T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRTÜNME KAYNAĞINDA BİRLEŞTİRİLEN BİMETALİK PARÇALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ali ALTINDAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI

EDİRNE-2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof. Dr. Yılmaz ÇAN	
Yrd. Doç Dr. Cenk MISIRLI	
Yrd. Doç Dr. Tarık YERLİKAYA	

Tarih: 27/11/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

27/11/2014

Ali ALTINDAL

Yüksek Lisans Tezi
Ali ALTINDAL
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Sürtünme kaynagı otomotiv, makine, havacılık ve uzay endüstrilerinde yaygın bir sekilde kullanılmaktadır. Diger kaynak tekniklerinin yetersiz kaldıgı özellikle silindirik parçaların kaynaklarında basarılı bir sekilde uygulanmaktadır. Alüminyum–çelik, alüminyum–bakır, çelik–seramik, alüminyum–seramik gibi malzemeler, bu yöntemle birlestirilebilir. Bu çalışmada "Aluminum Association "numarası AA 2014 olan alüminyum ile saf (≥99.9%) bakır birleşimi olan bimetalik malzemenin sürtünme kaynağı ile birleştirilerek, mekanik özellikleri ve birleşim esnasında sıcaklık ölçümleri deneysel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yıl : 2014
Sayfa Sayısı : 34
Anahtar Kelimeler : Bimetal, Sürtünme Kaynağı, Bakır, 2014 Alüminyum

Master's Thesis
Ali ALTINDAL
Trakya University Institute of Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Friction welding process is widely used in automotive, aviation and space industries. It can successfully be used in welding of especially cylindrical parts where other techniques are of no use. Many dissimilar metal combinations such as aluminium-steel, aluminium-copper, steel-ceramic, and aluminium-ceramic can be joined using this process.In this study we try to mechanical characteristics and determine the experimental temperature measurement of bimetalic material (which is compued of Aluminium with the AA2014 Al. As. Number and pure (≥99.9%) copper) and friction source while they are crombing.

Year : 2014
Number of Pages : 34
Keywords : Bimetallic, AA 2014, Aluminium, Copper, Friction Welding

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu yüksek lisans tezinde bana yol gösteren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Yılmaz Çan ve Yard. Doç. Dr. Cenk Mısırlı' ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 ..... **1**
GİRİŞ 1
1.1 Tezin Konusu ve Önemi 1
1.2 Tezin Kapsamı 2
BÖLÜM 2 ..... **4**
Genel Bilgiler 4
2.1 Sürtünme Kaynağı 4
2.1.1 İşlem Prensipleri 5
2.1.2 Kullanım Alanları 6
2.1.3 Sürtünme Kaynak Çeşitleri 9
2.1.3.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı 9
2.1.3.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı 10
2.1.3.3 Kombine Kaynak Yöntemi 10
2.2 Bimetalik Malzemeler 11
2.2.1 Kullanım Alanları 12
BÖLÜM 3 ..... **13**
MATERYAL ve METOD 13
3.1 Numunelerin Hazırlanması 13
3.2 Deneysel Çalışma 16
3.2.1 Sıcaklıkların Ölçümleri 20
BÖLÜM 4 ..... **24**
SONUÇLAR ve TARTIŞMA 24
4.1 Deneysel Sonuçlar 24
4.1.1 Çekme Testi 24
4.1.2 Kaynaklı Parçaların Mikroyapısı 26
4.1.3 Malzemelerin EDX Analizi 28
4.1.4 Kaynaklı Parçaların Sertlik Varyasyonları 29
4.1.5 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları 30
4.2 Sonuç 31
KAYNAKLAR 33
ÖZGEÇMİŞ 34

SİMGE ve KISALTMALAR

AA	Alüminyum Association Numarası
XRD	X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
Pb	Kurşun
S	Kükürt
MnS	Mangan Sülfür
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
MPa	Mega Pascal
(sn)	Saniye
F	Fisher

ŞEKİL, RESİM ve TABLO LİSTESİ

Şekil 2.1 :	Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar	6
Şekil 2.2 :	Sürtünme Kaynağı Şematik Gösterimi	8
Şekil 2.3 :	Rotasyon Hareketinin Şematik Gösterimi	8
Resim 2.1:	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	9
Şekil 2.4 :	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	10
Şekil 2.5 :	Kombine Kaynak Yöntemi Şematik Gösterimi	11
Tablo 3.1 :	Bakırın Mekanik Özellikleri	14
Tablo 3.2 :	AA2014 Alüminyum Kimyasal Bileşimi	14
Tablo 3.3 :	AA2014 Alüminyum Mekanik Özellikleri	14
Resim 3.1:	Numunelerin Teknik Resmi	15
Resim 3.2:	Numunelerin 3d Modellemesi	15
Resim 3.3:	Tornalama İşlemi	16
Resim 3.4:	Malzemelerin Makinada Şematik Gösterimi	16
Tablo 3.4:	Deney Parametreleri	18
Tablo 3.5:	Optimum Parametreler	18
Resim 3.5:	Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinası	19
Resim 3.6:	Numunelerin Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmesi	20
Şekil 3.1:	Termoçiftlerin Şematik Gösterimi	21

Resim 3.6:	Data Taker DT8	22
Resim 3.7:	Veri Kayıt Cihazı	22
Şekil 4.1:	Çekme Testi Basınç	25
Şekil 4.2:	Çekme Testi Zaman	25
Şekil 4.3:	Birleşim Bölgesinin Makro Fotoğrafı	26
Şekil 4.4:	Birleşim Bölgesinin Mikro Fotoğrafı	26
Şekil 4.5:	Bakır Yüzeyinin Mikro Fotoğrafı	27
Şekil 4.6:	Alüminyum Yüzeyinin Mikro Fotoğrafı	27
Şekil 4.7:	Birleşim Bölgesinin SEM Mikroyapısı	28
Tablo 4.1:	EDX Nokta Analiz Sonuçları	28
Şekil 4.8:	Sertlik Ölçüm Sonuçları	29
Tablo 4.2:	Sıcaklık Değerleri	30
Şekil 4.9:	Sertlik Ölçüm Sonuçları Sıcaklık Farklılaşma Grafiği	31

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu ve Önemi

Malzeme ve üretim yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak farklı malzemelerin bir arada kullanılması ihtiyacı günümüzde daha da önem kazanmıştır. Tasarım aşamasında fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerine göre belirlenen malzemelerin son ürün aşamasındaki aynı veya farklı malzemeler ile birleştirilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu durumda ana malzeme ve birleşme bölgesinde özelliklerde değişim olması kaçınılmazdır. Oluşan bu değişimin kabul edilebilir sınırlarda olması ve tasarımda sorun oluşturmaması çok önemlidir. Uygulanan katı hal kaynak yöntemlerinde belirtilen sakıncaları giderecek şekilde kaynak yöntemi geliştirilmesine çalışılmaktadır. Sürtünme kaynak yöntemi, bu noktada malzemelerin birleştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Diğer taraftan ürün ağırlıkları, korozyon direnci, mekanik dayanım gibi etkenler göz önüne alınarak düşük maliyette malzemelerin nasıl üretileceği konusundaki araştırmalar hız kazanmıştır. Bu araştırmalar sonucunda farklı iki malzemenin fiziksel olarak birleşmesi ile elde edilen bimetalik malzemeler ortaya çıkmıştır. Birden farklı malzemelerin iç içe geçirilerek tek bir malzeme yapılması prensibi ile üretilen bimetalik malzemelerde farklı kullanım alanları bulunmaktadır.

Endüstriyel otomasyon konuları arasında sıcaklık ölçümü vazgeçilmez süreçlerden biridir. Çünkü ısıl işlem olmadan nerede ise üretim yapılamamaktadır. Sıcaklık ya birinci dereceden ya da etkileyen olarak üretimin her aşamasında yer almaktadır.

Örneğin; metalürji alanında ısıl işlem olmadan hiçbir üretim olamaz. Otomotiv sektöründe sıcaklık hemen her aşamada yer alır. Arabanın boyası atılırken fırınlanır. Plastik sanayinde ürün eritilerek şekillendirilir. Cam sanayisinde camın şekillendirilmesi için yüksek dereceli fırınlar kullanılır. Kısaca ısı olmadan üretim olmamaktadır. Ancak üretim esnasında kullanılan ısı ya da sıcaklığın tespiti her zaman kolay olmayabilir. Özellikle, malzemelerin kaynak edilmesinde, üstelik bu malzemeler farklı ise birleşme esnasında yararlanılan sıcaklığın tespiti hiç kolay değildir.[1]

İki farklı malzemeden veya bimetalik malzemeden oluşan parçaların birleştirilmesinde en önemli sorun malzemelerin farklı ısı iletim kabiliyetlerinin olmasıdır. Bu da malzemelerin uygun kaynak eldesi esnasında gerekli ısı oluşumun dolayısı ile de kaynak mukavemetini etkileyen önemli bir parametredir Bu nedenle bu çalışmada, bimetalik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi esnasında ara yüzeydeki sıcaklıkların deneysel olarak tespiti yapılacak, birleştirilen malzemeler yorulma testlerine, çekme testlerine tabi tutulacaktır. Yapılacak XRD ve SEM Analizleri de birleşim bölgesindeki yapıya açıklık getirecektir. Sunulan çalışmada; önceden tasarlanan ve oluşturulan klasik sürtünme kaynak deney tesisatı kullanılarak parçaların birleştirilmesi ve sıcaklığın ölçüm işlemi yapılacaktır.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu çalışmada Bakır ve "Alüminyum Association "numarası AA 2014 Alüminyum alaşımından oluşturduğumuz bimetalik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilerek, birleşim esnasında sıcaklık ölçümleri deneysel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bölüm 2'de genel bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Bunlar sırası ile Sürtünme kaynağı ve Bimetalik malzemeler hakkında kısa ve temel bilgiler içermektedir, daha önce yapılmış olan çalışmalar ve makalelerden örnekler verilerek kısaca açıklanmıştır. Bu bağlamda var olan bilgiler ışığında tez çalışması için ön hazırlık yapılmıştır.

