KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİKEL TOZ KAPLANMIŞ AA1050 VE AA5754 ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YUNUS EMRE BAYDAK

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİKEL TOZ KAPLANMIŞ AA1050 VE AA5754 ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YUNUS EMRE BAYDAK

Prof.Dr. Mehmet Uçar
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr. Halil Demirer
Jüri Üyesi, Marmara Üniv. .....

Doç.Dr. Hasan Kaya
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 03.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, yüksek hızlı oksijen püskürtme yöntemi (HVOF) kullanılarak, nikel tozu ile kaplanmış alüminyum alaşımlarının, sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Tezimin bu seviyelere gelmesinde büyük emeği geçen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Uçar'a, Doç. Dr. Hasan Kaya hocama ve maddi, manevi destekleriyle, koşulsuz olarak sürekli yanımda olan değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran - 2019 Yunus Emre BAYDAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. ALÜMİNYUM MALZEMESİ 2
1.1. Alüminyum Nasıl Üretilir 2
1.2. Alüminyum Alaşımları ve Serileri 2
1.2.1. Isıl işlem uygulanamayan işlem ve döküm alüminyum alaşımları 2
1.2.1.1. 1xxx serisi alaşımlar 2
1.2.1.2. 3xxx serisi alaşımlar 2
1.2.1.3. 5xxx serisi alaşımlar 2
1.2.2. Isıl işlem uygulanabilen işlem alüminyum alaşımları 3
1.2.2.1. 2xxx serisi alaşımlar 3
1.2.2.2. 6xxx serisi alaşımlar 3
1.2.2.3. 7xxx serisi alaşımlar 3
2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞINA GENEL GİRİŞ 4
2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Mukavemet Özelliklerini Etkileyen Faktörler 4
2.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı İçin İlave Metalleri 5
2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Yapılabilirlikleri 6
2.4. Katı Hal Kaynak Yöntemleri 6
3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI 7
3.1. Kaynak Düzeneği ve Yapılışı 9
3.2. İşlemin İlkesi 9
3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları 10
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 11
4.1. Sürtünme Karışımlı Nokta Kaynağı İle Birleştirilecek Malzemelerin Tasarımı 11
4.2. AA5754 Alüminyum Alaşımlı Levhaların Kaynak Bölgelerinde Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtı (HVOF) Püskürtmeli Nikel Tozu Kaplama 11
4.3. Takım Ucu Geometrisi, İmalatta Malzemelerin Tasarımı ve Talaşlı İmalat Üretimi 13
4.4. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Kullanılan Çelik Kalıp Tasarımı ve Frezeleme İşlemi 14
4.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgâhı 15
4.6. Kaynak Sonrası Metalografik Numune Hazırlama ve Mekanik Test 16
4.7. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Farklı Mikro Sertlik Ölçüm Bölgeleri 18
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR 19

5.1. Kaynak Sonrası Çekme Testi Yapmanın Fraktografisi 20
5.2. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum Alaşımlı Levhalarda SKNK Birleşim Yerinin Mikro Sertlik Dağılım Analizi 22
5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) Kullanılarak Numunelerin Mikroyapı ve Kırılma Yüzey Analizi 25
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 27
KAYNAKLAR 29
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 32
ÖZGEÇMİŞ 33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. SKNK yöntemi işlem basamakları 9
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin şematik gösterimi 10
Şekil 4.1. HVOF kaplama SEM görüntüsü ..…….. 12
Şekil 4.2. Enerji dağıtıcı spektroskopi (EDS) analizinin yüzeyini kaplayan yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) nikel tozu 12
Şekil 4.3. Yüksek hızlı oksijen yakıtı nikel tozu püskürtme tabancası (HVOF) ve yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) yönteminin nikel tozu kaplı yüzeyi 13
Şekil 4.4. Konik uç tipine sahip 3.4 mm ve 3.8 mm uzunlukta sürtünme karıştırma nokta kaynağı aracı 13
Şekil 4.5. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için sürtünme karıştırma nokta kaynağı SKNK işlem adımlarının şematik gösterimi 14
Şekil 4.6. Freze tezgahında AA5754/Ni/ AA1050 alüminyum alaşım plakaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı işlemi 14
Şekil 4.7. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan freze tezgahı ve kaynak edilecek parçanın kalıpla freze tezgahına bağlama pabuçlarıyla sabitlenmesi 15
Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sürtünme karıştırma kaynağı noktasındaki kaynak ağzının enine kesitinin mikro yapısı 16
Şekil 4.9. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhaların ASTM E8M-04 standardına uygun çekme kuvveti örneklerinin boyutu. 16
Şekil 4.10. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinde sürtünme karıştırma noktası kaynağı ile yüksek hızda oksijen yakıtı (HVOF) püskürtülür. 17
Şekil 4.11. Kesme gerilme numuneleri AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum alaşımlı levhaların ara yüzey tipi kırılma tipi; a, b 3.4mm dalma derinliği ve c, d 3.8mm dalma derinliği. 17
Şekil 4.12. AA5754 / Ni / AA1050 kaynaklı alüminyum alaşımlı levhaların a -3.4mm ve b- 3.8mm dalma derinliklerinde sürtünme karıştırma nokta kaynağı kesit metalografik altın kaplı örnekleri 18
Şekil 4.13. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin mikro sertlik dağılımları 18
Şekil 4.14. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalardaki SKNK derzinin mikro sertlik izleri 19
Şekil 5.1. 3.4 ve 3.8 mm dalma derinliklerinde ve 7-9sn kalmasının çekme dayanımı ve gerilme grafiği… ….……20
Şekil 5.2. Kaynak bölgelerinde nikel partiküllerinin mükemmel sürtünme karışımı ve dağılımı a- Sol yan duvarın kaynağı b- Sağ yan duvarın kaynağı c, d- Nikel partiküllerinin 3.4mm dalma derinliği ve 7s bekleme süresinin kaynak bölgesinde dağılımı 21

Şekil 5.3. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulamasında, kaynak enine kesiti, nikel kaplamanın birleştirme üzerine etkisidir. a- sol kaynak alanı ve b- sağ kaynak alanı 3.8mm dalma derinliği ve 9s kalma süresi 21
Şekil 5.4. Mikro sertlik ölçümlerinin yerlerini gösteren şematik gösterim..... 22
Şekil 5.5. AA5754 / Ni / AA5754 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin alt kısmındaki mikro sertlik dağılımlar..... 23
Şekil 5.6. AA5754 / Ni / AA5754 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK birleşme yeri sol duvarının kaynak mikro sertlik dağılımları 23
Şekil 5.7. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin sağ duvarının kaynak mikro sertlik dağılımları 23
Şekil 5.8. SEM fraktografi mikrografları, alt yüzey örneği AA1050 alüminyum alaşım 25
Şekil 5.9. SEM fraktografi mikrografları, AA5754 alüminyum alaşımlı kesme gerilme testinden sonra kırılan nikel kaplı üst yüzey..... 25
Şekil 5.10. SEM fraktografi mikrografları, alt yüzey örneği AA1050 alüminyum alaşım 26
Şekil 5.11. SEM fraktografi mikrografları, AA5754 alüminyum alaşımlı kesme gerilme testinden sonra kırılan nikel kaplı üst yüzey..... 26
Şekil 5.12. SKNK karıştırma bölgesi a-sol b-sağ c-alt taraftaki mikro yapılar d-Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) birimleri kullanılarak SKNK karıştırma bölgesi kimyasal analizi 26

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Alüminyum ve alaşımlarının birleştirmelerinde kullanılan kaynak yöntemlerindeki minimum maksimum parça kalınlıkları 4
Tablo 2.2. Çeşitli metaller için önerilen ilave teller 5
Tablo 2.3. Kaynak ilave metalleri ve bunların kullanımı için çeşitli kurallar 6
Tablo 4.1. Kullanılan alüminyum malzemelerin kimyasal analizi …….... 11
Tablo 4.2. Kaynak da kullanılan alüminyum malzemenin mekanik özellikleri 11
Tablo 4.3. Yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) bakır tozu püskürtme parametreleri 12
Tablo 4.4. Takım yapısı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan deneysel parametreler..... 13
Tablo 4.5. Deneyde kullanılan Freze tezgâhının genel özellikleri 15
Tablo 5.1. Takım derinliği ve bekleme süresi ile çekme dayanımı değişimi……. 20

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	:Alüminyum
AI_2O_3	:Alüminyum oksit
Co	:Kobalt
CO_2	:Karbondioksit
Cr	:Krom
Cu	:Bakır
Fe	:Demir
HNO_3	:Nitrik asit
kW	:Kilowatt
Mg	:Magnezyum
Mg_2Si	:Magnezyum sileside
mm	:Milimetre
Mn	:Mangan
MPa	:Megapascal
Na_3AlF_6	:Sodyum Hekzafloroalüminat
Ni	:Nikel
O_2	:Oksijen
Pb	:Kurşun
Si	:Silisyum
SiC	:Silisyum karbür
Ti	:Titanyum
Zn	:Çinko

Kısaltmalar

AA	: Alüminyum Alaşımları
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları)
DKB	: Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
IEB	: Isı Etkisi Altında Kalan Bölge
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	: Metal Aktif Gaz
MIG	: Metal İnsert Gaz
SKNK	: Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TEB	: Termomekanik Etkilenen Bölge
TIG	: Tungsten İnsert Gaz
TIG/WIG	: Tungsten İnsert Gaz/Wolfram İnsert Gaz
TWI	: The Welding Institute (Kaynak Enstitüsü)

NİKEL TOZ KAPLANMIŞ AA1050 VE AA5754 ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek hızlı oksijen püskürtme yöntemi (HVOF) kullanılarak, nikel tozu ile kaplanmış alüminyum alaşımlarının, sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. AA5754 alüminyum alaşımının kaynak bölgeleri (HVOF) kullanılarak 40µm kalınlığında nikel tozu ile kaplanmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) aleti, HB44UF ultra ince Karbür alet malzemesinden işlenerek tasarlanmış ve üretilmiştir. Kaynak numuneleri, aşındırıcı su jeti kullanarak kesilmiş ve daha sonra 20 saniye boyunca Keller reaktifi (1 ml HF, 1,5 ml HC_1, 2,5 ml HNO_3, 95 ml H_2O) ile zımparalanarak parlatılmıştır. Ana malzeme, kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgeler için sertlik ölçümü, Vickers sertliği kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmaları yapılan malzemelerin, karakterizasyonları, taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektron saçılım spektroskopisi (EDS) ve optik mikroskop analizi kullanılarak incelenmiştir. SKNK işlemi sırasında kaynak bölgesinde nikel kaplama sünek yapı oluşumu nedeniyle, yapının gücü ana malzemeye göre daha üstün olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu tez çalışması ile kaynak birleşimlerinin mikro yapısal ve mekanik özelliklerini analiz etmek için deneysel çalışmaların sonuçları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Noktası Kaynak İşlemi, Yüksek Hızlı Oksijen Yakıt Nikel Tozu Püskürtme (HVOF)

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL (HVOF) SPRAYED NICKEL POWDER COATING ON WELDING REGIONS OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOY WELDED PLATES WITH THE FRICTION STIR SPOT WELDING PROCESS

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate microstructural and mechanical properties of friction stir spot welding joints coated with nickel powder by using high velocity oxygen fuel method (HVOF). The welding rigions of AA5754 aluminum alloy was coated with nickel powder with a thickness of 40µm by using (HVOF). Friction Stir spot welding (FSSW) tool was designed and manufactured from HB44UF ultrafine Carbide tool material by machining. For microstructure observation of specimens were cross-sectional cut from welding samples by using abrasive water jet and then polished and etched by Keller's reagent (1 ml HF, 1.5 ml HC_l, 2.5 ml HNO_3, 95 ml H_2O) for 20s. Vickers hardness of base metal, welding zone and heat affected zones were measured. Microstructure and fracture surface of the specimens investigated by using scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and optical microscope analysis. Due to nickel coating ductile joint formation in the weld region during FSSW process the strength of the joint is superior compared to the BM. The results of experimental studies were evaluated in order to analyze microstructural and mechanical properties of welding joints.

