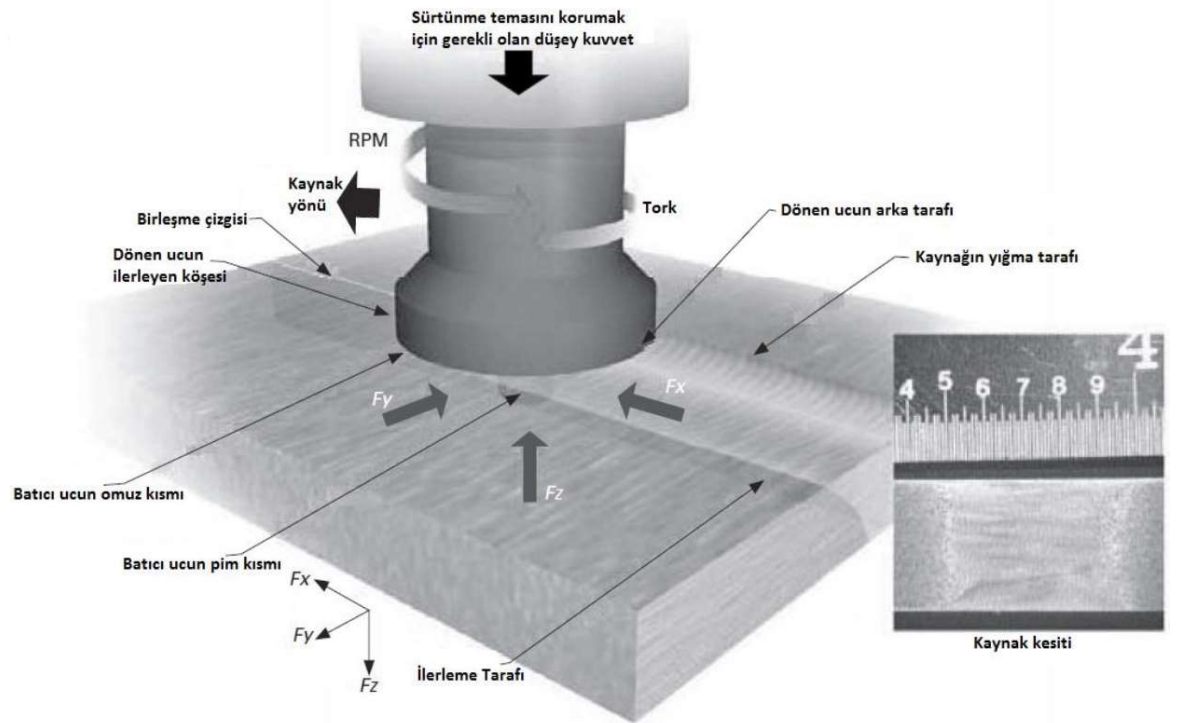


Şekil 1.5. SKK ile kaynaklanmış parçaların kaynak dikişi. Resim ucun giriş (başlangıç) kısmını göstermektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

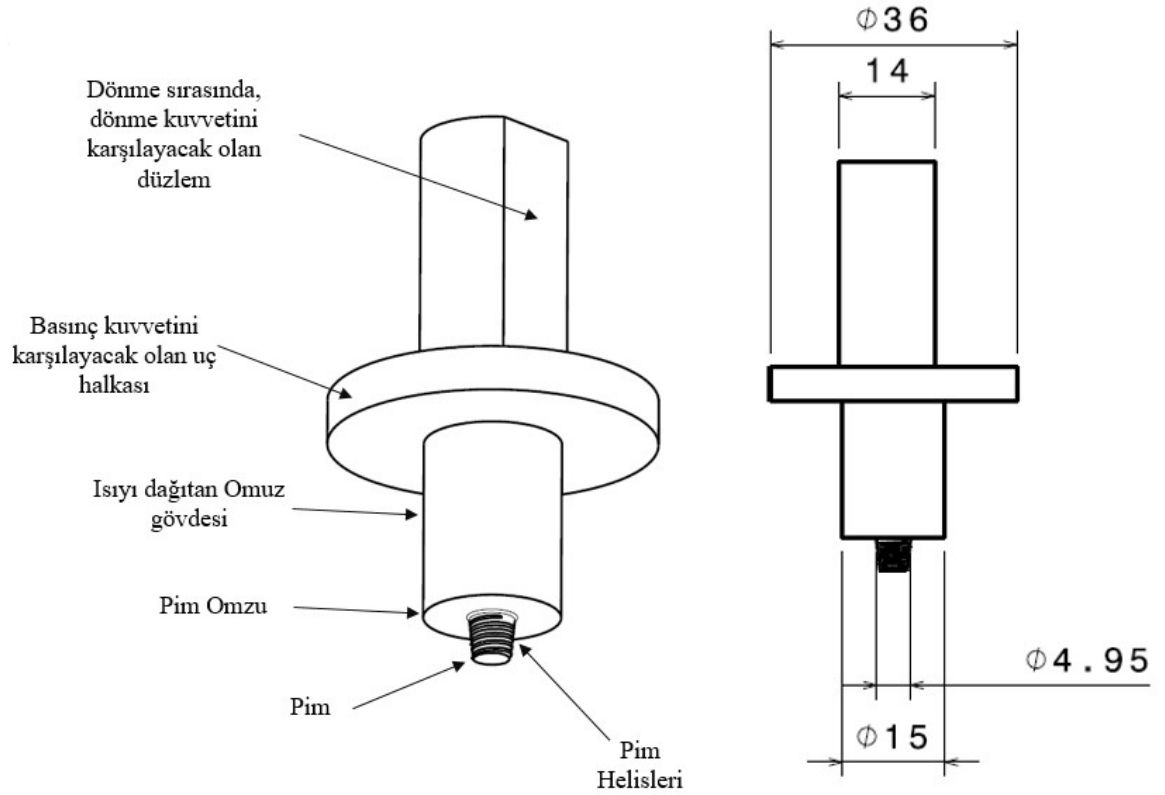
2.1 Sürtünme Karıştırma Kaynağı

SKK işleminde genellikle iki tip makine kullanılır, deplasman kontrollü makinalar ve basınç kontrollü makinalar. Şekil 2.1.'de, atipik SKK işleminin şeması gösterilmiştir. Sarf edilmeyen bir Friction Stir Welding (FSW) aracı, FSW sürecinin anahtar bileşenidir. Takım malzemesi ve geometri seçimi, kaynak yapılacak malzemeye, malzeme boyutlarına bağlıdır. Takım, ana olarak bir omuz ve pim (karıştırıcı uç) 'den oluşur. Pim çapı kaynatılacak malzemenin kalınlığına bağlı olup genel olarak kalınlığın kendisi kadar alınmaktadır. Omuz çapı ise genellikle kalınlığın 3 katı olarak alınmaktadır. Omuz, kaynak sırasında malzemenin yumuşaması için ihtiyaç olan ısıyı üreten kısımdır. Pim ise helisel dişleri sayesinde yumuşayan malzemeyi karıştırıp dönme hareketi ile aşağı doğru sürükleyen ve sıkışmasını sağlayan kısımdır.



Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma işleminin şematik gösterimi (H. Tarık Serindağ 2014) .

SKK işleminden verim alabilmek için ihtiyaç olan önemli unsurlardan biri takım geometrisidir. Şekil 2.2.'de genel SKK uç tasarımı ve bölümleri verilmiştir. SKK işlemi için tasarlanan kaynak ucu tasarımında, yukarıda açıklandığı gibi pim ve omuz bulunur. Şekil 2.2. 'de verilen uç, 5mm kalınlığında alüminyum alaşımını kaynatmak için tasarlanmıştır. Bahsedildiği üzere, kaynak için ısıyı üretecek olan omuz kısmı kalınlığının 3 katı olarak tasarlanmıştır. Pim kısmı, kaynak esnasında tamamen parça içerisine gömülecek olan kısımdır. Bu kısmın uzunluğu, kaynağın hatasız olarak çıkabilmesi için hayati öneme sahiptir. Pim uzunluğu tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar; kaynak sırasında omuz kısmının parça yüzeyinden bir miktar içeri gireceğini öngörmek, pim ucunun destek plakasına 0,1mm veya 0.05mm kalmasını sağlamak. Pim ucu mesafesi, malzemeden malzemeye farklılık göstermekle birlikte deneysel belirlenmesi gereken bir değerdir. Pim ucunun istenenden kısa olması, ayrı parçaların alt kısmında boşluk kalmasına ve bu kısımlarda kaynağın oluşmamasına sebep olacaktır. Pimin uzun olması, kaynak sırasında pimin kaynak parçalarını geçerek destek parçasına sürtmesine ve kırılmasına sebep olacaktır.

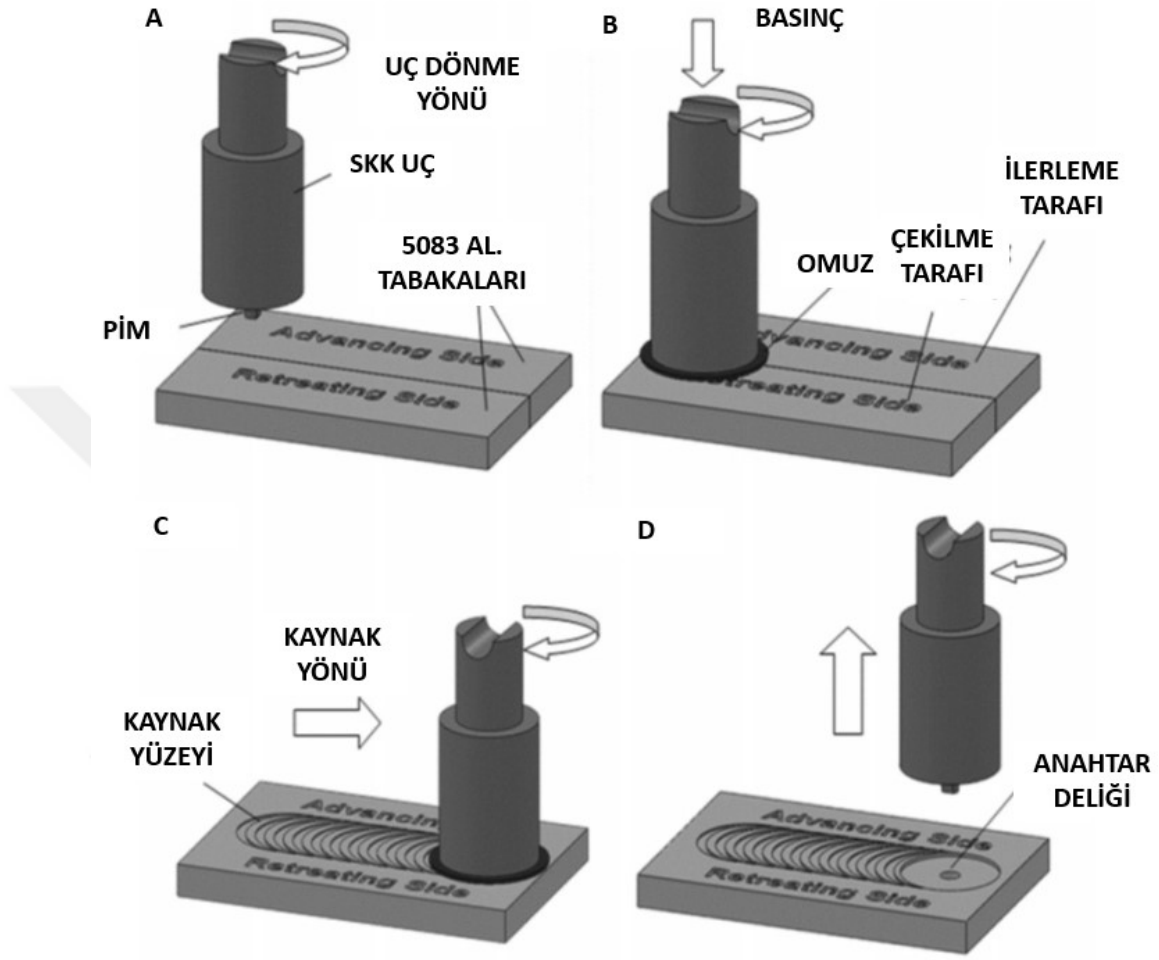


Şekil 2.2. Genel kaynak ucu şematik gösterimi.

2.1.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Prosesinin Özellikleri

Şekil 2.3. FSW işleminde yer alan farklı aşamaları göstermektedir. Bu aşamalar şunları içerir:

- A- Dalma aşaması: Sabit bir hızda dönen takım, iş parçası yüzeyine temas edene kadar dikey olarak aşağıya doğru hareket eder.
- B- Bekleme aşaması: Eksenel kuvvetin etkisi altında ve iş parçası yüzeyine temas eden omzu ile dönen uç, malzemeye ve kalınlığa bağlı olarak 5–10 saniye bekletilir. Bu bekleme aşaması, takım-iş parçası arayüzünde yeterli sürtünme ısıyı üretir ve plastikleşmeye neden olur. Ucun önündeki ısıdan etkilenmiş ve hamur halini almış plastik malzeme, daha sonra kaynak aşamasında ucun rahat hareket etmesini sağlar.
- C- Kaynak aşaması: Eksenel yükün etkisi altında ve plastikleştirilmiş hacmi çevreleyen omuzu ile birlikte dönen uç, bir travers kuvvetin etkisi altında istenen bağlantı hattı boyunca sabit bir hızda hareket eder. Takım dönüşü, ısı sürtünme ve deformasyona neden olur. Takım rotasyonunun bir başka önemli işlevi, malzeme karıştırma veya malzeme akışıdır. Ucun dönüşü ve travers hareketleri, Uç piminin kalınlığındaki plastik malzemenin, ilerleyen taraftan pimin arkasına akmasına neden olur. Omuz, pimin arkasındaki malzeme üzerine bir dövme kuvveti uygular ve pimin ileri hareketinin oluşturduğu boşluğu etkili bir şekilde doldurur. Bu, ucun arkasında bir bağlantıya neden olacak şekilde sıcaklık ve basınç koşullarına bağlı olarak atomik difüzyon veya bağlanma şeklinde malzeme karışmasına neden olur.
- D- Geri çekme / soğutma aşaması: Kaynak ucuna ulaşıldığında uç, iş parçasından geri çekilir ve Şekil 2.3. (D)' de gösterildiği gibi bir çıkış deliği bırakılır. Amaçlanan, kaynaktaki deliğin engellenmesi için birkaç prosedür benimsenmiştir. Bunlar, çıkış deliğinin tekrar doldurulmasını veya istenen uzunluktan daha uzun bir kaynak uzunluğunun kullanılmasını içerir.



Şekil 2.3. FSW işleminin dört aşamasının şematik gösterimi: (A) Dalma Aşaması, (B) Bekleme Aşaması, (C) Kaynak ve (D) Geri Çekme/Soğutma Aşaması (AO Mosleh ve ark. 2015).

2.1.2. SKK İşlem Parametreleri

SKK işlemindeki başlıca parametreleri; dönüş hızı, kaynak hızı, omuz dalma derinliği ve takım eğim açısıdır. Bunlardan başka, takım geometrisi de önemli bir özelliktir. Dönüş ve kaynak (ilerleme) hızı, plastik şekil değiştirme sıcaklığına ulaşılması için kritik parametrelerdendir. Bu parametreler, dalma derinliği ile birlikte, kaynak kalitesine

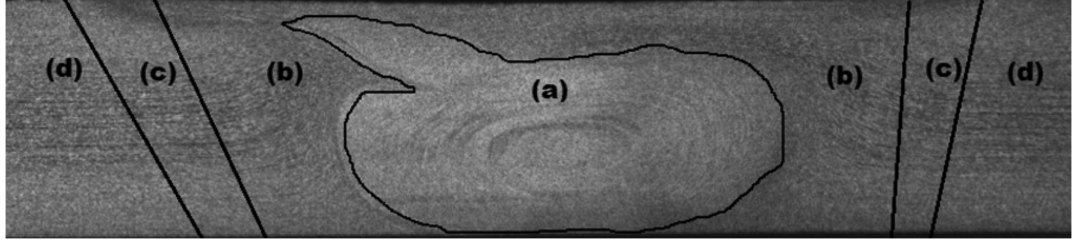
önemli ölçüde etki eder. Ucun açısı ve dalma derinliği pimin arkasındaki malzemenin birleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Genel olarak takım eğme açısı olmazsa olmazlardan değildir. Birçok SKK denemesinde, bu açı verilmeden düzgün kaynaklar elde edilebilmiştir. Ancak kaynak açısının verilmemesi, kaynak sırasında pim üzerinde büyük kuvvet oluşturarak pimin ömrünü kısaltmaktadır. Daha yüksek dönme hızı kaynakta yüksek ısı girdisi sağlarken, yüksek kaynak hızı belirli bir işlem zamanında takım-iş parçası etkileşiminin süresini azaltarak ısı girdisini azaltmaktadır. Yani yüksek dönme hızı ile ısı girdisi doğru orantılıken, yüksek kaynak hızı ile ters orantılıdır. Isı girişi sayesinde malzeme akışı oluşur ve ek yerlerinin dolması sağlanır. Ek yerlerinin dolması kaynağın sağlıklı olmasını, dolayısıyla dayanımını arttıran etkenlerden biridir.

Ayrıca daha önceki araştırmalar, SKK'nın kaynağı yapılacak malzenin hadde yönüne dik yapılmasının mekanik özellikleri arttırdığını göstermiştir. (AO Mosleh ve ark. 2015)

2.1.3. SKK'nın Mikroyapısı

SKK' daki birleştirme işlemi, SKK aracının değişken termomekanik etkisini içeren karmaşık bir süreçtir. Sonuç olarak, SKK birleştirme işlemi mikro yapıda homojen olmayan bir yapı sergiler. Bu heterojen yapı için 4 farklı bölgeden bahsedilebilir:

- a- Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DYKB)/Kaynak Merkezi (KM): Şekil 2.4.'de 'a' ile belirtilen bölgedir. Takım omzunun doğrudan doğruya altında bulunan bölgenin (TEB'in bir parçası olduğu açıktır), tane yapısı farklı olduğu için ayrı bir kategoriye girmesi öne sürülmüştür. Buradaki mikroyapı, omzun arka yüzünün sürtmesiyle oluşur. Bu alanın TEB'in farklı bir alt bölgesi olarak ele alınması kabul edilmiştir.