Bölüm 3'te bu tezde kullanılan bimetalik parçaların nasıl üretildiği, malzeme özellikleri, parça boyutları tanımlanarak bu bimetalik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirme işleminin deneysel olarak incelenmesi detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm 4'te ise bir önceki bölümde elde edilen veriler ışığında tez çalışmasının sonuçları tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 Sürtünme Kaynağı

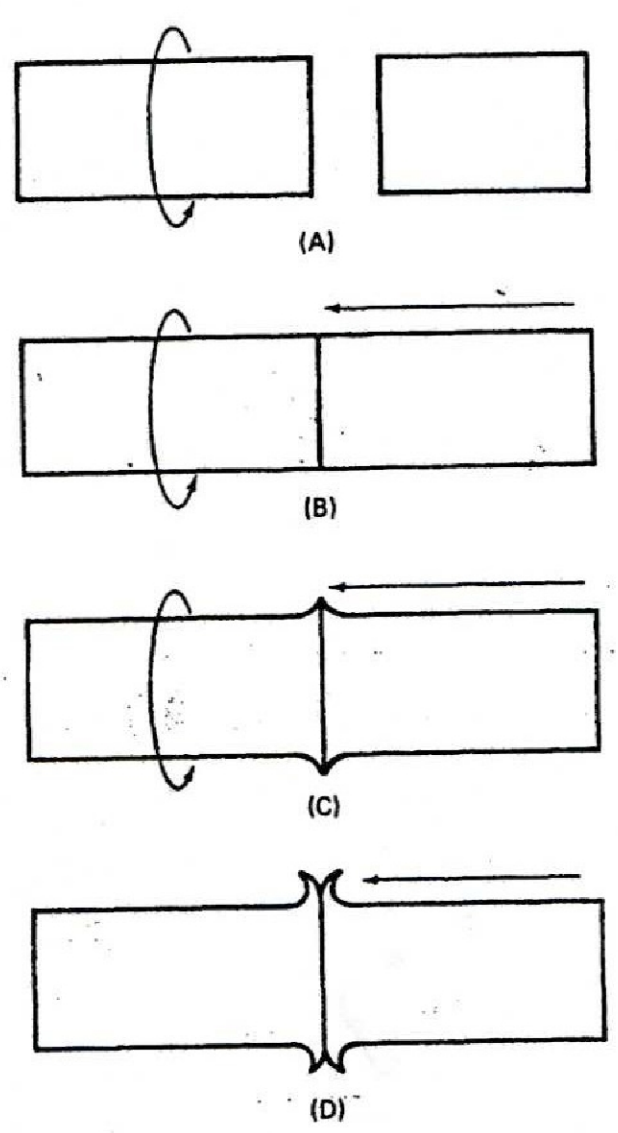
Endüstriyel uygulamaları 1950'li yıllara kadar giden sürtünme kaynağı ile ilgili ilk patentler 1900'lere kadar dayanmaktadır, tik olarak Leningrat'ta çeşitli işletmelerde ve makine bakım ve onarım tesislerinde uygulanmaya başlanmıştır. İkinci dünya savaşı yıllarında da Almanya ve A.B.D. da plastik malzemelerin kaynağında kullanılmıştır [1-4]. Rusya'da konuyla ilgili araştırmalar Vill ve arkadaşları [4] tarafından yürütülmüş, A.B.D. da ise 1962 yılında sürtünme kaynağı düzenlenerek atalet kaynağı geliştirilmiştir. Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük bir kısmını dairesel kesitli miller ve borular oluşturmuştur. [5]

Sürtünme kaynağı; elektrik enerjisi veya diğer kaynaklardan ısı enerjisi uygulanmadan iş parçasının yüzeyleri arasındaki mekanik dönme hareketinin ısı enerjisine dönüşmesiyle kaynak için gerekli ısının elde edilerek yapıldığı bir katı hal kaynak tekniğidir. Sürtünme kaynakları, ara yüzey kaynak sıcaklığına ulaşana kadar sabit bir iş parçasıyla dönen bir iş parçasının sabit veya belirli olarak artan basınç altında yapılır ve sonunda dönme durdurularak kaynak tamamlanır. Sürtünme ısısı iş parçasının ara yüzey sıcaklığını hızla artırarak ergime derecesinin altında bir değere getirir ve plastik sıcaklık oranında ısınan bölgeye uygulanan basıncın etkisi altında birleştirme meydana gelir.[6]

2.1.1 İşlem Prensipleri

Katı-hal birleştirme tekniklerinden olan sürtünme kaynağında birleştirme ergimeye bağlı olmadan birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde meydana gelir.

Sürtüne kaynağı üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada malzeme ara yüzeyleri düşük yük altında temas haline getirilir ve deformasyon işlemi sürtünme aşınması ile yönlendirilir. İkinci aşamada uygulanan yükler yavaşça artırılır, kaynaklanacak parçaların ara yüzeyleri boyunca önemli ölçüde sürtünme ısısı oluşur ve gerilme sertleşmesi ve yumuşaması işlemlerinin bir değerine ulaşılır. Üçüncü aşamada ise sürtünme ısısı üretimi sona erer, kaynaklanacak parçaların ara yüzeylerinin her iki tarafında ısınan malzemeye uygulanan gerilme yavaşça artırılır ve çapaklar alınır.[7] Yöntemin başlangıcından bitimine kadar ara yüzey basınç altındadır. Kaynak esnasında uygulanan basınç sabit parça, hareketli parça veya dönen her iki parça tarafında sağlanır.[8] Sürtünme kaynağı işleminde genelde sıcaklık arttığında kesme ve akma mukavemetleri düşer. Sürtünme kaynağında yüzey tabakaları kırılıp atıldığında önemli bir plastik akma olur. Sonuçtaki sıcaklık bölgesel ergimenin başladığı sıcaklığa ulaşır. Bu olayların hepsi saniyeler içerisinde meydana gelir. Bütün ergitme kaynakları kalıntı gerilmelerin üretilmesine sebep olmaktadır. Bu gerilmeler malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklardaki ısıl çevrimlerden kaynaklanmaktadır.[9]



Şekil 2.1 Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar [8]

2.1.2. Kullanım Alanları

Sürtünme kaynağı genellikle farklı malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır. Birçok demir ve demir dışı malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Ayrıca sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında kullanılabilir ki bu malzemelerin diğer kaynak yöntemleri ile kaynaklanmaları zordur. Sürtünme kaynağında, dövülebilen ve kuru sürtünme özellikleri iyi olmayan bütün malzemeler kolaylıkla kaynaklanabilir. Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri bağlantı bölgesi kaynak sıcaklığına erişmesini engeller. Demir bazlı malzemeler, düşük

karbonlu çelikten yüksek alaşımlı çeliklere kadar kaynaklanabilmektedir. Paslanmaz çelikler, sinterlenmiş çelikler verilen uygun kaynak parametrelerinde rahatlıkla kaynaklanabilirler. Isıl işlem görmüş paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımlı çelikler gibi kaynatılmaları zordur. Aşağıdaki bazı sınırlamalardan dolayı metal ve alaşımlar bu yöntem ile kaynaklanamazlar.

• Bütün dökme demirlerdeki serbest grafit sürtünme sıcaklığını azaltır. ′

• İçerisinde % 0,3'ün üzerinde Pb bulunan bronz ve pirinçlerde sürtünme sıcaklığını sınırlar

• %0,3'ün üzerinde S ve Pb bulunan otomat çelikleri sürtünme sıcaklığını sınırlar

• Yüksek derecede anizotropik malzemeler geçiş bölgesinde kırılganlığa yol açar

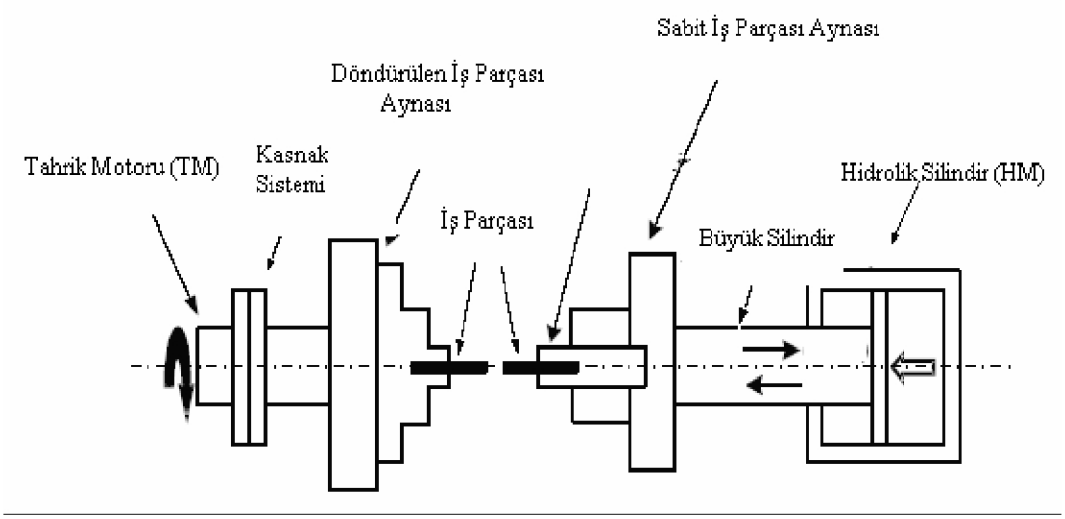
• Yapısında hazır olarak grafit, MnS, serbest Pb gibi zayıflatıcı faz bulunan malzemeler

1991 yılında Manufacturing Tech. Inc. Tarafından uçak motoru alaşımları ve parçaları için 200 tonluk büyük sürtünme makinesi tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra uzay endüstrisi için değişik sürtünme kaynak makineleri tasarlanmıştır. Uzay sanayi kaynakları süper alaşımlar, bimetalikler, paslanmaz çelikler ve alüminyum malzemelerden yapılmıştır. Bu malzemelerin bazılarının alışılmış yöntemler ile kaynatılmaları zor veya çoğu zaman imkânsız olabilmektedir. Ancak sürtünme kaynağı metodu ile kaynatılmaları mümkün olmaktadır.[1-4]