Keywords: Friction Stir Spot Welding Process, High Velocity Oxygen Fuel Nickel Powder Spraying (HVOF)

GİRİŞ

Son zamanlarda, alüminyum alaşımları gibi hafif metaller, özellikle ağırlık tasarrufunun son derece önemli olduğu havacılık ve otomotiv endüstrilerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır [1].

Direnç nokta kaynağı, lazer nokta kaynağı ve perçinleme yöntemi alüminyum alaşım levha montajlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, geleneksel direnç nokta kaynağı, birleşme sırasındaki sarf malzeme gideri, büyük ısı bozulmaları ve birleşme yerlerindeki zayıf kaynak mukavemeti gibi dezavantajlara sahiptir; lazer nokta kaynağında ise gözenek kusurlarından kaçınılamaz. Perçinleme yöntemi, bileşenlerin ağırlığını artıracak ve maliyeti artıracaktır. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarından yapılmış parçaların birleştirilmesi için yeni nokta kaynak işlemleri gereklidir. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile alüminyum alaşımlarının kaynağı 1991 yılında İngiltere Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından icat edilmiştir [2].

Bu çalışmada, otomobil endüstrisinde kullanılan en yaygın malzemeler olan 2 mm kalınlığında AA5754 ve AA1050 alüminyum alaşımlı levhaların kaynatılmasında sürtünme karışımlı nokta kaynağı SKNK tekniği kullanılmıştır.

3,4 mm ve 3,8 mm uçlar ile Nikel kaplamalı AA5754 alaşımlı alüminyum levha kaynaklarının mikro yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bir Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) varyantı olarak, SKNK kullanılmıştır. Direnç nokta kaynağı ve perçinleme gibi tek noktalı birleştirme işlemlerinin yerine geçme potansiyeli olduğunu göstermiştir. Bu uygulama, havacılık ve otomobil alanlarında daha geniş kullanım alanlarına sahiptir. Şimdiye kadar, SKNK hakkında çoğunlukla, mikro yapı ve mekanik özelliklere ile sayısal simülasyonlara odaklanan birçok rapor bulunmaktadır. Yapılan çalışma, SKNK ile ilgili iki farklı alüminyum alaşımının, kaynak ağızlarının HVOF yöntemi ile kaplanarak, uygulanan kaynak yönteminin, malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerinin değişimini ortaya koyabilmek adına deneysel çalışmaları içermektedir.

1. ALÜMİNYUM MALZEMESİ

1.1. Alüminyum Nasıl Üretilir

Alüminyumun yer kabuğunda bol bulunan bir metallerden biridir. En yüksek alüminyum oksit konsantrasyonu boksit cevherinde bulunur. Saf alüminyum, alüminyum oksidin boksitten özütlenmesi yoluyla elde edilir [3].

1.2. Alüminyum Alaşımları ve Serileri [4]

1.2.1. Isıl işlem uygulanamayan işlem ve döküm alüminyum alaşımları

1.2.1.1. 1xxx serisi alaşımlar

Bu alaşımlar minimum %99,0 alüminyum, empürite olarak da silisyum ve demir içerirler. Bu alaşımlar yüksek oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar. 1100 alaşımının tavlanmış durumda çekme mukavemeti 90 MPa dır.

1.2.1.2. 3xxx serisi alaşımlar

Bu serinin en önemli alaşımı 3003'tür. Bu alaşım 1100 alaşımına %1,25 mangan ilavesi ile oluşturulur. 3003 alaşımının tavlanmış durumda çekme dayanımı 110 MPa dır. Bu serinin alaşımları iyi işlenebilirliğin gerektiği yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır.

1.2.1.3. 5xxx serisi alaşımlar

Bu serinin ana alaşım elementi olan magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve miktarı %5 e kadar çıkabilir. Bu serinin endüstride kullanılan en önemli alaşımı 5052 dir. Bu alaşım %2,5 Mg, %0,2 Cr içerir ve tavlanmış durumdaki çekme dayanımı 193 MPa dır.

1.2.2. Isıl işlem uygulanabilen işlem alüminyum alaşımları

1.2.2.1. 2xxx serisi alaşımlar

Bu seri alaşımlarının birçoğuna bakırın yanında magnezyum ve düşük miktarlarda diğer elementler eklenir. 2xxx serisi alaşımları birim ağırlık dayanımının yüksek olması gereken uçak sanayi gibi alanlarda kullanılır. Bu alaşımlar katı eriyik mukavetlenmesi ve çökelti sertleşmesiyle dayanım kazanırlar. Endüstriyel uygulama alanı bulabilmiş en önemli alaşım 2024 alaşımıdır. 2024-T6 alaşımı %4,5 bakır, %1,5 magnezyum ve %0,6 mangan bulundurur ve çekme dayanımı 442 MPa dır.

1.2.2.2. 6xxx serisi alaşımlar

Mg2Si intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ile dayanım artışı sağlar. En yaygın kullanılan alaşım 6061 alaşımıdır ve bu alaşım %1,0 magnezyum, %0,6 silisyum, %0,3 bakır içerir. 6061-T6 alaşımının çekme mukavemeti 290 MPa dır. Bu seri, otomotiv sektöründe genel amaçlı yapı elemanı olarak kullanılır.

1.2.2.3. 7xxx serisi alaşımlar

Temel çökeltiler $MgZn_2$ intermetalik bileşiğinden oluşur. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içersin de yüksek çözünebilirliği yüksek yoğunluklu çökeltilerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı 7075 tir ve bu alaşım %5,6 çinko, %2,5 magnezyum, &1,6 bakır ve %0,25 krom ihtiva eder. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğu yerlerde kullanılır.

2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞINA GENEL GİRİŞ

2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Mukavemet Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Alüminyumunun kaynak kabiliyetine etki eden fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Yüksek ısıl iletkenliği
- Yüksek ısıl genleşme katsayısı
- Ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesi
- Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası
- Düşük ergime sıcaklığı

Alüminyum havadaki oksijenle tepkimeye girmesi ile alüminyum oksit oluşur. Alüminyum oksit, malzemenin yüzeyine korozyon direnci kazandırır. Saf alüminyumun ergime sıcaklığı 660 °C dir. Buna karşın malzemenin yüzeyinde oluşan alüminyum oksit, metalin ergime sıcaklığını 2050°C kadar yükseltmektedir. Oksit tabakası havadaki nemin etkisiyle daha da kalınlaşabilir ve kaynak sırasında da ergimiş banyonun üzerinde yüzer. Nem içinde bulunan hidrojen, kaynak metaline geçerek gözenekler oluşturabilir.

Tablo 2.1. Alüminyum ve alaşımlarının birleştirmelerinde kullanılan kaynak yöntemlerindeki minimum maksimum parça kalınlıkları

Birleştirme Yöntemi	Minimum kalınlık(mm)	Maksimum Kalınlık (mm)
Elektron ışın	0,5	160
TIG	0,5	25
Oksi-asetilen	0,8	25
Örtülü elektrot	3,0	25
Direnç dikiş	0,2	5
Direnç nokta	Folio	4,75
Ultrasonik	Folio	3
Difüzyon	Folio	3,5
MIG	1,6	Sınırsız
Elektroslog	8	Sınırsız

Alüminyumun başarılı bir şekilde kaynak yapılması için iyi bir ön hazırlık yapılmalıdır.

2.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı İçin İlave Metalleri

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak çubukları esas metalle aynı bileşimde olduğu takdirde kaliteli bir kaynak bileşimi sağlanır. Çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen ilave teller tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Çeşitli metaller için önerilen ilave teller

Ana Metal	Önerilen ilave teller	
	Max. Uzama için	Kaynaklı halde max. Mukavemet için
EC 1100	EC, 1260 1100, 4043	1100 1100, 4043
3003 3004 5005	1100, 4043 5183, 4043 5183, 4043	5183, 5356 5554, 5357 5183, 4043, 5356
6061 6063 7005 7039	5356 5356 5183, 5356 5183, 5356	4043, 5183 4043, 5183 5039 5039
5154 5357 5454 5456	5183, 5356, 5654 5356 5554, 5356 5183, 5356	5356, 5183 5554, 5356 5356, 5554 5556
5050 5052 5083 5086	5183, 4043 5183, 4043, 356 5183, 5356 5183, 5356	5356 5356, 5183 5183, 5356 5183, 5365

Tablo 2.3’ de çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen, hem maksimum, mukavemet, hem de maksimum uzamayı sağlayacak ilave metalleri vermektedir. Burada, bu ana metallerin kaynağının sünekliği ilave metal tarafından hissedilir ölçüde etkilenmez. Bu ana metallerin uzaması genellikle, listedeki diğer alaşımlarınkinden azdır.

Tablo 2.3. Kaynak ilave metalleri ve bunların kullanımı için çeşitli kurallar

Kaynak Yöntemleri Değerlendirme (1) Önerilen (2) Uygun (3) Uygun Değil				
Kaynak Malzemesi	Oksi Asetilen	MİG	Örtülü el ile açık ark	TİG
S-Al 99,8	1	1	1	1
S-Al 99,5	2	2	2	2
S-AlMn	1	2	1	1
S-AlMgMn	1	1	1	1
S-$AlMg_3$	1	2	3	1
S-AlMgSi	1	2	3	2
S-$AlMg_5$	2	1	3	1
S-$AlSi_5$	1	1	1	1
S-$AlSi_{12}$	1	2	1	1
S-Al 99,5 Ti	1	1	1	1
S-Al 99, 98R	2	1	2	1

2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Yapılabilirlikleri

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında iyi bir kaynak kabiliyetinin sağlanması, kaynak edilen malzemenin alaşım grubunun ve özelliklerinin iyi seçilmesi, iyi temizleme işleminin uygulanması, uygun dizaynın yapılması, yerinde bir kaynak sırasının takip edilmesi, elverişli bir kaynak yönetiminin ve tekniğinin seçilmesi ile sağlanabilir. Aksi takdirde kaynak bağlantısından istenen özellikler elde edilemeyebilir [5].

2.4. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Bu bölümde katı hal kaynak tekniklerinden sürtünme karıştırma nokta kaynağı hakkında bilgiler verilecektir.

3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, başta otomotiv olmak üzere birçok endüstride kullanımı artmaktadır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağının yeni bir yöntemidir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı toplu erime olmadan bir noktadan oluşturulan kaynak tekniğidir.

Bu yöntemle yapılan kaynağın görünümü, nokta direnç kaynağı gibidir. Günümüzde gövde montajında en çok kullanılan nokta direnç kaynağı, Al alaşımları ve yüksek mukavemetli çelikler gibi birçok malzeme için sorunlu olabilir [6,7].

Sürtünme karıştırma kaynağı araştırmaları genellikle alüminyum ve alaşımları üzerine yapılmıştır. Özellikle kaynak yapılması zor olan alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde sürtünme karıştırma kaynağı performansı geliştirilerek araştırmalar sanayinin ilgisini alüminyum alaşımları üzerine yoğunlaştırmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile 1mm'den ince, 35mm'den kalın birleştirilmesi zor malzemelerin oldukça iyi mekanik özelliklerle birleştirildiği görülmüştür.