Şekil 2.4. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan kaynak bölgesi iç yapısının şematik görünümü a: Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DYKB)/Kaynak Merkezi (KM) b: Termo-mekanik Olarak etkilenen Bölge (TEB), c: Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), d: Temel Malzeme (TM) (Jitender Kundu and Hari Singh 2016)

- b- Termomekanik Olarak Etkilenen Bölge (TEB): Bu bölgede, SKK takımı yüzünden malzeme plastik olarak deformasyona uğruyor ve işlemde gelen ısı, malzemede etki bırakıyor. Alüminyumda, bu bölgede yeniden kristalleşme olmadan belirgin plastik özellikler elde etmek mümkündür. TEB'in yeniden kristalleşmiş bölgesi ile deforme olmuş bölgesi arasında genellikle farklı bir sınır vardır.
- c- Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB): Kaynak merkezinin yakınında olan bu bölgede, malzeme, mikroyapıyı ve/veya mekanik özellikleri değiştiren bir ısı çevrim geçiriyor. Bununla birlikte, bu alanda plastik deformasyon oluşmuyor. Diğer sistemlerde bu bölgeden, “sıcaklığın tesiri altındaki bölge” olarak sözü ediliyordu.
- d- Bu bölgelerin dışında kaynaktan etkilenmeyen, bu bölgelerin dışında kalan bölgeye de Temel Malzeme (TM) adı verilmektedir. Tüm bu kaynak bölgelerinin mukavemetinin kıyaslandığı bölgedir.

2.1.4 5083 Alüminyum Alaşımlarında Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Yapılan Çalışmalar

A R Yazdipour ve arkadaşları, 2011 yılında 5083 Alüminyum alaşımı kullanarak füzyon kaynak yöntemi (MIG) ile katı hal kaynak yöntemini (FSW) kıyaslamışlardır. Külçe bölgesi ve kaynak metalinin mikro yapısı bu iki yöntemde karşılaştırılmıştır. FSW numunelerinde, ince yeniden kristalize edilmiş tanelerden oluşturduğu görülmüş. MIG kaynağı yapılmış numunede ise kaynak metali, katılma sırasında oluşan dendritlerden (çam dalına benzeyen katılar/hatalar) oluşur. FSW numuneleri, MIG numunelerine kıyasla daha yüksek kuvvet göstermiştir ve bu FSW numunelerindeki karıştırma bölgesinin yapısı ile ilgilidir (A R Yazdipour ve arkadaşları) (Burhan Oğuz 1985).

M.T.S.M. Said ve arkadaşlarının 2016'da 5083 Al. alaşımı ile yaptıkları çalışmada; Beş farklı kaynak parametresi (çizelge 2.1.) ile FSW T-Joint (tur pozisyonu) deneyleri başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Kaynak yüzeyinde ve enine kesitte görsel inceleme kusur görememişlerdir. Tüm numunelerde kaynak yüzeyinde yanal flaş oluşmuştur. Dönme hızındaki artış, nihai çekme dayanımını ve kaynağın akma dayanımını arttırmış, kaynak hızındaki artış ise malzeme dayanımı özelliklerinde büyük bir değişiklik sağlamamıştır. Dönme ve kaynak hızının seçimi, nihai çekme dayanımını ve akma dayanımını etkilemiştir. En uygun kaynak parametresi 910 RPM' dir, 92 mm/s' dir. Bu parametrelerde 90.33 MPa dayanım elde edilmiştir (M.T.S.M. Said ve arkadaşlarının 2016).

Çizelge 2.1. M.T.S.M. Said'in çalışmasında kullandığı kaynak parametreleri.

SKK NUMUNELERİ	KAYNAK PARAMETRELERİ	
	DÖNME HIZI (RPM)	KAYNAK HIZI (mm/dk)
1. KAYNAK	490	67
2. KAYNAK	653	67
3. KAYNAK	910	67
4. KAYNAK	910	86
5. KAYNAK	910	92

Murat DİLEK 2006'da yaptığı çalışmada, benzer 5186-H111 / 5186-H111, 5083-O / 5083-O, 5083-H111 / 5083-H111 (Alustar) ve benzeri 5083-O / 5186-H111, 5083-O / 5083-H111, 5083-H111 / 5186-H111 alüminyum alaşımları FSW işlemiyle 20, 50, 80 mm / dak kaynak hızı ve 1400 rpm kullanılarak başarıyla birleştirmiştir. Çalışmasında uyguladığı işlemleri şu şekilde sıralamak mümkün; 5186-H111 ve 5083-O ortak kombinasyonu, ITAB üzerinde homojen bir sertlik dağılımına sahiptir. ITAB 'nin sertliği, 50 ve 80 mm / dak kaynak hızları durumunda, eşit bir şekilde dağılmıştır. 50 ila 55 HV arasında değişen daha az çeşitlilik göstermektedir. Buna karşılık, 20 mm / dak kaynak hızında ITAB sertliği, çok dağınık bir değer göstermektedir. 5083-0 ve 5083-0 arasındaki birleşme kombinasyonu, ITAB üzerinde 20, 50 ve 80 mm / dak kaynak hızları için eşit sertlik dağılımına sahiptir.

Her bir alüminyum alaşımları, 20, 50, 80 mm / dak kaynak hızları ve 1400 RPM kullanılarak FSW işlemiyle başarılı bir şekilde birleştirilmiştir, ancak FSW işleminin 80 mm / dak. daha iyi mekanik ve mikroyapısal etkiler göstermiştir.

FSW işlemi, farklı 5083-O ve 5186-H111 alüminyum alaşımlarına uygulanmıştır. Orta kaynaktaki eliptik 'soğan' yapısının klasik oluşumunu ortaya çıkarmıştır; bu, ince yeniden kristalize edilmiş taneleri olan mikro yapıyla doğrulanır. Termomekanik Etkilenen Bölge (TEB) ayrıca optik mikroskopiyi de ayırt edilebilir.

M. K. Mohd Nor ve arkadaşı Mohamad Suhaimi 2014'de yaptığı çalışmada, sıcaklık ve gerinim hızının 5083 alüminyum alaşımı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Ayrıca 5083 alüminyum alaşımlarının çeşitli sıcaklıklarda sonlu deformasyona uğramış davranışı ve şekil değiştirme oranları bu çalışmada incelenmiştir. Deneysel veriler, 5083' ün sıcaklıklara ve zorlanma oranına duyarlı olduğunu ve Super Plastic Forming (SPF) işleminin gerekliliğine uygun olduğunu göstermektedir. Yayımlanan veriler 5083' ün özelliklerini daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca bu çalışma, SPF üretim sürecinin özel gereksinimlerini karşılamak için diğer malzemelerde bir rehber olabilir.

M.A.H.M. Jasri ve arkadaşlar 2014'de yaptıkları çalışmada, modifiye edilmiş MILKO 37 Universal Freze Tezgahını kullanarak 5083'ü alın altına SKK ile birleştirmişlerdir.

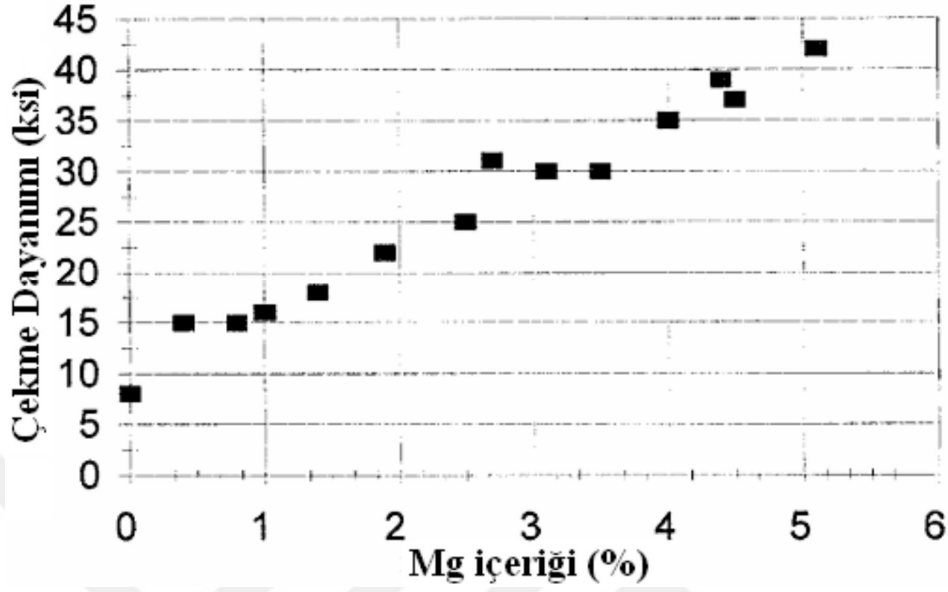
Konvansiyonel freze makinesi MILKO 37' nin FSW tekniği kullanılarak kaynak üretimi için modifikasyonu, kaynak teknolojisinde yeni icatlarla ilgilenenler için bir başka yeniliktir. Testten toplanan tüm verilerden sonra, řu sonuçlar çıkmıştır; Universal Freze Tezgağı MILKO 37 SKK için kullanılabilir. 200.67 MPa çekme sonucu ile aldıkları en iyi kaynak parametreleri; 910 RPM dönme hızı, 16 mm/dk kaynak hızı ve 3 derece uç açısı olmuştur. Tecrübe edilen en kötü kaynak parametreleri; 1280 RPM dönme hızı, 29 mm/dk kaynak hızı ve 3 derece uç açısı olmuştur.

Sumit Jain, Neeraj Sharma ve Rajat Gupta' nın 2017 yaptıkları çalışmada, 6082 ile 5083 kullanılarak SKK çalışması yapılmışlardır. Temel olarak, bu çalışma 6082 T-6 ve 5083-O'da dikey bir freze makinesi kullanarak FSW' nin kaynak performansını değerlendirmektedir. Tüm deneyler, Taguchi tasarımı kullanılarak planlanmış ve analiz edilmiştir. DOE yönteminin amacı, kaynak parametrelerinin optimum durumunu ve kaynak performansı için parametrelerin önemini değerlendirmektir. Randomize parametrelili 16 denemeli toplam deney MINITAB 16 yazılımı ile yapılmıştır. Aşağıdaki açıklamalar, bu araştırma çalışmasında incelenen kaynak özelliklerinin performansına dayanarak sonuçlandırılmıştır.

Yalnızca üç parametre, takım dönme hızı, kaynak ilerleme hızı ve omuz çapı araştırması yapılmıştır. 6082-T6 ve 5083-O'da FSW'de 1200 dev / dak dönme hızı, 30 mm / dak'lık kaynak hızı ve 14mm'lik omuz çapı parametreleri ile eşsiz çekme dayanımı ve uzama sonuçları vermiştir.

2.1.5 5000 Serisi Alüminyum Alaşımları

5000 serisi alüminyum alaşımlarında esas alaşım elementi magnezyumdur. Genel mukavemetleri ve korozyon dirençleri ile iyi kaynaklanma özellikleri ile bilinirler. Alaşım içerisindeki magnezyum oranı, sertlik ve mukavemetleri ile doğru orantılıdır. Artan magnezyum oranı ile gerilme dayanımının artışı Şekil 2.5'de görülmektedir. Bu seri alaşımları daha çok deniz ulaşım araçlarının imalatında kullanılırlar (Elif Malyer 2010).



Şekil 2.5. Artan Mg içeriği ile değişen gerilme dayanımı (Kissel ve Ferry 2002).

2.2. Modifiye Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemleri

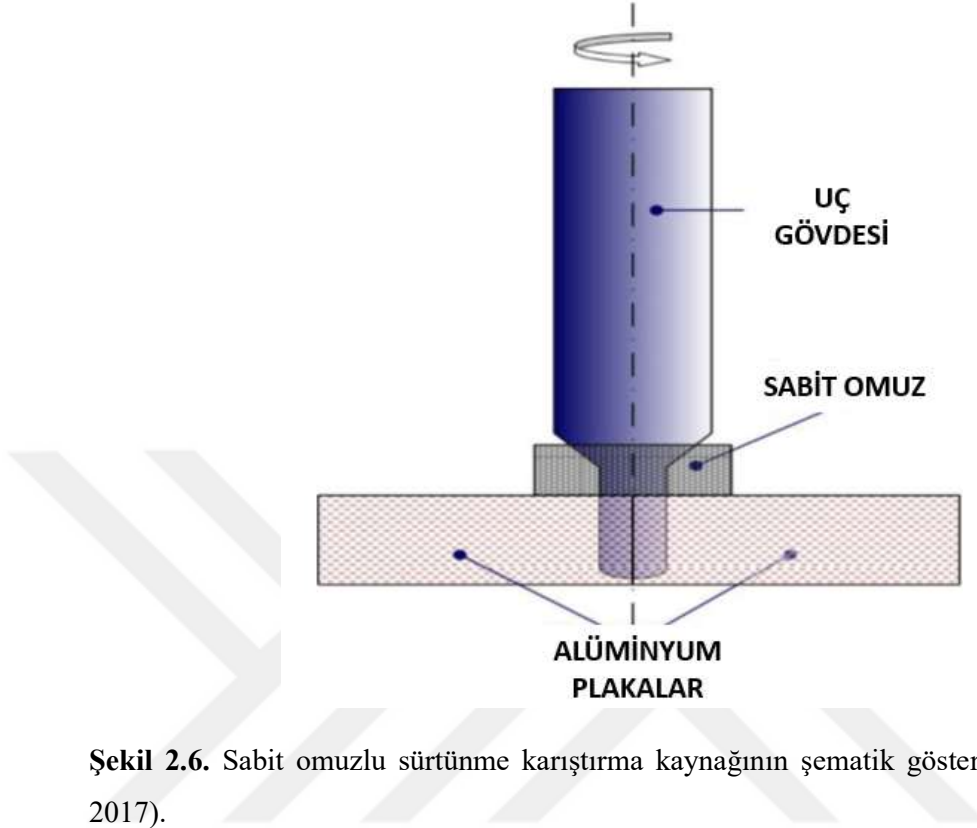
SKK süreci; enerji verimliliği, cazip fiziksel, mekanik ve mikroyapısal özellikleri ile geniş bir malzeme kaynatma yelpazesi sunması, fizibilite anlamında oldukça uygundur. SKK, birçok kaynak edilemeyen alüminyum alaşımının da kaynaklanmasına olanak verdiğinden son yıllarda hızla modası artan bir kaynak çeşidi olmuştur. Son yıllarda birçok araştırma ve deneme sırasında problemlerle karşılaşmış, bu problemleri aşmak amacıyla yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde SKK için geliştirilen yöntemlerden bahsedilecektir.

2.2.1. Sabit Omuzlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SOSKK)

Sabit omuzlu SKK yöntemi, zayıf kaynaklanabilirliğe yol açan titanyum bazlı alaşımların problemlerini çözmek için TWI'da geliştirilmiştir (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018). Şekil 2.6.' da SOSKK için bir şema gösterilmiştir. SOSKK' da, sabit omuzda bulunan bir döner pim, kaynak sırasında malzemenin yüzeyi üzerinde kaymaktadır. Bu kaynak çeşidinde, omuz kaynak sırasında üst yüzeyde oluşan deformasyona ve sıcaklığa çok az katkıda bulunurken, döner pim, pim etrafına sürtünme ısıyı üretirken malzemeyi sıkıştırır ve karıştırır. Böylelikle, DKB'nin genişliğini azaltır, dolayısıyla proses stabilitesini iyileştirir ve kaynak kalınlığından dolayı sıcaklık dağılımının, sertlik dağılımının ve mikroyapısal homojenliğin gelişmesine olanak sağlar.

SOSKK işlemini etkileyen ana işlem parametreleri; pim dönüş hızı, dalma derinliği ve takım geometrisidir. Gelişmiş kaynak mekanik özellikleri ve mikroyapısal homojenlik, SOSKK'nın en önemli özellikleri olmuştur.

Ayrıca omzun sabit olması ve sadece pim'in dönmesi, kaynak edilecek yüzeylerin çok daha küçük olmasına olanak sağlamıştır. Kaynak bölgesinin küçük olması, aynı zamanda kozmetik olarak da kaynağa katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (J. Martin 2017).

Şekil 2.7. (a) 'da gösterilen SOSKK için kullanılan bir uç örneğidir. Burada uç, kaynak yapılacak makineye bağlı, kaynatmaya hazırdır. Şekil 2.7. (b) 'de gösterilen kısım ise sabit omuz kısmı olup, kaynak esnasında sabit şekilde kaynak yüzeyine sürtmektedir. Burada kaynağa baskı uygulayan kısım da bu kısımdır. Şekil 2.7. (c) 'de gösterilen kısım ise SOSKK'nın pim kısmıdır. Yukarıda bahsedildiği üzere bu kısım dönerek kaynaklama için ihtiyaç olan sıcaklığı üretmektedir.



Şekil 2.7. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı ucu görselleri.



Şekil 2.8. Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanmış bir örnek görseli.

Şekil 2.8.' de Sabit omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile kaynaklanmış bir kaynak dikişi görülmektedir. Bu kaynak şekil 2.7.' de gösterilen uç ile kaynaklanmıştır. Ancak gözle de görülebileceği gibi, kaynak parametreleri ile alakalı problem olduğu için kaynak dikişi düzgün oluşamamıştır.

2.2.2. Ters Çift Dönüştü Sürtünme Karıştırma Kaynağı (TÇDSKK)

İş parçasının olası aşırı ısınması, FSW birleştirmesinin mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini de bozan ciddi bir sorundur. Omuz ve uç piminin bağımsız olarak dönmesini sağlayarak, pimin omzun dönme hızını arttırmadan yüksek bir hızda dönmesini sağlar. TÇDSKK, omuz ve takım piminin farklı dönüş hızlarında ve zıt yönlerde bağımsız olarak döndüğü bir yöntemdir. Şekil 2.9.(a)' da, TÇDSKK işleminin uç sistemini görebilirsiniz. Şekil 2.9. (b)' de uç sisteminin pim kısmını ayrıntılı olarak görmek mümkündür.

TÇDSKK' nın özelliklerini etkileyen ana proses parametreleri; destekli omzun dönüş hızı, pimin dönme hızı ve kaynak hızıdır. Bu faktörler ısı üretimi, sıcaklık ve deformasyon bölgesinin boyutunu etkiler ve kaynağın özellikleri üzerinde bariz bir etkiye sahip olur.



Şekil 2.9. Ters çift dönüşlü sürtünme karıştırma kaynağında uç sistemi görseli (J. Q. Li & H. J. Liu -2015).