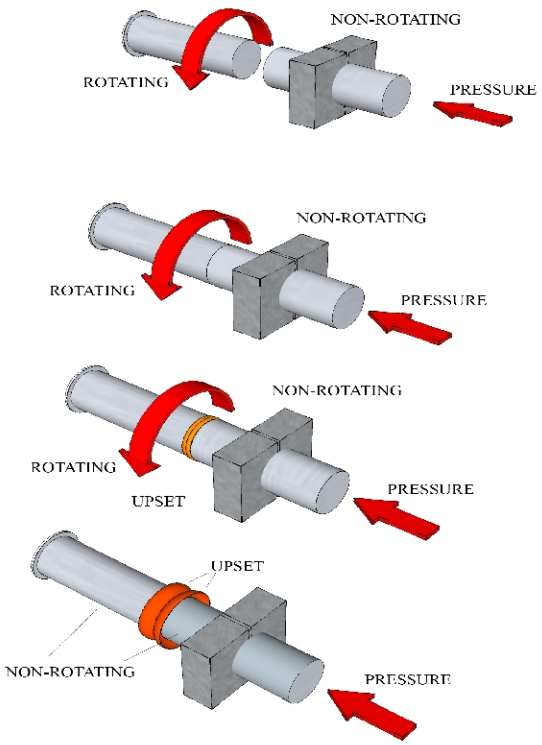
A.B.D. de otomotiv endüstrisi sürtünme kaynağı uygulamalarındaki artışta 9O'lı yıllarda ve endüstri tarihinde önemli rol oynar. Otomotiv sanayinde sürtünme kaynak uygulamaları dengeleyici yaylar, motor valfları, tora konventer kaplar, fren kalibretörleri, su pompaları, kumanda parçaları, dingiller,eksantrik milleri, havalandırma akümülatörleri, U- birleştirmeler ve bezeri çalışmaları içerir.[2]

Sürtünme kaynağı makinesi üretiminde birincil sebep olarak otomotiv endüstrisi için hava yastığı parçaları gösterilmektedir. Bu alanda başarılı malzeme kombinasyonları alüminyum, düşük karbonlu çelik ve paslanmaz çelik alaşımlarıdır. Sürtünme kaynağı hava yastığı patlayıcılarının üretiminde anahtar kaynak metodu olmuştur. Kısmi nüfuziyet ve iyi bir ITAB elde edilmiştir. Sürtünme kaynağı güvenilir

ve tekrar edilebilir bir yöntemdir. Ayrıca teknolojisi ve kullanımında da büyük artış olmaktadır. Otomotiv endüstrisi ve hava yastığı üretiminde iyi sonuç veren bir işlemdir. Bu yöntem geleceğin hava yastığı patlayıcılarında etkin rol oynayacaktır.



Şekil 2.2 Sürtünme Kaynağı Şematik Gösterimi.

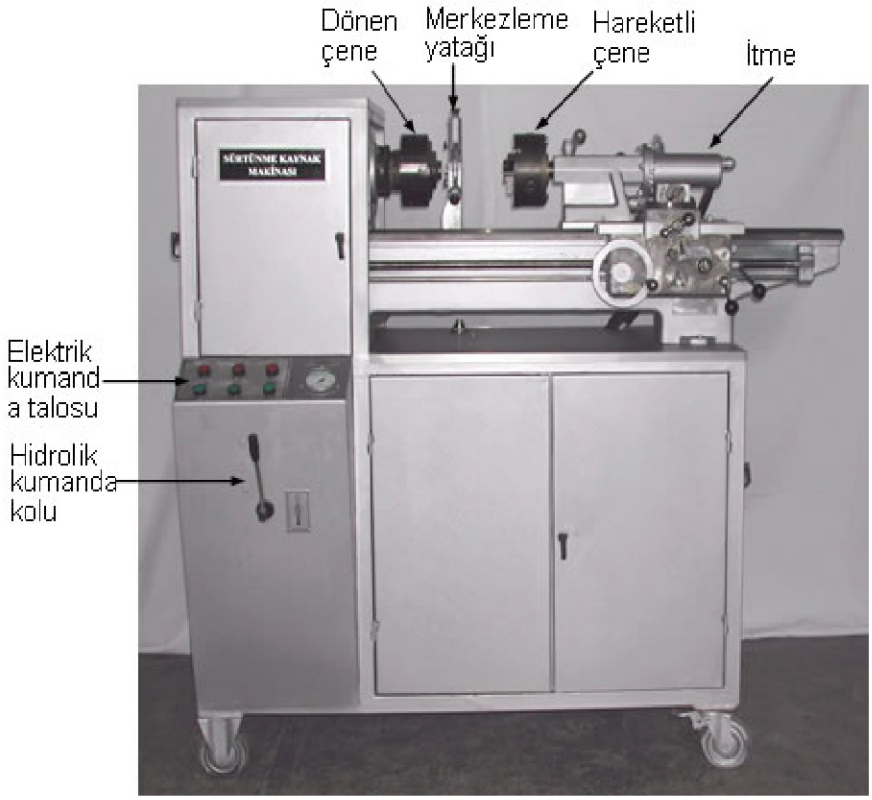


Şekil 2.3 Rotasyon Hareketinin Şematik gösterimi

2.1.3 Sürtünme Kaynak Çeşitleri

2.1.3.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

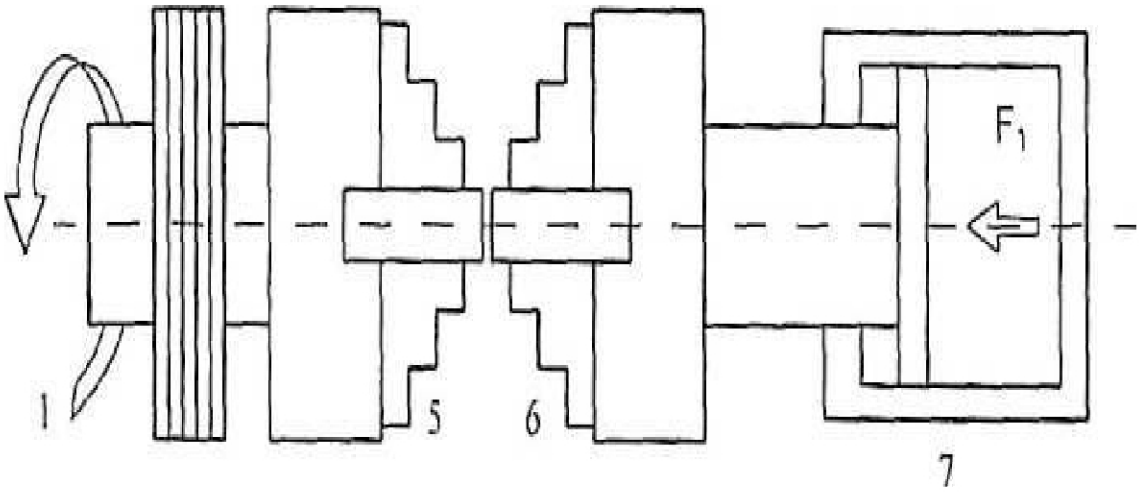
Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı, direk sürtünme kaynağı olarak da bilinmektedir. Gerekli olan enerji sürekli bir tahrik grubu tarafında sağlanır. Parçalardan biri motor ünitesine bağlanır ve sabit bir hızda döner, diğer parça eksenel bir basınçla temas ettirilir. Yeterli derecede ısı girdisi sağlandığında dönme frenleme etkisi ile mümkün oldukça kısa sürede durdurulur. Kaynak kuvveti yığma maksadıyla artırılır ve numune soğumaya bırakılır. Bu yöntem genelde Avrupa'da kullanılmaktadır.[5]



Resim 2.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Resmi.

2.1.3.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Volan tahrikli sürtünme kaynağı, atalet kaynağı olarak da bilinmektedir. Parçalardan biri volana bağlanır. Volan belirlenen hızda ivmelendirilir. Böylece dönme enerjisi bu volan üzerinde toplanmış olur ve sürtünme kaynağının kendi kendine frenlemesiyle parçaya iletilir. Kaynak kuvveti eksenel olarak uygulandığında dönmesi serbest bırakılan parça diğer parça ile döner ve volan enerjisi parça ara yüzeyinde sürtünmeye harcanır. Volan hızı azalırken, kaynak bölgesi ısınır ve ısı yayılır. Volan tamamen durdurulduktan sonra basınç etki ettirilir. Bu yöntem özellikle A.B.D. de uçak ve uzay sanayisinde kullanılmaktadır.[3]

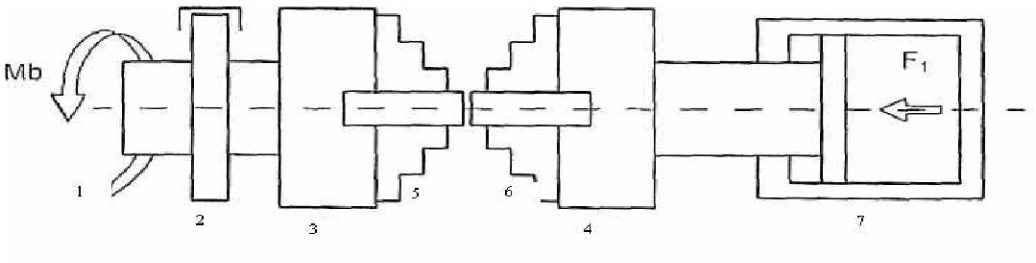


Şekil 2.4 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı Şematik Resim.

2.1.3.3 Kombine Kaynak Yöntemi

Kombine kaynak yöntemi atalet kaynağıyla direk sürtünme kaynağının ortaklaşa kullanıldığı bir metottur. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde kullanılır Volan sürtünme kaynağında direk sürtünme kaynağına göre avantajları aşağıda verilmiştir. Bunlar :

- Daha dar bir ITAB oluşur
- Daha seri üretim yapılır
- Daha düşük güç gerekir
- Daha basit ekipman gerekir.[3]



Şekil 2.5 Kombine Kaynak Yöntemi Şematik Resim.