1990 yıllarının başlarında Kaynak Enstitüsü (The Welding Institute-TWI) tarafından bulunan sürtünme karıştırma kaynağı, alüminyum alaşımlarında önemini her geçen gün hissettiren katı hal kaynak yöntemlerinden birisidir [8,9]. 2003 yılında Mazda RX8 modelinde sürtünme karıştırma kaynağı uyguladığı görülmüştür. Alüminyumdan yapılan arka kapısının birleştirilmesinde sürünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi kullanılmıştır [10]. Diğer otomobil şirketleri de Al vücut parçalarına kaynak yapmak için sürtünme karıştırma nokta kaynağını kullanıldığını duyurdular. Açık literatürde sürtünme karıştırma nokta kaynağın sürecinin iki farklı varyantı bildirilmiştir [11,13]. Mazda tarafından kullanılan ilk yaklaşımda sabit bir pim takım geometrisi kullanılmıştır [11,12]. Çıkıntılı pim eklemin ortasında karakteristik bir çıkış deliği bırakır. İkinci yaklaşım [13], pim deliğini doldurmak için pimin ve omzun hassas nispi hareketlerini kullanır. Mevcut bilgilere dayanarak, ikinci yaklaşım deliği doldurmak için daha uzun işlem süresi gerektirecektir. Buna karşılık, sabit pin yaklaşımı çok daha hızlı bir işlemdir. Al alaşımları için bir saniyeden daha kısa bir sürede kaynak işlemi

tamamlanabilir [12]. Ayrıca sabit pim yaklaşımı için kaynak makinesi ve kontrol sistemi, yüksek hacimli seri üretim montaj hattına entegre edilmesi kolaydır. Mazda, Al alaşımlarının konvansiyonel direnç nokta kaynağı ile karşılaştırıldığında % 90'dan fazla işletme enerji tasarrufu ve % 40'dan fazla sermaye yatırımı indirimi bildirmiştir.

Alüminyum ve alaşımları düşük ağırlıkları nedeniyle, gelişmiş uygulamalarda enerji tasarrufu için yapı malzemesi olarak kabul edilebilir. Korozyona karşı dirençliliğinin yanı sıra, ağırlık oranında ve birçok kabul edilebilir diğer üstün özellikleriyle otomobiller, trenler, uçaklar gibi ulaşım endüstrilerinde bu materyal ve alaşım çok daha çekici hale gelmektedir [14].

Alüminyum düşük ağırlık oranında, iyi korozyon direnci ve çok iyi bir ısı iletkenliği için, yüksek mukavemet, taşıma uygulamaları için ideal bir malzemedir. Ayrıca ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliğini geliştirmek için yardımcı ulaşım CO_2 emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynar. Son yıllarda otomotiv üreticilerinin bu tür iç ve dış panelleri için ekstrüde uzay kafes yapıları alüminyum tüpler ve alüminyum saclar alüminyum ürünler, çeşitlilik en iyi şekilde yapıyoruz. % 50 ağırlık indirimleri beyaz gövde alüminyumun çeliğe ikame edilmesiyle elde edilmiştir [15].

AA 5754 alüminyum alaşımı orta mukavemete sahip alüminyum alaşımlarından biridir. Mükemmel bir ekstrüzyon şekillenebilirliği, iyi korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik nedeniyle taşıma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [16].

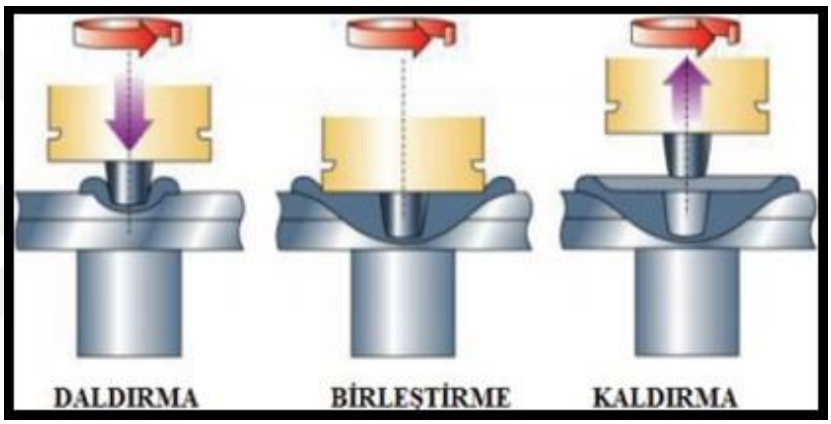
5XXX serisi Al alaşımları iyi korozyon direnci özelliklerine sahiptir, özellikle katı çözelti içinde Mg ya da matris içinde rasgele dağıtılmış Al_3Mg_2 partikülleri gibi. Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) geleneksel ergitme kaynak yöntemine göre farklı ısıtma ve soğutma bölgelerini içeren bir katı hal birleştirme işlemidir. Bundan dolayı oluşan farklı mikro yapılar kendi içinde homojenliği sağladığını söylemek olasıdır. Böyle bir homojenlik gerilmeli korozyon çatlaması (SCC) ve IGC'yi bastırabilecek itici güç olabilir [17].

Ana malzemelerin farklı kimyasal kompozisyonu ve mekanik mukavemetleri göz önünde bulundurulduğunda; farklı malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağından alınan sonuçları benzer malzemelerinki ile kıyaslanabilir duruma geldiğini söylemek olasıdır. Benzer olmayan alüminyumun ergitme kaynağı problemli olduğundan,

sürtünme karıştırma Kaynak (SKK) işlemi taban malzemenin erime sıcaklığının altında olduğundan yaygın olarak sekonder faz oluşturmayan farklı malzemelerin kaynağı için başarılı olarak kullanılır [18].

3.1. Kaynak Düzeneği ve Yapılışı

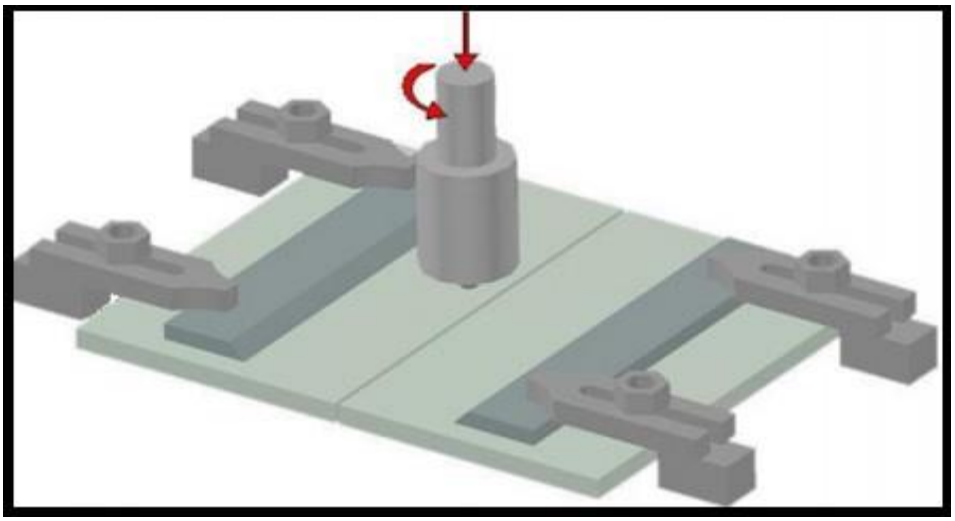
Bu metotla yapılan birleştirmelerde, mükemmel bir birleştirme mukavemeti elde etmek mümkün olduğu görülmüştür. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi üst üste sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen kademeli bir karıştırıcı ucun belirli mesafelerde nokta şeklinde daldırılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.1. SKNK yöntemi işlem basamakları [19]

3.2. İşlemin İlkesi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılırken malzemenin kaynak esnasında hareket etmesini engellemek için tezgâha sabitlenmesi oldukça önemlidir. Özel olarak imal edilen karıştırıcı uç belli bir devirde döndürülerek yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. İstenilen kaynak derinliği karıştırıcı ucun metale giren konik ucun ölçüsü ile aynıdır. Dönen karıştırıcının uç kaynak yapılacak yüzeye temas ettiği anda meydana gelen sürtünme ile temas ettiği noktayı aniden ısıtır ve böylece malzemenin mekanik direnci azalır. Malzeme içine batırılan karıştırıcı uç belli devirde döndürülür ve karıştırıcı ucun omuz kısmından malzemeye temas ettirilir. Şekil 3.2'de sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin şematik gösterimi [20]

3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Sürtünme kaynağının belli sınırlamaları olduğu gibi, bilinen diğer kaynak işlemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir [21].

Sürtünme kaynağının avantajları:

a) Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerinin göre oldukça düşüktür.
b) Flux dolgu malzemesi ve koruyucu gaz atmosferine ihtiyaç yoktur.
c) Isıdan etkilenmiş olan alan çok dardır ve gözenek ölçüsü ana malzemenin gözenek ölçüsünden daha küçüktür.
d) Diğer kaynak işlemlerine göre daha temizdir. Çok daha az atık vardır. Ark, gaz çıkısı oluşmaz.
Sürtünme kaynağı uygulamalarında görülen bazı sınırlamalarda aşağıdaki gibidir;
a) İş parçalarından birinin kaynak yüzeyi yuvarlak (silindirik) veya silindire yakın olmalı, tutulabilir ve döndürülebilir büyüklükte olmalıdır.
b) İş parçaları torka, ısınmaya ve birleştirme esnasındaki eksenel basınca dayanıklı olmalıdır.
c) İş parçalarını tutan tezgah ağır şok ve tork yüklerine dayanacak güçte olmalıdır.
d) Geleneksel sürtünme kaynağı, açısal birleşimler için pahalı değişiklik yapılmalıdır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında Nikel kaplamalı AA 5754 ve AA 1050 alüminyum alaşımlı levhalar sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin belirlenmesinde, kesici takım dönme hızı sabit tutulmuş, batıcı uç derinliği ise değişken olarak kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sürtünme Karışımlı Nokta Kaynağı İle Birleştirilecek Malzemelerin Tasarımı

Tablo 4.1. Kullanılan alüminyum malzemelerin kimyasal analizi

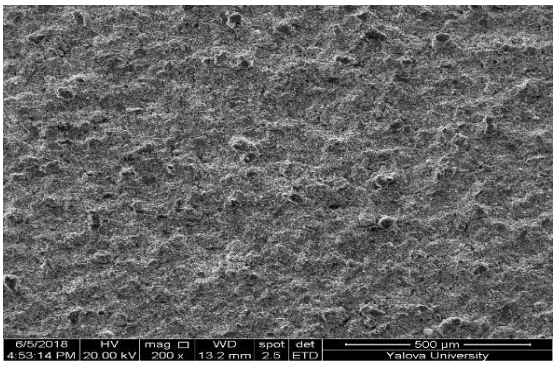
Material	% Fe %C	% Si	%Cu	%Mn	% Mg	% Zn	%Ti	%Cr	%Al
AA5754	0,312 -	0,23	0,024	0,34	3,2	0,16	0,098	0,26	Remain.
AA1050	0.27 -	0.08	0.02			0.02	0.02		Balance

Tablo 4.2. Kaynak da kullanılan alüminyum malzemenin mekanik özellikleri

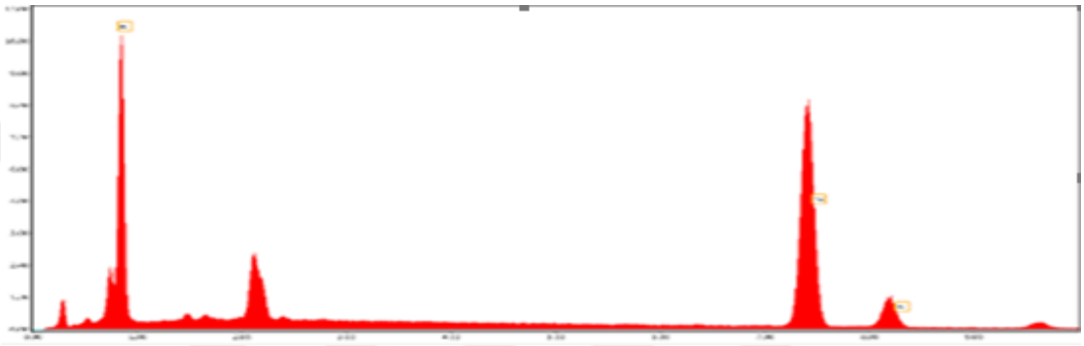
Sample	Kopma mukavemeti (N/mm^2)	% Uzama	Sertlik (H_V)
AA5754	232	15	76
AA1050	58	40	29

4.2. AA5754 Alüminyum Alaşımlı Levhaların Kaynak Bölgelerinde Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtı (HVOF) Püskürtmeli Nikel Tozu Kaplama

Termal püskürtme, nispeten kalın kaplamalar oluşturmak için iyi kurulmuş bir araçtır. Özellikle, yüksek hızda oksi yakıt (HVOF) püskürtme, sert, tribolojik olarak üstün ve iyi yapışan metalik ve kompozit sermet kaplamalarını çok çeşitli metalik yüzeylere uygulamak için güvenilir bir teknik olarak geliştirilmiştir. Termal püskürtme teknikleri arasında HVOF, 700 m / s'nin üzerindeki bir parçacık hızında yoğun yapıya sahip kaplamalar hazırlamak için etkili bir şekilde kullanılır [10]. HVOF termal püskürtme yöntemi uygun maliyetlidir ve Ni bazlı kaplamalara uygulanmıştır [22].