Mevcut çalışmalara dayanarak TÇDSKK, FSW'nin faydalı bir varyantı gibi görünüyor. Ancak, bu süreç sadece alüminyum alaşımlarında uygulanmıştır. Diğer materyallere etkinliğini doğrulamak için daha fazla araştırma gereklidir. TÇDSKK gibi bir başka benzer süreç, çift dönüş hızı SKK'dır. Bu yöntemde, omuz ve pim bağımsız olarak farklı dönme hızlarında fakat aynı yönde dönmektedir. Bu işlemin ana kaynak parametreleri TÇDSKK işlemi ile benzerdir (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018).

2.2.3. Bobin Uçlu Sürtünme Karıştırma Kaynağı (BUSKK)

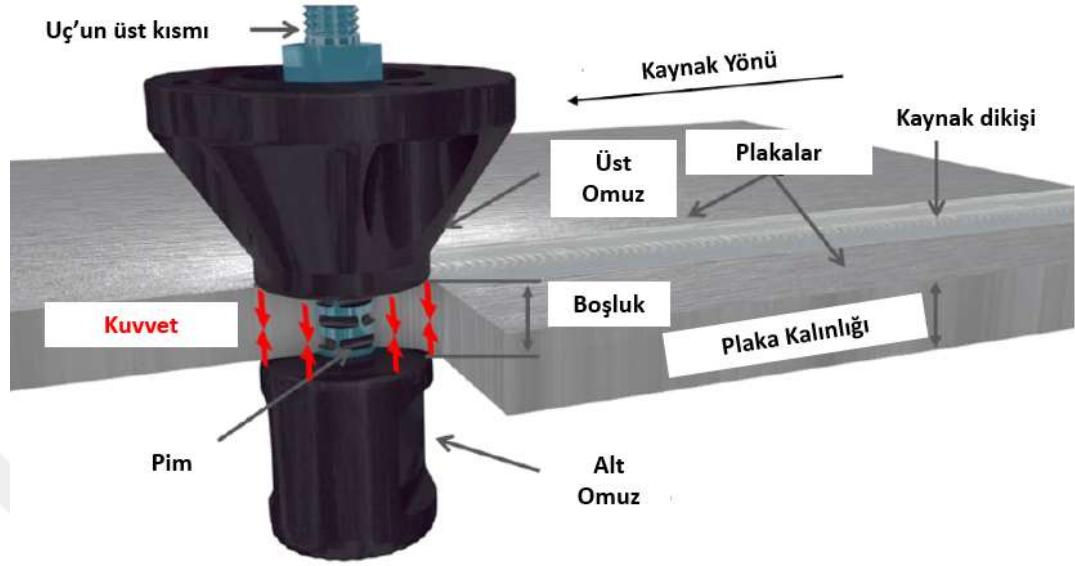
BUSKK sürecinde uç kısım ana farklılığı göstermiştir. İki omuz birbirine bağlanır ve kaynak sırasında iş parçası kalınlığı boyunca tamamen nüfuz eder. Omuzlar arasında sabit bir boşluk vardır.

Şekil 2.10. bobin takımlarının şemasını göstermektedir. BUSKK işlemi, ya ucu plakaların kenarlarına sürterek ya da bitişik plakalar arasında önceden delinmiş bir delikten girerek

başlar. Kaynak işlemi, plastik deformasyonun başlangıcına kadar bir yavaş hareket ile başlar, ardından hareket normal hızına ulaşır. BUSKK 'de, iki omuz, iş parçasının yüzeyinde yeterli sürtünme ve deformasyon ısıyı üretir.

BUSKK prosesindeki ana işlem parametreleri; dönme ve kaynak hızıdır. Ancak bekleme süresi, takım aralığı, destek / kelepçe ayarı ve plaka durumu gibi diğer değişkenler de kaynağı etkileyebilir. Proses koşulları, takım geometrisi, özellikler ve diğer proses ayarları gibi değişkenlere bağlıdır. Al alaşımlarının BUSKK için önerilen gerekli parametreler: 450-600 rpm dönme hızları ve ince alüminyum plakalar (4-8 mm) için 170-100 mm / dk kaynak hızlarıdır. Daha kalın plakalar için 170-300 rpm dönme hızları ve 100-500 mm / dk kaynak hızları önerilmektedir. (G.K. Padhy, C.S. Wu*, S. Gao 2018)

BUSKK Al, Mg ve Fe alaşımları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, FSW işleminin bazı kaynak sınırlamalarının üstesinden gelmede başarılı olduğunu göstermiştir. Bu yöntem kalın plakaların da başarılı bir şekilde kaynaklanabildiğini göstermiştir. Bu yöntemin en avantajlı yönlerinden biri de, kapalı boşluklu ekstrüzyonlar veya kompleks şekilli büyük yapıların FSW ile kaynaklanabilmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca omuz dalma derinliğinin yanlış girilmesinden kaynaklanacak bütün problemler bu yöntemle ortadan kaldırılmıştır. Teorik olarak ele alındığında, BUSKK 'da destek plakasına ihtiyaç yoktur. Çünkü bobin ucu aşağıya doğru bir itme kuvveti oluşturmaz. Yükün büyük bir kısmı pimin içinde taşınırken, bobinin alt kısmı arka plakanın yerini alabilir. Ek olarak, omuzları birleştiren bağlantı, kalın kesit kaynağında daha büyük bir mikroyapı homojenliği sağlayarak, işlenecek parça kalınlığı boyunca nüfuz eder. BUSKK'nda her iki taraftan aynı anda kaynak yapma kabiliyeti, kök kusuru oluşumunun önlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Bobin takımının şematik gösterimi (Peer-Jorge Scupin 2015).

2.3. Taguchi Methodu İle Kaynak Optimizasyonu

2.3.1. Taguchi Metodu

Taguchi metodu robust deney tasarımı ile bir prosesin değişkenliğini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu metodun genel amacı yüksek kaliteli düşük maliyetli ürünler ortaya çıkarmaktır. Taguchi ile proses performansını etkileyen farklı değişkenlerin ortalama değer (mean) ve varyansını (variance) nasıl değiştirdiği bulunmaktadır. Taguchi metodu “factorial design” ‘daki gibi tüm olası kombinasyonları denemek yerine sadece bazı kombinasyonları deneyerek sonuca ulaşılır. Bu şekilde ürün kalitesini en çok etkileyen data kümesinin hangisi olduğu bulunur ve minimum sayıda deney yapılarak zaman ve kaynak tasarrufu yapılır. Taguchi metodu, değişken sayısı 3-50 arasında, değişkenler arası etkileşim çok az seviyede (ortogonal) ve az sayıda değişken ürün kalitesi üzerinde etkin iken en iyi sonucu verir (Uğur Demir, Mustafa Caner Aküner 2017).

2.3.2. Taguchi Metodu Algoritması

Taguchi metodunun adımları genel olarak şunlardır:

1. Proses amacı tanımlanır, prosesin performans ölçümü için hedef bir değer de tanımlanabilir. Hedef sıcaklık, hız vb. ölçülebilen bir parametrenin belirli bir değere gelmesi veya yine sıcaklık, hız gibi bir parametrelerin herhangi bir prosesi minimum veya maksimum hale getirme şeklinde olabilir.
2. Prosesi etkileyen parametreler belirlenir. Bu parametreler sıcaklık, basınç vb. gibi performans ölçütlerini etkileyecek değişkenlerdir. Her bir parametrenin kaç farklı düzeyde (level) deneneceği belirlenir. Örneğin sıcaklık değeri 50 ile 90 derece arasında sadece 2 değer olarak alınabilir. Nokta sayısı arttıkça deney sayısı da artmaktadır.
3. Parametre sayısı (number of parameters) ve deney yapılacak düzey sayısına (number of levels) göre Taguchi tarafından belirlenmiş çizelge 2.2.'de gösterilen L matrisleri kullanılır. Bu matrisler ortogonal dizilerdir.

Çizelge 2.2. Taguchi L matrisi.

		Number of Parameters (P)																															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Number of Levels	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16	L16	L16	L16	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	
	3	L9	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27	L27	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36									
	4	L'16	L'16	L'16	L'16	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32																							
	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50	L50	L50																					

4. İlgili L matrisi kullanılarak deneyler yapılır. Örneğin çizelge 2.3.' de L18 matrisi verilmiştir.

Çizelge 2.3. Taguchi L18 matrisi.

Experiment	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Burada 8 farklı değişken ve her bir değişken için 3 farklı düzey (level) ele alınarak toplam 18 farklı deney ile sonuca ulaşılabilmektedir.

5. Farklı parametrelerin performans ölçütlerine etkisini bulmak için Taguchi data analizi yapılmaktadır. Taguchi data analizi aşağıda ayrıntılı anlatılmaktadır.

2.3.3. Taguchi Metodu Data Analizi

Deney tasarımı bir kez tasarlandıktan ve örnekler alındıktan sonra her bir parametrenin rölatif (relative) etkisini buluruz. Bunun için her bir deneyin ölçülen performans karakteristikleri kullanılır. Örnek olarak çizelge 2.4.' de verilen L9 matrisi gösterilmiştir, ancak prensip olarak tüm matrislere uygulanabilir.

Çizelge 2.4. Taguchi L9 matrisi.

Experiment Number	P1	P2	P3	P4	T1	T2	...	Tn
1	1	1	1	1	T _{1,1}	T _{1,2}	...	T _{1,N}
2	1	2	2	2	T _{2,1}	T _{2,2}	...	T _{2,N}
3	1	3	3	3	T _{3,1}	T _{3,2}	...	T _{3,N}
4	2	1	2	3	T _{4,1}	T _{4,2}	...	T _{4,N}
5	2	2	3	1	T _{5,1}	T _{5,2}	...	T _{5,N}
6	2	3	1	2	T _{6,1}	T _{6,2}	...	T _{6,N}
7	3	1	3	2	T _{7,1}	T _{7,2}	...	T _{7,N}
8	3	2	1	3	T _{8,1}	T _{8,2}	...	T _{8,N}
9	3	3	2	1	T _{9,1}	T _{9,2}	...	T _{9,N}

P1, P2, P3 ve P4 parametreleri, T1, T2 ... TN ise örnekleri göstermektedir. 1 numaralı deney her bir parametrenin 1 olduğu durumda N kadar sayısı denenir. Bu sayı ne kadar çok olursa, o kadar doğru sonuçlara ulaşılır. Her bir parametrenin çıkış (output) üzerine etkisini görmek için S/N signal to noise ratio hesaplanır. \bar{y}_i ortalama değer, s_i^2 varyansı, i deneyin numarasını, u örnek sayısını, N_i ilgili deney için alınan örnek sayısını göstermek üzere aşağıda ilgili formüllere göre hesaplama yapılır.

$$SN_i = 10 \log \frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2} \quad (2.1)$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{u=1}^{N_i} y_{i,u} \quad (2.2)$$

$$s_i^2 = \frac{1}{N_i - 1} \sum_{u=1}^{N_i} (y_{i,u} - \bar{y}_i)^2 \quad (2.3)$$

Performans karakteristiğini minimize etmek için aşağıdaki (2.4) SN kullanılır.

$$SN_i = -10 \log \left(\sum_{u=1}^{N_i} \frac{y_u^2}{N_i} \right) \quad (2.4)$$

Performans karakteristiğini maksimize etmek için ise şu formül kullanılır.

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{N_i} \sum_{u=1}^{N_i} \frac{1}{y_u^2} \right] \quad (2.5)$$

Her bir deney için SN hesaplandıktan sonra her bir faktör ve düzey için de hesap yapılır.

Çizelge 2.5. Taguchi rank matrisi.

Level	P1	P2	P3	P4
1	SNP1,1	SNP2,1	SNP3,1	SNP4,1
2	SNP1,2	SNP2,2	SNP3,2	SNP4,2
3	SNP1,3	SNP2,3	SNP3,3	SNP4,3
Δ	RP1	RP2	RP3	RP4
Rank

Hesaplanan SN'lerin her bir parametre için (sütun) maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark R değerini verir ($R = \text{maksimum (SN)} - \text{minimum (SN)}$). R değeri yüksek olan parametrenin proses üzerindeki etkisi daha fazladır. Düşük olanın ise etkisi daha azdır. Çünkü aynı düzeydeki bir değişiklik çıkışta daha büyük bir değişikliğe neden olmaktadır. Bu sonuçlar çizelge 2.5.'daki gibi bir tabloda gösterilebilir.

Sinyal/gürültü oranı belirlenirken hedefin türü önem kazanmaktadır. Burada 3 farklı tip hedef tanımlanabilir:

En küçük - En iyi (smaller is better)

Bu tür problemlerde, hedef değişkeninin değeri sıfırdır.

En büyük - En iyi (larger is better)

Bu tür problemlerde, hedef değişkeninin değeri sonsuzdur.

Hedef değer - En iyi (nominal is better)

Bu tür problemlerde, hedef değişken için belirli bir hedef değer verilmiştir.

Her üç tip problemde de amaç sinyal/gürültü oranını maksimize etmektir (Şirvancı M. 1997).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 5mm kalınlığında 5083–H111 alüminyum alaşımı levhalar, sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynak edilerek kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Çekme testleri ve mikrosertlik ölçümleri ile mekanik özellikler, mikro yapı karakterizasyonu ile de içyapı incelemesi yapılmıştır.

Öncelikle, literatürde en çok kullanılan parametreler saptanmış ve Taguchi optimizasyon yöntemine ile hangi deneylerin yapılacağı saptanmıştır. 5083 alüminyum alaşımı levhalara farklı dönme devirleri ve ilerleme hızları uygulanarak tek taraflı alın kaynağı yapılmıştır. Taguchi yönteminde belirlenen parametreler kaynak üzerine uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir. Tez boyunca kullanılan malzeme, yöntem, cihaz özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1 SKK’da Kullanılan Plaka Malzemesi

5 mm kalınlığındaki 5083-H111 kullanılmıştır. Bu alüminyum alaşımının seçiminin nedeni, mukavemetin yüksek olması, korozyon direncinin iyi olması, yüksek uzama oranı ile formlanabilirliğinin iyi oluşu ve birçok sanayi dalında kullanılmasıdır. Burada alaşımın özellikleri:

Üzerinde çalışılan 5083 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi çizelge 3.1.’ de, çekme testi mekanik özellikleri çizelge 3.2.’de gösterilmiştir.

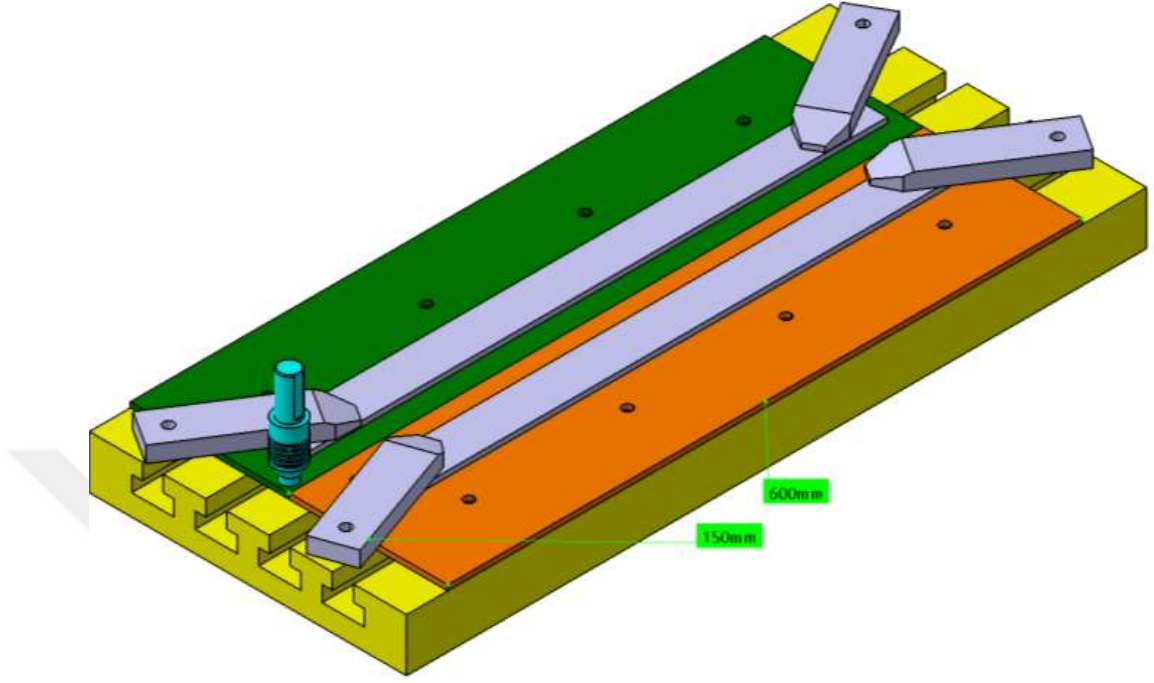
Çizelge 3.1. 5083 kimyasal bileşimi (Sumit Jain ve ark 2017).

5083 ALÜMİNYUM ALAŞIMI	
ELEMENT	ORAN[%]
MAGNEZYUM	4.830
MANGANEZ	0.551
DEMİR	0.336
SİLİKON	0.290
NİKEL	0.007
ÇİNKO	0.035
KURŞUN	0.030
KALAY	0.010
TİTANYUM	0.050
KROM	0.100
BAKIR	0.050
ALÜMİNYUM	93.700

Çizelge 3.2. 5083 H111 çekme testi mekanik özellikleri.