2.2 Bimetalik Malzemeler

Bimetalik malzemeler basit olarak açıklanacak olursa; farklı karakteristik özelliklere sahip iki farklı metalin, fiziksel olarak birleştirilerek üretilmesi ile oluşur. İki malzemenin karakteristik özelliklerini de taşıdığı için daha iyi özellikte yeni bir malzeme elde edilmiş olur. Bimetal üretim mantığı iki farklı metalden, bazı özellikleri kullanıma göre üstünlük sağlayan metalleri bütünleşik ama aynı amaçla kullanmaktır, üretilen parçalar;

-Düşük maliyet, aynı özellikteki diğer malzemelerden daha ucuza üretilebilirler.

- Hafiflik, aynı boyuttaki tek bir malzemeden daha hafif olabilir.

-Mekanik dayanım, yüksek yorulma vb dayanım gösterebilirler.

-Aşınma direnci ve korozyon direnci gibi üstün özellikler içermektedirler.[10]

Bimetaller iki farklı özellikteki metalin beraberce oluşturduğu bir yapı özelliği gösterirler. Örneğin alüminyum-giydirmeli çelik tellerde olduğu gibi, çelik teller mukavemet ve yüksek dayanım özelliklerini sağlar, alüminyum ise korozyon direnci ve elektrik iletkenliği özelliği ile bimetal bünyesinde görev yapar. Bimetal üretiminde en önemli nokta iki ayrı metal arasında oluşturulacak olan metalürjik bağ ile metallerin birleştirilmesi olup, ekstrüzyon, cladlama, toz metalürjisi, sürtünme kaynağı, döküm gibi yöntemlerle üretilebilmektedirler. Bimetal üretiminde piyasada genellikle döküm yöntemleri tercih edilmektedir. Kısaca bahsetmek gerekirse bu yöntemler; savurma döküm yöntemi, sürekli döküm, hassas döküm (kuyumculuk) yöntemi, ekstrüzyon ile

döküm yöntemi; maça şeklinde veya kalıp şeklinde yerleştirilmiş ön ısıtma uygulanmış metal parçaların içine ve etrafına dökülmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.[11]

2.2.1 Kullanım Alanları

Bimetalleri oluşturacak metaller seçim aşamasında bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar; korozyona karşı direnç, aşınma dayanımı, ısı iletkenliği ve genleşmesi, yapısal özellikleri vb. hem fiziksel hem de mekanik özelliklerdir.

Bimetaller radyatörlerde, mil yataklarında, motor başları contalarında, kâğıt sanayi kesme takımlarında, metal, ağaç, tekstil, yiyecek endüstrilerinde, mutfak eşyalarında, ısı değiştiricilerde, maden sanayinde kullanılan kırıcılarda, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise otomotiv sanayinde, otomobil gövdesine ait muhtelif ince sacların şekillendirmesi amaçlı kullanılan preslerin kalıplarında ve kesme kalıplarında kullanılmaya başlanmıştır.[12]

Aşırı akımdan devrelerini korumak için minyatür devre kesicilerde bimetal şeritler kullanılır. Bimetal şeridi ısıtmak için, yayla çalışan kontağı gevşeten bağlantıyı çalıştıran ve büken tel bobin kullanılır. Bu devreyi keser ve bimetal şerit soğuduğunda sıfırlanabilir. Bimetal şeritler zaman-geciktirme rölelerinde, lamba flâşör ve floresan lamba starterlerinde (çalıştırıcılar) de kullanılmaktadır. Bazı cihazlarda doğrudan mevcut bimetal şeritler üzerinden akan elektrik akımı, onu ısıtmak ve kontağı doğrudan çalıştırmak için yeterlidir. Sonucu doğrudan gösteren kadranlı termometre (verandada bulunan termometre veya etin bulunduğu buzdolabındaki termometre örneğinde olduğu gibi), bobin halinde sarılmış bir bimetal şerit kullanır. Bobinin bir ucu, elektrikli ev cihazına sabitlenmiş olup, diğer ucu da gösterge inesi sağlar. Bimetal şerit, kayıt termometresinde de kullanılır. Breguet termometresi, bir tri-metalik sarmaldan oluşur.[13] Günlük hayatta sıkça karşılaştığımız bir başka Bimetal örneği ise madeni paralardır.

BÖLÜM 3

MATERYAL ve METOD

3.1 Numunelerin Hazırlanması

Mevcut tez çalışmamız için Saf (≥99.9%) Bakır ve "Alüminyum Association'' numarası AA 2014 Alüminyum alaşımı kullanarak, sıkı geçme yöntemi ile hazırladığımız bimetal malzeme numuneleri üretilmiştir.

Bakır tarihin ilk zamanlarından orta çağa kadar, insanlar tarafından en fazla kullanılan metal iken, demir esaslı malzemelerin silah yapımında kullanılması ile yerini ona bırakmıştır. 19. yüzyılın sonuna doğru elektrotekniğin gelişmesi, elektriği çok iyi ileten saf bakıra duyulan gereksinmeyi giderek arttırmıştır. Öte yandan bu tür bakır daha çok elektrolitik arıtma, yani elektrik enerjisi yardımıyla elde edildiğinden, elektroteknik ve bakır üretimi birbirlerini karşılıklı destekleyerek gelişmişlerdir. Endüstriyel bir malzeme olarak bakır, plastik şekil verme yeteneğinin yüksekliği yanında elektrik ve ısıl iletkenliğinin yüksekliği ile daima ön plandaki yerini korumuştur.[14]

• Özgül ağırlık: 8,92 g/cm-3

• Ergime sıcaklığı: 1083 °C

• Isıl genleşme katsayısı: 17,7.10-6 1/K-1

• Isıl iletkenlik: 0,91 cal/cm.s.grd

• Elek. İletkenliği: 40-59 m/Ωmm2

• Elastik modülü: 125000-128500 N/mm2

Tablo 3.1 Bakırın Mekanik Özellikleri

	Haddeleme ve Tavlama	**Çekilme**	**Döküm**
Çekme Mukavemeti	200-250	350-450	150-200
Akma Dayanımı	40-80	250-350	
Kopma Uzaması	30-45	6-20	15-27

Alüminyum Alaşımları ise; mukavemet/ağırlık oranlarının yüksek olması nedeni ile otomotiv ve havacılık endüstrisinde vazgeçilmez kullanım alanlarına sahiptir. Mekanik özelliklerinin daha da iyileştirilebilmesi ve uygun teknolojik özelliklere (sıcak ve soğuk işlenebilirlik gibi) sahip olmalarıyla alüminyum alaşımlarının kimya, ecza ve gıda endüstrisinde olduğu kadar makine endüstrisinde ve perçin imali gibi çeşitli otomotiv yan sanayi dallarında kullanılmaları gün geçtikçe daha da artmaktadır.[15]

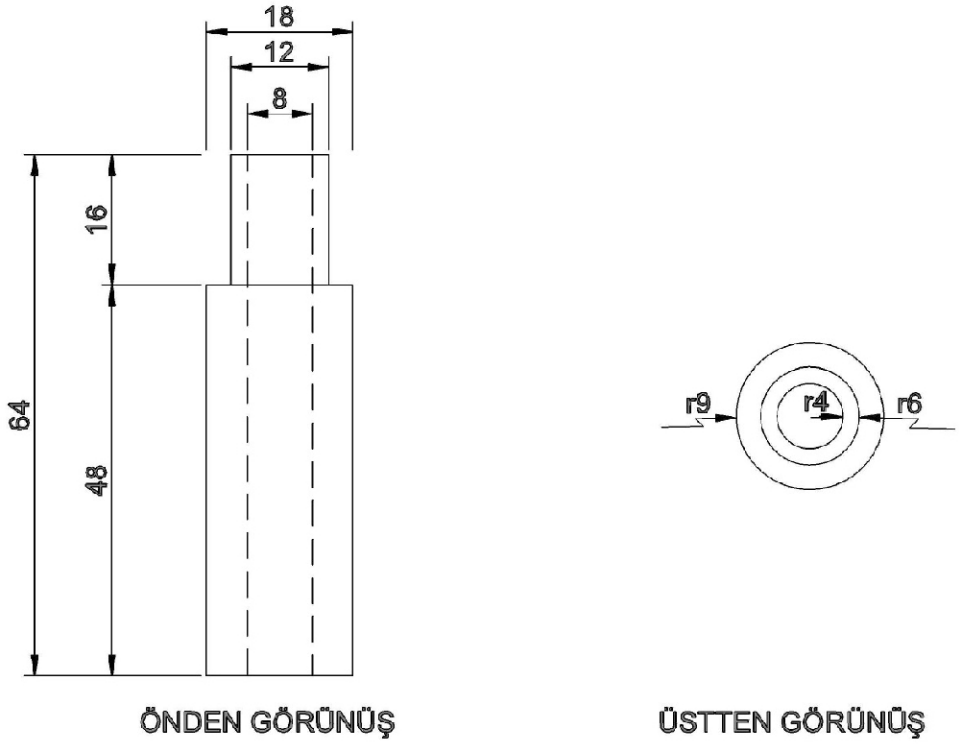
Tablo 3.2 AA 2014 Alüminyum İşlem Alaşımının Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)

Element	**Si**	**Mg**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Ti**	**Sb**	**Al**
%	0.59	0.47	0.31	4.50	0.48	0.0115	0.0038	93,64