Şekil 4.1. HVOF kaplama SEM görüntüsü

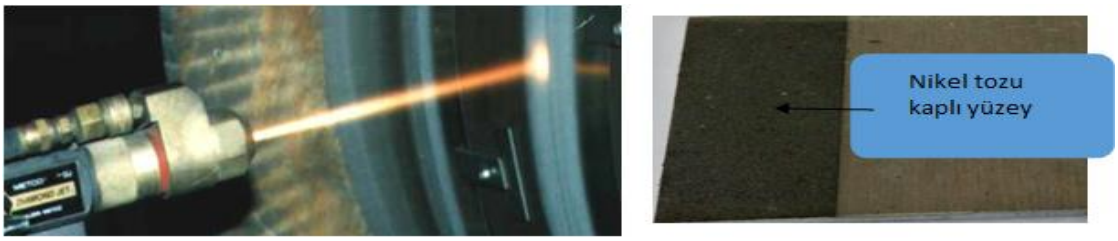


Şekil 4.2. Enerji dağıtıcı spektroskopi (EDS) analizinin yüzeyini kaplayan yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) nikel tozu

Tablo 4.3. Yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) bakır tozu püskürtme parametreleri

Toz püskürtme işlemi parametreleri	Yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) spreyi
Püskürtme Tabancası Tipi	Metco Diomont Jet
Püskürtme mesafesi	330 mm
Püskürtme hızı	5.7 kg/h
Oksijen basıncı	9.35 atm
Azot basıncı	3.2 atm
Yanıcı gaz türleri	Doğal Gaz
Kaplama tozu	Nikel

AA5754 alüminyum alaşımlı kaynak bölgeleri üzerine HVOF termal sprey ile yerleştirilen Ni toz kaplamalıdır. Kaplamalarda mevcut olan fazların morfolojisi ve kimyasal bileşimi SEM, EDS teknikleri ile tanımlanmıştır. Sonuçlar, nanoyapılı kaplamanın, mikro yapısal homojenizasyon ve bilyalı öğütülmüş tozların iyi korunmuş nanoyapı özelliği nedeniyle mükemmel mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Yüksek hızlı oksijen yakıtı nikel tozu püskürtme tabancası (HVOF) ve yüksek hızlı oksijen yakıtı (HVOF) yönteminin nikel tozu kaplı yüzeyi [23]

4.3. Takım Ucu Geometrisi, İmalatta Malzemelerin Tasarımı ve Talaşlı İmalat Üretimi

HB44UF Karbür takım malzemesi çok incedir, parçacıklı bir yapıya sahiptir. Dengeli aşınma direnci ve süneklik değerlerine sahip HB44UF ideal bir kalitedir. Özellikle 64 HRC' ye kadar sertleştirilmiş çeliklerle işlenebilen kaliteli yüksek hızlı takımlar için idealdir.

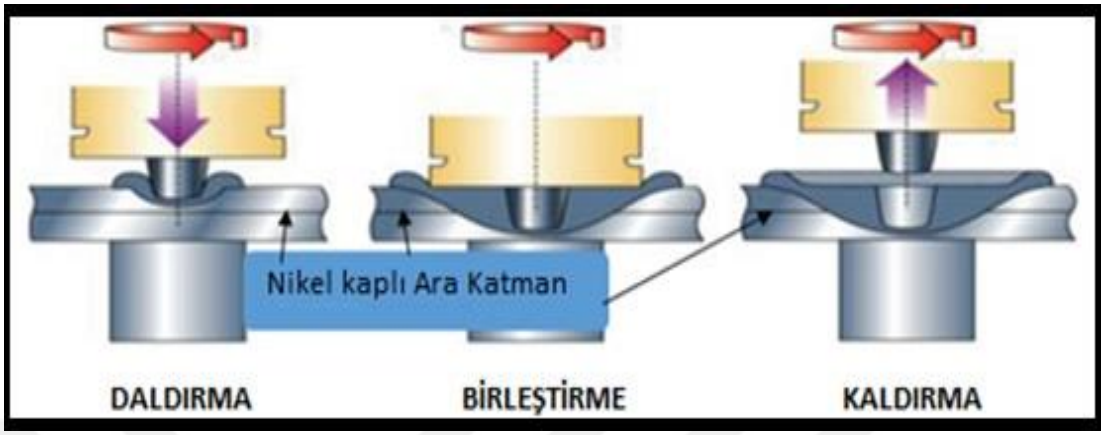


Şekil 4.4. Konik uç tipine sahip 3.4 mm ve 3.8 mm uzunlukta sürtünme karıştırma nokta kaynağı aracı

Tablo 4.4. Takım yapısı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan deneysel parametreler

Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Plakaları	Ni toz boya kaplama kalınlığı	Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Aleti uç Profili	Takım Ucu Dönme Hızı (rpm)	Bekleme süresi (s)	Takım ucu Penetrasyon Derinliği (mm)
AA5754/Ni/ AA1050	40µm	Konik	2000	7	3.4
AA5754/Ni/ AA1050	40µm	Konik	2000	9	3.8

4.4. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Kullanılan Çelik Kalıp Tasarımı ve Frezeleme İşlemi



Şekil 4.5. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için sürtünme karıştırma nokta kaynağı SKNK işlem adımlarının şematik gösterimi [19]



Şekil 4.6. Freze tezgahında AA5754/Ni/ AA1050 alüminyum alaşım plakaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı işlemi

4.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgâhı

Tablo 4.5. Deneyde kullanılan Freze tezgâhının genel özellikleri

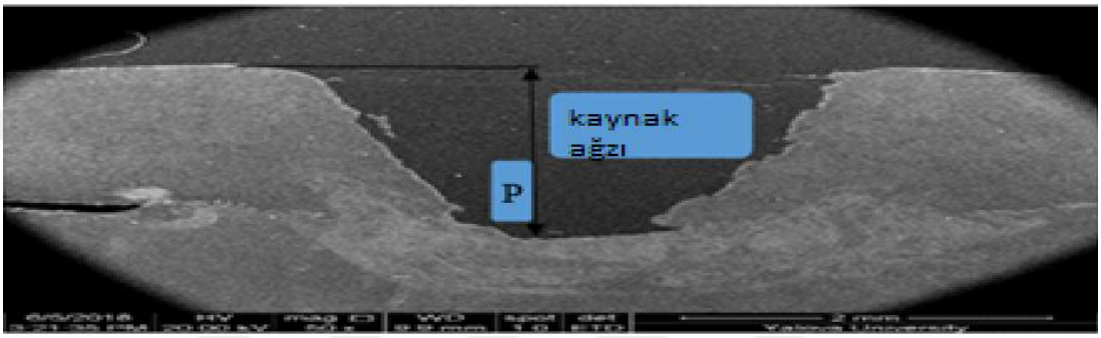
Tabla özellikleri	Tabla Ölçüleri(mm)	250 x 1200
	T Kanal Sayısı ve Genişliği (mm)	5 x 22
	Tablaya Bağlanabilecek Maksimum Parça Ağırlığı (kg)	250
Tezgâh hareketleri	Boyuna Hareket (X ekseni) (mm)	1200
	Yatay Hareket (Y ekseni) (mm)	400
	Geri Çıkma Hareketi (Z ekseni) (mm)	1000
	İş Mili Çıkma Hareketi (W ekseni) (mm)	100
	Döner Tabla (B ekseni)	360º
İş mili özellikleri	İş Mili Devir Sayısı Aralığı (dev/dak)	10 - 1800
İlerleme hızı özellikleri	Kesme Hızı (mm/dak)	1 - 4000
	Hızlı İlerleme (mm/dak)	2000
Tezgâh gücü	Voltaj (V - Hz)	380 - 50
	Ana Motor Gücü (kW)	30
Genel boyutlar	Tezgâhın Kapladığı Alan (mm)	1700 x 2200 x 2000
	Tezgâhın Ağırlığı (kg)	3000



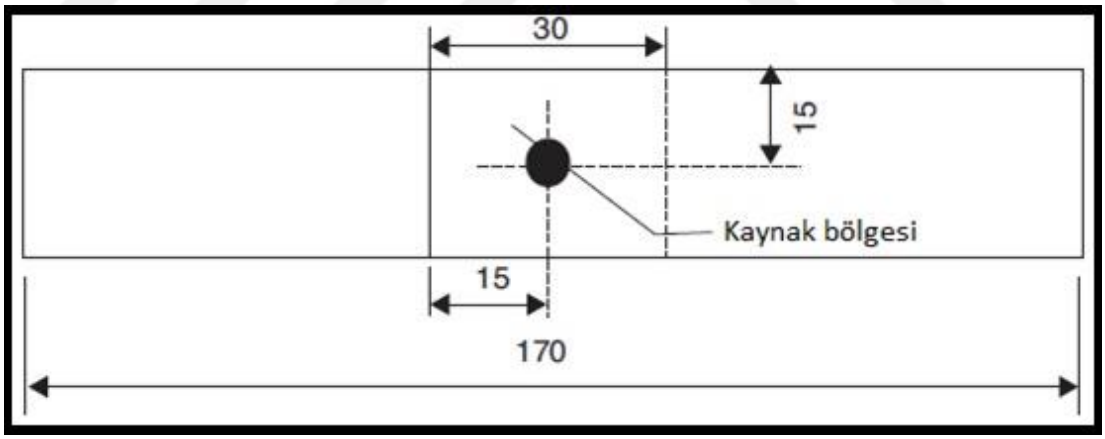
Şekil 4.7. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan freze tezgahı ve kaynak edilecek parçanın kalıpla freze tezgahına bağlama pabuçlarıyla sabitlenmesi

4.6. Kaynak Sonrası Metalografik Numune Hazırlama ve Mekanik Test

Numunelerin mikro yapı gözlemleri için aşındırıcı su jeti kullanılarak kaynak numunelerden kesitsel kesilmiş ve daha sonra 20 saniye boyunca Keller reaktifi (1 ml HF, 1.5 ml HC_1, 2.5 ml HNO_3, 95 ml H_2O) ile cilalanmış ve dağlanmıştır. Kaynaklı noktaların temel özelliklerini belirlemek için boyutsal analiz yapıldı. Şekil 4.8'de, her kaynaklı noktada ölçülen boyutlar görülebilir. Pimin bıraktığı yüzey ile alt tabakanın serbest yüzeyi arasındaki mesafeye P'dir [24].