5083 ALÜMİNYUM ALAŞIMI	
ISIL İŞLEM KOŞULU	H111
AKMA MUKAVEMETİ [MPa]	139
ÇEKME MUKAVEMETİ [MPa]	296
UZAMA [%]	22.60

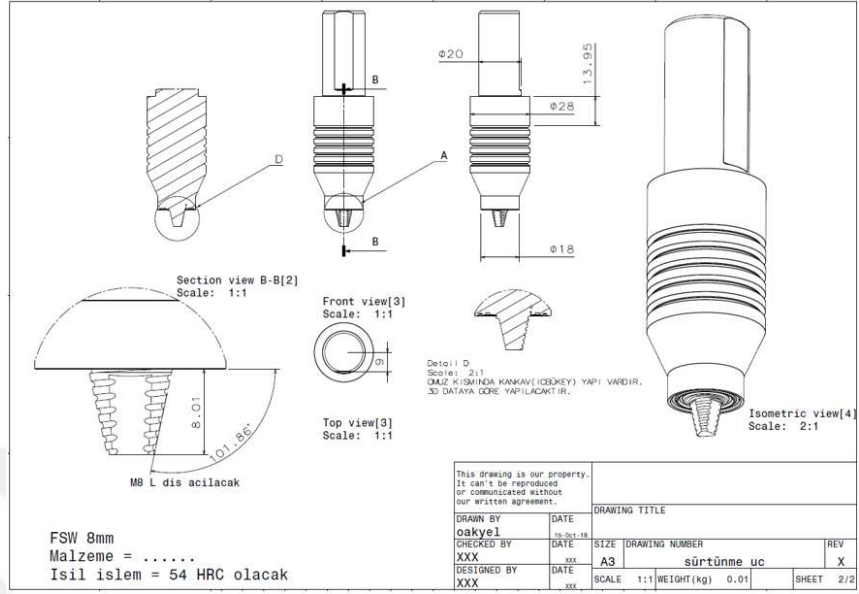
Tüm tez boyunca kullanılan levha boyutları, kullanılan freze tezgahı boyutları ve çekme testi ‘Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892‘ standardı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Öncesinde herhangi bir girişim ve problem görmemek adına, tüm cihaz ve teçhizat CATIA 3D programı ile modellenmiş ve kontrol edilmiştir. Daha sonra plakalar şekil 3.1.’ de görüldüğü gibi 150x600mm boyutlarında testere ile kesitirilerek sipariş edilmiştir. Plakalar kesilirken hadde yönü kısa kenar olacak şekilde kesilmiştir. Kaynağın hadde yönüne dik olması gerektiği, bu şekilde mekanik özelliklerin arttığı yukarıdaki anlatımlarda belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan plakaların şematik gösterimi.

3.2 Karıştırıcı Uç Malzemesi Ve Geometrisi

Karıştırıcı uç için birçok malzeme denenmiştir. Bu malzemeler; 2344 sıcak iş takım çeliği, 3343 HSS çeliği ve 2738 sıcak iş çeliğidir. Ancak bu iki malzeme de, hem pim kısmının dibindeki radiusun keskin olmasından hem de ısıl işlem gördüğünden kaynak sırasında kırılmıştır. Pimin dip radiusunun arttırıldığı 2738 malzemesinden yapılan uç, ısıl işlem yapılmadan görevini yerine getirmiştir. Şekil 3.2.' de standart uç teknik resmini ve şekil 3.3' de görselini görebilirsiniz.



Şekil 3.2. SKK için kullanılan standart uç teknik resmi.



Şekil 3.3. SKK için kullanılan standart uç görseli.

Takım geometrisinde daha öncesinde de belirtildiği gibi önemli olan iki parametre vardır. Pim çapı ve omuz çapı, kaynak parametreleri ile birlikte kaynağın verimli olabilmesi için önemli olan parametrelerdir. Burada pim çapı plaka kalınlığı kadar, omuz çapı ise pim çapının 3 katı kadar olması önerilmektedir.

Takım pimi, 5mm kalınlığındaki plakalara uygun şekilde 5mm çapında tasarlanmıştır. Üzerinde bulunan dişler, metrik sol olarak açılmıştır. Bu dişler saat yönünde dönen CNC'nin, yumuşayan malzemeyi aşağı doğru iterek sıkışmasını ve kaynamasını sağlamaktadır.

Omuz 15mm çapında tasarlanmıştır ve kaynak sırasında asıl ısıyı oluşturacak kısım burasıdır. Omuz, aynı zamanda yumuşayan malzemeyi yukarıdan baskılayarak sıkışmasını sağlamıştır.

Ucun üst kısmı sap olarak geçmektedir ve CNC makinasına bağlanan kısımdır. Burasının çapı, kullanılacak CNC makinasının pens özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, sap kısmında düzlük oluşturulmasıdır. Buradaki düzlüğün amacı, ucun kaynak sırasında dönmesine engel olmaktır.

SKK işlemi sonrasında uç incelendiğinde; uçta herhangi bir deformasyon oluşmadığı, ancak yumuşayan alüminyum malzemenin ucun dişleri arasına sıvandığı görülmüştür. Bu sıvanma, sonra yapılan kaynaklar için problem teşkil etmediği anlaşılmıştır.

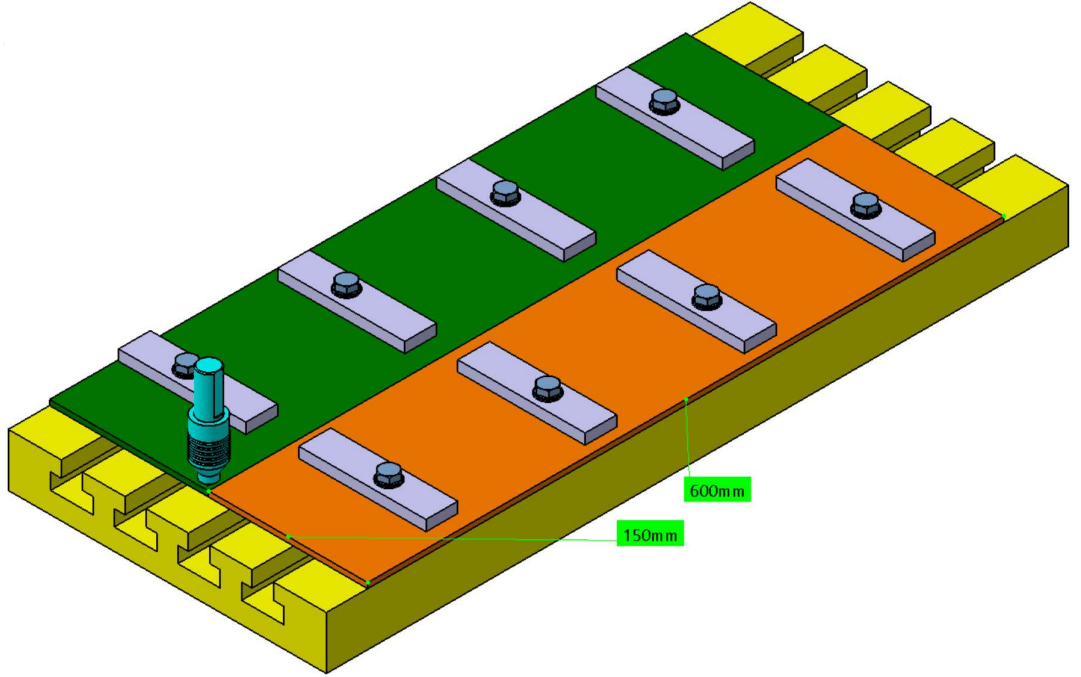
3.3 SKK İçin Kullanılan Bağlama Aparatı

SKK için en önemli unsurlardan bir tanesi, kaynağı yapılacak malzemelerin hareket etmeyecek şekilde bağlanması, sıkı şekilde sabitlenmesidir. Bu, kaynağın düzgün oluşması için şarttır. SKK yöntemindeki en büyük sınırlayıcılardan biri, parçaların sıkıca sabitlenmesi olarak gösterilebilir.

Denemeler sırasında birçok bağlama yöntemi ile parçalar bağlanmış ve kaynaklanmıştır. Ancak denemelerde düzgün sabitleme olmadığından dolayı parçalarda porozite (boşluk)

görülmüştür. Şekil 3.1.'de ilk yapılan bağlama şeklini görebilirsiniz. Burada kaynağı yapılacak plakalar yan yana getirildikten sonra, kaynağı yapılacak bölgeye yakın 2 adet çelik levha kullanılmıştır. Çelik levhalar baştan ve sondan CNC tablasına papuçlar ile sabitlenmiştir. Kaynak esnasında uç, parçaları dışa doğru açılmaya zorlamaktadır. Bu zorlamayı engelleyecek herhangi bir fiziki engel olmaması, kaynağın istenilen kalitede olmamasına sebebiyet vermiştir.

Daha sonraki denemelerde şekil 3.4. ve şekil 3.5.' de gösterilen bağlama şekli kullanılmıştır. Burada parçaların üzerine delikler açılarak, lamalar sayesinde parçalar tablaya sabitlenmiştir. Ancak bu bağlama şeklinde de parçanın her yerine eşit basılamadığı için kaynak yükselteleri farklı olmuştur. Dolayısıyla kaynağın bazı bölgelerinde flaşlar fazlayken, bazı bölgelerinde flaş gözlemlenmemiştir. Ayrıca bu yöntemde parça üzerine delikler açılması gerektiğinden, deliklerin olduğu bölgedeki kısımlar çekme testinde kullanılamamıştır.

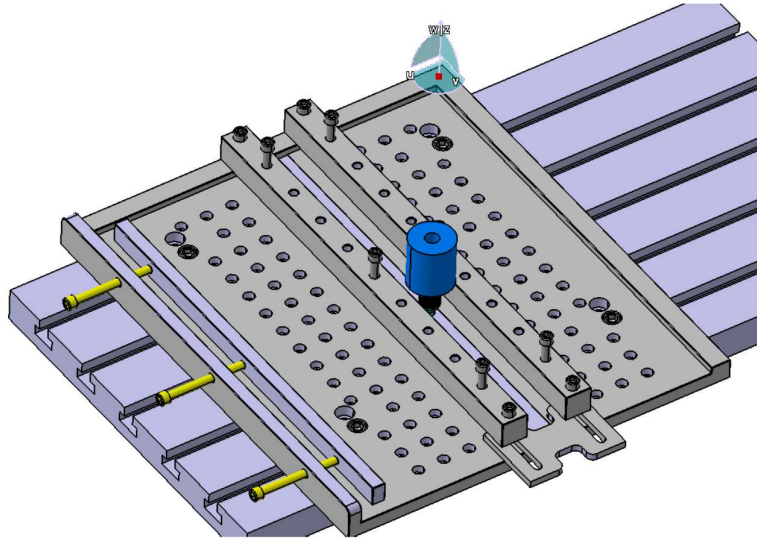


Şekil 3.4. Bağlama 2. şekli şematik gösterimi.



Şekil 3.5. Bağlama 2. şekli görseli.

Gerek bağlamayı standartlaştırmak, gerek bağlama çıkarma işlem zamanını kısaltmak, gerekse SKK kalitesini arttırmak amacıyla kaynak aparatı yapımına karar verilmiştir. Bu aparat, boyutları farklı olan alüminyum plakaları kaynatacak ve parçaları stabil şekilde bağlamayı mümkün kılacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.6.' de şeması görülen aparat sayesinde, CNC tablasından bağımsız şekilde kaynaklar yapılabilmektedir.



Şekil 3.6. Bağlama aparatı şematik gösterimi.



Şekil 3.7. Son bağlama aparatı görseli.

Şekil 3.7.'da görseli bulunan aparatın kullanım aşamaları: Bağlama aparatı CNC tablası üzerine 4 civata ile bağlandıktan sonra tabakalar aparat üzerine yan yana konulur. Parçalar 2 adet sıkıştırma parçası ile Z ekseninde sabitlenir. Daha sonrasında şekil 3.6.'da sarı renkte görülen civatalar ve önündeki destek plakası sayesinde levhalar birbirlerine doğru sıkıştırılır.

3.4 SKK İçin Kullanılan CNC Makinası

SKK çalışmalarında DMG MORI marka Alman malı, piyasanın en kaliteli CNC makinası kullanılmıştır. CMX 800 V serisi olan makinanın 12000 RPM dönme kabiliyeti bulunmaktadır. Şekil 3.8.'de cihazın SKK işlemi görülmektedir.



Şekil 3.8. DMG MORI CNC görseli.

3.5 SKK Parametreleri

SKK parametreleri, kaynağın kaliteli yapılabilmesi için tezin konusu olmuştur. Öncelikle literatürden 5083 malzemesi için yapılan kaynak parametreleri seçilmiş ve bu parametreler üzerinden Taguchi optimizasyon tasarımı oluşturulmuştur. Seçilen bu kaynak parametrelerini çizelge 3.3.' de görebilirsiniz.

Çizelge 3.3. 5083 için kullanılan kaynak parametreleri.

KAYNAK PARAMETRELERİ	
DÖNME HIZI [RPM]	KAYNAK HIZI [mm/dk]
600	200
600	100
600	50
1200	200
1200	100
1200	50
1600	200
1600	100
1600	50

Bu kaynak parametreleri belirlendikten sonra kaynaklar numaralandırılmış ve kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynaklama sırasında birçok problem görülmüştür. Buradaki büyük problemlerden biri parçaları sabitlemede görülmüş ve kaynak aparatı yaptırılarak önlem alınmıştır. Bunun dışında daha öncesinde tecrübe edilen kaynak pim'i kırılması, 2738 malzeme kullanılarak çözülmüştür. Kaynakların numaralandırılması çizelge 3.4.' de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Al. 5083 için kullanılan kaynakların numaralandırılması.

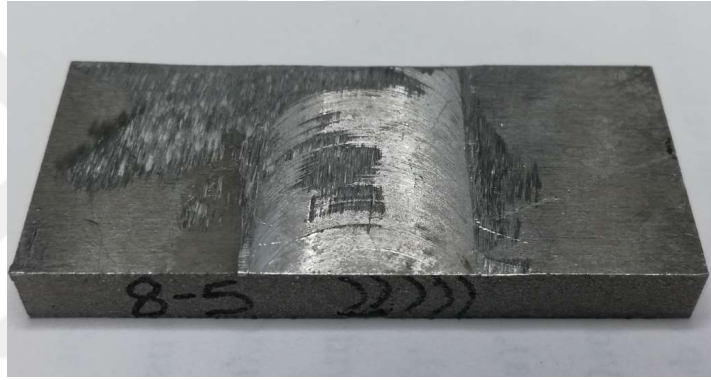
KAYNAK PARAMETRELERİ		
	DÖNME HIZI [RPM]	KAYNAK HIZI [mm/dk]
KAYNAK 1	600	200
KAYNAK 2	600	100
KAYNAK 3	600	50
KAYNAK 4	1200	200
KAYNAK 5	1200	100
KAYNAK 6	1200	50
KAYNAK 7	1600	200
KAYNAK 8	1600	100
KAYNAK 9	1600	50

3.6. Kaynak Bölgesi İç Yapısının İncelenmesi

SKK ile birleştirilen numunelerden metalografi numuneleri, Struers marka kesme cihazı ile şekil 3.9.' da görüldüğü gibi kaynak ortaya gelecek şekilde 15mm x 45mm x 5mm ebatlarında çıkartılarak kodlanmış ve ilgili bölgeleri işaretlenmiştir. Daha sonra şekil 3.10.' da görüntüsü verilen şekilde 5 numune birbirine yapıştırılmıştır. Birbirine yapıştırmadaki amaç, numuneleri tek tek bakalit alıp incelemek yerine, birçok numuneyi aynı anda inceleyebilme kolaylığıdır. Sonra sırasıyla 200, 400, 800, 1200, 1500 grit su zımparaları ile zımparalanmıştır. Sırasıyla 3 ve 1µ tane boyutunda Alumina Süspansiyon

kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır. Parlatma işlemi sonrası, yüzeyleri ayna parlaklığına gelen numuneler şekil 3.11’ de gösterilmektedir.

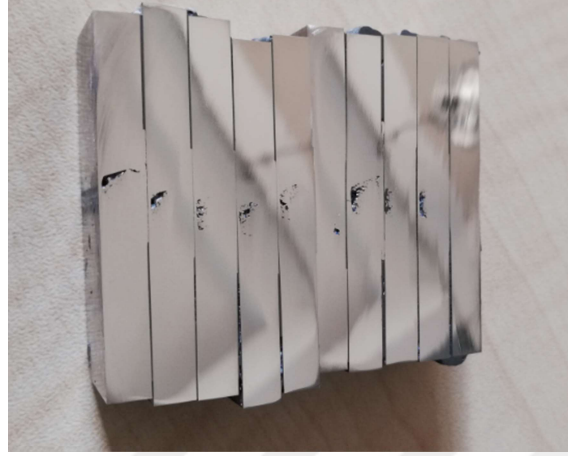
Kapsüller halinde bulunan NaOH (Sodyum hidroksit)’in 15 adeti 97ml saf su ile karıştırılmıştır. Numuneler, 30 saniye boyunca dardırma yöntemi ile çözeltiye daldırılmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyleri C₂H₅OH (Etil Alkol) ile temizlenmiştir (Şekil 3.12.). Hazırlanan bu numuneler üzerinde, kaynak bölgesinde oluşan iç yapı optik mikroskop (Nikon, Eclipse MA100) yardımıyla incelenmiştir.



Şekil 3.9. Metalografi numunesi görseli.



Şekil 3.10. Metalografi numunelerinin birleştirilmesi görseli.



Şekil 3.11. Metalografi numunelerinin parlatılması görseli.

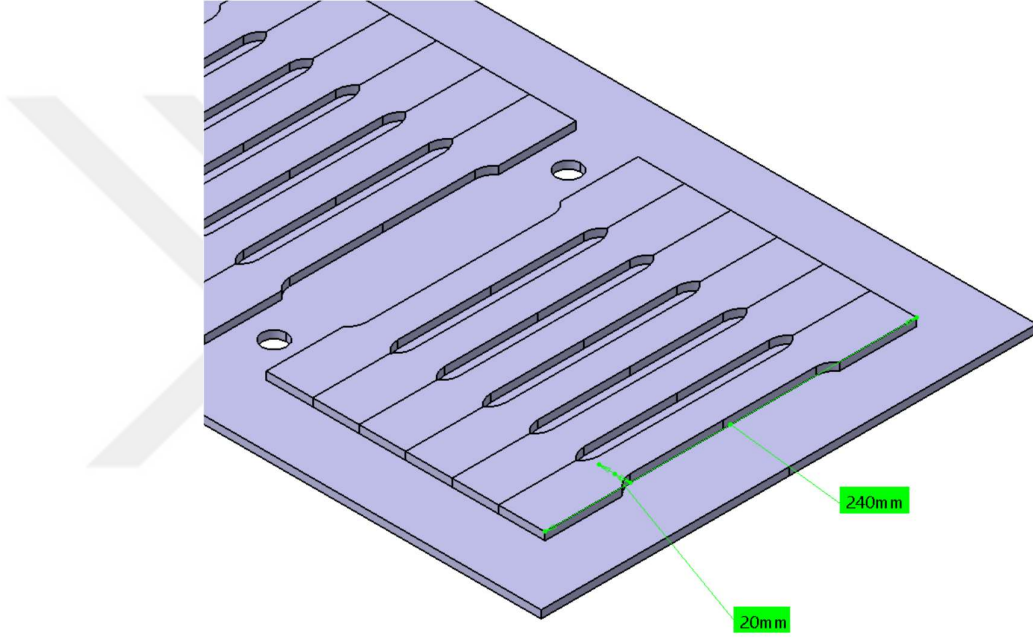


Şekil 3.12. Metalografi numunelerinin dağlama sonrası görselleri.