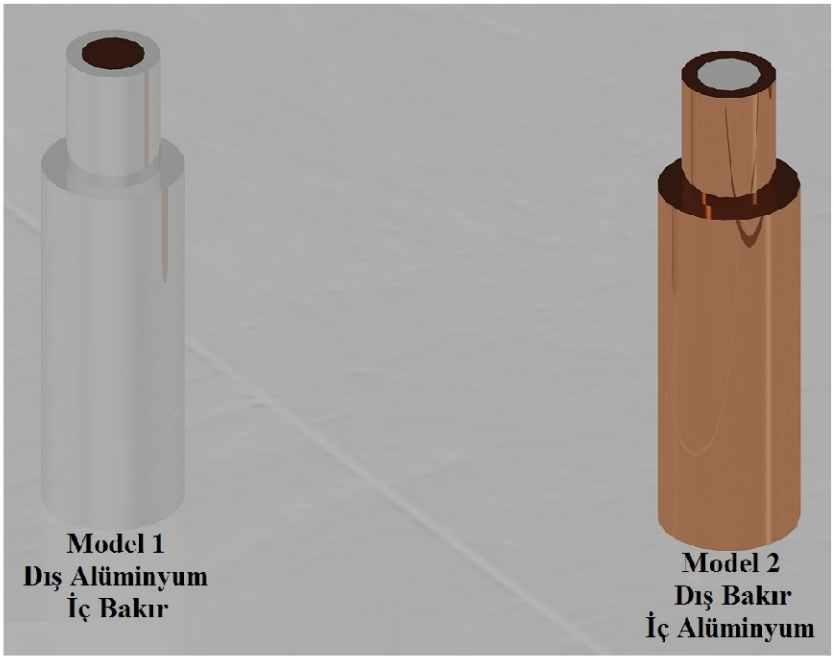
Tablo 3.3 AA 2014 Alüminyum İşlem Alaşımının Mekanik Özellikleri

Çekme Dayanımı, R m MPa	**Akma Dayanımı, R p0,2 MPa**	**Uzama Dayanımı %**	**Kesme Modülü MPa**	**Elastisite GPa**
186	90	19	125	73.1

Malzemeler şekil 1.1 de verilen teknik resimdeki ölçülere ve malzeme kombinasyonlarına göre 2 farklı model olarak hazırlanmıştır.

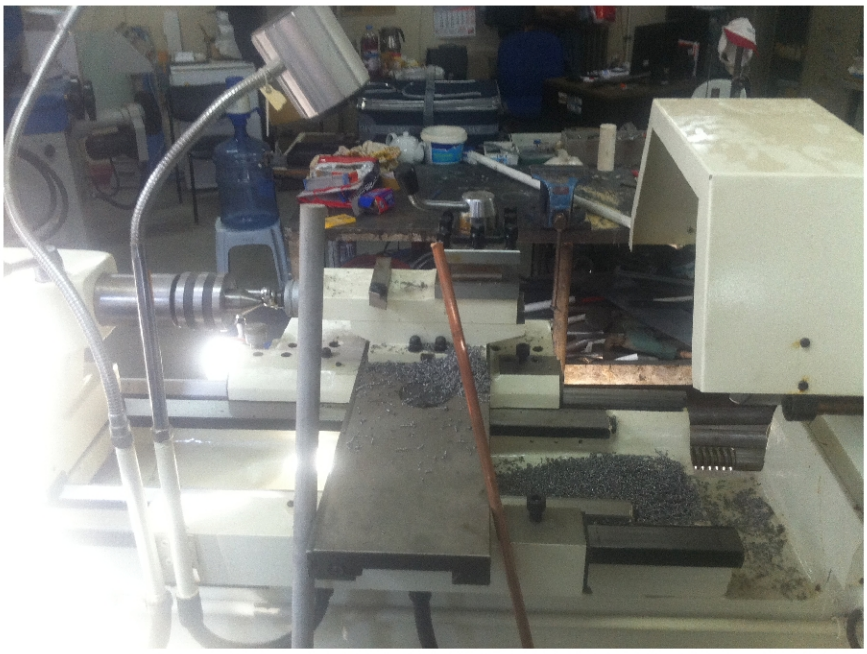


Resim 3.1 Numunelerin Teknik Resmi



Resim 3.2 Numunelerin 3d Modellemesi

Model 1'de AA 2014 Alüminyum içine Bakır, Model 2'de ise Bakır içine AA 2014 Alüminyum sıkı geçme ile yerleştirilmesi tasarlanmıştır.

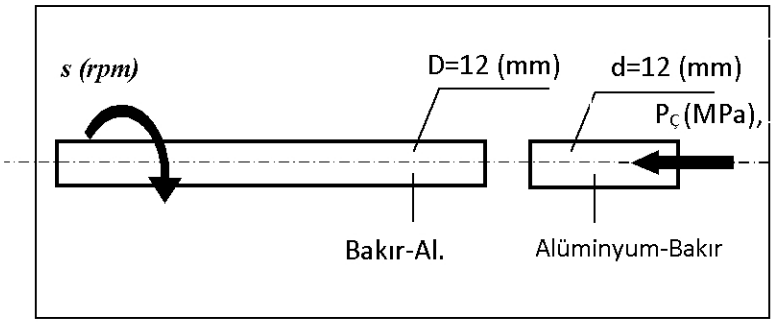


Resim 3.3 Tornalama İşlemi

Tornada işlenen numuneler, zorunlu toleranslar verildikten sonra sıkı geçme yöntemi ile preslenerek hazırlanmıştır.

3.2 Deneysel Çalışma

Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere hazırlanan bimetalik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirme aşamasına geçilmiştir. Kurulum volan tahrikli sürtünme kaynak makineleri ilkelerine göre tasarlanmış ve inşa edilmiştir. 12 mm çapındaki bimetalik malzemeler için sürtünme kaynağında motorun tork kapasitesi için gerekli yığma kuvvetleri 4 KW güç ve 1410 rpm olarak seçildi. Kaynak dizisinin aşamaları harici zamanlayıcı tahrikli selenoid vana tarafından kontrol edilir ve sürtünme ve yığma kuvvetleri basınç göstergesinden görülebilir.



Resim 3.4 Malzemelerin Makinede Şematik Gösterimi

Sürtünme süresi, sürtünme basıncı ve yığma basıncının eklemlerin gerilme kuvvetleri üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Bu faktörler doğrusal istatiksel analiz etkisini incelemek amacıyla kullanılmıştır.

Bir test programının bir parçası olarak ya da bir dizi olarak biriken, ilgili test programları ve ampirik bir tahmin modeli ile analiz edilmiş sonuçlarına göre gerçekleştirilmelidir. Elde edilen sonuçlara göre inşa edilmesi gerekmektedir. Şartlar sadece modelin temel değişkenler için değil aynı zamanda değişkenler içinde çapraz ürün olarak örneğin kareler ya da diğer kombinasyonlar veya dönüşümler içinde sağlanmalıdır.

Bu yaklaşımın temeli varsayım a basitleştirilmiş doğrusal modelin optimizasyon parametresi N ile gösterilen N= B0+B1x1+B2x2+, burada x1, x2 ....., vb, η bağlı olan ve bu önemli faktörleri β0, β1, β2 ...., vs, ilgili bilinmeyenlerin 'gerçek' değerlerini temsil eder.

Sonlu sayıda çalışma değer içeren deney sonuçlarından, numune tahminlerine ulaşmak mümkündür. Daha sonra genellikle, bir doğrusal içine yerleştirmeye uygun özelliklerde katsayıları, β, türü y regresyon denklemi y=b0+b1x1+b2x2+…,Burada y tepki fonksiyonu ve bs vardır, Bs bölgesinin 'yaklaşık' değerleri. Basit bir ifadeyle, her katsayı faktörü optimizasyon parametresi tarafından ifade edilen kaynak kalitesine karşılık gelen etkisini temsil eder.

Uygun bir yöntem olduğunu teyit etmek için Fisher (F) oranına göre kabul edilen doğrusal fonksiyon istatistiklerini kullanmak anlamlıdır. Daha sonra uygun regresyon katsayılarının tahminleri için elde edilen yöntem kullanılır.

Deney tasarımı parametre optimizasyonu faktörünü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faktörler sürtünme zamanı, sürtünme basıncı ve yığma basıncıdır. Diğer parametreler kurulum zamanı ve rotasyon hızı sabit tutulmuştur. Bu değerler tablo 3.4 de verilmiştir.

Tablo 3.4 Deney Parametreleri

Test No	Sürtünme Basıncı (Mpa) X1	Yığma Basıncı (Mpa) X2	Sürtünme Zamanı (s) X3	Çekme Direnci (Mpa)
1	42	80	6	90
2	42	96	10	120
3	60	120	2,5	140
4	60	120	5	133
5	48	96	7	110
6	48	80	4	100
7	48	100	5	103
8	60	80	3	125
9	60	105	10	70
10	60	110	10	50

Fisher yöntemi kullanılarak elde edilen regresyon katsayılarının optimal tahminleri elde edilmiş oldu. Elde edilen denklem şu şekilde oluşmuştur;

$$TS = 146, 333 - 1, 395.x1 + 0, 798.x2 - 7, 505.x3$$

X1 sürtünme basıncı (MPa) , X2 yığma basıncı (MPa) ve X3 sürtünme zamanı (s) dır. Kullanılan Korelâsyon katsayısı eşitliği 1, çekme direnci 0.75 dır.