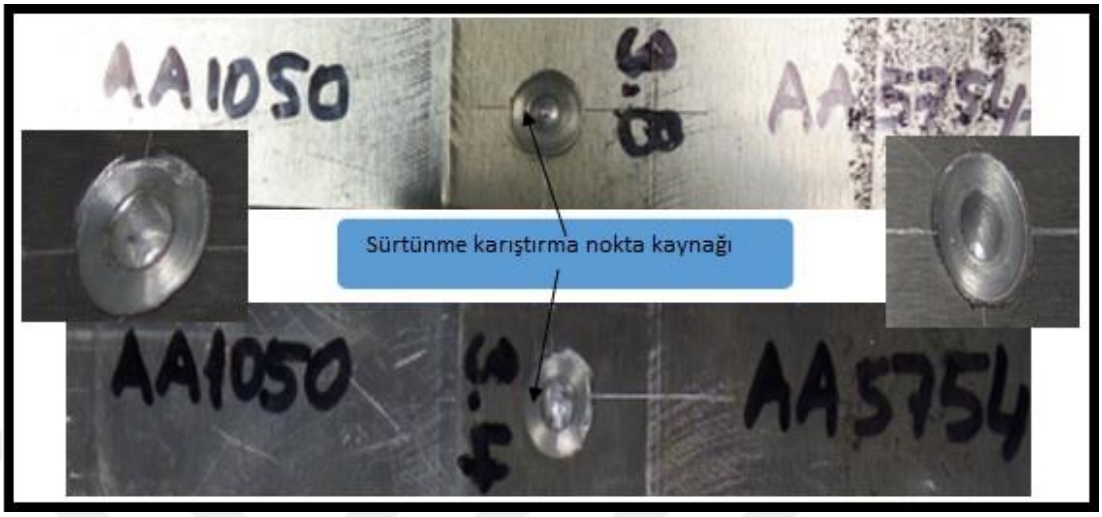
Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sürtünme karıştırma kaynağı noktasındaki kaynak ağzının enine kesitinin mikro yapısı



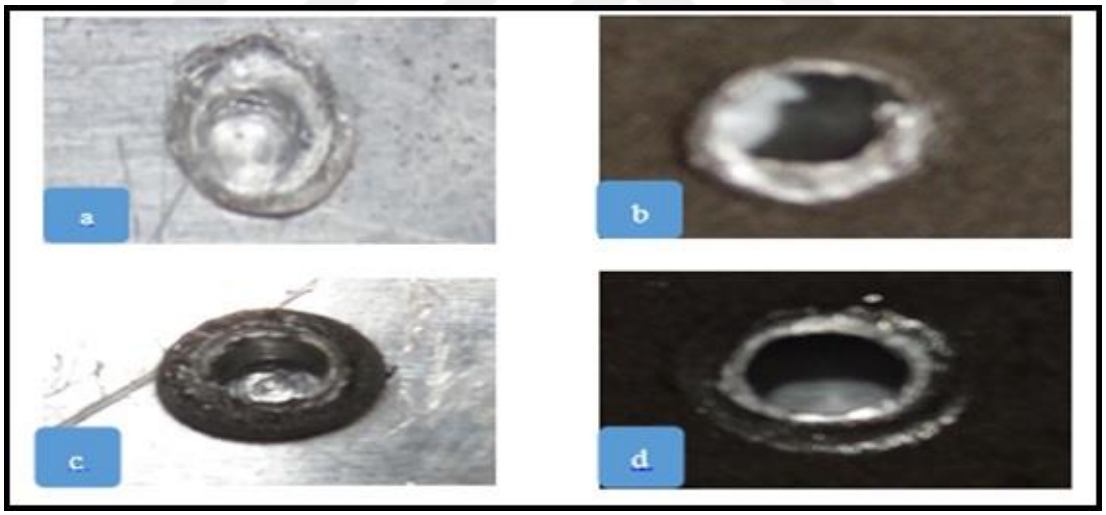
Şekil 4.9. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhaların ASTM E8M-04 standardına uygun çekme kuvveti örneklerinin boyutu. [25]

Kaynakların kayma gerilme testleri, ASTM E8M-04 standardına göre 1 mm / dak. hızına sahip Instron tipi bir test makinesi kullanılarak gerçekleştirildi. İki tabakanın

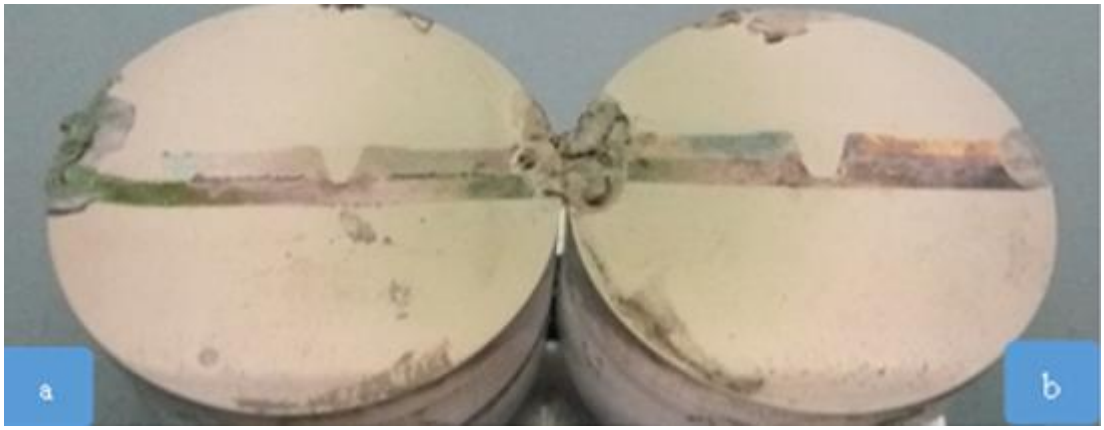
ara yüzündeki bağlanmış alan, tabakaların üzerinde kalan daire alanının, kaynak sonrası aletlerin, daire alanı ile hesaplanmasıyla ölçülmüştür [26].



Şekil 4.10. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinde sürtünme karıştırma noktası kaynağı ile yüksek hızda oksijen yakıtı (HVOF) püskürtülür.

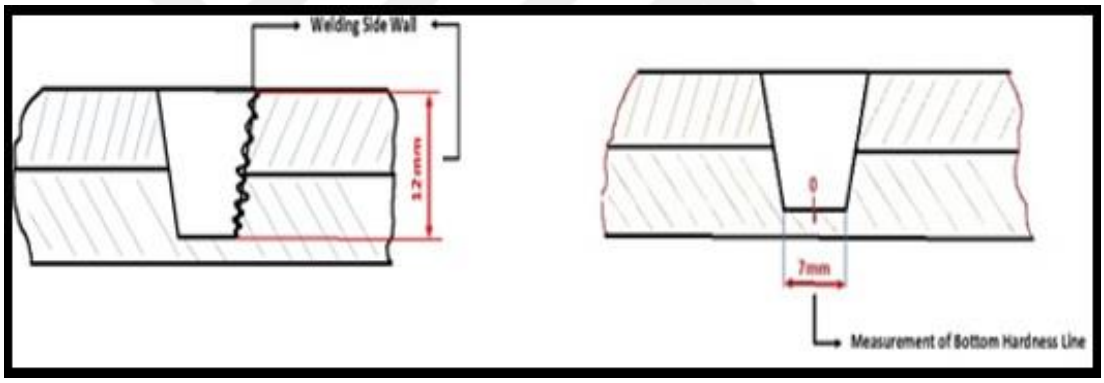


Şekil 4.11. Kesme gerilme numuneleri AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum alaşımlı levhaların ara yüzey tipi kırılma tipi; a, b 3.4mm dalma derinliği ve c, d 3.8mm dalma derinliği.

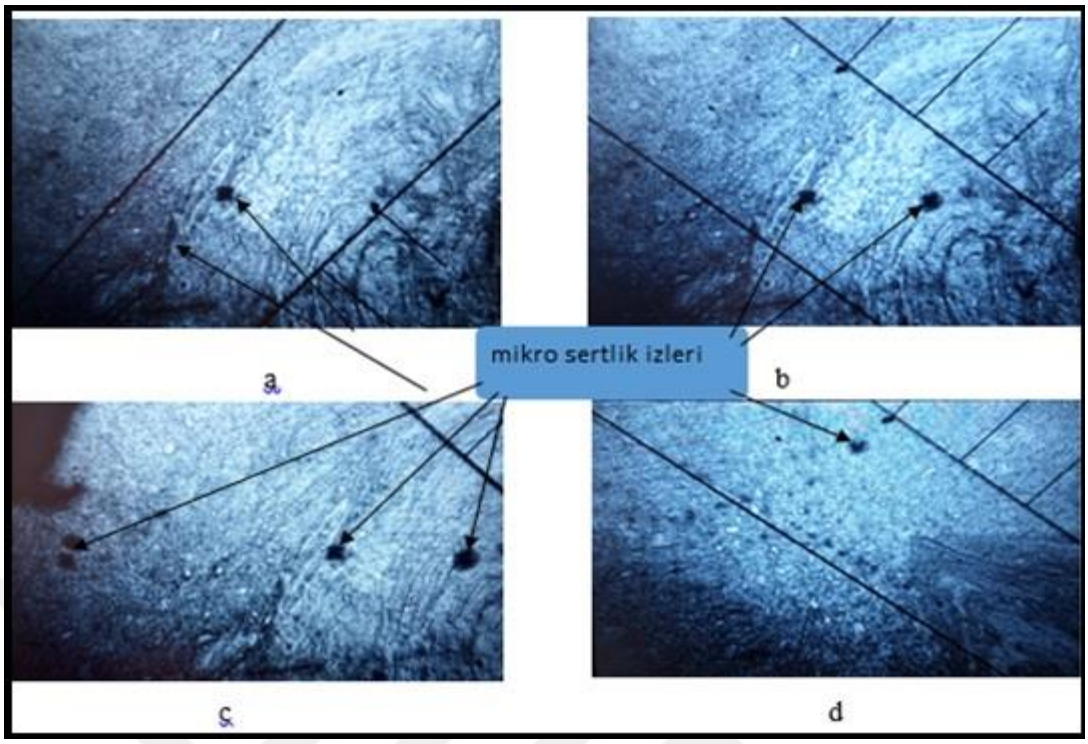


Şekil 4.12. AA5754 / Ni / AA1050 kaynaklı alüminyum alaşımlı levhaların a-3.4mm ve b- 3.8mm dalma derinliklerinde sürtünme karıştırma nokta kaynağı kesit metalografik altın kaplı örnekleri

4.7. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Farklı Mikro Sertlik Ölçüm Bölgeleri



Şekil 4.13. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin mikro sertlik dağılımları



Şekil 4.14. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalardaki SKNK derzinin mikro sertlik izleri

Mikro sertlik ölçümleri, ASTM: E384-11ye göre 50 g yük kullanılarak 0.5 mm mesafede, Vickers mikro sertlik testi kullanılarak AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levha kesitinde SKNK ek yerinin alt kısmında mikro sertlik ölçümleri alınmıştır.