Şekil 3.12.'de kaynaklar alttan yukarı sıralanmaktadır. Buradan çıkarılacak yorum, hız 50mm/dk' da tünel oluşumlarının azaldığı, devir 1200 RPM' in üzerinde olduğunda tünelin, ilerleme tarafından kaynağın köküne doğru kaydığı söylenebilir.

3.7. Kaynaklanan Parçaların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

SKK ile birleştirilen numunelerden, Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892' a göre numuneler dizayn edildi, CAM yapıldı ve en hassas olacak şekilde tel erezyon makinası ile kestirildi.



Şekil 3.13. Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892' ye uygun çekme numuneleri şematik gösterimi.

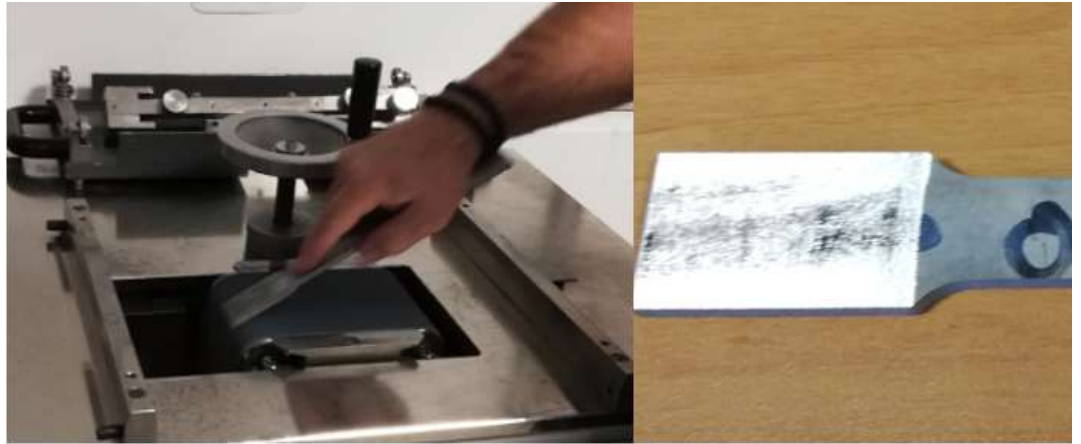
Çekme deneyinin sonuçlarından emin olabilmek amacıyla 6'şar adet çekme numunesi çubuğu hazırlanmıştır (şekil 3.13. şema, şekil 3.14. görsel).

Parçalar çekme işlemi için kalite laboratuvarına getirilmiş ve ön hazırlık işlemleri yapılmıştır. Öncelikle, parçaların çekme çenelerinden kaymalarını engellemek için pürüzlülüğü artırıcı zımpara yapılmıştır (şekil 3.15).

Daha sonrasında gerekli parça ölçümleri yapılmış, parçaların sertlikleri tek tek ölçülmüş ve parçalar çekme cihazına bağlanmıştır (şekil 3.16. ve şekil 3.17.)



Şekil 3.14. Çekme numuneleri görseli.



Şekil 3.15. Çekme numunelerinin zımparalanması görseli.



Şekil 3.16. Çekme numunelerinin, sertliklerinin ölçülmesi görseli.



Şekil 3.17. Çekme numunelerinin, çekme cihazına bağlanması görseli.

Yukarıda bahsedilen metalografi numuneleri, dağlanıp mikro yapı incelendikten sonra Vickers mikrosertlik cihazı (Metkon Duroline-M Microhardness Tester) kullanılarak kaynak bölgesi ortada kalacak şekilde yaklaşık 25mm' lik uzunluk boyunca 0.5mm aralıklarla 200gr yük kullanılarak mikrosertlik ölçümleri yapılmış ve sertlik profilleri çıkartılmıştır. Mikrosertlik ölçüm noktaları şekil 3.18' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Mikrosertlik ölçüm aralıklarının şematik gösterimi.

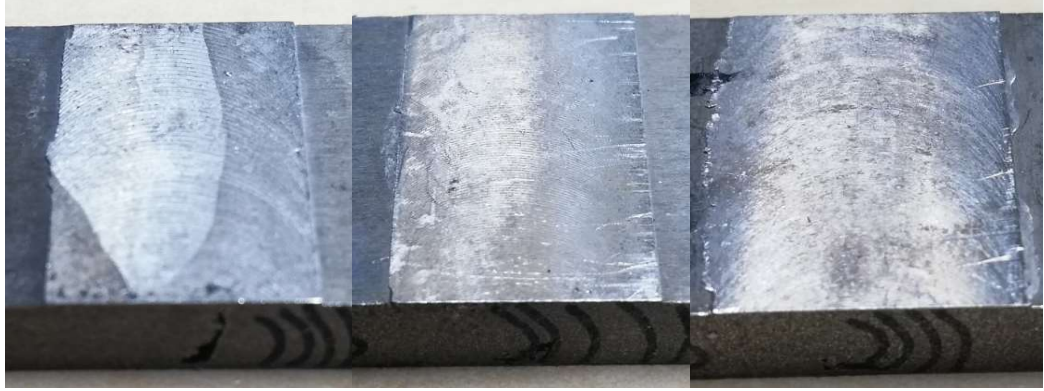
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

5083 H111 için daha önce belirlenen bütün kaynak parametreleri uygulanmıştır. Kimi kaynaklarda gözle görülür hatalar mevcutken, çoğu kaynakta diğer kaynaklara göre düzgün yüzey gözlemlenmiştir. Burada SKK'nın diğer kaynaklara göre en avantajlı olan özelliklerinden biri olan çarpılmanın az olması, yapılan çalışmalarda açıkça gözlenmiştir.

Takımın, giriş ve çıkışının uçlardan olduğu kaynaklarda, giriş ve çıkış bölgelerinde yırtılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Parçalara üstten giriş yapıp, parçanın sonuna kadar gidilmeden çıkış yapılan parçalarda, giriş bölgesinin son derece düzgün olduğu (şekil 1.5), çıkış bölgesinde ise pim çapı kadar anahtar deliği olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı parametreler ile kaynatılan kaynaklar incelendiğinde kaynak dikişi boyunca soğan halkası olarak nitelendirilen eşit aralıklı yarım daireler meydana geldiği görülmüştür. Bu yarım daireler arasındaki mesafenin kaynak hızı ve takım devrine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.1., şekil 4.2. ve şekil 4.3.' de farklı kaynak parametreleri ile birleştirilmiş numunelerin kaynak dikişleri görülmektedir. Takım devri sabit tutulup kaynak hızı azaltıldığında yaylar arasındaki mesafenin daraldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Soldan sağa doğru 1-2-3. kaynaklar (600 RPM 200-100-50 mm/dk).



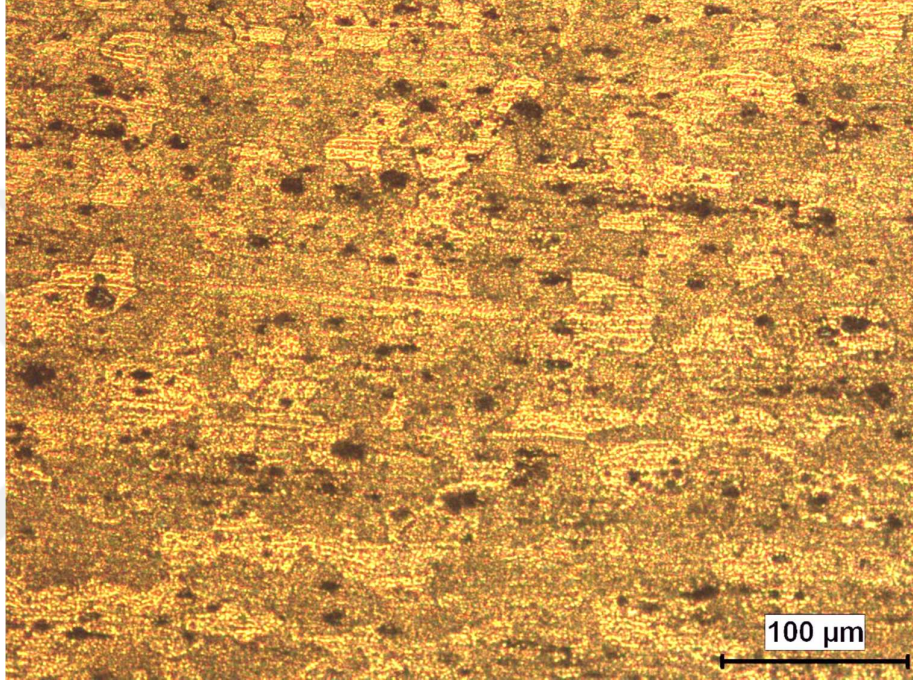
Şekil 4.2. Soldan sağa doğru 4-5-6. kaynaklar (1200 RPM 200-100-50 mm/dk).



Şekil 4.3. Soldan sağa doğru 7-8-9. kaynaklar (1600 RPM 200-100-50 mm/dk).

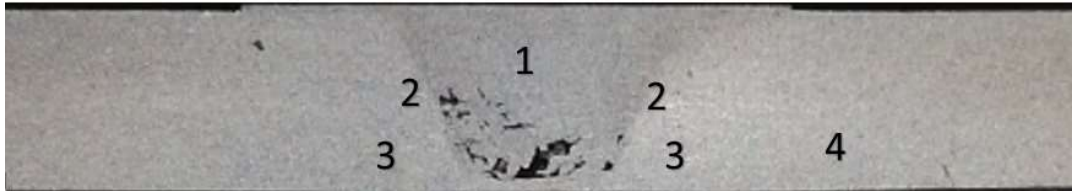
4.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Deneylerde kullanılan 5083 alüminyum alaşımı esas malzeme, şekil 4.4.' de de görüldüğü gibi kaba tanelidir. Bu taneler ortalama $85\mu\text{m}$ - $90\mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. 5083 Alüminyum alaşımının temel malzeme içyapı ve tane boyutları görseli.

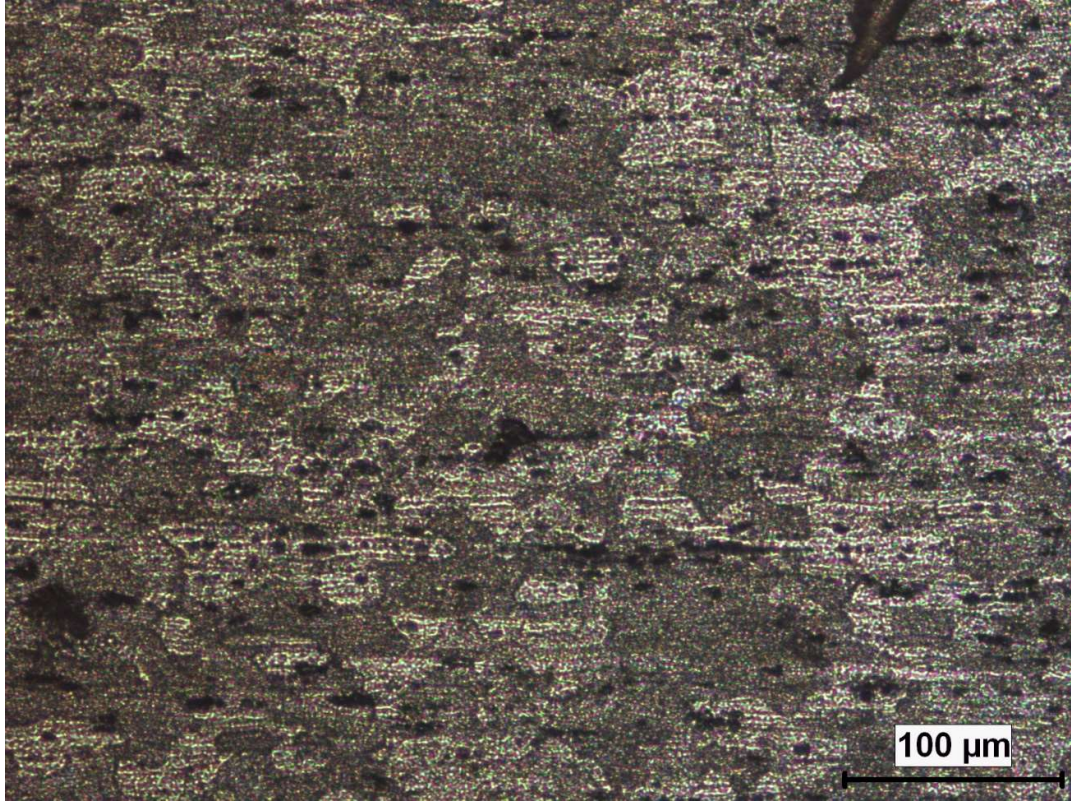
Numunelerin birleştirme bölgeleri incelendiğinde, literatürde belirtilen farklı bölgeler tespit edilmiştir. Şekil 4.5.' de bu bölgeler belirtilmiştir.



Şekil 4.5. Kaynak bölgesinin görseli.

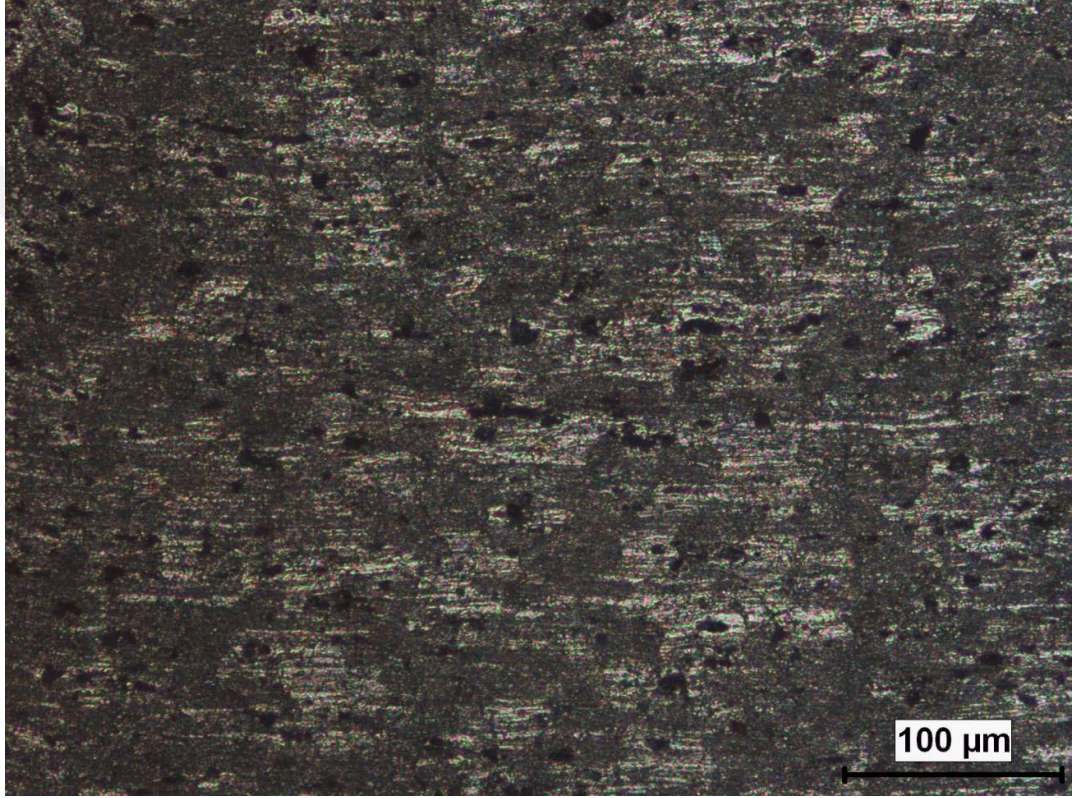
Burada 1 numara ile belirtilen kısım Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DYKB) veya Kaynak Merkezi (KM) , 2 numara ile belirtilen kısım Termo-mekanik Olarak Etkilenen Bölge (TEB), 3 numara ile belirtilen kısım Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve 4 numara ile belirtilen kısım Temel Malzeme (TM) olarak görülmektedir.

3 nolu bölgenin deformasyona uğramış esas metal ile aynı tane yapısı içerdiği görülmektedir (şekil 4.6.). Bu bölgede tane boyutu temel malzemedeki büyüktür. Kaynak esnasında bu bölgedeki sıcaklığın (0,3-0,6T_m) 173°C-345°C arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu bölgede yeniden kristalleşme görülmeyeceği açıktır (Sato ve ark. 2001). Fakat söz konusu sıcaklık ile, temel malzemeye göre tane büyümesi gözlenecektir. Kısaca bu bölgedeki tane büyüklüğü de diğer bölgelerde olduğu gibi kaynak parametrelerinden etkilenmektedir.

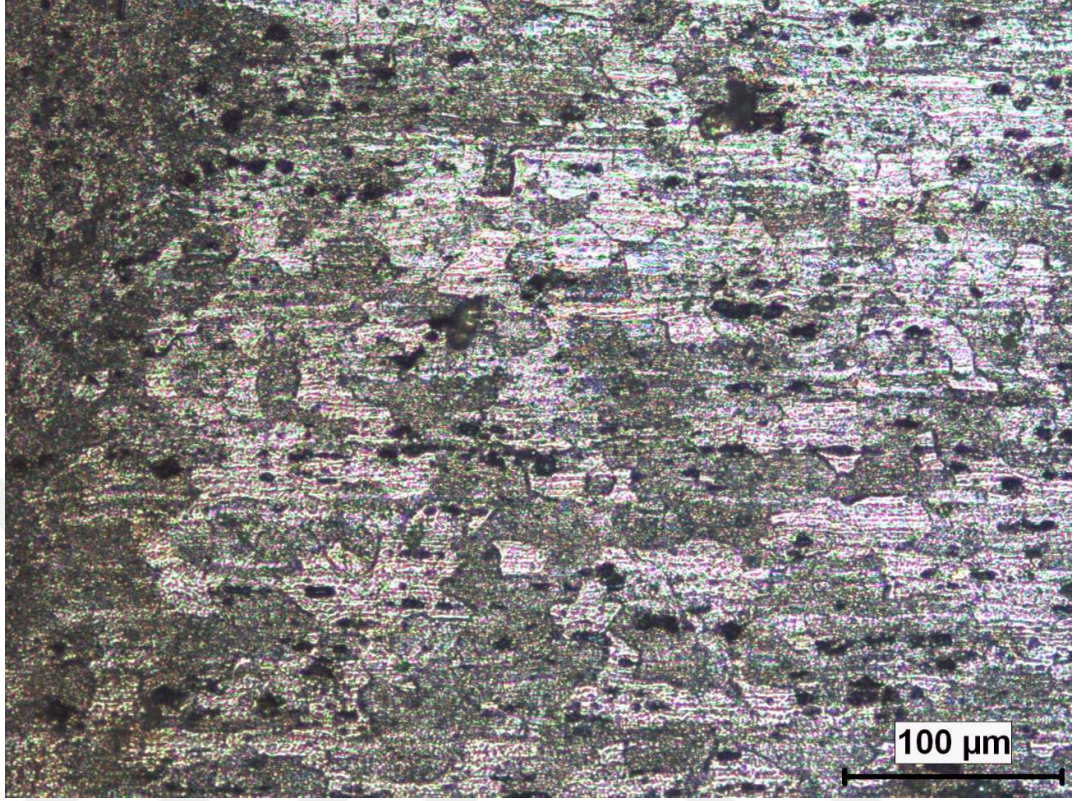


Şekil 4.6. 8. kaynağın 3. bölgesine ait içyapı görseli.

2 nolu bölgede, düzensiz tane sınırları içeren deforme olmuş taneler gözlemlenmektedir (şekil 4.7. 8. kaynak, şekil 4.8. 7. kaynak). Bu bölgede tane boyutu ortalama $50\mu\text{m}$ 'dur ve bu bölge deformasyona uğramış esas malzeme taneleri içerir. Bu bölgedeki işlem sıcaklığı kaynak metalinden düşük, ITAB'dan yüksektir. Dolayısıyla bu kısımda, esas malzemeye göre tane küçülmesi normal olduğu sonucuna varılmıştır.

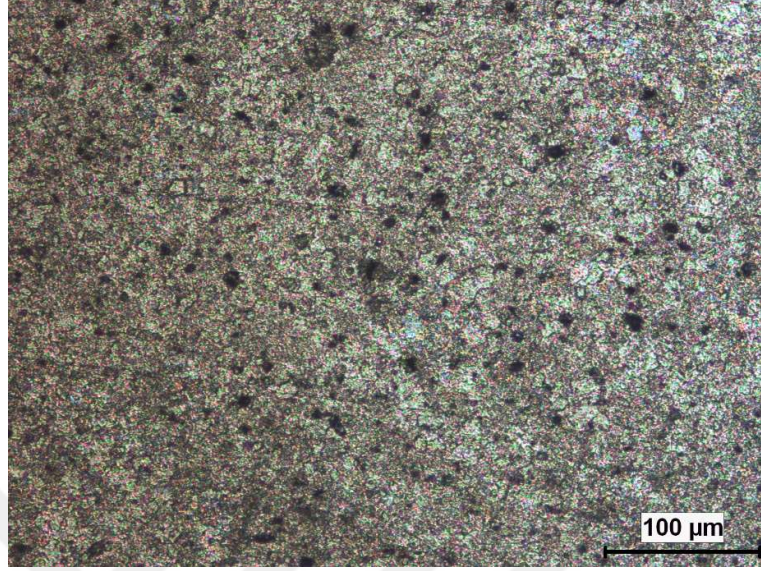


Şekil 4.7. 8. kaynağın 2. bölgesine ait içyapı görseli.



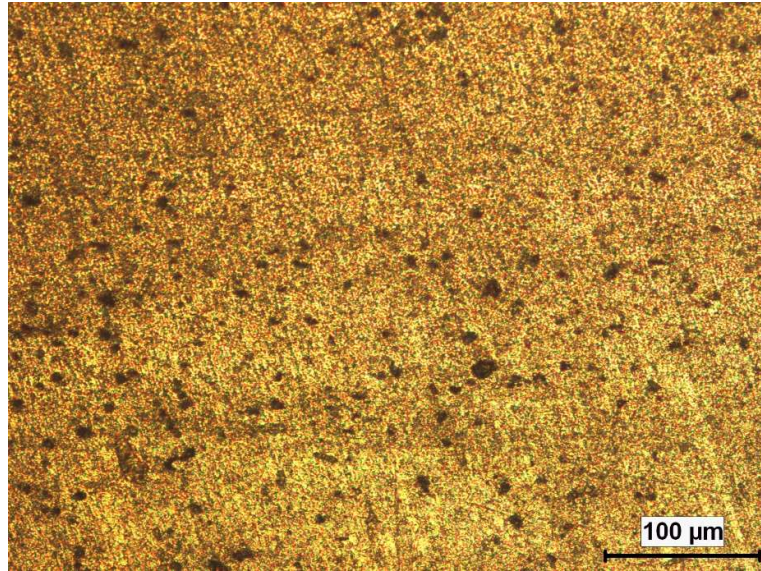
Şekil 4.8. 7. Kaynağın 2. bölgesine ait içyapı görseli.

1. bölgede ise yeniden kristalleşmiş (Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşmiş Bölge), eş eksenli ve küçük tane yapısı gözlenmektedir (şekil 4.9.). Burada da ortalama tane büyüklüğü 15μm kadardır.

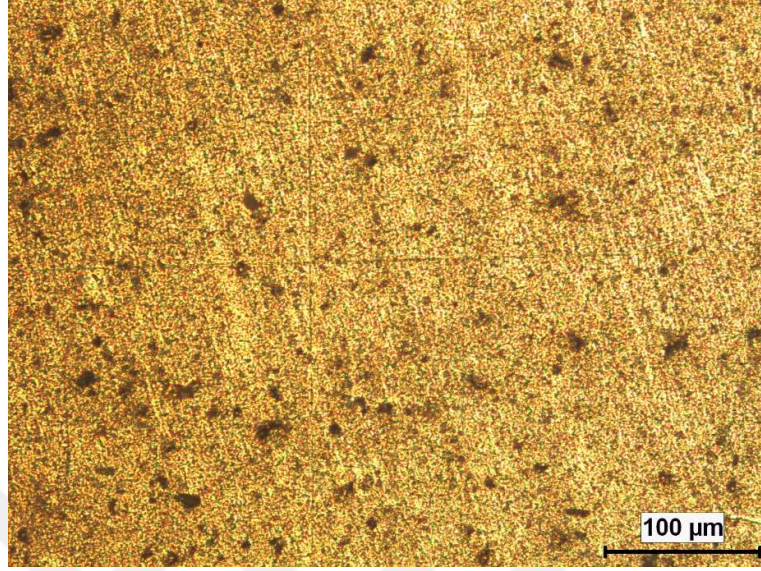


Şekil 4.9. 8. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.

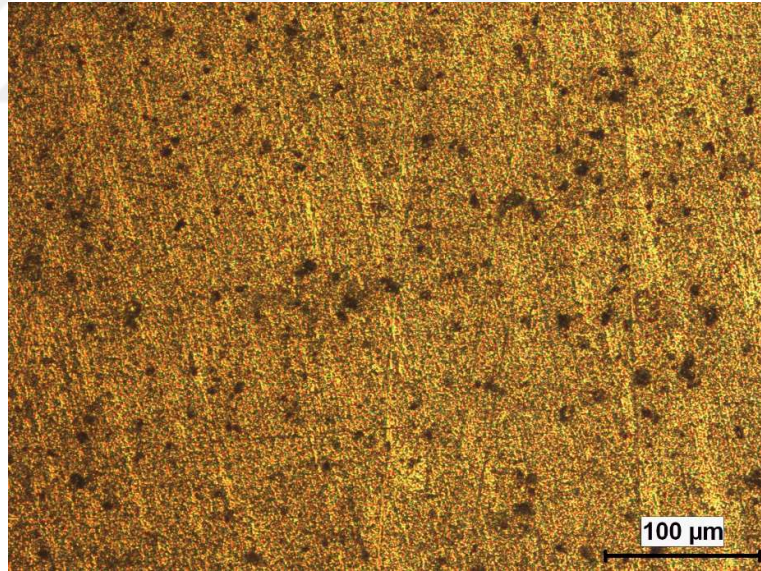
Genel olarak tüm kaynakların kaynak merkezlerinin iç yapıları (şekil 4.10. , şekil 4.11. , şekil 4.12. , şekil 4.13. , şekil 4.14. , şekil 4.15. , şekil 4.16. , şekil 4.17. , şekil 4.18.) birbiri ile benzemektedir.



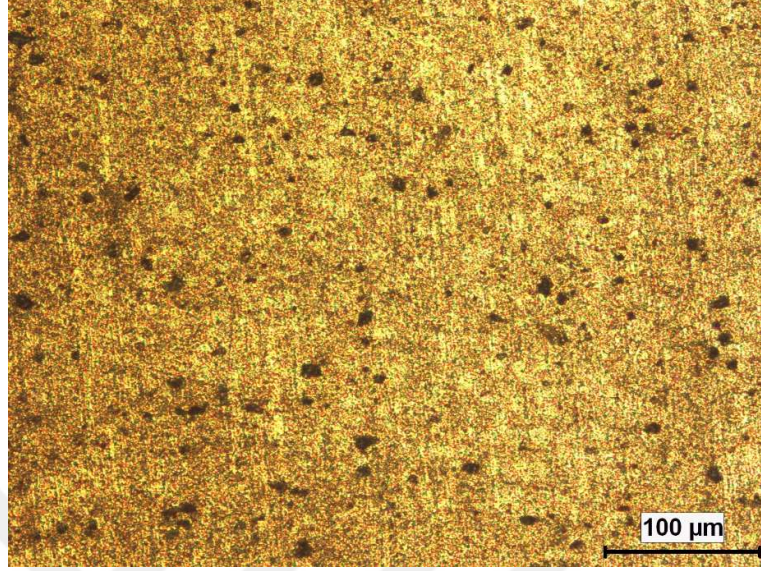
Şekil 4.10. 1. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



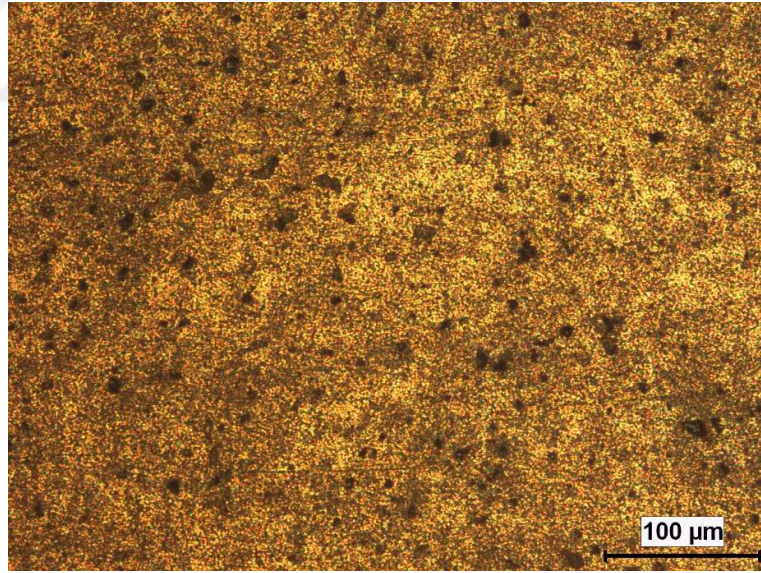
Şekil 4.11. 2. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



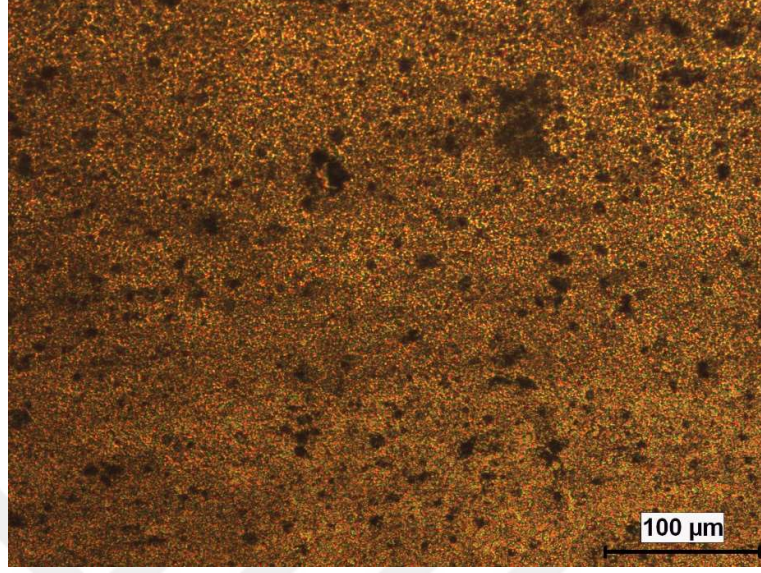
Şekil 4.12. 3. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



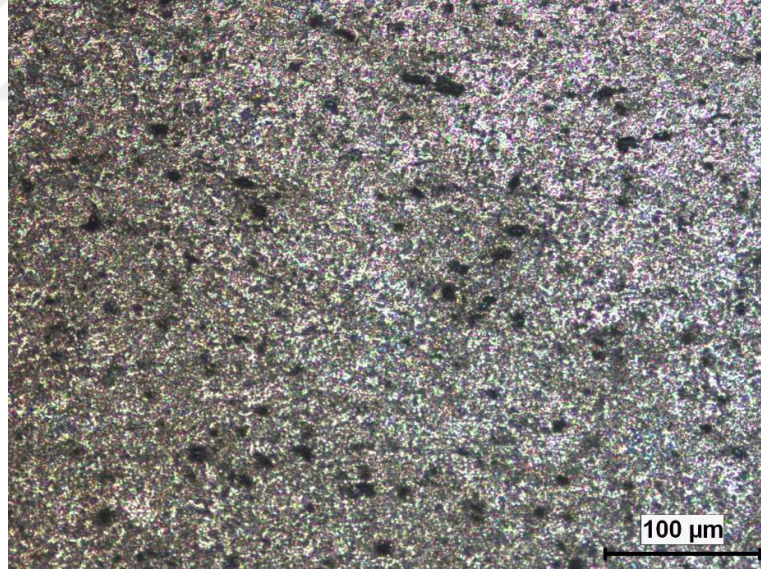
Şekil 4.13. 4. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



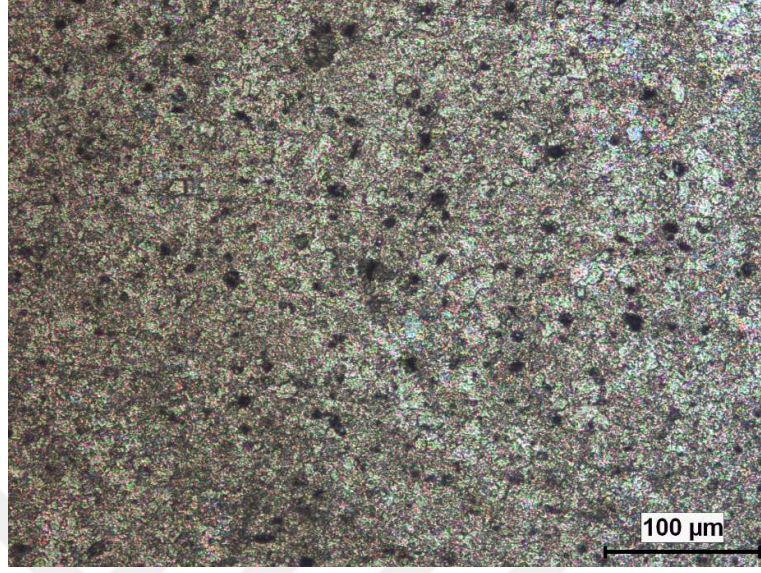
Şekil 4.14. 5. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



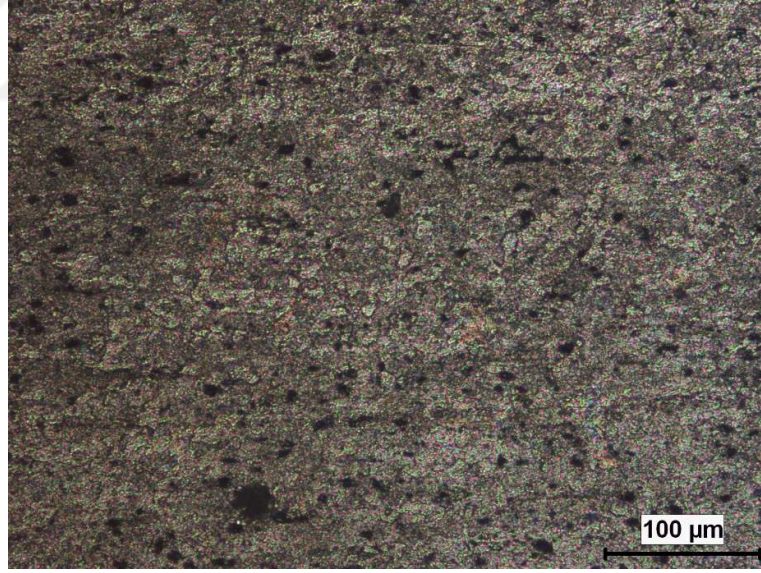
Şekil 4.15. 6. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.



Şekil 4.16. 7. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.

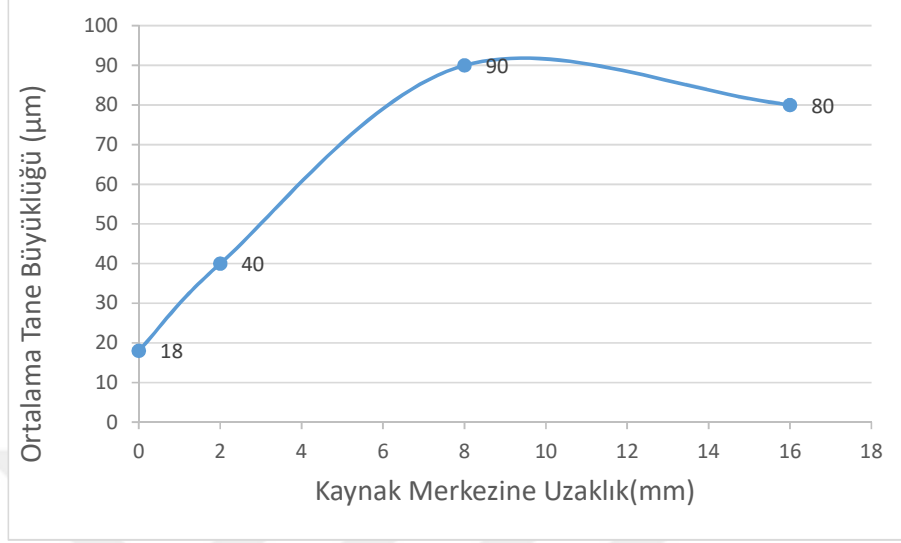


Şekil 4.17. 8. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.

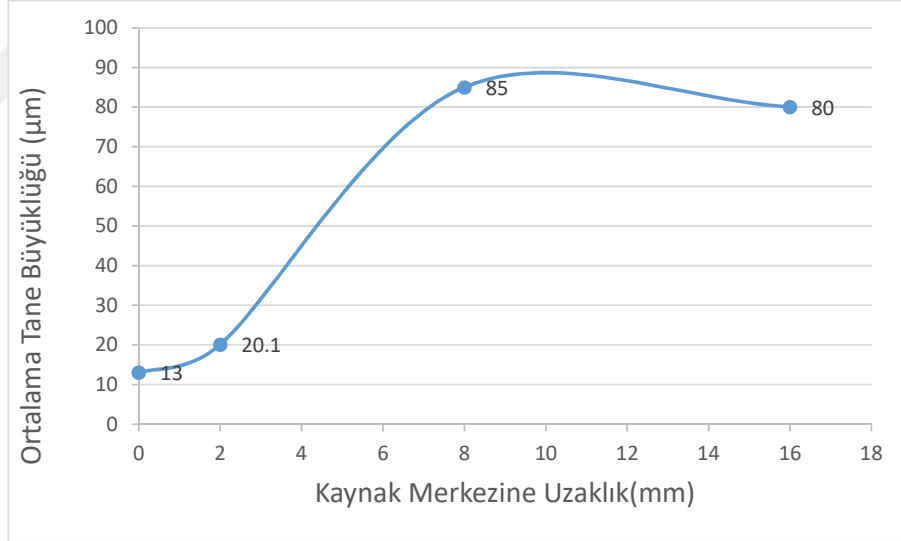


Şekil 4.18. 9. kaynağın 1. bölgesine ait içyapı görseli.

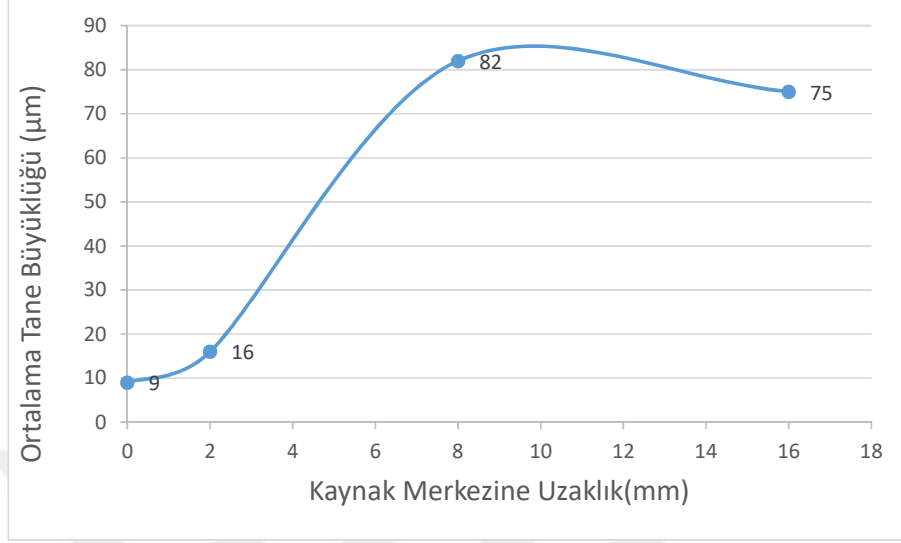
Kaynakların merkezden itibaren ortalama tane boyutları şekil 4.19. , şekil 4.20. , şekil 4.21. de verilmiştir.



Şekil 4.19. 2. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklükleri (µm).



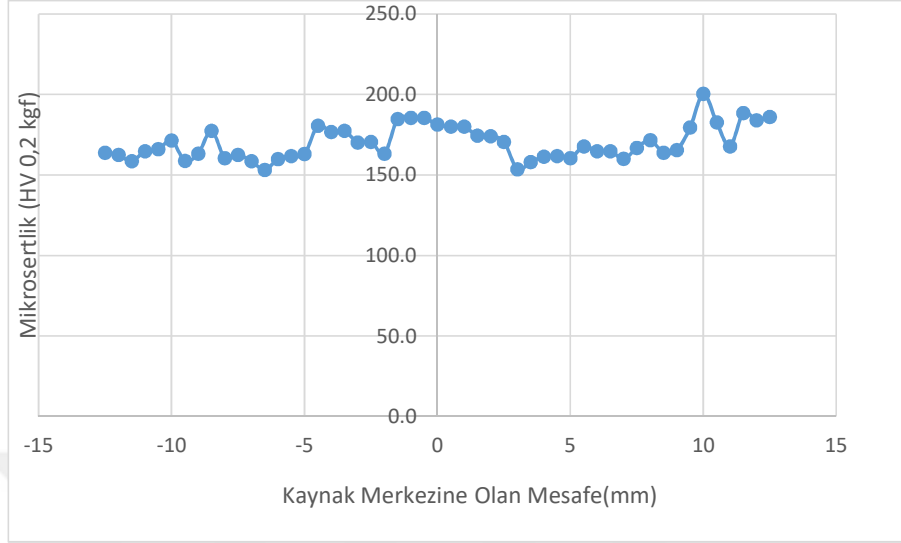
Şekil 4.20. 5. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklükleri (µm).



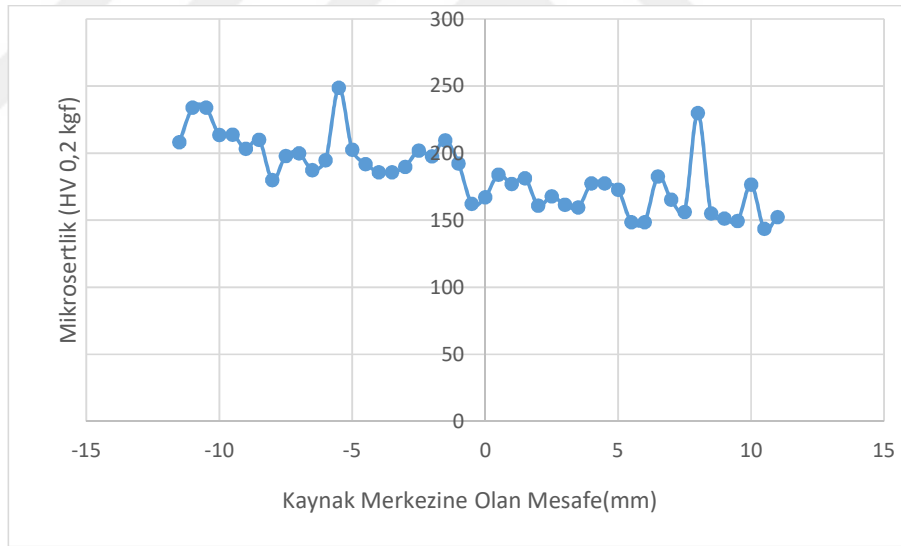
Şekil 4.21. 8. kaynağın merkezden itibaren ortalama tane büyüklükleri (μm).

4.3. Mikrosertlik Sonuçları

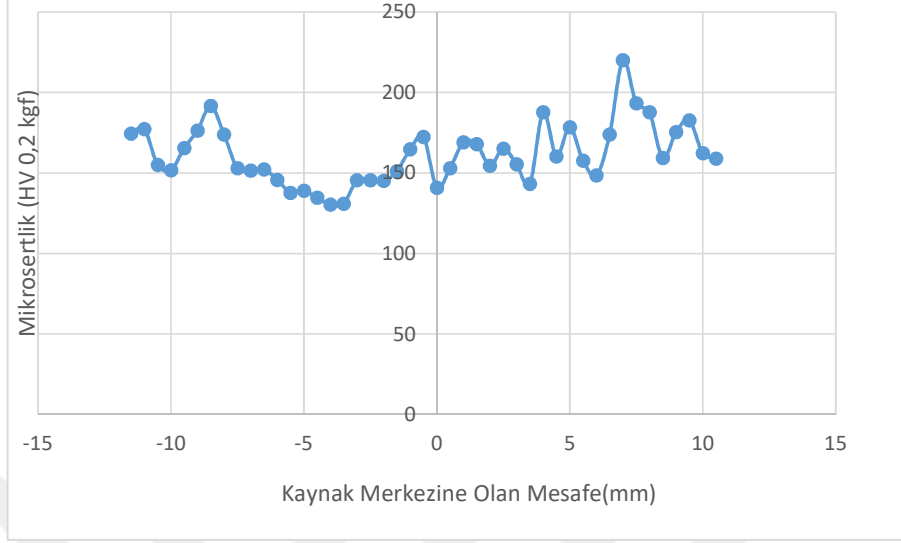
5000 serisi alüminyum alaşımlarının klasik kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ile oluşan yüksek sıcaklığın, özellikle ısıdan etkilenen bölge (ITAB)'de yeniden kristalleşme ve tane büyümesine neden olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu alaşımların dayanım ve sertlik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. Buna karşın yapılan çalışmalarda SKK ile 5000 serisi alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde bu tür problemlerle karşılaşıldığı görülmemiştir (Elif Malyer 2010). Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen 5083-H111 alüminyum alaşımının kaynak bölgesinde yapılan mikrosertlik ölçümlerinde, kaynak bölgesinde, çok farklı bir sertlik düşüşüne rastlanmamıştır. Kaynak işlemi uygulanmamış esas malzemenin mikrosertliğinin 150-160 HV, kaynaklı numunelerden alınan sertlik değerlerinin minimumunun 180 HV ve maksimumunun 270 HV olduğu göz önüne alındığında, diğer kaynak yöntemlerine kıyasla, kaynak bölgesinde sertlik düşüşü olmadığı görülmüştür. Şekil 4.22. , şekil 4.23. , şekil 4.24' de numunelere ait mikrosertlik grafikleri verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere 1200 RPM takım devrine kadar sertlik değerinin arttığı, daha sonrasında devir yükseldikçe sertlik değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.22. 2 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.



Şekil 4.23. 6 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.



Şekil 4.24. 7 nolu kaynağın mikrosertlik dağılımı grafiği.

4.4. Çekme Deneyi Sonuçları

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçalardan, Metalik Malzemelerin Çekme Deney Standardı EN ISO 6892 standardına göre çekme numuneleri hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Deney sonucu için bir örnek şekil 4.25. ' da verilmiştir. Malzemenin kaynaksız ana malzemesi ile kaynaklı numuneler kıyaslanmıştır.



Şekil 4.25. Çekme işlemi sonrası parça görselleri.

Örnek bir raporlamayı çizelge 4.1. ' de ve şekil 4.26.' da bulabilirsiniz.

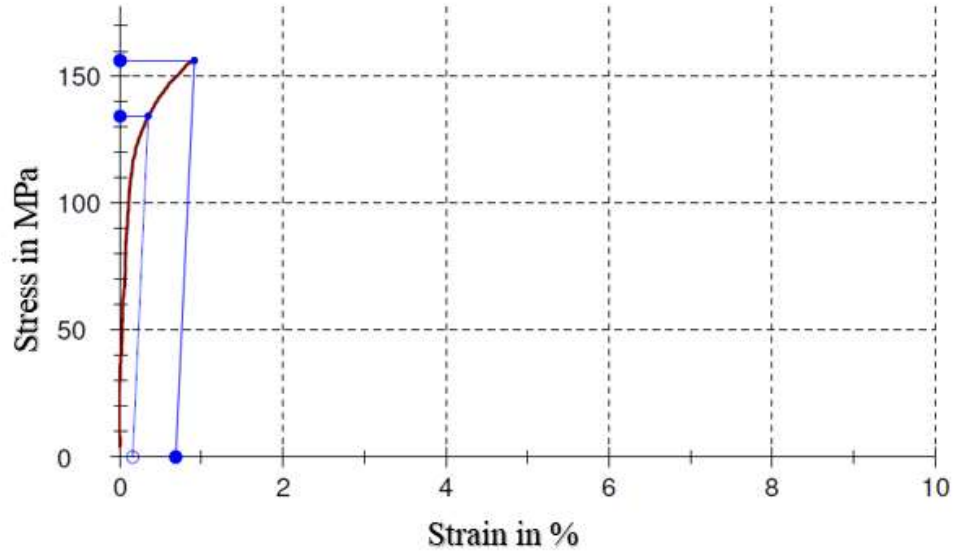
Parçaların çekme işlemi bittikten sonra makinadaki özel program ile raporlanması yapılmıştır. Çekme testi sonuçları çizelge 4.2. ' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Örnek bir test sonucu.

Test sonuçları:










Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Yön	Akma Rp 0,2 N/mm ²	Çekme Muk. N/mm ²	Ag %	Uzama %	\bar{r}	n	nm
1	5,01	19,98	50,00	0	134,34	156,25	0,73	0,73	-	-	

Grafikler:



Şekil 4.26 Örnek bir test grafiği.

Çizelge 4.2. Çekme testi sonuçları.

	Devir [RPM]	Kaynak hızı [mm/dk]	Çekme mukavemeti [MPa]	ORTALAMALAR (STANDART SAPMASI)	YORUMLAR	
1	600	200	37,95	48,17 (10.2)	Çatlak KM'de, yığılma bölgesine yakın oluşmuştur.	
	600	200	48,25			
	600	200	58,33			
2	600	100	133,01	132,07 (2.85)	Çatlak KM'de, ilerleme bölgesinden başlayıp altta KM'de bitmiştir.	
	600	100	128,87			
	600	100	134,34			
3	600	50	169,91	170,94 (17.6)	Çatlak KM'de oluşmuştur.	
	600	50	189,07			
	600	50	153,86			
4	1200	200	72	76,24 (4.9)	Çatlak KM'de, ilerleme bölgesinden başlayıp altta KM'de bitmiştir.	
	1200	200	75			
	1200	200	81,74			
5	1200	100	138,51	136,93 (3.33)	Çatlak KM'de oluşmuştur.	
	1200	100	133,1			
	1200	100	139,18			
6	1200	50	156,25	152,19 (3.64)	Çatlak KM'de oluşmuştur.	
	1200	50	151,13			
	1200	50	149,19			
7	1600	200	4,12	4,25 (0.11)	Çatlak KM'de, yığılma bölgesinden başlayıp altta KM'de bitmiştir.	
	1600	200	4,32			
	1600	200	4,32			
8	1600	100	145,82	151,35 (5.96)	Çatlak KM'de oluşmuştur.	
	1600	100	150,56			
	1600	100	157,68			
9	1600	50	172,91	169,98 (8.24)	Çatlak KM'de oluşmuştur.	
	1600	50	160,67			
	1600	50	176,36			

4.5. Taguchi Deney Bulguları

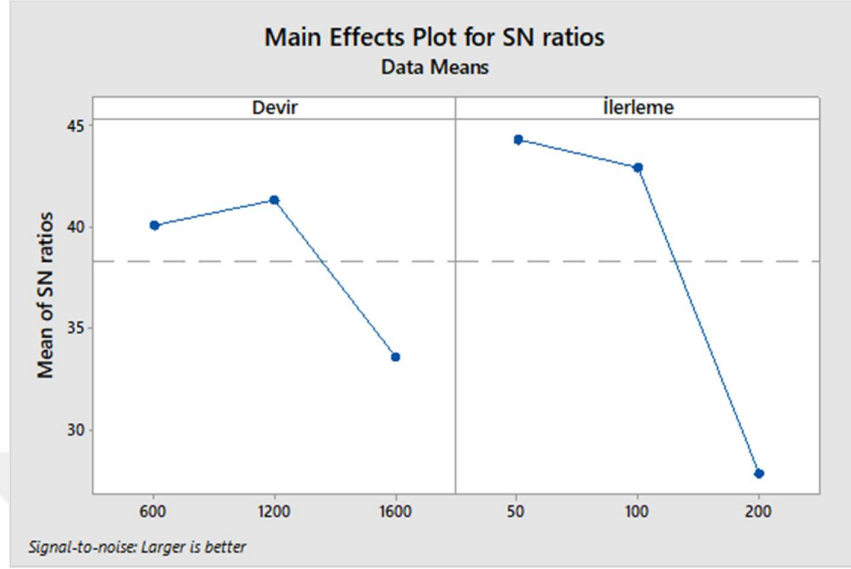
Kaynak Mukavemeti:

Devir ve kaynak ilerleme hızı düşük olduğunda akma ve çekme mukavemeti yüksek çıkmıştır. Düşük devir ve düşük ilerleme hızı, SKK için ihtiyaç olan sıcaklığı optimumda oluşturmuştur. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için S/N (larger is better) oranları verilmiştir (şekil 4.27.) Ayrıca deney tasarımı ve Taguchi' de hesaplanan değerler, aşağıdaki çizelge 4.3. 'te verilmiştir.

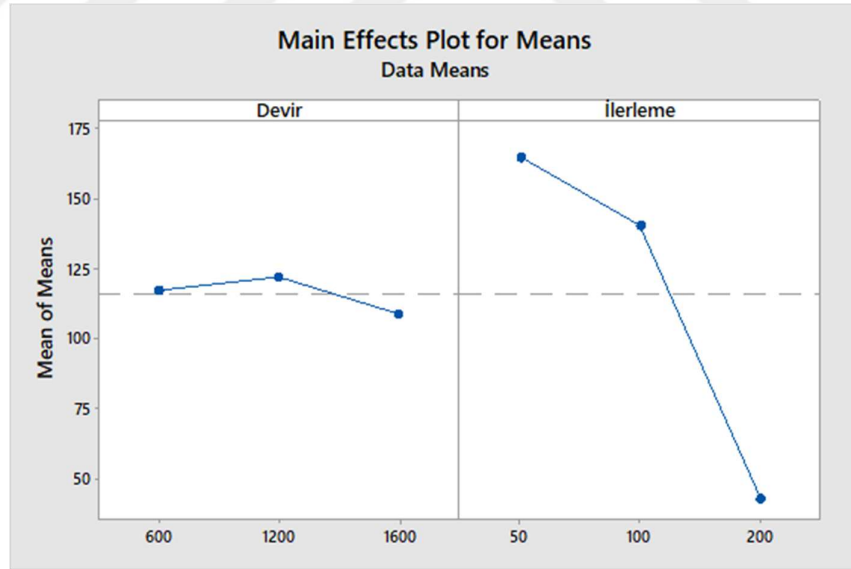
Çizelge 4.3. Taguchi'de hesaplanan değerler.

Devir [RPM]	İlerleme [mm/dk]	1 [MPa]	2 [MPa]	3 [MPa]	Sinyal Gürültü Oranı	Deney Sonuçlarının Standart Sapmaları	Deney Sonuçlarının Aritmetik Ortalamala [MPa]	Taguchi ile her bir set için tahmin edilen ortalama mukavemet [MPa]
600	200	37.95	48.25	58.33	33.26	10.19	48.18	44.16
600	100	133.01	128.87	134.34	42.41	2.85	132.07	141.39
600	50	169.91	189.07	153.86	44.57	17.63	170.95	165.64
1200	200	72	75.00	81.74	37.61	4.99	76.25	48.89
1200	100	138.51	133.10	139.18	42.72	3.33	136.93	146.11
1200	50	156.25	151.13	149.19	43.64	3.65	152.19	170.37
1600	200	4.12	4.32	4.32	12.57	0.12	4.25	35.63
1600	100	145.82	150.56	157.68	43.59	5.97	151.35	132.85
1600	50	172.91	160.67	176.36	44.59	8.25	169.98	157.11

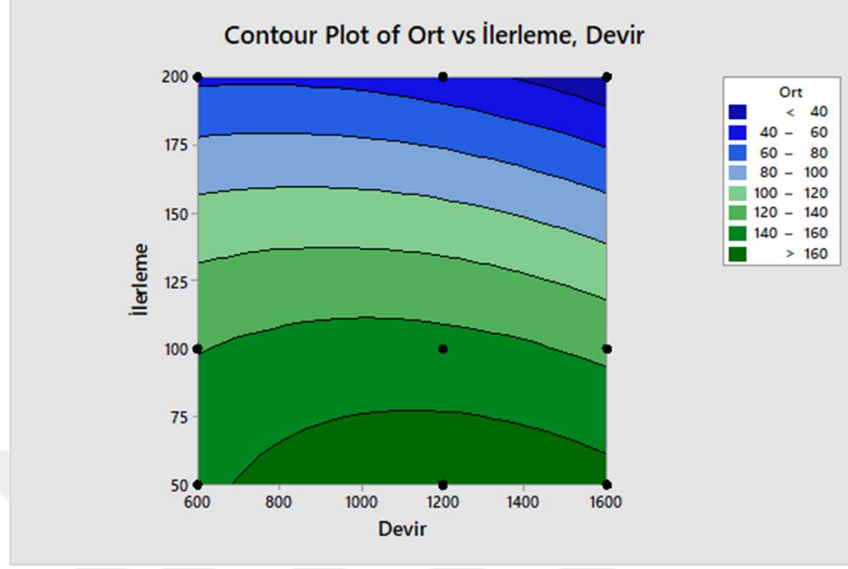
SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için ortalamalarının temel etki grafiklerini şekil 4.28' de ve şekil 4.29. 'da SKK yönteminde, kaynak parametlerine bağlı olarak kaynak mukavemeti değişimi verilmiştir.



Şekil 4.27. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için S/N (larger is better) oranları.



Şekil 4.28. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için ortalamalarının temel etki grafikleri.



Şekil 4.29. SKK yönteminde kaynak parametlerine bağlı olarak kaynak mukavemeti değişimi.

Çizelge 4.4. SKK ile kaynak edilen numunelerin kaynak mukavemeti için ANOVA analizi.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Devir	2	271	271	135.5	0.19	0.831
İlerleme	2	24798.6	24798.6	12399.3	17.80	0.010
Error	2	2786.6	2786.6	696.6		
Total	8	27856.2				

Çizelge 4.4.' de 2 parametrelili ANOVA tablosu verilmiştir. Bu tablo değerlerinden faydalanarak katkı oranı hesaplandığında, devrin etkisi çok düşük olarak çıkacaktır. Ancak bizim açımızdan baktığımızda, mukavemet değerinde de ısı girdisinin büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Devir parametresinin kaynağa etkisi çok daha yüksek olsa da kullandığımız aralıkta etki aralığı çok kısıtlı kalmıştır. Kaynaklarda oluşan tünel hatası da, devrin etkisini yeterli görememize sebep olmuştur.

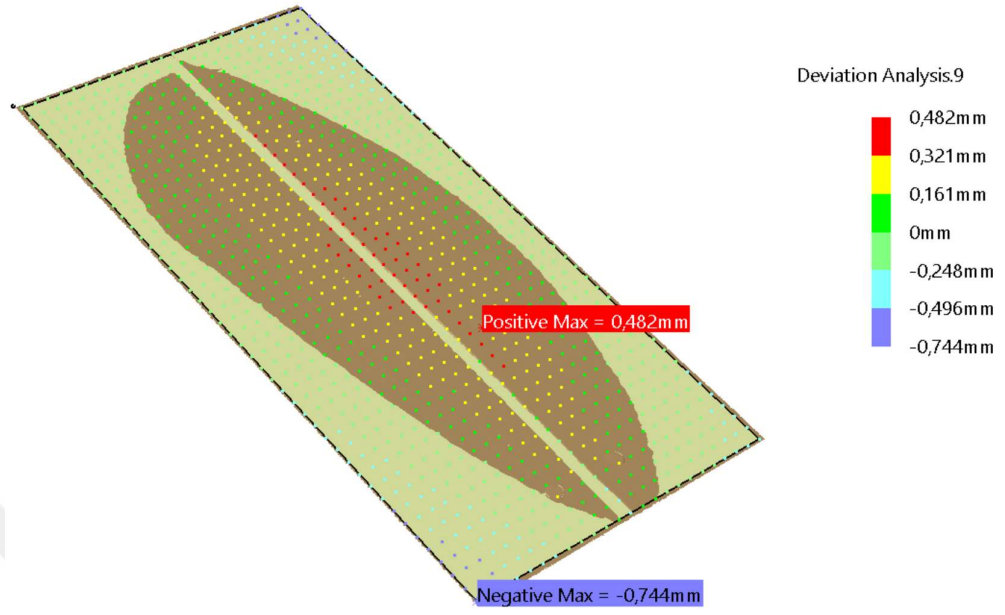
4.6. SKK' nın, TIG ve MIG Kaynakları İle Atıklık Açısından Kıyaslanması

SKK kaynağının diğer kaynaklara göre en avantajlı olan özelliklerinden birinin, parça çarpılmasının en az olduğu yukarıdaki açıklamalarda verilmiştir. Bunu kanıtlamak amacıyla ATOS cihazı ile kaynaklar taranmış ve çarpılmalar kıyaslanmıştır. Şekil 4.30. 'da ATOS cihazı ile tarama işleminin görüntüsü verilmiştir.

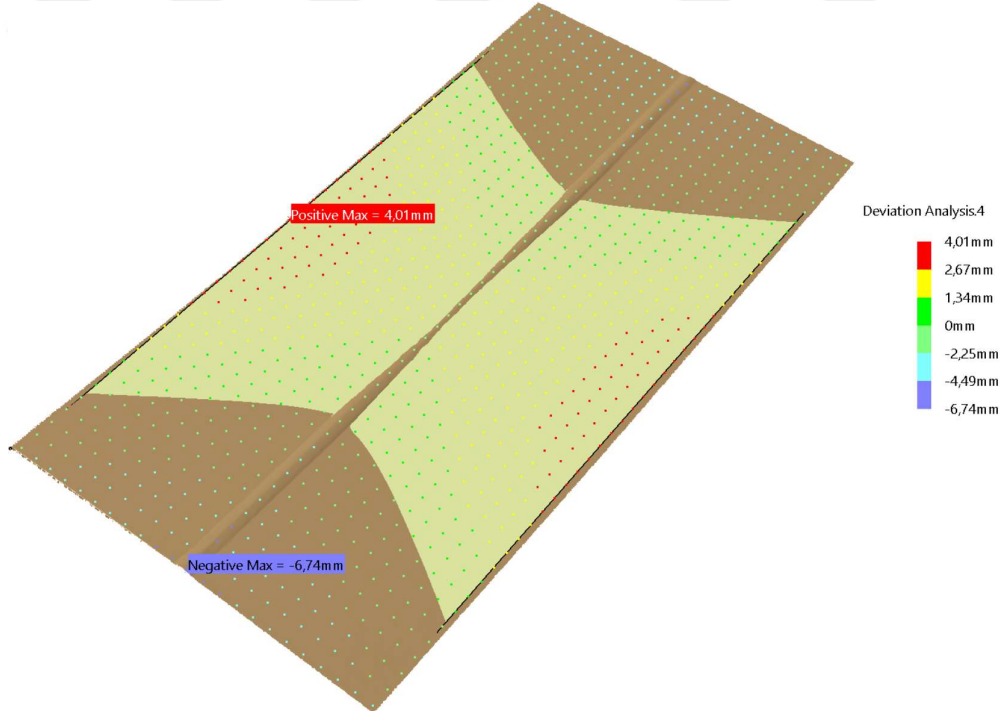


Şekil 4.30. ATOS cihazı ile yüzey tarama işleminin görüntüsü.

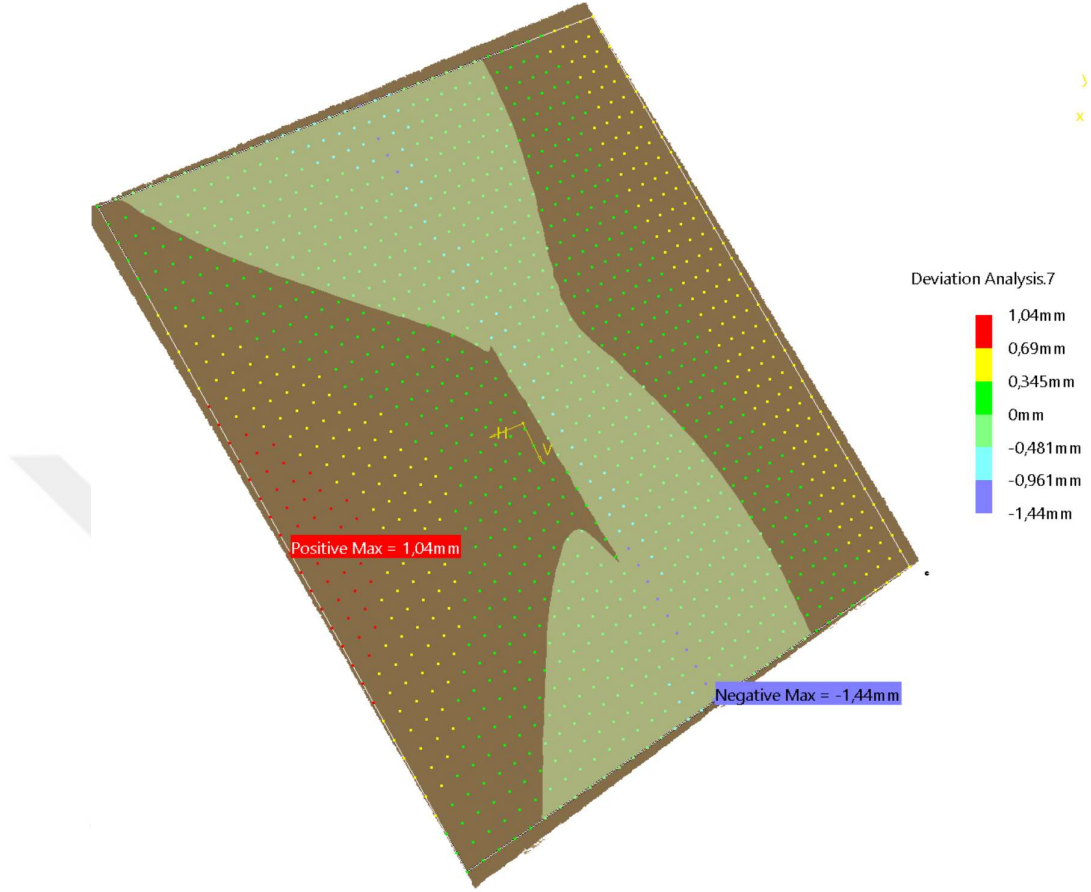
SKK, TIG ve MIG kaynakları ile kaynaklanmış numuneler taranmış ve kıyaslanmıştır. Şekil 4.31.' de SKK, şekil 4.32.'de MIG ve şekil 4.33.'te TIG kaynağı yüzey taramaları sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.31. SKK yüzey taraması sonucu.



Şekil 4.32. MIG kaynağı yüzey taraması sonucu.



Şekil 4.33. TIG kaynağı yüzey taraması sonucu.

Görüldüğü üzere SKK 'da 0.744 mm atıklık, MIG kaynağında 6.74 mm atıklık ve TIG kaynağında 1.44 mm atıklık oluşmuştur. Yani sonuç olarak 0.744 mm atıklık ile minimum atıklık, düşük ısı girdisine sahip SKK kaynağında oluşmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 5mm kalınlığındaki 5083 H111 Al. plakaları, omuz çapı 15mm, pim çapı 5mm olan uç ile SKK yöntemi kullanılarak kaynaklanabilmiştir.
- Pim ucunun gövdeye bağlandığı kısmın radiusunun büyük olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.
- Bu çalışma için SKK yönteminde kaynak hızının etkisinin daha fazla olduğu tespiti yapılmıştır.
- SKK kaynağında, kaynak bölgelerinin iç yapısına bakıldığında 3 bölgeye ayrıldığını ve KM'den ITAB'ye kadar tanenin büyüdüğü gözlemlenmiştir.
- Kaynak devrinin 1200 RPM' e kadar mikrosertlik üzerinde olumlu etkisi varken, bu devirden sonrası olumsuz etkidiği görülmüştür.
- Kaynak merkezi mikrosertliklerine bakıldığında, konveksiyonel kaynaklarda olduğu gibi önemli bir sertlik düşüşünün olmadığı gözlemlenmiştir.
- SKK kaynağının diğer kaynak çeşitlerine göre en büyük avantajı, hemen hemen hiç çarpılmanın olmayışdır.
- En yüksek mukavemetin alındığı parametreler 600 RPM, 50mm/dk iken en düşük mukavemetin alındığı parametreler 1600 RPM, 200 mm/dk kaynak hızı olarak görülmüştür.
- Kaynaklamalar sırasında birçok hata ile karşılaşmıştır. Kaynak içindeki boşluğun takım geometrisi ile alakalı olduğu anlaşılmış ve geometri değişimine gidilerek, optimum sayılabilecek kaynak parametreleriyle boşluk giderilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aydın H. 2008** Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmiş Yaşlandırılabilir Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin Ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Bursa
- Çam G. 2014** Recent Developments In Friction Stir Welding
- Demir U. 2017** Using Taguchi Method In Defining Critical Rotor Pole Data Of Lspmsm Considering The Power Factor And Efficiency
- Dilek M. 2006** Mechanical Properties Of Different Aluminum Alloys
- J. Martin 2017** Friction Stir Welding, The Welding Institute, Uk
- Jain S. 2017** Dissimilar Alloys (Aa6082aa5083) Joining By Fsw And Parametric Optimization
- Jasri M.A.H.M. 2014** Friction Stir Welding Of Aluminum Alloy 5083 Butt Joint Using Modified Milko 37 Milling Machine
- Kissel J. R. 2002** Aluminium Structures. John Willey & Sons. Inc.
- Kundu J. 2016** And Hari Singh 2016 Friction Stir Welding Of Aa5083
- Li J. Q. 2015** Optimization Of Welding Parameters For The Reverse Dual-Rotation
- Malyer E. 2010** Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen 5000 Serisi Alüminyum Alaşımlarında Kaynak
- Mishra R.S. 2005** Z.Y. Ma, *Mater. Sci. Eng.* R 50 (2005) 1–78.
- Mohd Nor M. K. 2014** Effects Of Temperature And Strain Rate On Commercial Aluminum Alloy AA5083
- Mosleh A.O. 2015** F.H. Mahmoud, T.S. Mahmoud And T.A. Khalifa 2015 Microstructure And Static Immersion Corrosion Behavior Of Aa7020-O Al Plates Joined By Friction Stir Welding
- Oğuz B. 1985** Karbonlu Ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı, , *Oerlikon Yayini*
- Padhy G.K. 2018** C.S. Wu*, S. Gao 2018 Friction Stir Based Welding And Processing Technologies - Processes,Parameters, Microstructures And Applications A Review
- Said M.T.S.M. 2016** Experimental Study On Effect Of Welding Parameters Of Fsw On Alu Aa5083 T Joint
- Saravanakumar R. 2018** Et Al 2018 *Iop Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 402 012187

Sato Y. S. 2001 Retention of Fine Grained Microstructure of Equal Channel Angular Pressed Aluminium Alloy 1050 by Friction Stir Welding. *Scripta Materialia*.

Scupin P.J. 2015 Semi-Stationary Shoulder Bobbin Tool (S3bt) A New Approach In High Speed

Serindağ H. T. 2014 Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Sürtünme Karıştırma Kaynağının Modellenmesi

Şirvancı M. 1997 *Kalite İçin Deney Tasarımı 'Taguçi Yaklaşımı'* Cilt:Savaş Ciltevi Eylül 1997

Yazdipour A.R. 2011 A. Shafiei M2 And H. Jamshidi Aval2 2011 An Investigation Of The Microstructures And Properties

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur AKYEL
Doğum Yeri ve Tarihi : ISTANBUL 20.02.1989
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Çelebi Mehmet Lisesi
Lisans : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Umkar Sünger Poliüretan Tekstil Türiizm Otomotiv A.Ş.
Üretim Sorumlusu

FKT Koltuk Sistemler A.Ş TÜRKİYE Ar-Ge
Ar-Ge Mühendisi

Coşkunöz Holding Ar-Ge
Ürün Geliştirme Sorumlusu

İletişim (e-posta) : onurakyel058@hotmail.com