Parametreler en az hata yapan metot kullanılarak en küçük karelerin optimum kaynak parametreleri olarak alındı. Optimum parametreler şu şekilde bulunmuştur; Sürtünme basıncı 60 (MPa), Yığma basıncı (120 MPa), Sürtünme zamanı (2.5 s). Bu parametreler kullanılarak yapılan sürtünme kaynağı deneyi tablo 3.5 de verilmiştir.[14]

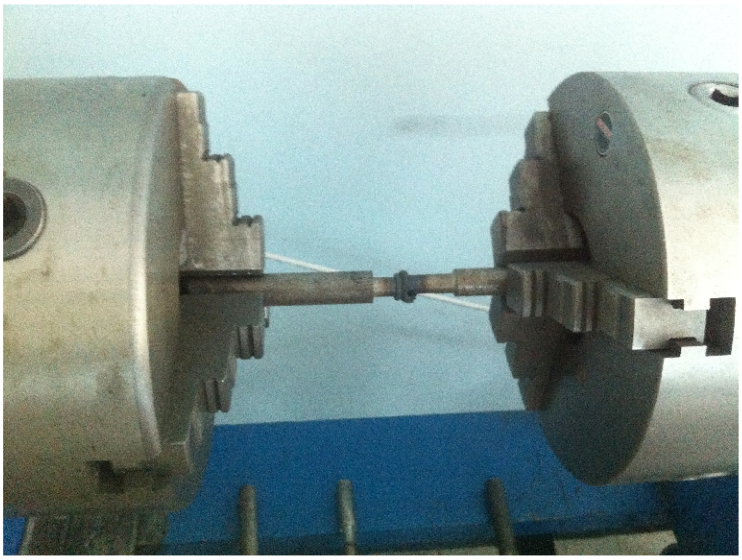
Tablo 3.5 Optimum Parametreler

Alüminyum-Bakır	Bakır-Alüminyum	Sürtünme Zamanı	Sürtünme Basıncı	Yığma Zamanı	Yığma Basıncı
d1	d2	(s)	(MPa)	(s)	(MPa)
12	12	2,5	60	15	120

Kaynaklanan numunelere daha sonra, çekme testleri, mikro sertlik testi ve metalürjik muayeneler uygulanmıştır. Daha sonra, sıcaklık ölçümü için sürtünme kaynağı sürtünme parçalarının ara yüzleri de büyük önem taşımaktadır. Bu zamana karşı sıcaklık ölçümleri elde etmek zor olsa da, bu mevcut çalışma ile gerçekleştirilmiştir.



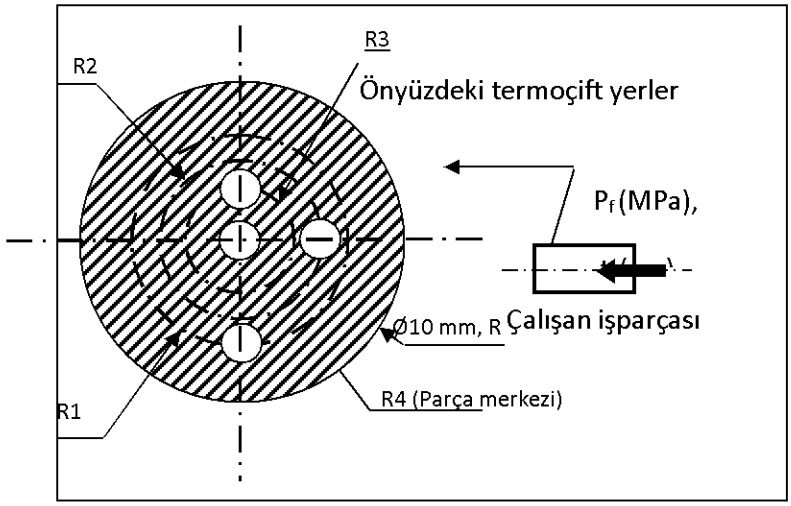
Resim 3.4 Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi



Resim 3.5 Numunelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi

3.2.1 Sıcaklıkların Ölçümleri

Bu çalışmada, 12 mm çapa sahip olan bimetalik malzemelerin sürtünme kaynağı deneyi ile sıcaklık ölçümü yapmak için kablo elektriksel deşarj işlemesi yöntemi ile işlenmiştir. Termo-çift konumu şekil 3.4 de şematik olarak gösterilmektedir. Sürtünme kaynaklı numunelerin testler INSTRON 8501 hidrolik yorulma cihazı kullanılarak yapılmıştır. Testler, yani Ra = 5 um bir yüzey pürüzlülüğüne sahip örnekler, en yüksek güçte ve % 60 kaynak deformasyon birleştirilerek örneklerde uygulanmıştır. Yorulma deneyleri 10Hz frekansında yapılmıştır. Numunelerin boyutları ASTM E-466 göre belirlenmiştir. Şekil 3.1

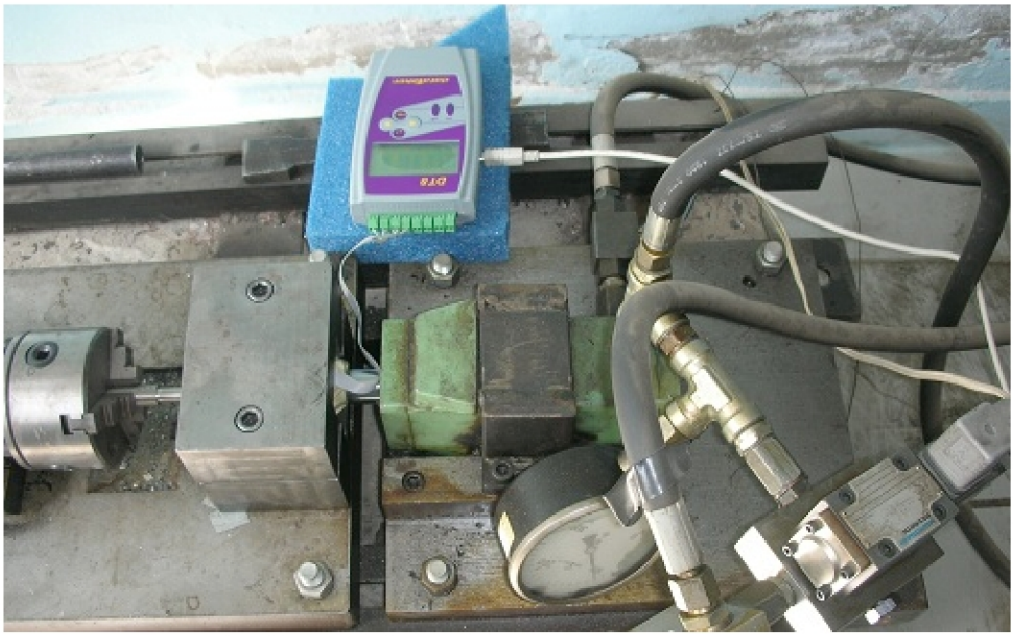


Şekil 3.1 Termo çiftlerin Şematik Gösterimi

Bu deliklerin her birine, iki farklı bileşimlere sahip ince telleri yapılmış termo-çift, kaynak yüzeye numunenin arkasından sokulmuştur. İnce deliğe takılan termo-çift metal çubuklar kablolar arasında kısa devreye neden olmayacak şekilde elektrik izolasyonlu yavaş kuruyan bir yapıştırıcı ile elde edilmiştir. Termo-çift parçaların bir ucu tespit sıcaklıkta aynı tür termo-çift olan bir ortamda bağlanan ve sıcaklık dengelenmesi gerçekleştirmek amacıyla, referans olarak alınmıştır. Bu sıcaklık dengelemesi sonra, test örneğinde termo-çiftlerden elde edilen değer bir 4-kanallı data-logger tarafından talimat verilmiştir ve daha sonra zaman bağımlılığının her kanal için her saniye veri elde etmek için bir veritabanına kayıt edilmiştir. Bir DataTaker DT8 veri kayıt cihazı, bu kayıt işlemleri için kullanılmıştır. Numuneler ve deney sırasında kurulum fotoğrafa bağlı data-logger fotoğraf (Resim 3.6, 3.7) olarak gösterilmiştir.



Resim 3.6 Data Taker DT8 Veri Kayıt Cihazı



Resim 3.7 Veri Kayıt Cihazının Kurulumu

Sürtünme kaynağı volan tahrikli sürtünme makinesi içinde gerçekleştirilmiştir. Deney başlatıldığında, sürtünme kaynak makinesi ilk 4 saniye boyunca analiz edilmiştir. Bu iki parça daha sonra, uygulanan bir basınç altında (30 MPa) altında sıkıştırılarak ve eklemlerin arabiriminde sıcaklık değişimleri örneklerinde monte ısıl çiftler kullanılarak izlenmiştir. Sıcaklık verileri bir data-logger ile alınmıştır. Motor durmuş sonra, basınç 60 MPa'ya yükseltilmiştir. Parçalar (12 saniye) soğuyana kadar sonuncu basınç muhafaza edilmiştir. Sıcaklığın, oda sıcaklığının altında seviyelere düşüş kadar eklemlerin arabiriminde sıcaklık değişiklikleri gözlenmiştir.

BÖLÜM 4

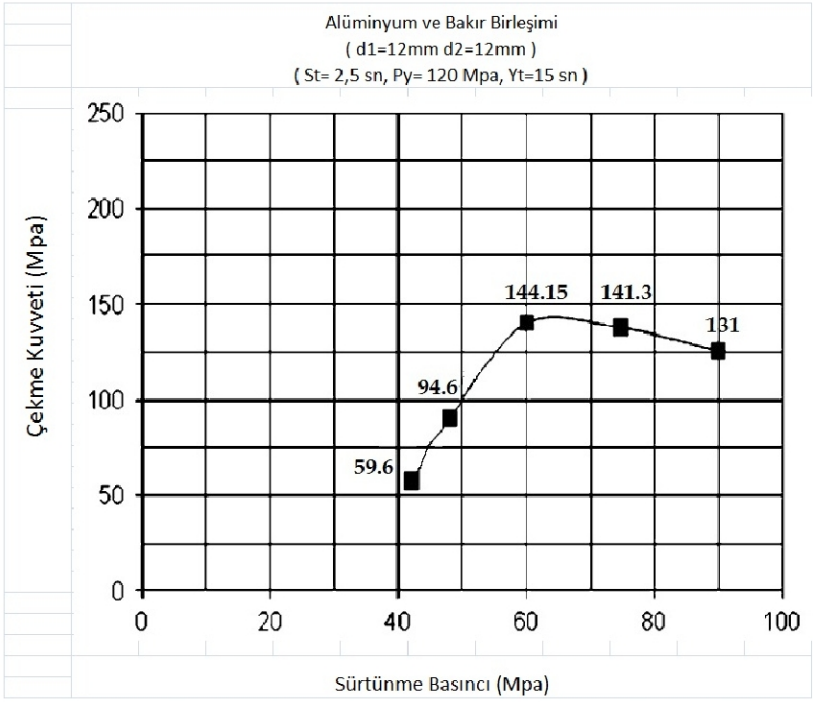
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1 Deneysel Sonuçlar

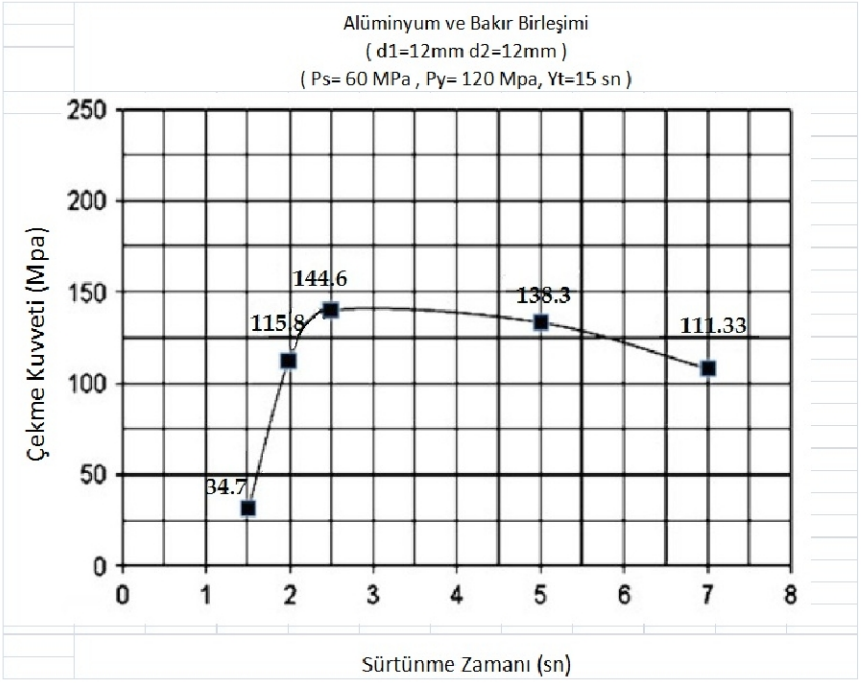
Bir önceki bölümde yapılan sürtünme kaynağı ile birleştirilen bimetalik malzemelerin sıcaklık ölçüm sonuçları ve malzemelerin incelenmesi için yapılan testlerin sonuçlarına bu bölümde açıklık getirilmiştir.

4.1.1 Çekme Testi

Bimetalik malzemeler için istatiksel analizler kullanılarak optimum parametreler bulunmuştur. Ardından bu optimum parametreler kullanılarak parçalar işlenmiştir. Eşit çaplı kaynak parçaları üzerinde Sürtünme zamanı ve sürtünme basıncının etkileri incelenmiştir. Yığma zamanı sabit tutulmuştur. Bimetalik malzemelerin mukavemeti belirlenerek çekme testleri ve sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Numuneler test edilerek her koşul ve toplam deney sayısının ortalaması alınmıştır. Bimetalik malzemelerin 12 mm alanına göre nihai yükün çap örneğine bölünmesi ile çekme mukavemetleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 Çekme Kuvveti – Sürtünme Basıncı



Şekil 4.2 Çekme Kuvveti – Sürtünme Zamanı

Bimetalik malzemelerde Sürtünme zamanı ve Sürtünme basıncındaki artış en yüksek mukavemete kadar artmakta daha sonra süre ve basınçla birlikte azalmaktadır.

En yüksek mukavemet yaklaşık % 78 alüminyum ve % 55 bakıra karşılık gelen parçalarda olmuştur. Bimetalik malzemelerin kırılma yüzeylerinde gri bir tabaka gözlenmiştir. Bu tabaka parçaların mukavemetindeki azalmayı ifade etmektedir.

4.1.2 Kaynaklı Parçaların Mikro yapısı

Bimetalik malzemelerin makro fotoları Şekil 4.3 te gösterilmiştir. Ardından parçaların ana metal mikro yapı fotoğrafları ve ara yüz bölgeleri Şekil 4.4 , Şekil 4.5ve Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Şekil 4.3 te dışı alüminyum olan bimetalik malzeme üzerinde eksenel yığılmanın dışı bakır olan bimetalik malzemeye göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3 Birleşim Bölgesinin Makro Fotoğrafı



Şekil 4.4 Birleşim Bölgesinin Mikro Fotoğrafı



Şekil 4.5 Bakır Alanının Mikro Fotoğrafı

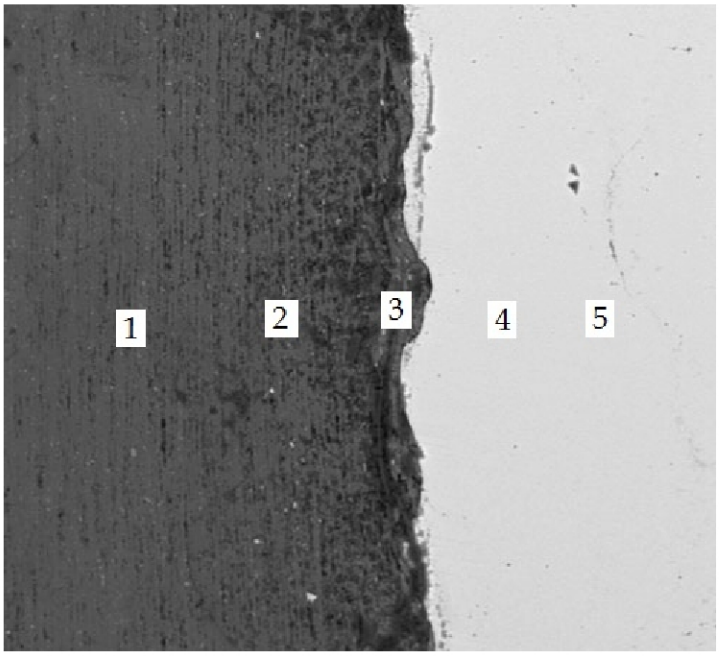


Şekil 4.6 Alüminyumun Alanının Mikro Fotoğrafı

Bu durum alüminyum yüzeyinin fazla olduğu bimetalik malzeme ara yüzünün kaynak flaşı yaşadığını göstermektedir. Bunun nedeni ise alüminyumun ergime noktasının bakıra göre daha düşük olmasıdır. Bakır yüzeyinin fazla olduğu bimetalik malzeme düzensiz tane yapısı sergilemiştir Şekil 4.5 . Alüminyum tane yapısı ise haddeleme boyunca uzamış olarak görülmektedir Şekil 4.6 . Ayrıca alüminyum tane yapısındaki siyah bölümler çözünmeyen parçacıklar içerir. Bakır yüzeyi fazla olan bimetalik malzemede nispeten iri tanelerde geçiş gözlenmektedir.

4.1.3 Malzemelerin EDX Analizi

Kaynak arabirimindeki fazları araştırmak için SEM ve enerji dağılımlı X-ray (EDX) yapılmıştır. Gözlemler 200 KV alan etkili taramalı elektron mikroskobu (SEM-JEOL JSM 5410 LV mikroskopi) enerji dağılımlı X-ray spektropisi bağlanmış (EDS) analizi ile yapılmıştır. Muayenelerde EDS nokta analizi kullanıldı. Yazılım elemanları ile X-ışını kurması veya konsantrasyon profillerini elde etmek üzere bir yüzey ya da bir hat boyunca tarama ışını pilot uygulama izin verildi. Sürtünme kaynaklı bimetalik malzeme parçalarının EDX analiz sonuçları ve ara yüz bölgesinin SEM mikro yapısı Şekil 4.7 de verilmiştir. Belirlenmiş yerin içinde bulunan elemanların dağılımları Tablo 4.1 de gösterilmektedir. EDX analizleri SEM görüntüsü çeşitli noktalar için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 Birleşim Bölgesinin SEM Mikro yapısı

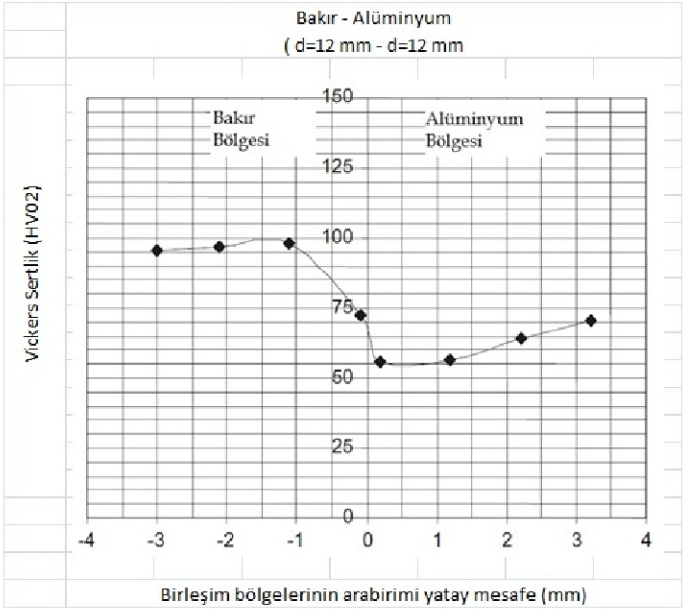
Tablo 4.1 EDX Nokta Analiz Sonuçları

Nokta	Element	Line	Yoğunluk (c/s)	Sonuç (toplam)
1	Al	Ka	1,163.13	100.000 wt%
2	Al	Ka	1,071.54	100.000 wt%
3	Al	Ka	935.77	80.581 wt%
	Cu	Ka	81.56	19.419 wt%
4	Cu	Ka	917.21	100.000 wt%
5	Cu	Ka	813.44	100.000 wt%

Şekil 4.7 (1) ara yüz bölgesindeki SEM mikro yapı üzerinde tanımlı EDX analizi noktalarını gösterir. Nokta (2), (3), (4), (5) te ise sırasıyla 1, 2, 3 ve 4, alınan EDX analizleri sonuçları göstermektedir. Tablo 4.1 SEM tarafından temsil edilen EDX nokta analizi sonuçlarını göstermektedir. EDS sonuçları Cu-Al birleşimler bazı intermetalik bileşikler içerdiğini göstermektedir. Bu kırılgan intermetalik bileşiklerin oluşumu bağların gücünü düşürmektedir.

4.1.4 Kaynaklı Parçaların Sertlik Varyasyonları

Birleşimlerin mukavemeti ısıdan etkilenen bölge içinde sertlik varyasyonu ile ilgilidir. Sertlik varyasyonu mikro sertlik (Vickers) testi 200 gr yük altında elde edilmiştir. Merkezi yatay mesafe ile ilgili olarak, mikro sertlik testi sonuçları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bimetalik malzeme içindeki alüminyum soğuk çekilmiş gibi olduğundan zaten sürtünme kaynağından önce sertleştirilmiş olmuştur. Alüminyum böylece geri kazanılarak hafif yumuşamış, sürtünme ısı ve deformasyon sonucu yeniden kristalleştirilmiştir. Bakır nispeten yüksek termal iletkenliği nedeniyle, bimetalik malzemenin bakır yüzeyi tarafında sertlik varyasyonları alüminyum tarafına oranla daha iyi olmuştur.



Şekil 4.8 Sertlik Ölçüm Sonuçları

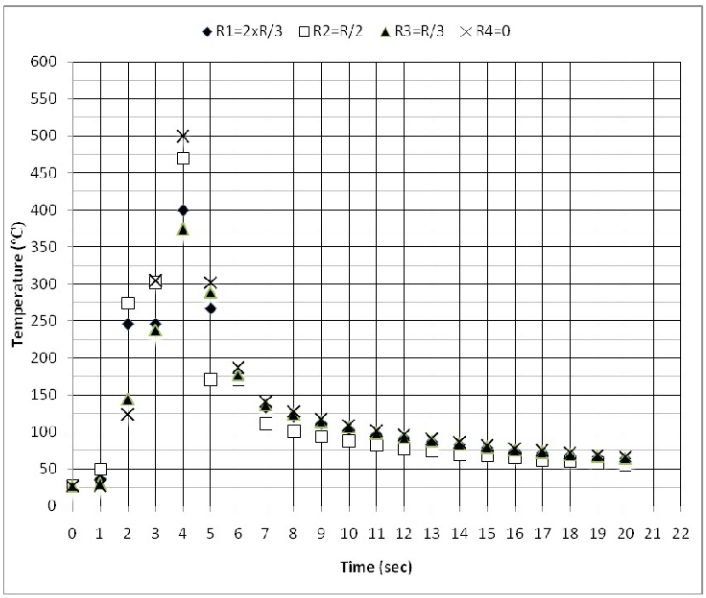
4.1.5 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Veri kayıt sensörü diğer sensörlerle karşılaştırılarak termo-elemanlar ile değişti ve kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon çalışmaları Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuarları'nda hassas bir dijital ekipmanla yapılmıştır. Sürtünme kaynağı ve termo-eleman verileri bağlı bulunduğu bilgisayara kullanılacak sürtünme kaynak örnekleri kaydedilmiştir. Oda sıcaklığında itibaren 100 ° C aralığına sahip değerler monitörden okunmuştur. İnterpolasyon ve kalibrasyon değerlerinin kullanılması bu sürtünme kaynağında meydana gelen yüksek sıcaklık değerlerini okumak için bir fırsat vermiştir. Deneylerde elde edilen sıcaklık değerleri, Tablo 4.2 de verilmektedir.

Tablo 4.2 Sıcaklık Değerleri

Sn.	R1=2xR/3	R2=R/2	R3=R/3	R4=0
0	24	28,56	26,09	26,71
1	33,6	46,51	29,45	26,53
2	221,11	252,11	133,31	121,34
3	221,13	297,43	226,4	298,67
4	389	461	334	489
5	251	165	267	287
6	164	164	171	181
7	127	105	128	133
8	115	99	114	121
9	109	91	111	115
10	99	84	101	104
11	91	79	97	99
12	89	74	89	93
13	85	70	85	89
14	81	65	83	85
15	77	61	78	83
16	73	59	76	78
17	70	57	73	75
18	67	55	70	72
19	64	54	67	69
20	63	53	66	68

Sonuç olarak, her saniye için her bir kanalın ve bu değerler için, ayrı olarak kayıt, sıfır noktası ve elde edilen sıcaklık farklılaşmasının grafiği Şekil 4.9 da verilmiştir.



Şekil 4.9 Sıcaklık Farklılaşma Grafiği

Sıcaklıklar sürtünme teması ile 4 saniyelik bir süre boyunca maksimum değere kadar yükselmiştir. Daha sonra, ısıtma aşamasının sonunda ve dövme aşamasında biraz daha kararlı bir seviyede kalmaktadır. Böylece kararlı durum deformasyon aşamasına yaklaştıkça ele alınmıştır.

4.2 Sonuç

Bu çalışmada, volan tahrikli sürtünme kaynağı ile başarıyla bimetalik malzemeler kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi ısıl ölçüm ekseninde; istatistiksel analiz, çekme testi, mikro gözlem, EDS ölçümleri ve sertlik testi ile araştırılmıştır.

Sonuç olarak:

1. İstatistiksel analiz kaynak parametrelerini optimize etmek için bir ekonomik ve güvenilir bir yöntemdir. Optimum kaynak parametreleri şu şekilde bulunmuştur; İstatistiksel analiz sonucu sürtünme basıncı (60 MPa), yığma basıncı (120 MPa) ve Yığma süresi (2.5 sn).

2. Baz metal olanlarla karşılaştırıldığında, bimetalik malzemeler için çekme dayanımı genellikle kabul edilebilir olmasına rağmen, kaynakların bazı arayüzde alaşım elementlerinin birikimi sonucu kötü mukavemetini göstermiştir. Bu sıcaklık artışı ve gri tabakanın varlığı sonucudur. Bu, gri bir tabaka sürtünme kaynağı olarak ısı dağılımı nedeniyle oluşmuş ve intermetalik bileşiklerin önemli bir miktarda ihtiva ettiği bulunmuştur.

3. Alaşım elementlerinin ağırlık farkı, açıkça elemanların spektrum analizinde görülmektedir. EDX ölçümleri bimetalik malzemelerin bir metalik bağ bileşiklerinin oluştuğu söylenebilir. Oluşan intermetalik katman Al ve Cu (bakır Al doymuş katı çözelti) oluşmaktadır. Alüminyum gömülü bakır parçacıkları gözlenmiştir.

4. Bimetalik malzemenin alüminyum yüzeyi tarafında sertlik varyasyonları, bakır yüzeyi tarafından daha düşük olmuştur.

5. Sıcaklık değişimleri, ısıl çiftler, farklı noktalarda ölçülmüştür.

6. Kaynak basınçlarda varyasyonlar öncelikle sürtünme yüzeylerinin deformasyonunu ve ısı gradyentinin oranını etkiler.

7. Sıcaklığın birleşim kısmının mekanik ve metalürjik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır.

8. Ara yüzeyde büyük deformasyonlar bir sıcaklık ölçümü elde etmek için özellikle zor da olsa bu çalışmada ölçüm işleminin, başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği hususuna dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Gürleyik M., ***"Sürtünme Kaynağı yapılan Döküm Alaşımları"*** II. Kaynak Sempozyumu, İ.T.Ü. Kasım 1989, 231-241.

[2] Tülbentçi K., Yılmaz M., ***"Farklı Takım Çeliklerinin Katı Hal Kaynağı"*** II. Kaynak Sempozyumu, İ.T.Ü. Kasım 1989, 303-314.

[3] Anık S., Anık E. S., Vural M., ***"1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı"*** Cilt I, İstanbul 1993, 309-215.

[4] Yılmaz M., ***"Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelemesi"*** Doktora Tezi, Y.T.Ü., İstanbul 1993. Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalürji Bölümü, Beşevler, Ankara, TÜRKİYE

[5] Sulazec A., ***"Thermal Effects In Friction Welding"*** Int. J. Mech. Sei. V32, N6, 1990,467-478.

[6] Kang C. Y, North T.H., Perovic D.D. ***"Microstructural Features Of Fricticta Welded*** MA956

[7] Kearas W. H. " ***Friction Welding"*** Welding Handbook, Miami 1982, 24-261.
Superalloy Material" Metall. And Mater. Trans. A, V26A, 1996,4019-4029.

[8] Moeim M.E.A., Nasser A.A., Serag S.M., Massey E.A.A., Suttan R.F., " ***Assesment Of Resudual Stresses Of Nonferrous Tubes Joined By Friction Welding"*** Experi. Mech. 1986,62-65.

[9] Xiuling Su, 2001 ***"Computer Aided Optimization of An Investment Bi-metal Casting Process"***, Department of Mechanical, Industrial and Nuclear Engineering of the College of Engineering, Division of Research and Advanced Studies of the University of Cincinnati, PhD Thesis

[10] Dr. Jae-Young JUNG, ***"Bimetallic Casting Wear-Resistant Materials"***, Metallic Materials and Coating Process Research Team, Pohang, Korea RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

[11] Çetintav IŞIK '***Farklı malzemeler kullanılarak üretilmiş bimetalik malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi***' Yüksek lisans tezi Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü 2014

[12] http://tr.wikipedia.org/wiki/Bimetal_%C5%9Ferit.

[13] Prof.Dr.Ayşegül AKDOĞAN EKER '***Bakır ve Bakır Alaşımları 2008***' Meriç, 1989; Kenneth and Michael, 1999; Zeytin ve ark., 2001

[14] Sahin Mumin; '***Joining of aluminium and copper materials with friction welding***' Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

[15] Mısırlı Cenk, Mümin ŞAHİN, Hilmi KUŞÇU '***Temperature determination of st-al joints during friction welding***' Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZGEÇMİŞ

Ali ALTINDAL 1982 yılında Samsun'da doğdu. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ve Anadolu Üniversitesi Sosyoloji Bölümlerinden lisans diplomaları aldı. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans eğitimi aldı. Devlet memuru olarak çeşitli alanlarda çalışan ALTINDAL, halen Edirne Valiliğinde İl Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü görevini yürütmektedir.