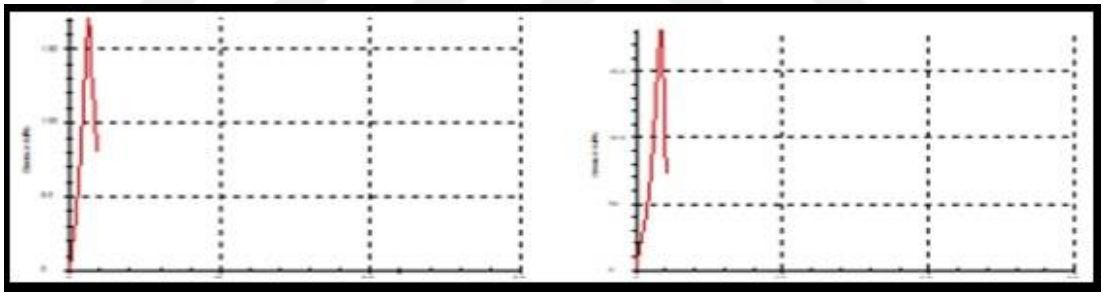
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

5.1. Kaynak Sonrası Çekme Testi Yapmanın Fraktografisi

Tablo 5.1. Takım derinliği ve bekleme süresi ile çekme dayanımı değişimi

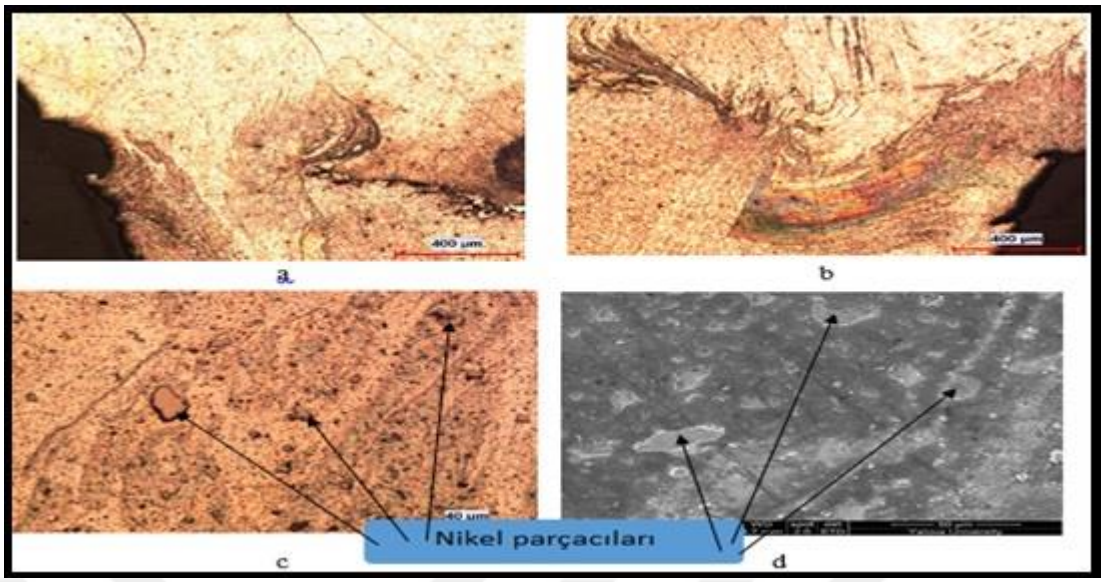
Kaynaklı malzemeler	Takım Penetrasyon Derinliği (mm)	Takım kalma süresi	Çekme dayanımı (MPa)
a-AA5754/Ni/AA1050	3.4	7	150
c-AA5754/Ni/AA1050	3.8	9	180

Kaynak kesici uçlardan (Şekil 5.1 a, b) elde edilen, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemiyle yapılan Lap-shear test verileri çekme yükünü ve deformasyon oranını göstermektedir.

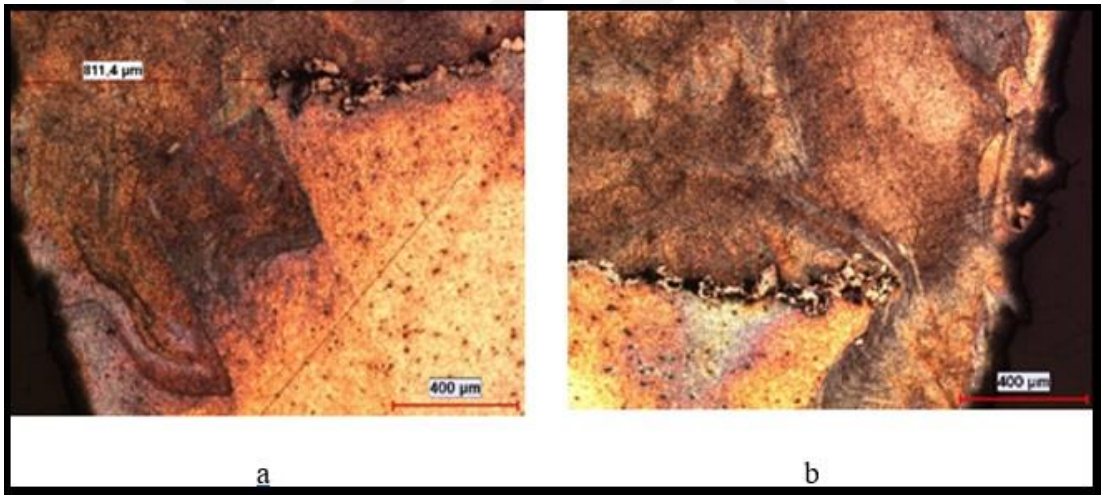


Şekil 5.1. 3,4 ve 3,8 mm dalma i 7-9sn kalmasının çekme dayanımı ve gerilme grafiği

Kırılma tipi, orta çekme dayanımı olan ara yüzeyden kopma olarak tanımlanabilir. Mikro yapıya nikel ilavesi ile çekme dayanımı, nikel içermeyen birleşmeye kıyasla biraz artmıştır.



Şekil 5.2. Kaynak bölgelerinde nikel partiküllerinin mükemmel sürtünme karışımı ve dağılımı a- Sol yan duvarın kaynağı b- Sağ yan duvarın kaynağı c, d- Nikel partiküllerinin 3.4mm dalma derinliği ve 7s bekleme süresinin kaynak bölgesinde dağılımı

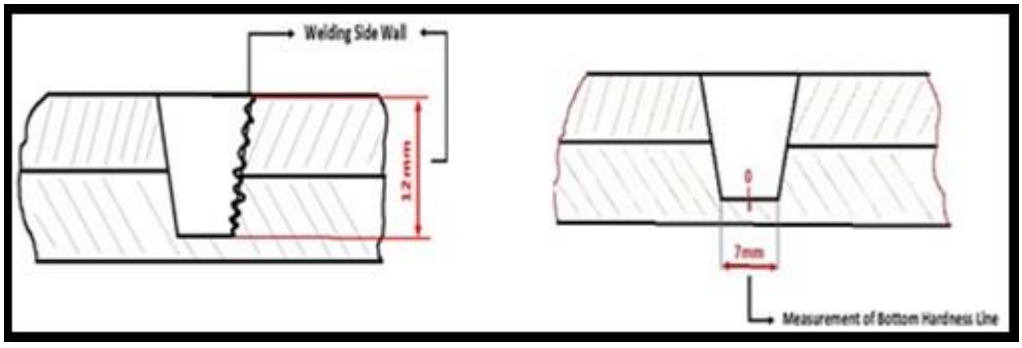


Şekil 5.3. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulamasında, kaynak enine kesiti, nikel kaplamanın birleştirme üzerine etkisidir. a- sol kaynak alanı ve b- sağ kaynak alanı 3.8mm dalma derinliği ve 9s kalma süresi

Bu sonuçlar ile nikel kaplı AA5754 alüminyum levhanın yapısını ve diğer tabaka ile karşılık gelen nikel kaplı arayüz arasında güçlü bir metalurjik bağ oluşumu açıklanabilir. Çekme-kesme kuvveti ve takım kalma süresi arasındaki ilişkiler (Tablo 5.1) 'de gösterilmiştir. Çekme-kesme kuvveti omuz dalma derinliğinden ve bekleme süresinden kuvvetli bir şekilde etkilenir. Çekme-kesme kuvveti, sırasıyla 3.4 mm dalma derinliği, 7s bekleme süresi ve 3.8mm dalma derinliği, 9s bekleme süresi en yüksek değerlerdir (151 MPa-182 MPa). Üst üste konumlandırılmış AA5754

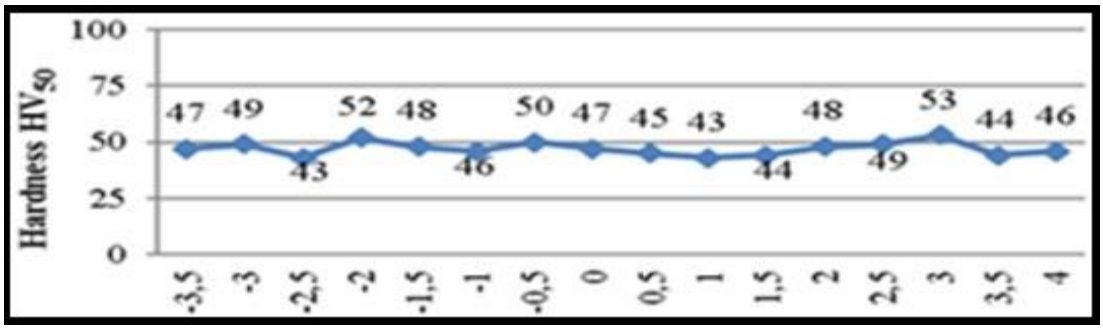
alüminyum levha ile AA1050 alüminyum sürtünme karıştırma nokta ile kaynaklanmış olan tabakası arasındaki metalurjik işlemi nikel kaplamalı ara yüz kaynak teçhizatlarında gerçekleştirilmiştir. AA1050 alüminyum metalik malzemelerin üst yüzeyinde genellikle ince bir oksit filmi oluşur. Aynı zamanda, nikel kaplı AA5754 alüminyum sac kaynak yüzeyi 40µm kalınlığında nikel kaplamaya sahipken, alt AA1050 alüminyum sac 2µm ince oksit filmine sahiptir. Levha ara yüzü üzerinde yüksek hızda dönen sürtünme karıştırma ucu pimi etrafında oluşturulan oksit filmi, oksit filmi ve nikel kaplama, ince parçacıklara ayrılır ve kaynak metali matrisi boyunca heterojen şekilde yayılır (Şekil 5.2). Nikel ve ince oksit filmin en önemli özelliği, sürtünme karıştırma işlemi sırasında oksit oluşumunun en aza indirilmesidir. Ayrıca, bu şekilde tabakalar arasındaki metalurjik bağlanma geliştirmek mümkündür. Bir dizi halinde oluşturulan bu süreksiz oksit parçacıklarının kısmen üst üste binen tabakalar arasında bir metalurjik bağ oluşumunu önlediği halde, yapı içinde mevcut olan oksit ve nikel parçacıklarının bir metalurjik bağ oluşumunu iyileştirdiği söylenebilir (Şekil 5.2. a, b), (Şekil 5.3. a, b). Ayrıntılı olarak incelendiğinde, sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, sürtünme karıştırma kaynak yöntemine benzer bir mikro yapı üretmektedir. Topaklanmış nikel partikülleri, yeniden kristalleşmenin kaynak anahtar deliğinden taban metaline doğru gerçekleştiği dinamik karıştırma bölgesinde bulunur. Dinamik karıştırma bölgesine bitişik bölge, termomekanik etkilenen kısım olarak adlandırılabilir ve ısıdan etkilenen bölge olarak baz metale en yakın komşu bölge olarak adlandırılabilir [27].

5.2. AA5754 / Ni / AA1050 Alüminyum Alaşımlı Levhalarda SKNK Birleşim Yerinin Mikro Sertlik Dağılım Analizi

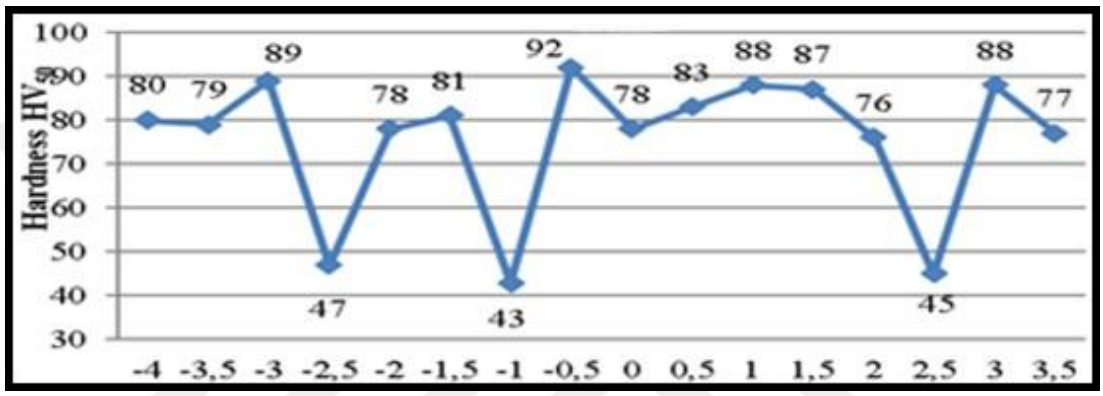


Şekil 5.4. Mikro sertlik ölçümlerinin yerlerini gösteren şematik gösterim

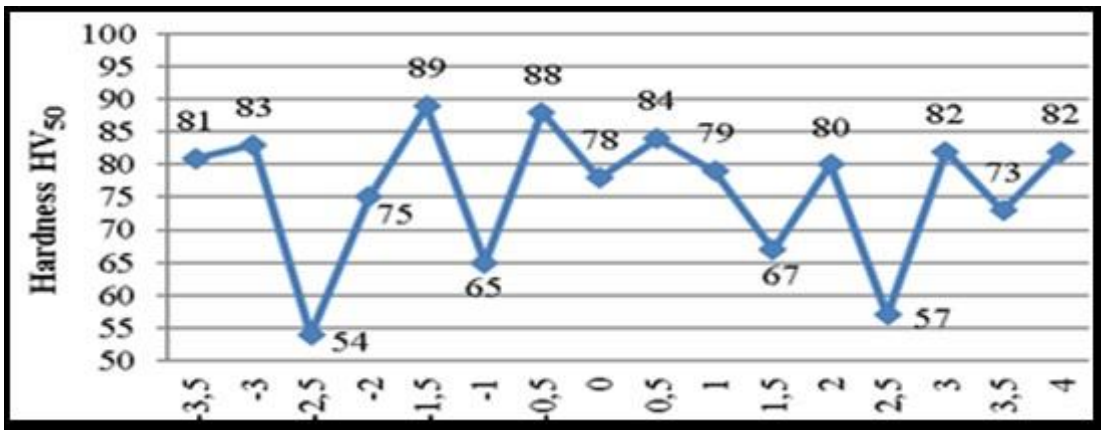
SKNK birleşme yeri tabanındaki doğrusal mikro sertlik dağılımları (mm)



Şekil 5.5. AA5754 / Ni / AA5754 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin alt kısmındaki mikro sertlik dağılımlar



Şekil 5.6. AA5754 / Ni / AA5754 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK birleşme yeri sol duvarının kaynak mikro sertlik dağılımları



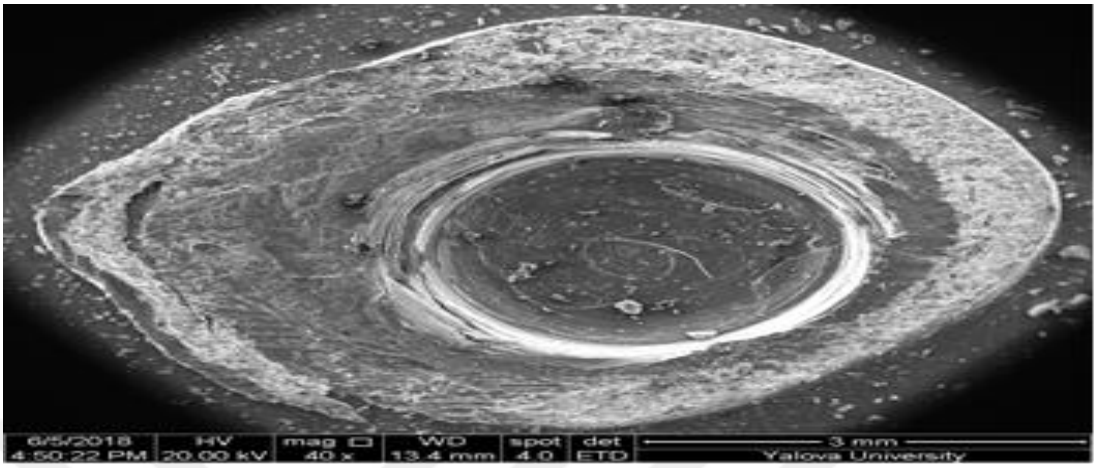
Şekil 5.7. AA5754 / Ni / AA1050 alüminyum alaşımlı levhalarda SKNK derzinin sağ duvarının kaynak mikro sertlik dağılımları

Mikro-sertlik dağılımı her bir mikro sertlik numunesi kaynak bölgesi için, toplam 38 mikro-sertlik değeri üç farklı katmanda ölçülmüştür.

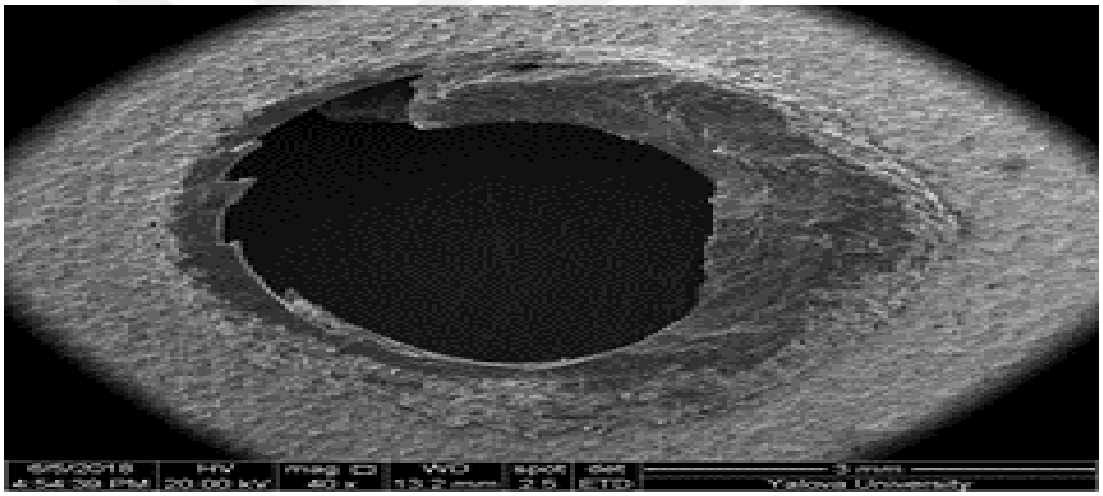
Mikro-sertlik dağılımı, her bir mikro-sertlik numunesi kaynak teçhizatı için, karıştırmanın 12 mm mesafesindeki kaynağın kalınlığı boyunca alt, sağ yan duvar ve sol duvar tabakaları olmak üzere üç farklı tabakada toplam 38 mikro-sertlik değeri

ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri AA5754 alüminyum alaşımlı, nikel kaplı alaşım elementi, AA1050 alüminyum alaşımlı ve saf alaşımın kaynak durumlarında karşılaştırılmıştır. Mikro-sertlik değerlerinin, farklı mikro yapı ve alaşım elementleri için değişik ölçümlerde olduğu görülmüştür. Karıştırma bölgesindeki mikro-sertlik girintileri, nikel kaplamalı ve içermeyen girinti boyutlarındaki değişimin gözlemlenmesi için Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Nikel kaplı alaşım için daha küçük boyutlu girinti, daha yüksek sertlik ve bunun sonucunda, Cu kaplı alaşım elementi ile kaynağa kıyasla sünelikle gözlenen yüksek çekme dayanımı gösterir [28]. Aynı zamanda, nikel kaplı ara kat ile karıştırma bölgesi ara yüzünde uygun difüzyon ve homojen olmayan nikel dağılımı nedeniyle daha iyi çekme özellikleri gözlenmiştir. Nikel kaplı ara katmanın mikro sertliğinin, Şekil 5.5, 5.6, 5.7.gösterildiği gibi AA5754 / Ni / AA5754 SKNK durumunda kaynak yan çeperi ve alt katmanlarınkinden daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, üst yüzeydeki kaynak kenar çeperi ve alt tabakalara kıyasla daha ince tanecikle sonuçlanan ek omuz sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır. Nikel kaplı ara kat karıştırma bölgesinin mikro sertliği, Şekil 5.6, 5.7'de gösterildiği gibi oldukça yüksektir, çünkü karıştırma bölgesindeki taneler kaynak işlemi sırasında dinamik yeniden kristalleşme nedeniyle daha ince hale gelmiştir. Ancak, nikel kaplı ara katmanlar ile SKNK eklenmesi durumunda, mikro-sertlik sadece ara kat karıştırma alanındaki karıştırılmış alüminyum matris ve nikel parçacıklarına bağlıdır. Şekil 5.6.'da, SKNK ekinin kaynak sol yan duvarının, karıştırılmış ince taneli mikro-yapılı alüminyum matris ve nikel parçacıklarının varlığı nedeniyle maksimum 92 HV sertliğine sahip olduğu bulunmuştur.

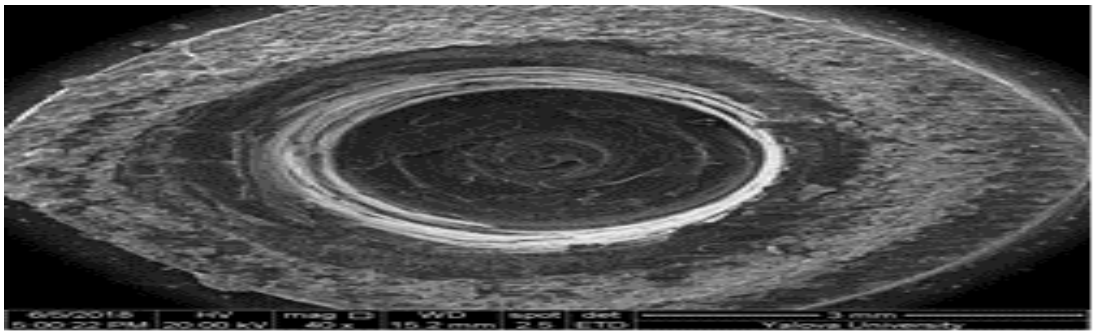
5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) Kullanılarak Numunelerin Mikroyapı ve Kırılma Yüzey Analizi



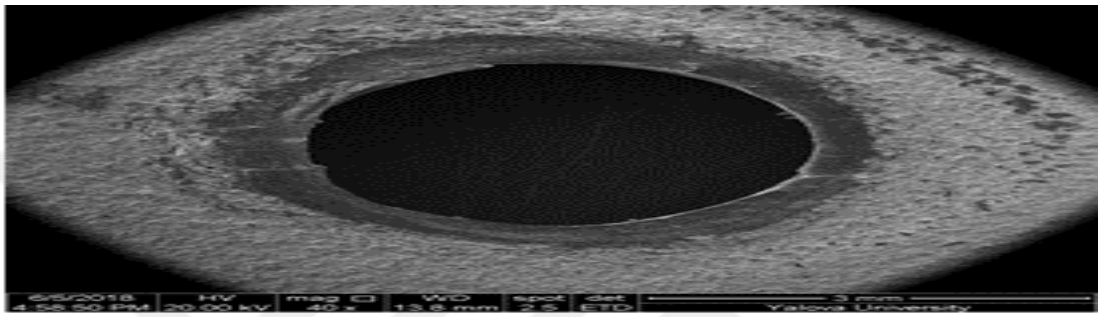
Şekil 5.8. SEM fraktografi mikrografları, alt yüzey örneği AA1050 alüminyum alaşım



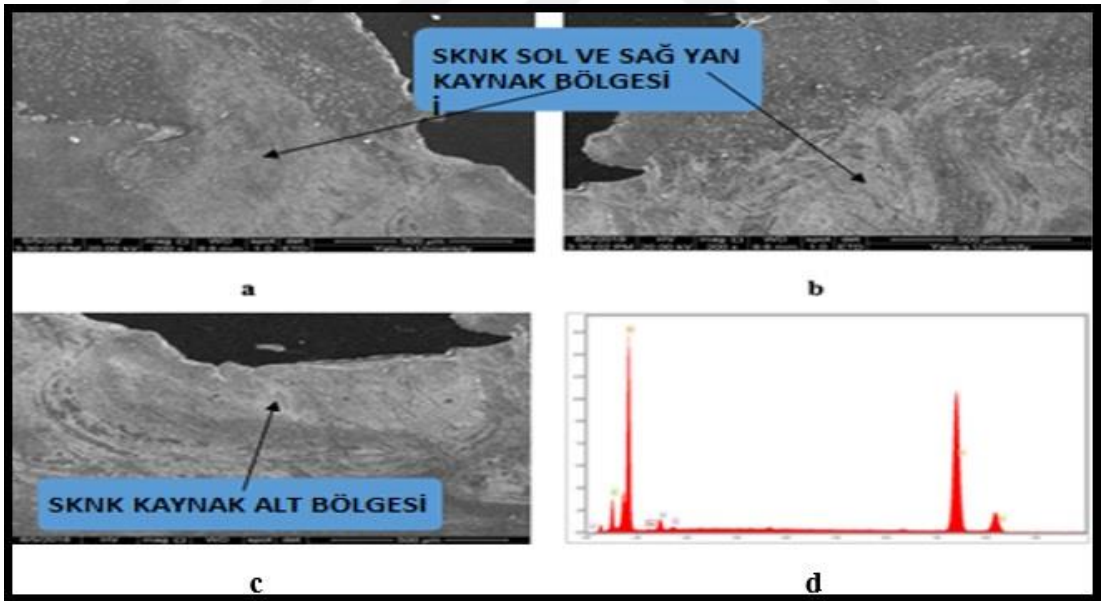
Şekil 5.9. SEM fraktografi mikrografları, AA5754 alüminyum alaşımlı kesme gerilme testinden sonra kırılan nikel kaplı üst yüzey



Şekil 5.10. SEM fraktografi mikrografları, alt yüzey örneği AA1050 Al. alaşım



Şekil 5.11. SEM fraktografi mikrografları, AA5754 alüminyum alaşımlı kesme gerilme testinden sonra kırılan nikel kaplı üst yüzey



Şekil 5.12. SKNK karıştırma bölgesi a-sol b-sağ c-alt taraftaki mikro yapılar d-Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) birimleri kullanılarak SKNK karıştırma bölgesi kimyasal analizi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nikel kaplı alüminyum alaşımı özelliklerinin AA5754 / Ni / AA1050 sürtünme karıştırma nokta kaynak kaynağı kabiliyeti bu çalışmada analiz edildi. Aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

1. Bu çalışmada, kaynak dikişinin kimyasal bileşimini değiştirerek sürtünme karıştırma noktası kaynağıyla birleştirilmiş, alaşım elementleri olarak Mg içeren AA5754 orta mukavemetli alüminyum levhaların birleşim noktalarının mekanik mukavemetini geliştirmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda, AA5754 alüminyum alaşımlı levhaların levha kenarları, yüksek hızlı oksi yakıtlı termal toz püskürtme (HVOF) yöntemi kullanılarak 40 um nikel ile kaplandı**.**
2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi; alüminyum-nikel malzemede 2000 devir / dakika takım dönme hızı ve maksimum 9s bekleme süresi parametreleri ile birleştirilmiştir. Kaynak bölgelerinin enerji dağılım spektroskopisi (EDS) analizi, sert ve kırılgan bir intermetalik bileşik oluşmadığını gösterdi (Şekil 5.12).
3. AA5754 / nikel / AA5754 kaynaklarının mükemmel birleşme göstermesine rağmen, ara yüzlerde 40µm kalınlığında bir nikel kaplama oluşumu vardır, ancak karıştırılan bölgede nikel ile karıştırılan güçlü baz malzemeler bulunur.
4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı çok hızlı uygulanan katı hal kaynak işlemidir. Nikel kaplamanın en önemli özelliği, sürtünme karıştırma işlemi sırasında oksit oluşumunun en aza indirilmesidir. Ayrıca, elde edilen sünek yüksek mukavemet sayesinde yapı aynı zamanda sünek yüksek çekme mukavemetine Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi sahiptir.
5. Sürtünme karıştırma nokta kaynak işlemi yapısı açısından, üstü nikel kaplı AA5754'ün dayanım değeri AA1050 alüminyum alaşımlı levhaya kıyasla daha yüksektir. İşlem sırasındaki sıcaklık düşük seviyelerde olduğundan, sürtünme-dalma sırasında toplanan nikel partikülleri mikroyapıya yayılır. Sıcaklık düşük olduğu için ve ısı etkisinden etkilenen alanın daha dar olması nedeniyle hasarın azaltılması muhtemeldir.(Şekil 5.3.)
6. Sürtünme karıştırma noktası kaynak işleminin 40µm kalınlığında nikel kaplı üst

AA5754 alüminyum levhaya birleştirme arayüzlerini oluşturan ısıdan etkilenen bölge ve ısıdan etkilenmeyen bölgelerin alt AA1050 alüminyum alaşımlı levha tarafına uygulanmasında en zayıf bölgelerdir. Her ne kadar bu bölge birçok mikroyapıya sahip olsa da, yeniden kristalleşmeyen sürtünme karıştırma işlemi ile tamamlanmamış oluşumlar vardır. Bu bağlamda, çekme testi sırasındaki gerilme hasarı, bu bölgelerde daha çok meydana gelmiştir (Şekil 4.11, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11).

KAYNAKLAR

[1] Kahraman B., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri İle Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009, 232760.

[2] Çam G., Al-Alaşımları İçin Geliştirilmiş Bir Kaynak Teknolojisi, *Mühendis ve Makine*, 2005, **46**(541), 30-39.

[3] https://www.reynaers.com.tr/tr-TR/aluminyum-nasil yapilir, (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2019).

[4] https://www.metalurjik.net/aluminyum-alasimlarin-serileri, (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2019).

[5] Tımaç G., Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alü. Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

[6] Shi S. G., Westgate A., Resistance Spot Welding of High-Strength Steel Sheet, Corporate Research Program Report No 767/2003, *The Welding Institute*, 2003, Cambridge, UK.

[7] Spinella J., Brockenbrough J. R., Fridy J. M., Trends in Aluminum Resistance Spot Welding for the Automotive Industry, *Welding Journal*, 2005, **84**(1), 34-40.

[8] Thomas W. M., Nicholas E. D., Friction Stir Welding for the Transportation Industries, *Materials and Design*, 1997, **18**(4/6), 269-273.

[9] Backlund J., Norlin A., Andersson A., Friction Stir Welding-Weld Properties and Manufacturing Techniques, *Conference Proceedings (CD)*, INALCO, 1998.

[10] Mazda Develops World's First Aluminum Joining Technology Using Friction Heat, *Mazda News Release*, 27 February 2003.

[11] Iwashita T., Method and Apparatus for Joining. *US Patent 6601751 B2*, 5 Aug. 2003.

[12] Pan T., Joaquin A., Wilkosz D. E., Reatherford L., Nicholson J. M., Feng Z., Santella M. L., Spot Friction Welding for Sheet Aluminum Joining, *Proc. 5th International Symposium on Friction Stir Welding*, Metz, France, 2004.

[13] Allen C. D., Arbegast W. J., Evaluation of Friction Stir Spot Welds in 2024 Aluminum, SAE Technical Paper No 2005-01-1252, *Society of Automotive Engineers*, 2005.

[14] Jawdat A., Al J., Sallameh S., Talal M., Masoud I., Maen A. R., Deya A. Q., Welding Equality and Mechanical Properties of Aluminum Alloys Joints Prepared by Friction Stir Welding, *Materials and Design*, 56(2014), 929-936.

[15] Venukumar S., Muthukumaran S., Swaroop G. Y., Satish V. K., Failure Modes and Fatigue Behavior of Conventional and Refilled Friction Stir Spot Welds In AA 6061-T6 sheets, *International Journal of Fatigue*, 2014, 61, 93-100.

[16] Ji S. D., Meng X. C., Liu J. G., Zhang L. G., Gao S. S., Formation and Mechanical Properties of Stationary Shoulder Friction Stir Welded 6005A-T6 Aluminum Alloy, *Materials and Design*, 2014, **62**, 113-117.

[17] Don-Hyun C., Byung-Wook A., David. J. Q., Seung-B. J., Behavior of b Phase (Al3Mg2) in AA 5083 During Friction Stir Welding, *Intermetallics*, 2013, **35**, 120-127.

[18] Sadeesh P., Venkatesh K. M., Rajkumar V., Avinash P., Arivazhagan N., Devendranath R. K., Narayanan S., Studies on Friction Stir Welding of AA 2024 and AA 6061 Dissimilar Metals, *Procedia Engineering*, 2014, **75**, 145-149.

[19] Heurtier P., Desrayoud C., Montheillet F., A Thermo Mechanical Analysis of the Friction Stir Welding Process, *Materials Science Forum*, Trans tech publications Vol. 396-402, No 3, Switzerland, 1537-1542, 2002.

[20] Sarsılmaz F., Özdemir N., Sürtünme Karıştır Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen aa6061/aa7075 Çiftinde Karıştırıcı Uç Omuz Genişliğinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, *Özel S. Selçuk-Teknik Dergisi*, 2008, Cilt 7 ISSN, 1302-6178.

[21] *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Temmuz 2012, Cilt 5, Sayı 4(25-33) Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Kabul Tarihi: 06 Temmuz 2012.

[22] Mindivan H., Kaya H., Öz A., Yalçınöz Y., Uçar M., Samur R., Microstructure Mechanical and Corrosion Properties of Friction Stir Welded AA1050 Aluminum Alloy Coated With Nickel Powder by High Velocity Oxy Fuel (HVOF) Process, *4th International Conference on Welding Technologies and Exhibition* (ICWET'16), Gaziantep-TURKEY, 11-13 May 2016.

[23] Çamcı Ş., Ustaoğlu G., Güler S., Isıl Püskürtme Yöntemiyle Tungsten-Karbür Kaplama, M.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Bitirme Tezi, İstanbul, 2004.

[24] Joaquin M. P., Hernan G. S., *Procedia Materials Science*, 9, 504-510, 2015.

[25] Lakshminarayanan A. K., Annamalai V. E., Elangovan K., Identification of Optimum Friction Stir Spot Welding Process Parameters Controlling the

Properties of Low Carbon Automotive Steel Joints, *jmaterrestechnol*, 2015, **4**, 262-272.

[26] Zarghani F., High Mechanical Performance of Similar Al Joints Produced by Novel Spot Friction Welding Technique, 2018, **147**, 172-186.

[27] Hovanski Y., Santella M., Grant G., *Scripta Materiel*, 57, 873-876, 2007.

[28] Kaya H., Atapek H., Çatalgöl Z., Samur R., Uçar M., Microstructure and Mechanical Properties of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed Copper Powder Coating on Welding Regions of Aluminum Alloy AA5754 Welded Plates With The Friction Stir Spot Welding Process, *European Conference on Science Art & Culture (ECSAC)*, Antalya-Turkey, 2018.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Baydak Y. E.,** Kaya H., Çatalgöl Z., Samur R., Uçar M., Soğutma Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Prosesi İle Benzer Olmayan Alüminyum Alaşım Plakaların Kaynak Bölgelerindeki Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtlı (Hvof) Püskürtme Sistemi İle Nikel Toz Kaplamanın Mikro Yapısı Ve Mekanik Özellikleri, *3.Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, Gaziantep, 21-22 Haziran 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Gaziantep de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini, Adana, İstanbul ve Gaziantep illerinde tamamladı. 2011 yılında Hitit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2015 yılında lisans eğitimini tamamlayıp, Kocaeli Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılından itibaren Homologasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır.