



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN
PASLANMAZ VE ISLAH ÇELİKLERİNİN
MEKANİK VE MİKROYAPILARININ
ARAŞTIRILMASI**

Sinan BİNİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Sinan BİNİCİ tarafından hazırlanan “Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilen Paslanmaz ve Islah Çeliklerinin Mekanik ve Mikroyapılarının Araştırılması” adlı tez çalışması 01/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. İhsan KIRIK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sinan BİNİCİ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN PASLANMAZ VE ISLAH ÇELİKLERİNİN MEKANİK VE MİKROYAPILARININ ARAŞTIRILMASI

Sinan BİNİCİ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Edip ÇETKİN

2023, 88 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

Doç. Dr. İhsan KIRIK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

Sürtünme kaynağı; sürtünme süresi, sürtünme basıncı, dönme devri, yığma basıncı ve yığma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilmesi zor veya mümkün olmayan iki farklı veya aynı türden malzemenin birleştirmesinde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Yapılan çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliği ile AISI 4340 ıslah çeliği, sürtünme kaynağı yöntemi ile 3 farklı dönme devri (2000, 2200, 2400 dev/dak) ve 3 farklı sürtünme süresi (3, 5, 7 sn) parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak parametrelerin birleşmeler üzerindeki etkilerini belirlemek için mekanik testler ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin flanş çaplarındaki artış ve boyca kısalma değişimleri de ölçülmüştür. Çalışma sonucunda; kaynaklı numunelerin makro ve mikro görüntüleri incelendiğinde kaynaklı birleşmelerde herhangi bir boşluklu yapı gözlemlenmemiştir. Flanş çapı ve boyca kısalma değişimi, en yüksek devir ve en yüksek sürtünme süresi ile yapılan birleştirmede meydana gelmiştir. En yüksek flanş çapı 19.44 mm ve en fazla boyca kısalma 6.12 mm olarak ölçülmüştür. Mikrosertlik değerleri; sürtünme süresi ve dönme devrine paralel olarak artmıştır. Numunelerin tamamı içerisinde en yüksek mikrosertlik değeri 771,9 HV ve en düşük mikrosertlik değeri 673 HV olarak ölçülmüştür. Sürtünme süresinin minimum ve dönme devrinin maksimum olduğu numunede çekme testi en iyi sonucu vermiştir. Maksimum çekme kuvveti 45726,56 N ve maksimum uzama miktarı 14,532 mm olarak ölçülmüştür. Maksimum burulma torku 84,96 Nm ve maksimum burulma açısı $1850,70^0$ olarak ölçülmüş, böylece en fazla sürtünme süresi ve en az dönme devrinde burulma testi sonuçları içerisinde optimum sonuca ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI 316L, AISI 4340, Burulma Testi, Çekme Testi, Sürtünme Kaynağı

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE OF STAINLESS AND TEMPERED STEELS JOINED BY FRICTION WELDED

Sinan BİNİCİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

2023, 88 Pages

Jury

Advisor: Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

Assoc. Prof. Dr. İhsan KIRIK

Asst. Prof. Dr. Fatih DEMİR

Friction welding is a welding method used to join two different or same types of materials that are difficult or impossible to join by using friction time, friction pressure, rotational speed, forging pressure and forging time parameters. In the study, AISI 316L stainless steel and AISI 4340 tempered steel were combined by friction welding method using 3 different rotational speeds (2000, 2200, 2400 rpm) and 3 different friction time (3, 5, 7 sec) parameters. Mechanical tests and microstructural studies were carried out to determine the effects of welding parameters on the joints. In addition, the increase in flange diameters and shortening changes in length were also measured. In the results of study, when the macro and micro images of the welded samples were examined, no hollow structure was observed in the welded joints. The flange diameter and shortening variation occurred in the coupling with the highest speed and the highest friction time. The maximum flange diameter was 19.44 mm and the maximum shortening was 6.12 mm. Microhardness values; increased in parallel with friction time and rotational speed. Among all the samples, the highest microhardness value was measured as 771.9 HV and the lowest microhardness value was measured as 673 HV. The tensile test gave the best results in the sample where the friction time is minimum and the rotation speed is maximum. The maximum tensile force was 45726.56 N and the maximum elongation was measured as 14.532 mm. The maximum torsion torque was measured as 84.96 Nm and the maximum torsion angle was 1850.70° , thus the optimum result was achieved within the torsion test results at the maximum friction time and minimum friction speed.

Keywords: AISI 316L, AISI 4340, Friction Welding, Tensile Test, Torsion Test

ÖNSÖZ

Kaynak, metalik malzemeleri ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak aynı türden ve ergime aralığı aynı olan yakın bir malzeme katarak veya katmayarak yapılan birleştirme işlemidir. Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi veya ısı enerjisi uygulanmadan malzeme ara-yüzeylerinde mekanik enerjinin doğrudan termal enerjiye dönüşmesi ile oluşan katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynatılması mümkün olmayan iki farklı metali sürtünme kaynağı ile kaynatmak mümkündür.

Bu çalışmadaki amaç, östenitik paslanmaz çelik ve ıslah çeliği sürtünme kaynağıyla birleştirmektir. Yapılan sürtünme kaynaklarında dönme devri ve sürtünme süreleri parametreleri değiştirilerek en uygun kaynakların tespiti amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan literatür araştırmalarında bu çalışmada kullanılan iki malzeme daha önce kaynatılmamıştır.

Test sonuçlarından elde edilen veriler neticesinde ulaşılan bulgular özetlenmiş ve ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutulması adına önerilerde bulunulmuştur.

Öncelikle tez çalışmamada yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN'e katkılarından dolayı teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan malzemelerin temini konusunda yardımcı olan BİMEKS ÇELİK A.Ş. adına İhracat Satış Temsilcisi Cankat İYGÜN Bey'e, numunelerin kesilmesi ve tornalanması konusunda yardımcı olan EREN MAKSAN sahibi Kemal EREN Bey'e, numunelerin burulma deneyi, EDS analizi ve SEM görüntülerinin alınmasında yardımcı olan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü adına Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU ve Doç. Dr. Volkan KILIÇLI hocalarıma ve İstanbul Teknik Üniversitesi Öğr. Üyesi Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN hocama çok teşekkür ederim.

Bana her konuda ilgi ve sevgisiyle destek olan kıymetli eşim Emine; çocuklarım Furkan, Ahmed ve Emir Yiğit'e şükranlarımı sunarım.

Sinan BİNİCİ
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER	ix
TABLolar	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. GENEL BİLGİLER.....	7
3.1. Kaynak Teknolojisi.....	7
3.2. Kaynak Yöntemleri.....	8
3.3. Katı Hal Kaynak Yöntemleri	9
3.3.1. Difüzyon Kaynağı.....	9
3.3.2. Patlamalı Kaynak.....	11
3.3.3. Ultrasonik Kaynak	13
3.3.4. Soğuk Basınç Kaynağı.....	14
3.3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı	15
3.3.6. Sürtünme Kaynağı	18
3.3.6.1. Sürtünme Kaynağı Parametreleri.....	20
3.3.6.1.1. Sürtünme Süresi	20
3.3.6.1.2. Sürtünme Basıncı	21
3.3.6.1.3. Yığılma Basıncı.....	23
3.3.6.1.4. Yığılma Süresi.....	23
3.3.6.1.5. Dönme Devri.....	24
3.4. Paslanmaz Çelikler	24
3.5. Islah Çelikleri.....	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
4.1. Kullanılan Malzemeler	27
4.2. Kaynak Aşaması	27
4.3. Kaynak Sonrası Deneysel Çalışmalar	30
4.3.1. Flanş Çapları ve Numune Boylarındaki Değişim	31
4.3.2. Metalografi Analizi	32
4.3.2.1. Optik Mikroskop Analizi	32
4.3.2.2. SEM ve EDS Analizi	32
4.3.3. Çekme Deneyi.....	34
4.3.4. Burulma Deneyi	35

4.3.5. Sertlik Analizi	39
5. DENEYSEL SONUÇLAR	40
5.1. Flanş Çapları ve Malzeme Boylarındaki Değişim	40
5.2. Kaynak Bölgesinin Optik Mikroskop Görüntüleri	42
5.3. Kaynak Bölgesinin SEM ve EDS Analizi Sonuçları	46
5.3.1. Kaynak Bölgesinin SEM Analizi Sonuçları	46
5.3.2. Kaynak Bölgesinin EDS Analizi Sonuçları	48
5.4. Sertlik Analizi Sonuçları	49
5.5. Çekme Deneyi Sonuçları	52
5.6. Kırık Yüzey SEM Görüntüleri	56
5.7. Burulma Deneyi Sonuçları	60
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
5.1 Genel Sonuçlar	65
5.2 Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER

Şekil 3. 1. Difüzyon kaynağı mekanizması (İpekoğlu, 2003).	11
Şekil 3. 2. Patlamalı kaynak yöntemi şematik görüntüsü (Eser, 2018)	12
Şekil 3. 3. Ultrasonik kaynak sistemi (Gavcar, 2019).	14
Şekil 3. 4. Soğuk basınç kaynağına ait çalışma sistemleri (Çil, 2009).	15
Şekil 3. 5. Sürtünme karıştırma kaynağı işlem şeması (Eslami ve ark. 2015).....	16
Şekil 3. 6. SKK işlemi sonrası oluşan mikroyapılar (Srubar, 2009).	16
Şekil 3. 7. Sürtünme kaynağında işlem sıralaması (Uday ve ark. 2010)	19
Şekil 3. 8. İki parça arasında oluşan yapısal bozulma (Kahraman ve Gülenç, 2016)....	20
Şekil 3. 9. Kaynaklı parçalardaki ısı dağılımı (Mercan, 2013).	22
Şekil 4. 1. Kaynak yapılan numunelerin katı modellenmiş görüntüsü.	28
Şekil 4. 2. Sürtünme kaynakların yapıldığı sürekli tahrikli kaynak makinesi.	29
Şekil 4. 3. Sürtünme kaynağının işlem anındaki görüntüsü.	30
Şekil 4. 4. Kaynak sonrası numunelerin genel görünümü.	31
Şekil 4. 5. Flanş çapı ve boyca kısalma görünüşü.	31
Şekil 4. 6. Mikroyapı ve sertlik ölçümü için hazırlanan numuneler.	32
Şekil 4. 7. SEM mikroskobunun çalışma prensibi (http://nukbilimler.ankara.edu.tr). ...	33
Şekil 4. 8. JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobu.....	33
Şekil 4. 9. Çekme numunesi ASTM E8 ölçüleri (a) ve tornalanmış (b) görüntüleri.	34
Şekil 4. 10. Çekme deneyi sırasında ve sonrasında çekilmiş görüntü.	35
Şekil 4. 11. Burulma deneyinin şematik gösterimi (depo.btu.edu.tr).	36
Şekil 4. 12. Burulma momenti (M_b) – burulma açısı (θ) diyagramı.	36
Şekil 4. 13. Burulma numunesi ölçüleri.	38
Şekil 4. 14. İnston Wolpert Raagon marka burulma test cihazı.	38
Şekil 4. 15. Burulma numunelerinin burulmadan önceki görüntüsü.	39

Şekil 4. 16. AOB marka sertlik cihazı.	39
Şekil 5. 1. AISI 316L ve AISI 4340 numunelerin flanş çap değişimleri.	40
Şekil 5. 2. AISI 316L ve AISI 4340 numunelerin boyca azalma miktarları.	41
Şekil 5. 3. AISI 316L (a) ve AISI 4340 (b) çeliklerin mikroyapı görüntüleri.	42
Şekil 5. 4. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.	43
Şekil 5. 5. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.	44
Şekil 5. 6. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.	45
Şekil 5. 7. Farklı dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri kullanılarak kaynak edilen malzemelerin arayüzeylerinin SEM fotoğrafları.	47
Şekil 5. 8. Farklı dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri kullanılarak kaynak edilen malzemelerin arayüzey morfolojilerinin yüksek büyütme SEM fotoğrafları.	48
Şekil 5. 9. S3 numunesinin kaynak arayüzeyinin EDS analizi.	49
Şekil 5. 10. 2400 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.	50
Şekil 5. 11. 2200 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.	51
Şekil 5. 12. 2000 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.	51
Şekil 5. 13. Maksimum sertlik değerlerinin detaylı gösterimi.	52
Şekil 5. 14. 2400 dev/dak'da kaynatılan malzemelerin çekme deneyi grafiği.	53
Şekil 5. 15. 2200 dev/dak'da kaynatılan malzemelerin çekme deneyi grafiği.	54
Şekil 5. 16. 2000 dev/dak'da kaynatılan malzemelerin çekme deneyi grafiği.	54
Şekil 5. 17. Çekme sonra kopma görüntüleri.	56
Şekil 5. 18. S1 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.	57
Şekil 5. 19. S3 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.	58
Şekil 5. 20. S4 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.	58
Şekil 5. 21. S5 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.	59

Şekil 5. 22. S7 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.....	59
Şekil 5. 23. S9 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.....	60
Şekil 5. 24. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.....	61
Şekil 5. 25. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.....	61
Şekil 5. 26. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.....	62
Şekil 5. 27. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.....	62
Şekil 5. 28. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.....	63
Şekil 5. 29. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.....	63

TABLÖLAR

Tablo 3. 1. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler.	8
Tablo 4. 1. AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin kimyasal bileşimleri.....	27
Tablo 4. 2. AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin mekanik özellikleri.	27
Tablo 4. 3. Kaynak işleminde kullanılan parametreler.	30
Tablo 5. 1. Maksimum çekme kuvveti ve uzama değerleri	55
Tablo 5. 2. Maksimum burulma torku ve açısı değerleri.....	64



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
c	: Özgül ısı (kJ/kg°C)
cm	: Santimetre
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Yüzey alanı (m ²)
Fe	: Demir
k	: Isı iletim katsayısı (W/m ² °C)
kg	: Kilogram
kJ	: Kilo Joule
m	: Kütle (kg)
M _R	: Dönme momenti (Nmm)
n	: Devir sayısı(dev/dak)
P	: Yüzey basıncı (N/mm ²)
R	: Parça yarıçapı (mm)
rpm	: Revolutions Per Minute
T	: Sıcaklık (°C)
t	: Süre (sn)
Q	: Isı (kcal)
φ	: Sürtünme katsayısı
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar

ADB	: Aşırı Deformasyon Bölgesi
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
DB	: Deformasyon Bölgesi
HF	: Hidrojen Florür
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
HV	: Vickers Sertlik Testi
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
KM	: Kaynak Merkezi
MIG	: Metal Inert Gaz
PLC	: Portevin–Le Chatelier
PTA	: Plazma Transfer Ark
SAE	: Otomotiv Mühendisleri Derneği
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
TMEB	: Termomekanik Etkilenen Bölge
TIG	: Tungsten Inert Gaz
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun malzemeyi tanımaya başlamasından günümüze kadar geçen süre içerisinde kendi ihtiyacı olan aletleri geliştirme arayışında olmuştur. Özellikle 19. yüzyıldan sonra sanayileşmenin gelişmesi ile birlikte perçin başta olmak üzere; cıvata, lehim ve kaynak aktif olarak birleştirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Birleştirme yöntemi seçilirken kullanım kolaylığı ve niteliği başta olmak üzere; maliyet, dayanım, üretim kolaylığı, parça ömrü ve dış görünüş etkili olmaktadır.

Kaynaklı birleştirme yöntemi mukavemet ve sızdırmazlık açısından en fazla kullanılan birleştirme yöntemidir. Kaynaklı birleştirmeler, ergitmeli ve katı hal kaynak yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde genellikle aynı morfolojiye sahip ve dışarıdan ilave metal kullanarak malzemeler kaynatılırken, katı hal kaynak yöntemlerinde ilave metal kullanmadan kaynak işlemi yapılmaktadır.

Katı hal kaynak yöntemlerinde ergime meydana gelmez. Eğer ergime olacaksa ergiyen kısım kaynak bölgesinden dışarıya atılır ve yüzeyler arasında oluşan ısıdan kaynaklı bir birleşme meydana gelir. Katı hal kaynak yöntemleri şunlardır; difüzyon kaynağı, patlamalı kaynak, ultrasonik kaynak, soğuk basınç kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı ve sürtünme kaynağı.

Sürtünme kaynağı; birleştirilecek parçalardan biri sabit tutulurken diğeri döndürülerek iki parça arasında sürtünmeden kaynaklı oluşan ısı ve dışarıdan uygulanan basınç yardımıyla meydana gelen kaynak işlemidir. Sürtünme kaynağının tercih edilmesinin asıl amacı geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi güç olan parçaların birleştirilebilmesidir. Yani iki farklı kimyasal bileşime sahip malzemeleri birleştirmek mümkündür. Ayrıca malzeme tasarrufu ve maliyet de tercih sebepleri arasındadır. Sürtünme kaynağının gerçekleşebilmesi için sürtünme süresi, dönme devri, sürtünme basıncı, yığma süresi ve yığma basıncı parametrelerine ihtiyaç vardır. Sürtünme kaynağı: otomotiv, havacılık, makina imalat ve kesici takım uçları endüstrilerinde aktif olarak kullanılmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Murti ve Sundaresan, (1986) 22 mm çapına sahip yüksek hız ve orta karbonlu çeliklerini sürtünme kaynağı ile birleştirerek bu numuneler üzerinde ısıtma işlemi uyguladıktan sonra burulma deneyi yapmışlardır. Ayrıca kaynak bölgesinde ve ısıtma işlemi esnasında meydana gelen yapısal değişiklikler üzerinde metalografik incelemelerde bulunarak mikrosertlik testleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda orta karbonlu çelik tarafında karbonlaşma meydana gelmesine rağmen kaynak işleminin iyi derecede olduğunu tespit etmişlerdir.

Orhan ve Taşkın, (2003) 10 mm çapında ve 60 mm boyunda %0,236 C ve % 13 Cr bileşiği içeren martenzitik paslanmaz çelikten yapılan ve derin kuyu pompalarında kullanılan mil ile transmisyon çeliğinden yapılan ikinci bir mili sürtünme kaynağı ile birleştirerek mikroyapı analizleri yapmışlardır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi ile sabit parametreler olarak belirledikleri, 30 sn sürtünme süresi, 10 MPa sürtünme basıncı, 30 MPa yığılma basıncı ve 10 sn yığılma süresinde, 700 ve 1000 dev/dak olan iki farklı dönme devrinde birleştirme işlemi yapmışlardır. Yapılan kaynak işlemi sonrası transmisyon çeliği tarafında tüm numunelerde üç farklı bölgenin meydana geldiğini, kaynak bölgesinde sertliğin arttığını ve bu artışın karbür çökelmeleri sonucu paslanmaz çelik kısmında oldukça yüksek bir değere ulaştığını belirlemişlerdir. Ayrıca sertleşen bölgenin genişlediğini de tespit etmişlerdir.

Ozan ve Çay, (2004) AISI 1010 ve AISI 420 çelik çiftlerini; 6 saniye sürtünme süresi, 60 MPa yığılma basıncı, 8 saniye yığılma süresi, (2000 ve 2200 dev/dak) devir sayısı ve (25 ve 35 MPa) sürtünme basıncı parametrelerini kullanarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirmişlerdir. Numuneler üzerinde yapılan mikroyapı ve sertlik analizlerinde; ITAB'ın artan devir sayısına bağlı olarak genişlediğini ve aşırı deformasyon bölgesi (ADB) içerisinde sertliğin arttığını tespit etmişlerdi. Ancak, devir sayısına paralel olarak sıcaklığın artması ile birlikte dışa taşan malzeme miktarının değişmediğini ve ADB'nin daraldığını tespit etmişlerdir.

Özdemir, (2005) standart AISI 304L östenitik paslanmaz çelik ve AISI 4340 ıslah çeliklerini sürtünme kaynağı ile birleştirerek çekme dayanımı, mikroyapı ve mikrosertlik analizleri yapmıştır. Deneyler sonucunda, daha yüksek dönme hızı ve daha

kısa sürtünme süresinin çekme mukavemetini artırdığını ve tamamen deforme olmuş bölgenin ise genişlediğini bulmuştur. Ayrıca deney numunelerinin çekme dayanımlarının 304L çeliğinden daha yüksek çekme dayanımlarına sahip olduğunu bulmuştur. İyi derecede bir kaynak için sürtünme süresinin kısa, dönme hızı, sürtünme hızı ve yığma basıncının yüksek değerde tutulması gerektiğini tespit etmiştir.

Özdemir ve ark. (2007) AISI 304L ve AISI 4340 çeliklerinin sürtünme kaynak makinesinde dönme hızı açısından ara yüz özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sürtünme kaynağını, sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi kullanarak beş farklı dönme hızında uygulamışlardır. Kaynak işlemi sırasında sürtünme basıncı, dövme basıncı, sürtünme süresi ve dövme süresini sabit tutmuşlardır. Yapılan deney sonucunda dönme hızının artmasıyla kaynak ara-yüzeyinden atılan kütlenin bir sonucu olarak arayüzeyde oluşan tam plastik deforme olmuş bölgenin kalınlığının azaldığını tespit etmişlerdir.

Meriç ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada farklı bileşimlere sahip AISI 304, SAE 1040, ETİAL F1, ve BS EN Cu-OF malzemelerini birbirleri ile eşleyerek sürtünme kaynağı yapmış ve kaynak bölgesinin metalürjik ve mekanik özelliklerin incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda kaynak bölgesinin sertlik değerlerinin esas malzemenin sertlik değerinden fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Malzemeler arasında element geçişinin bu sertliklerin artmasını sağladığını, plastik deformasyonun sert malzemede daha az olduğunu, yumuşak malzemede ise daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Kırık ve Özdemir, (2012) kendi imkânlarıyla tasarlayıp imal ettikleri PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinası ile AISI 304L ve AISI 1040 östenitik paslanmaz çelik çiftini birleştirmişlerdir. Yapmış oldukları kaynaklar sonucunda numunelerde; esas metal, kısmen deformasyona uğramış bölge, deforme olmuş bölge ve aşırı deformasyona uğramış bölge kısımlarını tespit etmişlerdir. En fazla değişimin deformasyona uğramış bölge ve aşırı deformasyona uğramış bölgede olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bölgelerin sürtünme süresine bağlı olarak genişlediğini ve birleşme bölgelerinin iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Katı, (2014) sürtünme kaynağı ile AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerini farklı devir sayılarında birleştirmiştir. Kaynak numunelerinin arakesitlerinde metalografik incelemeler, numunelerde çekme ve burulma deneyleri yaparak en uygun devir sayısında en iyi burulma dayanımını bulmaya çalışmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda devir sayısının artmasına paralel olarak burulma dayanımlarının arttığını tespit etmiştir.

Torun, (2017) sürtünme kaynağı ile 316L paslanmaz elik ve AZ91 magnezyum alaşımlarını; 50MPa sürtünme basıncı, 100 MPa yığma basıncı ve 1000 dev/dak dönme devri parametreleri ile birleştirerek SEM ile mikroyapı ve ara boşlukların meydana gelip gelmediğini incelemiştir. Ayrıca sertlik ölçümleri ile 316L paslanmaz çeliğin mikrosertliğini 230 HV20 olarak tespit ederek kaynak bitimi malzeme sertliğinde değişim olmadığını bulmuştur. AZ91 magnezyum alaşımında ise sertliğin az da olsa arttığını ve 90 HV20 olduğunu tespit etmiştir. Kaynak arayüzeyi mikrosertlik değerini 110 HV20, kesme mukavemeti değerini ise 135 MPa olarak tespit etmiştir.

Doad ve ark. (2018) deney numunelerinin uzunluklarını ve çaplarını sabit tuttıkları AISI 304 paslanmaz elik ve AISI 4340 ıslah elik çiftlerini sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Kaynaklı birleştirme işlemlerini dönme hızı, sürtünme basıncı ve sürtünme süresi olmak üzere 3 farklı parametreyi 3 farklı seviyede değiştirerek yapmışlardır. DeneySEL yerleşimi Taguchi yaklaşımı ile tasarlamışlardır. Toplamda 9 deney yapmış, her deney için 3 numune hazırlamışlardır. Deney sonucunda, bağlantı arayüzeyinde yeterli bir çekme dayanımının elde edilebilmesi için sürtünme süresinin mümkün olduğunca kısa tutulması, dönme hızının ve sürtünme basıncının ise mümkün olduğunca yüksek tutulması gerektiğini bulmuşlardır.

nal ve ark. (2019) AISI 316L paslanmaz elik ve AISI 4140 ıslah çeliklerini sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Yapılan birleştirme esnasında sürtünme ve yığma sürelerini sabit tutarak 3 farklı devir, sürtünme basıncı ve yığma basıncını değişken parametre olarak belirlemişlerdir. Mikroyapı ve mikrosertlik analiz sonuçlarına göre; düşük devir, yığma ve sürtünme basınçlarıyla yapılan kaynaklarda bağlantısız bölgelerin birleşme bölgesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bağlantısız bölgelerin mikrosertlik değerleri, yüksek devir sayısı, yığma ve sürtünme basıncıyla yapılan kaynaklara kıyasla daha düşük olduğu saptamışlardır. Diğer taraftan

artan devir sayısı ile birlikte ısı tesiri altındaki bölgenin genişleyerek ve aşırı deformasyona uğramış bölgede martenzitik yapı oluşumuyla beraber pekleşme sonucu sertliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Çetkin, (2020) AISI 304 paslanmaz çeliği ile AISI 5140 çeliğini 1500, 1700 ve 1900 dev/dak devirlerinde ve 4, 6 ve 8 saniye sürtünme sürelerinde, sürtünme kaynak metodu ile birleştirmiştir. Birleşimi yapılan çelik çiftlerinin kaynak bölgeleri ve esas malzemelerin SEM görüntü analizleri, kaynak bölgelerin mikrosertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda 8 saniye sürtünme süresinde ve 1900 dev/dak dönme devrinde kaynak işleminin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Çelikyürek ve ark. (2020) 150 MPa sürtünme basıncı, (6, 9, 12 sn) sürtünme süresi ve 1000 dev/dak dönme devri parametrelerini kullanarak FeAl ve AISI 316L paslanmaz çelik çiftini sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek çekme mukavemetini 281 MPa olarak 12 saniye sürtünme süresi ile kaynak işlemi yapılan numunede elde etmişlerdir. Mikroyapı analizlerinde kaynak arayüzeyinde her iki malzemeyi oluşturan elementlerin çok yoğun ortamdan az yoğun ortama yönlendiğini tespit etmişlerdir.

Singh ve ark. (2021) sürtünme kaynağının faydalarının araştırılması üzerine yapmış oldukları çalışmada; sürtünme süresi, dövme süresi, sürtünme basıncı ve yığma basıncının kaynak üzerinde önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Kaynaklı malzemenin birleşim yerindeki çekme dayanımı değerinin, sürtünme süresi ve yığma basıncı değerlerinin artışıyla orantılı olarak arttığı bulmuşlardır. Ayrıca sürtünme kaynağında, optimum sonuçlar için optimum değerlerin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Kaynaklı birleştirme işlemi yapılan numunelerde çekme gerilmesinin kritik noktaya kadar yükselip daha sonra düşmeye başladığını ve geleneksel kaynak tekniğine uygun olmayan malzemelerin kaynağının yapılmasına uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Karabey ve Akkuş, (2022) sürtünme kaynağı ile nikel esaslı inconel 718 süper alaşımı ve AISI 316L paslanmaz çeliklerini; (1400, 1600, 1800 dev/dak) dönme devri, (6, 12, 16 sn) sürtünme süresi, (20, 40, 60 MPa) sürtünme basıncı, (40-80-120 MPa)

yıgma basıncı ve (12, 24, 32 sn) yığma süresi parametrelerini kullanarak 12 mm çapında ve 70 mm boyunda kaynak numunelerini birleştirmişlerdir. Yapılan deneylerde numunelerin maksimum ve minimum boyca kısalmalarını tespit etmişlerdir. ITAB bölgelerinin Inconel 718 kısmında, daha dar olduğu ve kaynak sonrası numunelerde meydana gelen çapaklarda çatlamların olduğunu bulmuşlardır. Devir sayısı, yığma basıncı ve sürtünme süresinin artmasıyla orantılı olarak boyca kısalmanın arttığını tespit etmişlerdir.

Skowrońska ve ark. (2022) S235JR yapısal çeliklerini dönme hızı ve sürtünme basıncı parametrelerini değiştirerek yapmış oldukları yüksek hızlı sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda sürtünme hızının artması ile sertliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde katı hal kaynak yöntemlerinden birisi olan sürtünme kaynağının farklı malzemelerin kaynak edilebilirliği noktasında ihtiyaçları karşılamada devreye girdiği görülmüştür. İncelenen literatür çalışmaları ışığında sürtünme kaynak tekniğinde kullanılan dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri belirli aralıklarla değiştirilerek birleştirme işlemi yapılmıştır. Kimya, yağ, yakıt, boyama, sabun, tekstil, süt ve bira endüstrisinde parça ve aparatların yapımında kullanılan AISI 316L paslanmaz çeliği ile otomobil, motor, krank mili, ön aks, aks kovani gibi tahrik ve zorlanan parçaların yapımında kullanılan AISI 4340 ıslah çeliği birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme sonrasında numunelerin makro ve mikroyapıları ile mekanik davranışlarına bakılmıştır. Numunelerde sürtünmeden kaynaklı flanş çaplarındaki değişim ve boyca uzama miktarları incelendikten sonra zımparalama ve dağlama işlemi yapıp, optik mikroskopta görüntüleri alınmıştır. Ayrıca optik mikroskop numunelerinin 30X, 250X ve 1000X SEM görüntülerine de bakılmıştır. Aynı zamanda optik mikroskop için hazırlanan numuneler mikrosertlik testi için de kullanılmıştır. Numunelere çekme testi uygulanmış ve çekme sonrası kırık yüzey SEM görüntülerine bakılmıştır. Son olarak numunelere burulma testi yapılarak burulma torku ve burulma açısı değerleri de incelenmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek literatür yardımıyla yorumlanmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Kaynak Teknolojisi

Kaynak, metalik malzemeleri ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak aynı türden ve ergime aralığı aynı olan veya yakın bir malzeme ilave ederek veya ilave etmeden birleştirme işlemine denir (Anık, 1991).

Kaynaklı yapı elemanlarının imalatındaki amaç; uzun süre kullanılmaları, işlevlerini yerine getirmeleri ve en az maliyetli olmalarıdır. Ayrıca yapı elemanının birleşimi kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmelidir. Burada kaynak bölgesinin mikroyapı özelliklerinin ve istenen dayanım özelliklerinin sağlanması gerekir. Kaynak kabiliyeti, üç temel faktör olan malzeme, konstrüksiyon ve imalat yöntemine bağlıdır. Kaynak kabiliyeti ile bu temel faktörler arasında imalatın kaynak yapılabilirliği, konstrüksiyonun kaynak emniyeti ve malzemenin kaynağa uygunluğu ilişkileri yer alır. Bir kaynaklı imalat, önceden belirlenmiş imalat şartları altında imal edilebiliyorsa kaynak yapılabilirliğine sahiptir. Bir konstrüksiyon, önceden belirlenmiş işletme şartları altında kendisinden beklenen mukavemet şartlarını sağlıyorsa kaynak emniyetine sahiptir. Bir malzeme, kendisinden beklenen her talebe uygun bir kaynak kalitesine sahipse kaynağa uygundur (Çil, 2009). Tablo 3.1’de kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler verilmiştir.

Tablo 3. 1. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler

İmalatın kaynak yapılabilirliği	Kaynağa hazırlık	Kaynak yöntemi İlave malzeme türü Birleştirme türü Ağız şekli Ön tavlama
	Kaynağın uygulanması	Isı girdisi Isının uygulanışı Kaynak sırası
	Kaynaktan sonraki işlemler	Isıl işlem Taşlama Temizleme
Konstrüksiyonun kaynak emniyeti	Gerilme durumu	Gerilmelerin türü ve şiddeti Korozyon Sıcaklık Zorlanma hızı
	Konstrüktif şekillendirme	Parça kalınlığı Çentik etkisi Dikişlerin konumu Kuvvet hatlarının akışı
	Metallurjik özellikler	İçyapı Tane büyüklüğü Anizotropi Segregasyon
Malzemenin kaynağa uygunluğu	Fiziksel özellikler	Mukavemet Tokluk Erime sıcaklığı Isıl iletkenlik Genleşme
	Kimyasal bileşim	Kaynak metali karışım oranı Sertleşme Yaşlanma Gevrek kırılma Sıcak çatlama

3.2. Kaynak Yöntemleri

Ergitme kaynağı, kaynak edilecek malzemeleri sadece sıcaklığın etkisi ile bölgesel olarak eritip ilave bir metal kullanarak ya da kullanmadan birleştirme tekniğidir (Kalli, 2018).

Ergitme Kaynak Yöntemleri

1. Elektrik Ark Kaynağı
2. Nokta Direnç Kaynağı
3. Oksi-Asetilen Kaynağı
4. Elektro Cüruf Kaynağı
5. MIG-MAG Kaynağı
6. TIG Kaynağı

7. Tozaltı Kaynağı
8. Lazer Kaynağı
9. Termit Kaynağı
10. Elektron Işın Kaynağı
11. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı

Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Katı hal kaynak işlemi, aynı ya da farklı kimyasal bileşime sahip iki malzemeyi, ergitme olmadan birleştirmek amacıyla yapılan bir birleştirme yöntemidir. Eğer ergime meydana gelirse, ergimiş metalin ortamdan uzaklaştığı ve birleşmenin yüzeyler arasında gerçekleştiği bir kaynaklama yöntemini ifade eder. Katı hal kaynak yöntemleri aşağıda verilmiştir:

1. Difüzyon Kaynağı
2. Patlamalı Kaynak
3. Ultrasonik Kaynak
4. Soğuk Basınç Kaynağı
5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı
6. Sürtünme Kaynağı

3.3. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

3.3.1. Difüzyon Kaynağı

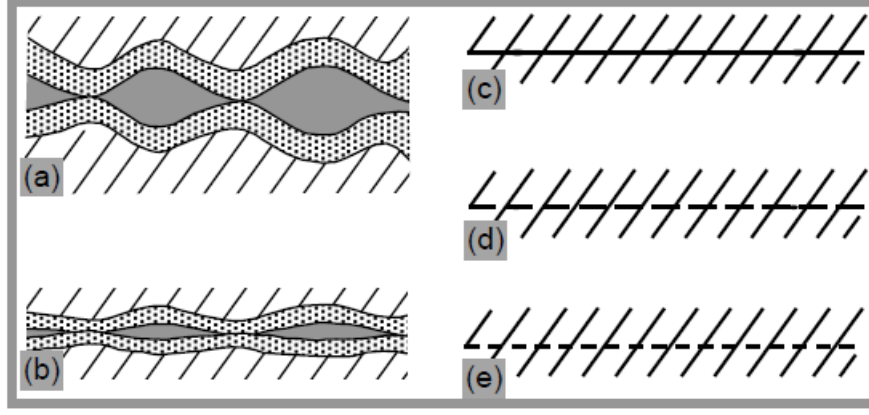
Difüzyon kaynağı, malzemelerin plastik deformasyona uğramayacakları bir basınç altında, ergime sıcaklığına ulaşmadan, belirli bir metalürjik bağ oluşturacak seviyede bekleterek alın altına getirilmiş iki malzemeyi birleştirme yöntemidir. Birleştirme işlemi difüzyon esaslı olup katı halde meydana gelir. Benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesi en büyük avantajıdır (Özdemir, 2003). Difüzyonla birleştirme işleminde, malzemeler arasında bir tabaka yoksa katı hal difüzyon kaynağı olarak adlandırılır. Katı hal difüzyon kaynağı, koruyucu gaz atmosferinde vakum yardımıyla yapılır. Kaynak esnasında ara tabaka kullanılırsa buna sıvı hal difüzyon kaynağı denir. (Atasoy, 2007). Difüzyon kaynak yöntemi yardımıyla birleştirilebilecek metal kombinasyonları aşağıda verilmiştir:

- Kimyasal bileşik olarak birbirine benzeyen metal grupları birleştirilebilir.
- Kimyasal bileşik olarak birbirine benzeyen metal grupları bir dolgu metalinin iki kaynak yüzeyi arasında olacak şekilde birleştirilebilir.
- Farklı metaller, bu metallerden daha farklı bir metalin yüzeyler arasında dolgu metali olarak kullanılması ile birleştirilebilir.
- İki farklı metal, tek bir şekilde doğrudan birleştirilebilir (Özdemir, 2003).

Difüzyon kaynağında, Van der Waals, adhezyon ve kohezyon kuvvetleri etkilidir. Difüzyon kaynağı ile ilgili olarak Kinzel 1944 yılında ilk çalışmayı yapmıştır. Owczarski ve Gerken 1965 yılında üç aşamalı bir mekanizma üzerine çalışmışlardır. Sonraki yıllarda Shvvartz, King ve Owczarski birbirleri ile benzer modeller ortaya sürerek Gerken ve Owczarski tarafından kurgulanan mekanizmanın ilk aşamasını birleştirmişlerdir. Bu modele göre ilk aşamayı birleştirecek yüzeylerin basınç altında ilk teması sonucu, sürtünme meydana gelmiştir.

Owczarski ve Gerken kaynak birleştirme kesitini tane sınırı olarak adlandırmışlardır. Esas mekanizmanın tane sınırı difüzyonu olduğu ikinci aşamada, birinci aşamada yok edilemeyen arakesit boşlukları difüzyon yoluyla yok edilmekte ve arakesit tane sınırları daha düşük bir enerji seviyesine, yani arakesit düzlemi dışına çıkmaktadır. Son aşama ise hacim difüzyonu yoluyla tane içinde yer alan boşlukların doldurulmasından oluşmaktadır (Yılmaz, 1999).

Mekanizma ve model arasındaki etkileşim, bu iki olgunun değişik şekilde boşlukları doldurmasına sebep olduğu düşünülerek geliştirilmiştir. Şekil 3.1’de difüzyon kaynağı mekanizması aşağıdaki gibi genelleştirilebilir (İpekoğlu, 2003).



Şekil 3. 1. Difüzyon kaynağı mekanizması (İpekoğlu, 2003).

Birden fazla kristalli malzeme yapılarında difüzyon; yüzey > tane sınırı > tane içi olarak sıralamak mümkündür.

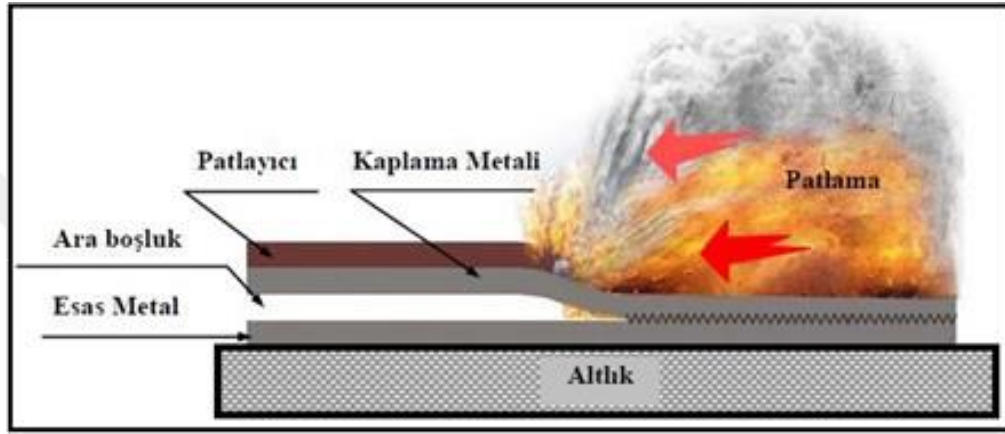
3.3.2. Patlamalı Kaynak

Patlamalı kaynak diğer adı ile kaplama yöntemi, belirli parametreler içerisinde patlamalı etki ile bağ oluşturacak şekilde geleneksel kaynak yöntemi ile birleştirilemeyen aynı veya farklı kimyasal bileşiklere sahip metallerin kaynağında kullanılır. Patlamalı kaynak yönteminde kaynak arayüzeyinde ergime meydana gelmez. Bu yöntemde asıl amaç iki metal arasında bir bağ oluşturmaktır. Ayrıca bu yöntem çok katlı kompozit malzemeler üretmek için de kullanılabilir (Eser, 2018).

Patlamalı kaynak yönteminin; patlayıcı, üst parça ve taban malzemesi olmak üzere üç temel elemanı vardır. Genellikle üst parça taban malzemesine paralel olacak şekilde konumlanmaktadır. Bazı özel durumlarda her parça için ayrı değişik açılar kullanılabilir. Kaynak işlemi esnasında büyük bir altlık yardımıyla desteklenen taban malzemesi sabit durur ve üst parça ise patlayıcı yardımıyla taban malzemesi üzerine doğru hareket ettirilerek birbirine kaynatılır (Kahraman ve Gülenç, 2013).

Metal yüzeylerin temas etmesi sonucu bir enerji açığa çıktığında, metaller bu yüzeylerde oluşan ilk temaslarını devam ettirir ve bu sürtünme sonucu bir katı hal kaynağı meydana gelir. Kaynak esnasında oluşan temas basıncının yüksek olması nedeniyle üst tabakada var olan kinetik enerji dalgalı bir kaynak yüzeyi oluşturur. Bu yüzeyde plastik deformasyon sonucu soğuk basınç kaynağı meydana gelir. Bu işlem,

dışarıdan herhangi bir ısı verilmediği için soğuk olarak tanımlansa da yapılan işlem gereği kaynak arayüzeyinde bölgesel sıcaklıklar oluşur. İşlem sırasında patlayıcının ateşlenmesi ile birlikte ısı açığa çıkmasına rağmen, kaynak yapılan parçalarda ısı transferi için gerekli zamanın olmaması nedeniyle ısı akışı fark edilemez. Bu işlemdeki ısı ve akış, ana malzemenin dayanımına eşit veya daha yüksek bir dayanıma sahip arayüzeyin birleşmesini sağlar (Kaya, 2014). Şekil 3.2’de patlama kaynağı şematik olarak gösterilmiştir:



Şekil 3. 2. Patlamalı kaynak yöntemi şematik görüntüsü (Eser, 2018)

Kaynak esnasında ihtiyaç olan yüksek basınç değeri, patlayıcı madde ile birlikte bir malzemenin hızının 100 ile 1000 m/s arası ve parça açılarının 2° ile 25° arasında olması sonucu çarpma basıncı 10 ile 100 kbar arası oluşur. Bu sırada numunelerde kalıcı deformasyon meydana gelir. Sonuç olarak kaynağı yapılan malzemelerde karşılıklı olarak yığılma meydana gelir ve dalgalı bir kaynak yüzeyi elde edilmiş olur. Yüzeydeki oksit tabakası birbirine çarpan levhaların arasından hızlı bir şekilde dışarı atılır. Kaplamanın metalürjik bağlanması ergime ve difüzyon işlemi ile oluşur. Kaynak işlemi açık havada, vakumlu ortamda veya diğer atmosfer şartlarında da yapılabilir (Kumru, 2007).

Kaynak kalitesini, aşırı çarpışma enerjisi olumsuz etkileyerek patlama bölgelerinde gereğinden fazla ergimiş malzeme meydana getirebilir. Aksi takdirde aşırı kırılğan intermetalik fazlar oluşabilir. Arayüzeydeki düzenli dalga oluşumu kaynak kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Sık dalga oluşumu ve dalga genliği (periyodik

harekette maksimum düzey); metal uyumu, kaplama malzemesinin kalınlığı ve çarpışma şartlarının bir fonksiyonudur (Kahraman, 2003).

Patlamalı kaynak yönteminde, parametrelerin kontrol altında tutulabilmesi kaynak kalitesi için önemlidir. Birleştirme işleminde kaynak ara-yüzeyini ve kaynak kalitesini etkileyen bazı önemli kaynak parametreleri şunlardır:

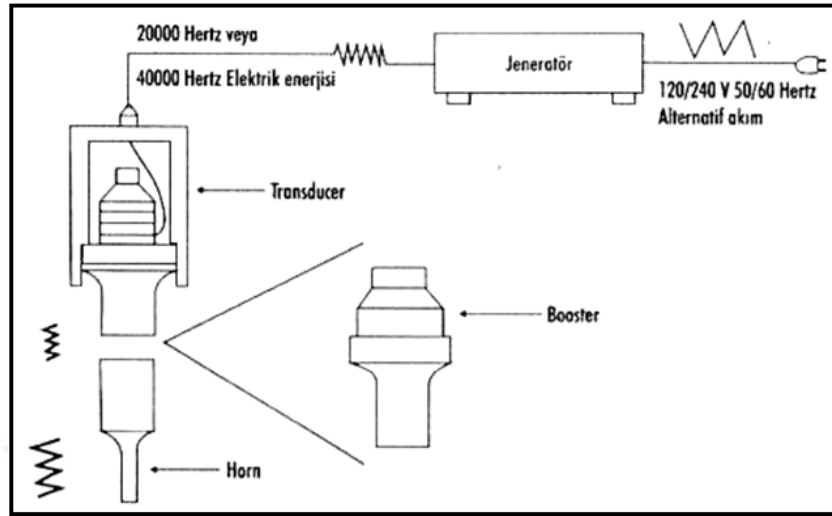
- Taneler arası boşluk mesafesi,
- Eğimli düzlemler için başlangıç açısı değeri (paralel düzlemelerde bu değer “0” alınır),
- Paylayıcı ile levha arasındaki kütle oranı,
- Altlığın fiziksel veya kimyasal durumu,
- Fünye,
- Patlayıcının cinsi ve oranı,
- Eğimli veya paralel düzlemlerdeki çarpışma açısı,
- Patlayıcının patlama hızı,
- Üst levhanın çarpma hızı,
- Kaynak yani çarpma noktasındaki hız (Acarer, 2001).

3.3.3. Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynak yöntemi, yüksek frekanslı ultrasonik titreşimi basınç altında kaynak bölgesine uygulayarak gerçekleştirilen bir birleştirme tekniğidir. Kaynak bölgesinde ısının meydana geliş biçimi ultrasonik kaynak yöntemi ile ergitme kaynak yöntemini birbirinden ayıran önemli özelliklerden biridir.

Ultrasonik kaynak tekniğinde 1-25 mikrometre gibi düşük bir genlikte yüksek frekanslarda enerji kullanılarak mekanik titreşimler elde edilir. Düşük frekansa sahip şebeke hattı elektriği jeneratörler yardımıyla artırılır. Piezoelektrik kristaller sayesinde transduserde elektriksel titreşimler mekanik titreşimlere dönüştürülür. Booster ile uygulamaya bağlı olarak titreşimlerin genliği yükseltilir veya düşürülür. Titreşim genliği ultrasonik kaynak yönteminde, yapılacak işin sonucunu etkileyen önemli bir parametredir. Booster sayesinde istenilen genliğe ulaşıldıktan sonra titreşim horn aracılığı ile çalışma parçasına aktarılır. Belirli basınç altında ayarlanabilen frekans değerinde parçaların sürtünme yüzeyleri ergime sıcaklığına eriştiğinde uygulanan

titreşim sonlandırılır ve parçaların soğuması beklenir (Gavcar, 2019). Şekil 3.3'te ultrasonik kaynak sisteminin şematik gösterimi verilmiştir:



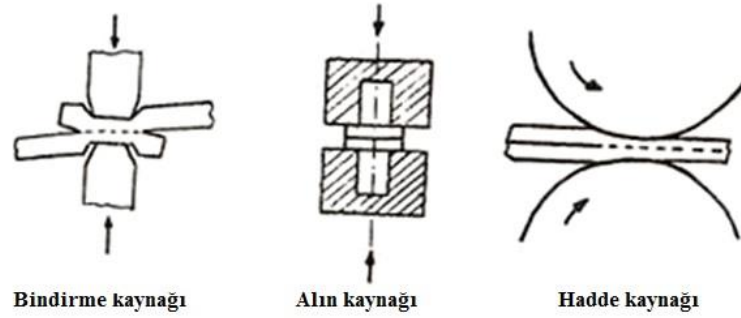
Şekil 3. 3. Ultrasonik kaynak sistemi (Gavcar, 2019).

Ultrasonik kaynak yönteminde, kaynak ekipmanlarının tasarımı, malzemelerin mekanik karakteristikleri ve kimyasal bileşimleri önemlidir. Ultrasonik kaynak elektronik, otomotiv, tekstil ve paketlenme endüstrilerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde; kaynak yapılan parçaların kalite kontrolü için fazla zamanın harcanmaması, boyutsal doğruluk sağlaması, ekonomik olması, kalıpları zor parçaların birleştirilebilmesi, otomasyona kısa sürede uyarlanabilmesi, sızdırmazlık sağlaması, termoplastik kompozitlerin etkili bir biçimde birleştirilmesi ve kaynak süresinin kısa olması avantajlar arasındadır. Ultrasonik kaynak yönteminde dışarıdan herhangi bir yapıştırıcı, bağlayıcı, ısı ve çözücüye ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca deformasyon ve yüksek sıcaklık olmadan kaynak işlemi yapılabilir. Çok ince malzemeler, aynı ya da farklı bileşiklere sahip metaller, ince ve kalın parçalar, metal dışı malzemeler birleştirilebilir. Bu birleştirme esnasında herhangi bir deformasyon meydana gelmez. Kaynak süreci, kaynak parametrelerini kontrol ederek gözlemlenebilir (Gavcar, 2019).

3.3.4. Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı, oda sıcaklığında basınç uygulayarak katı halde parçaları birbirine birleştirmeye yarayan kaynak yöntemidir. Kaynak yapılmadan önce parçaların yüzeylerindeki oksit, yağ ve kirler kaynak kalitesini artırmak için uzaklaştırılmalıdır. Bu

kaynak türü, dışarıdan herhangi bir enerji uygulanmadan gerçekleştirildiği için malzeme ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu yöntem genellikle Al-Al, Cu-Cu ve Al-Cu gibi yumuşak metallerin kaynağında kullanılır (Çil, 2009) Şekil 3.4'te soğuk basınç kaynağının çalışma sistemleri verilmiştir:



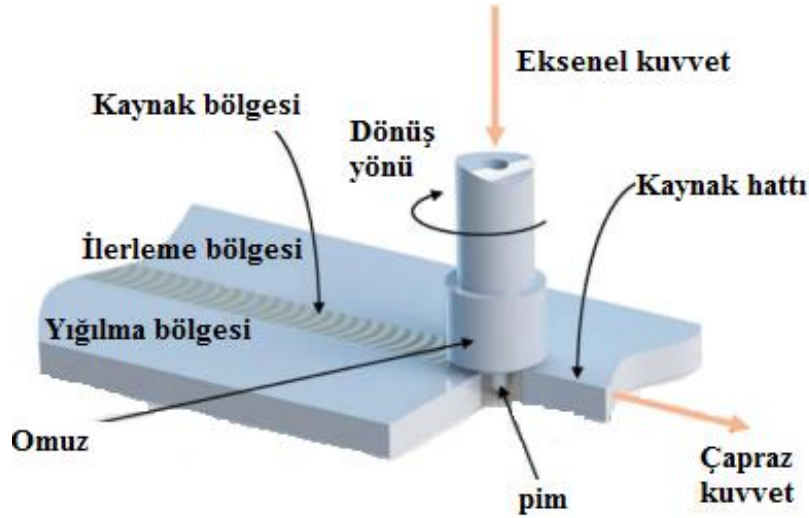
Şekil 3. 4. Soğuk basınç kaynağına ait çalışma sistemleri (Çil, 2009).

Kaynak dayanımı üzerinde etkili olan unsurlar, metalin oksit filminin bağlı sertliği ve oksitin mekanik özellikleridir. Kaynak kalitesi açısından bağlı kayma mesafesinin temiz olması etkilidir. Demir ve demir dışı metallerin kaynağında soğuk basınç kaynağına sıkça rastlanılmaktadır. Bunlar; kompozit krank şaftları, hafif kütleli fren parçaları, kilitleme pimleri, uzay ve havacılık teknolojileri, tellerin bağlanması, ısıya duyarlı taşıyıcıların yapıştırılması ve elektronik endüstrisinde kurşun kaplı çelik kristal kapların yapıştırılmasıdır (Şahin ve ark. 2005)

3.3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

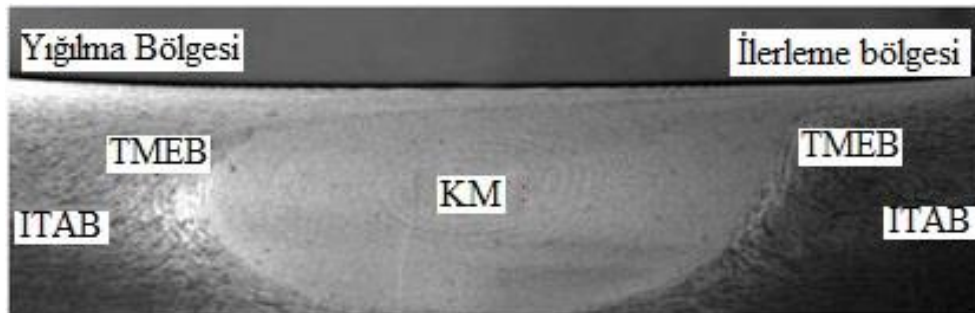
Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), İngiltere’de yer alan TWI Ltd. tarafından 1991 yılında geliştirilmiş olup hafif metal ve alaşımlarının kaynatılmasında kullanılan bir katı hal kaynak tekniğidir. Özellikle yüksek performans gerektiren metal ve alaşımlarının birleştirilmesinde çarpılmaların ve iç gerilmelerin istenmediği durumlarda başarılı bir şekilde kullanılabilmektedir (Rankin, 2008).

SKK tekniği, özel olarak tasarlanmış bir omuz ve pimden oluşan parçaların belirli dönme hareketi yaparak belirlenen hat boyunca ilerlemesi ve eksenel kuvvet uygulanması neticesinde malzeme yüzeyinde oluşan ısıdan yararlanılarak yapılır. Bu ısıdan yararlanılarak malzemelerin yüzeylerinin yumuşatılıp karışım sağlanması ile yapılır (Öcalır, 2019). Şekil 3.5’te SKK işlem şeması verilmiştir:



Şekil 3. 5. Sürtünme karıştırma kaynağı işlem şeması (Eslami ve ark. 2015).

SKK tekniği ile yapılan kaynak bölgelerinde asimetrik bir kaynak dikişi ile karşılaşılır. Bu asimetrik kaynak dikişinin takım ekseninin belirli ölçüde kaydırılması ile farklı kimyasal bileşime sahip alaşımların kaynak kalitesini olumlu yönde geliştirdiği görülmüştür (Cavaliere ve Panell, 2008). Literatürde SKK bölgesi, kaynak merkezi (KM), termomekanik etkilenen bölge (TMEB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Şekil 3.6'da SKK işlemi sonrası oluşan mikroyapı yapıları verilmektedir:



Şekil 3. 6. SKK işlemi sonrası oluşan mikroyapılar (Srubar, 2009).

SKK yönteminde kaynak parametreleriyle mekanik ve mikroyapısal özellikler farklılık göstermektedir. Geleneksel ergitme kaynak yöntemlerinde karşılaşılan interdrititik ve ötektik fazlar bu teknikte ortadan kalkar. Bunun sebebi de birleşmenin ergime fazında geçekleşmemesidir (Cavaliere, 2006). SKK yönteminde, kaynak takımı ölçüleri ile çapı birleşme karakteristiğini etkilemektedir (Kulekci, 2008).

Enerji tüketiminin daha az olması, koruyucu gaz ihtiyacı duyulmaması ve zararlı emisyonların oluşmaması geleneksel kaynak yöntemlerine göre SKK yönteminin üstünlükleridir (Trimble, 2011). Bu yöntemde malzeme ergime noktasına ulaşmadan kaynatılmaktadır. Dolayısıyla Al alaşımlarının kaynağı oksitlenme ve boşluk oluşmamasından dolayı kolaydır. Yorulma ömrü yüksek bağlantılar elde edilebilmektedir.

SKK yöntemini sınırlayan durumlar:

- Kullanılacak olan makine ekipmanının pahalı olması,
- Parçanın ergiyen metalin içine girmesi için yüksek kuvvete ihtiyaç duyulması,
- Ergiyen kaynak işlemlerinden daha rijit olması,
- Kaynak esnasında iş parçasını sabitleme düzeneğine ihtiyaç duyulması,
- Kalın malzemelerin kaynağının kaynak yüzeyinin alt ve üst kısımlarının ısı dağılımını homojen olmaması,
- Metal biriktirme ihtiyacı olan kaynak bağlantılarına uygun olmaması,
- Diğer kaynak yöntemlerinden daha yavaş olması (Dalkılıç, 2012).

Sürtünme karıştırma kaynağı ile Mg, Zn, Pb, Al alaşımları ve bu alaşımları içeren malzemeler birleştirilmektedir. Ti, Cu, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, düşük karbonlu ferritik çelikler ve nikel alaşımlarının yanı sıra bazı termoplastik malzemelerin kaynağı yapılabilmektedir. Özetle, sıcak işlenmeye uygunluğu bulunan tüm malzemeler bu yöntemle birleştirilebilmektedir. SKK'da sınırlayıcı faktör malzemedeki çok takım çeliğidir. (Troughton, 2014).

SKK yönteminin ticari uygulamaları:

- Denizcilik ve alt sektörleri,
- Uzay ve havacılık sektörleri,
- Kara ve demiryolu sektörü (Besharati-Givi ve Asadi, 2014).

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi parametreleri:

- Takım dönme hızının etkisi (Takım Devri),
- Takım ilerleme hızının etkisi (Kaynak Hızı),
- Eksenel kuvvetin etkisi. (Booth, 2016).

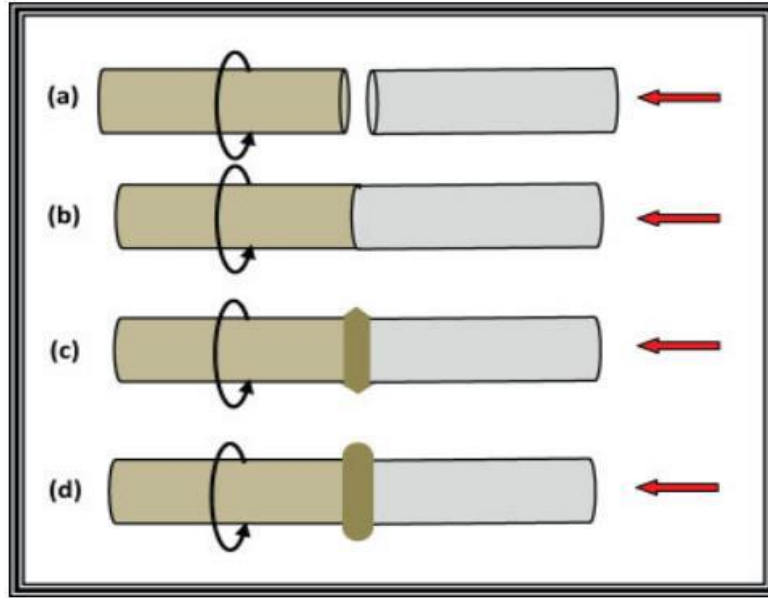
3.3.6. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı birçok ülkede kullanılan ve sürekli gelişim gösteren ticari ve ekonomik bir yöntemdir. Sürtünme enerjisinin kaynak yöntemine uygulanması 1600'lü yıllara dayanmaktadır. Amerikalı makinist J. H. Bevington sürtünme kaynağı ile ilgili ilk patenti 1981 yılında almıştır. Bevington boruların kaynağını sürtünme ısısından faydalanarak yapıştırılmıştır. W. Richter 1924 yılında İngiltere'de H. Klopstock ise Sovyetler Birliği'nde patent almıştır. Silindirik parçaların sürtünme kaynağı için A.R. Nealsonds ve H. Klopstock 1941 yılında birer patent almışlardır. Plastik malzemeler II. Dünya Savaşı'nda Amerika ve Almanya'da sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir (Dede ve ark. 2002).

Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi veya ısı enerjisi uygulanmadan malzeme arayüzeylerinde mekanik enerjinin doğrudan termal enerjiye dönüşmesi ile oluşan katı hal kaynak yöntemlerinden biridir (Uday ve ark. 2010). Dairesel ve yatay hareket eden aynalara kaynak işlemi yapılacak parçalar bağlanır. Sürtünmenin meydana gelebilmesi için yüksek hızla dönen aynaya yatay hareket eden ayna yaklaştırılarak parçaların birbirine dokunması sağlanır. Mekanik enerjiden faydalanılarak sürtünmeden ısı enerjisinin oluşturulduğu ve parçaların birbirine temas etmesi ile uç kısımlarının hamur kıvamına gelmesi sağlanır. Daha sonra hareketli ayna ani frenleme ile durdurularak basınç uygulanır ve parçalar birleştirilir. Mekanik veya hidrolik sistem yardımıyla kaynak için gerekli basınç elde edilir: (Gürleyik, 1997).

Sürtünme kaynağında işlem sıralaması aşağıdaki gibi olup görseli Şekil 3.7'de verilmiştir:

- a) İlk olarak iş parçası döndürülürken diğer parça sabittir ve sabit olan parça dönen parçaya yaklaştırılır.
- b) Optimum dönme devrine ulaşıldığında iki parça birleştirilerek eksenel kuvvet uygulanır.
- c) Sürtünme neticesinde parçalar ısınarak yığılma meydana gelir.
- d) Son olarak dönen parçanın dönüşü durdurularak kaynak işlemi bitirilir (Uday ve ark. 2010).

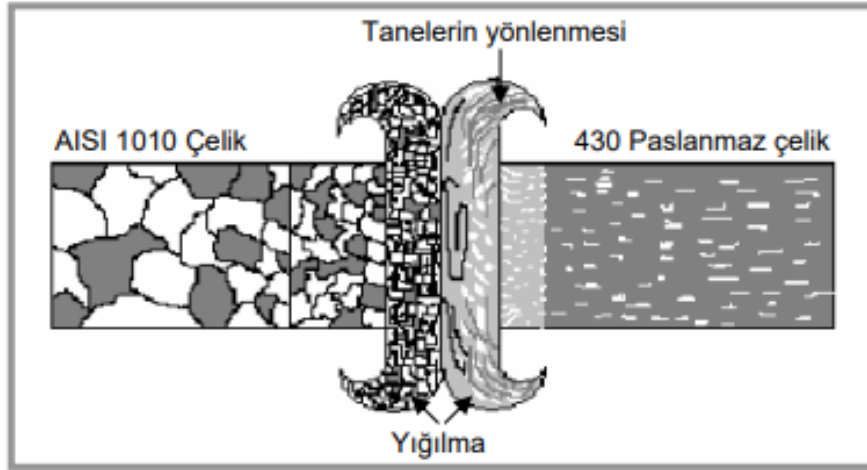


Şekil 3. 7. Sürtünme kaynağında işlem sıralaması (Uday ve ark. 2010)

Sürtünme kaynağında birleşme işlemi arayüzeyde ergimeye yakın bir sıcaklıkta meydana gelmektedir. Sürtünme kaynak işlemi üç aşamada sıralanabilir:

- 1) Düşük sürtünme kuvveti altında parçalarda yüzey teması ve sürtünme kuvveti sonucu deformasyon işlemi gerçekleştirilir.
- 2) Yük artırılır ve malzeme temas yüzeylerinde sürtünme ısısı meydana gelir, böylece yumuşama ve sertleşme oluşur.
- 3) Bu aşamada ısı iletimi biter. Isınan malzemenin yığılması için yük artırılır, artırılan yük sebebiyle oluşan çapaklar temizlenir.

Sürtünme kaynağı süresi boyunca malzeme arayüzeylerinde uygulanan basınç; dönen iş parçası, hareketsiz iş parçası veya dönmekte olan her iki parça tarafından sağlanmaktadır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen malzemeler; ergitmesiz bölge, ısıdan etkilenen bölge ve deformasyon bölgelerinden oluşur. Şekil 3.8’de iki parça arasına oluşan yapısal bozulmalar detaylı bir şekilde verilmiştir:



Şekil 3. 8. İki parça arasında oluşan yapısal bozulma (Kahraman ve Gülenç, 2016).

Sürtünme kaynak makinesi çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Hibrit sürtünme kaynak makinesi
- 2) Volan tahrikli sürtünme kaynak makinesi
- 3) Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi

Sürtünme kaynak mekanizmasını etkileyen birçok parametre mevcuttur.

Sürtünme kaynağındaki en önemli parametreler şunlardır:

- Sürtünme süresi,
- Sürtünme basıncı,
- Yığılma basıncı,
- Yığılma süresi,
- Dönme devri (Çil, 2009)

3.3.6.1. Sürtünme Kaynağı Parametreleri

3.3.6.1.1. Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, yeterli dönme devrine gelen parçaların birbiri ile temas ettiği andan itibaren başlayıp plastik şekil verme sıcaklığının arayüzeyde oluşuncaya kadar geçen zamanı kapsar (Mercan, 2013). Isıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak da adlandırılan bu süreç, kaynak yapılacak parçalardaki gerekli sıcaklık dağılımına ve parça kesitine bağlıdır (Gül, 2006). Sürtünme süresi, olası kalıntı ve pisliklerin yüzeyden uzaklaştırılıp yeterli deformasyon sıcaklığı sağlanıncaya kadar devam

ettirilmelidir (Dinç, 2006). Sürtünme süresinin uygun olmaması durumunda, deformasyon yetersizliği ve kalitesiz bir birleşme meydana gelir. Sürenin fazla olması durumunda ise daha fazla parça tüketimine ve daha fazla yığılmayla birlikte ITAB'ın genişlemesine neden olmaktadır (Itoh ve ark. 1989).

Ellis doğru parametre seçimi ile ilgili olarak malzeme çapını sürtünme süresine bağlı olarak Denklem (3.1) ile formüllendirmiştir (Özdemir, 2002).

$$t = 8,255 \times D \quad (3.1)$$

Burada;

t : Sürtünme süresi (sn)

D : Malzeme çapı (mm)

3.3.6.1.2. Sürtünme Basıncı

Sürtünme basıncı, ara-yüzeydeki kir ve oksitleri uzaklaştırarak oluşan ısının en kısa zamanda elde edilebilmesi amacıyla malzemeler arasında uygulanan ve şekil değişimini tayin eden ilk basınç kuvvetidir (Gül, 2006). Bu basınç, malzemelerin geometrisi ve kalıcı şekil değiştirme yeteneğine bağlıdır. Gerekli deformasyon artan sürtünme kuvvetiyle sağlanır (Özdemir, 2002). Sürtünme yüzeyinde meydana gelen durdurma momenti, sürtünme yüzeyi boyunca toplandığında Denklem (3.2) ile oluşturulabilir (Sönmez, 2007).

$$M_R = 2/3 (\pi \phi p r^3) \quad (3.2)$$

Burada;

M_R : Dönme momenti (N.mm)

p : Yüzey basıncı (N/mm²)

r : Parça yarıçapı (mm)

φ : Sürtünme katsayısı

Sürtünme momenti, numune merkezinden başlayarak çevreye doğru yarıçap boyunca artar ve en yüksek seviyeye ulaşır. Bu denklemde basınç sürtünme kaynağında değiştirilecek tek parametredir. Malzeme yapısına göre basınç değeri doğru seçilmelidir. (Mercan, 2013).

Sürtünme basıncı ile kaynak bölgesinde oluşan ısı ve numunelerde meydana gelecek olan kısılma miktarları kontrol edilebilir. Denklem (3.3), (3.4) ve (3.5)'te basınçla birlikte yüzeylerde meydana gelen ısı miktarları değişimi hesaplanabilir (Sönmez, 2007).

$$Q_R = M_R n t \quad (3.3)$$

$$Q_Z = \Delta m c \Delta t \quad (3.4)$$

$$Q_V = k F (T - T_0) t \quad (3.5)$$

Burada;

N : Devir sayısı(dev/dak)

k : Isı iletim katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

F : Yüzey alanı (m^2)

T : Sıcaklık ($^\circ C$)

t : Süre (sn)

m : Kütle (kg)

c : Özgül ısı ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

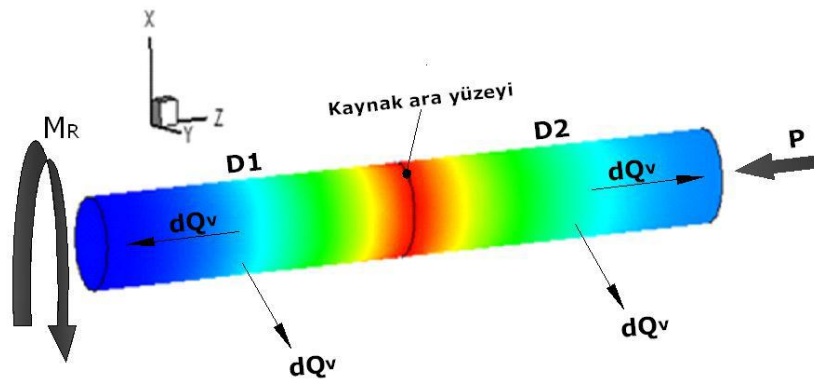
Q : Isı (kcal)

Q_R : Meydana gelen ısı (kcal)

Q_Z : Kullanılan ısı (kcal)

Q_V : Kaybolan ısı (kcal)

Denklemden anlaşılabacağı üzere devir sayısının yüksek olması, meydana gelen enerjiyi artırırken zamanı kısaltması ile enerjideki kaybı azaltır (Sönmez, 2007).



Şekil 3. 9. Kaynaklı parçalardaki ısı dağılımı (Mercan, 2013).

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliğe uygulanan sürtünme basıncı iki katına çıkarıldığında ısı ihtiyacını % 50 oranında artırır. Ayrıca ilk etapta bu basınç 4,8 kW/cm² 'dir. ITAB genişliğini sürtünme basıncı sonucu meydana gelen ısı etkilemektedir. Sürtünme basıncı kaynak esnasında malzemenin birbirine geçiş hızını artırarak kaynağın zamanını kısaltır. Düşük sıcaklık, malzemenin içyapısını hızla soğutarak sert yapıların oluşmasına sebep olur, böylece kaynak kabiliyeti olumsuz etkilenir (Dinç, 2006).

3.3.6.1.3. Yığma Basıncı

Yığma basıncı, kaynaklı bağlantının hızlı bir şekilde birleşmesini sağlamak amacıyla sürtünme sonrası iki malzemeyi birleştiren basınç kuvvetidir (Yılmaz, 1993). Yığma basıncı, sürtünme kaynağında kullanılan malzemelerin eksenel kısılması açısından önemlidir. Seçilen basınç; kaynak edilecek olan malzeme cinsine, sürtünme kaynağı çeşidine ve parçaların geometrisine bağlıdır (O'Brien, 1991).

Düşük basınç miktarı eksenel kısılmayı ve kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği için basınç oranı seçilirken oksit tabakasını giderecek miktarda seçilmelidir. (O'Brien, 1997).

Çeliklerde yığma basıncı sürtünme kaynağı sonrasında bağlantı kalitesini artırır. Uygulanacak yığma basıncı malzemelerin dövme sıcaklığının üstünde bir değerde olmalıdır. Buradaki amaç aşırı plastik deformasyonu sağlamaktır. (Yılmaz, 1993).

3.3.6.1.4. Yığma Süresi

Yığma süresi, sürtünme kaynağında iki malzeme arasındaki plastik deformasyonun sağlanabilmesi amacıyla difüzyonu hızlandırmak için basınç kuvvetinin artırılarak uygulandığı süredir. Malzemelerin soğuma hızı yığma süresini etkilemektedir (Özdemir, 2002). Genellikle yığma süresi sürtünme süresinin iki katı olarak seçilebilir (Kırık, 2012).

Yığma süresi; malzemenin kimyasal bileşimi, mekanik davranışları, kaynak edilecek parçanın boyutu ve geometrik şekli göz önünde bulundurularak seçilmelidir

(Dinç, 2006). Malzeme uyumunda düşük sıcaklıklarda ergiyen malzeme kaynak sıcaklığını belirler (Gül, 2006).

3.3.6.1.5. Dönme Devri

Dönme devri, bağlantı kalitesi üzerinde en etkili parametrelerden biridir. Kaynak yapılacak malzeme çaplarının farklı olması dönme devrinin de buna uygun olarak seçilmesi gerekir (Gül, 2006). Kaynak esnasında dönme devrinin düşük seçilmesi, kırılğan bir yapının oluşmasını ve bileşimi sağlayacak ana bileşenler arasındaki ara bileşimde oluşan fazın oluşumunu olumsuz etkileyebilir (Özdemir, 2002).

Ellis, malzemelerin kaynak kalitesi ve arayüzey sıcaklığı açısından en etkili parametrelerden birisinin devir sayısı olduğunu belirtmiştir. Buna karşın V.I. Vill ise kaynak kalitesinde etkili olan dönme Denklem (3.6) ile formüllendirmiştir (Dinç, 2006).

$$n = (1.2-6.0)10^4/D \quad (3.6)$$

Burada;

n : Devir sayısı (dev/dak)

D : Parça çapı (mm)

Taşkın ve ark. (2005) ITAB'ın devir sayısının artması ile birlikte genişlediği ve ADB'de sertliğin arttığını tespit etmişlerdir. Ancak birleşme ara-yüzeyindeki sıcaklığın artması ile birlikte ADB'nin azaldığını görmüşlerdir.

3.4. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, oksitleyici ortamlarda paslanmayan çeliklerdir. Özellikle molibden ve nikel çeliğin paslanmazlık özelliğini iyileştirmek için alaşım olarak kullanılır ve paslanmazlık krom tarafından sağlanır. Atmosfer ortamında korozyona dayanıklıdır ve karbon oranı en fazla %1,2'dir. Alaşım ve karbonlu çelikler dünyada en fazla üretilen ve kullanılan çelik türleridir (Alptekin, 2006).

Paslanmaz çelik çeşitleri 5 gruba ayrılır:

- Östenitik,
- Ferritik,

- Martenzitik,
- Dubleks,
- Çökelme sertleşmeli.

Östenitik paslanmaz çeliklerin ana alaşım elementleri krom ve nikeldir. Ferritik paslanmaz çelikler sertleştirilmeyen Fe-Cr alaşımlarıdır. Martenzitik paslanmaz çelikler, ferritik gruptaki paslanmaz çeliklerle benzer kimyasal kompozisyona sahip olmalarına rağmen daha yüksek oranda karbon ve daha düşük oranda krom içermesi nedeniyle ısıtılıp soğutulmuş ve sertleştirilebilirler. Dubleks paslanmaz çelikler eşit miktarda östenit ve ferrit fazları içermektedir. % 24 krom ve % 5 nikel elementleri içermektedir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, alüminyum gibi katı çözeltiye girme ve yaşlandırma ısıtılıp soğutulmuş işlemi ile çeliğe sertleşebilme imkânı sağlayan alaşım elementleri içermektedir (Türkyılmazoğlu, 2006)

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri içerisindeki elementlerden krom, ferrit oluşumunu sağlamakta olup korozyon direncinde ve oksidasyon dayanımında etkili olmaktadır. Nikel, östenit oluşumunu sağlamakta olup yüksek sıcaklık direnci, süneklik ve korozyon direncini artırmaktadır. Molibden, ferrit oluşumunda etkili olup indirgeyici durumlarda malzemelerin korozyon direncinin yüksek olmasına yardımcı olmaktadır. Karbon ise östenitin oluşmasını sağlayan element olup krom ile etkileşime girerek taneler arası korozyona sebep olan karbürlerin oluşumunu sağlamaktadır (Odabaş, 2004).

Paslanmaz çeliklerin esas unsuru Fe-Cr bileşimidir. Krom hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahip olup yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip östeniti (γ) kapalı hale getirmektedir. 1000 °C sıcaklığında % 12 kadar krom çözünür haldedir. % 12'den az krom var ise yapı YMK'den HMK'ye dönüşmez. Fe-Cr bileşimi düşük sıcaklıklarda katı eriyik olmayıp 821 °C altında yaklaşık olarak % 46 Cr içeren sert ve kırılgan olan σ' 'yı meydana getirir. Fe-Cr alaşımlarına C katıldığında östenit alanları genişlemektedir (Swith, 2000; Yalçınöz, 2016).

3.5. Islah Çelikleri

Islah çelikler, yüksek dayanım ve süneklik özellikleri ile sertleşebilirlik özelliklerinin kazandırıldığı çelik grubudur. Gerekli seviyede sertliğin sağlanabilmesi

için karbon oranı fazla olmalıdır. Parça boyutları ve dayanım miktarları ıslah elik seçimi için onemlidir. Kesiti fazla olan parçalarda sertliğin onemli bir kriter olmasından dolayı malzemeler alaşımlı ıslah çeliklerinden seçilir. Küçük kesitli parçalarda ise alaşımsız ıslah çelikleri seçilir. Islah elikler, ıslah edilmeden veya ıslah edildikten sonra alevle ve indüksiyonla sertleştirilebilirler. Isıl işlemi yapılacak malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra malzeme yüzeyindeki ve yüzeyin alt kısmındaki sertlik değerleri onemlidir. (Arslan, 2007).

Islah elikler; krank milleri, makine ve motor parçaları, akslar, tahrik parçaları, dişliler, piston kolları, türbinler, pompalar, jeneratörler, redüktör, kompresörler ve raylı sistemlerde kullanılır.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alan AISI 316L paslanmaz çeliği ile ıslah çelikleri arasında yer alan AISI 4340 ıslah çeliği sürtünme kaynak yöntemi ile 3 farklı dönme devri ve 3 farklı sürtünme süresi parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak sonrasında kaynak bölgesinde yer alan flaş çapları ve numunelerin boyca kısılma miktarları karşılaştırılarak parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Ayrıca kaynak sonucunda kaynak bölgelerinde oluşan yapıların mikroyapı ve SEM görüntüleri incelenmiştir. Sertlik, çekme ve burulma testleri de yapılarak kaynak bölgelerinin mekanik davranışları incelenmiştir. Son olarak ise çekme ve burulma deneylerinde numunelerin kopma yüzeylerinin makro görüntüleri incelenmiştir. Deneysel çalışma neticesinde elde edilmiş olan sonuçlar literatür çalışmaları ışığında değerlendirilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Deney çalışmasında kullanılan AISI 316L paslanmaz çeliği ile AISI 4340 ıslah çeliği Bimeks Çelik A.Ş.'den temin edilmiştir. Tablo 4.1'de kullanılan çeliklere ait kimyasal bileşimler ve Tablo 4.2'de kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri verilmiştir:

Tablo 4. 1. AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin kimyasal bileşimleri

Malzeme	Alaşım Elementleri (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 316L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.03	17	2.5	12
AISI 4340	0.4	0.25	0.7	0.035	0.04	0.8	0.25	1.8

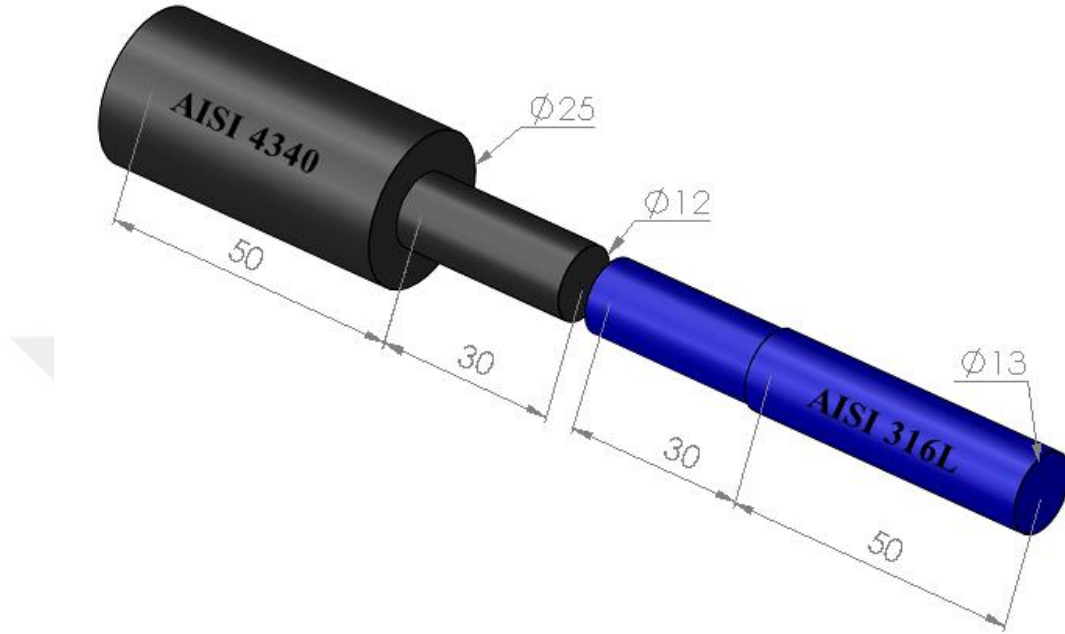
Tablo 4. 2. AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanım (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (HV _{0.1})	Isıl İletkenlik (W/mK)
AISI 316L	580-930	380	25	217	16.3
AISI 4340	1222	900	14.8	315	44.5

4.2. Kaynak Aşaması

Kaynak yapılmak üzere hazırlanan AISI 316L paslanmaz çelik numuneler, 36 adet olacak şekilde 80 mm boylarında kesilmiş ve çapı 13 mm'den kaynak yapılacak yöne doğru 30 mm'lik kısmı 12 mm'ye gelecek şekilde tornalanmıştır. AISI 4340 ıslah

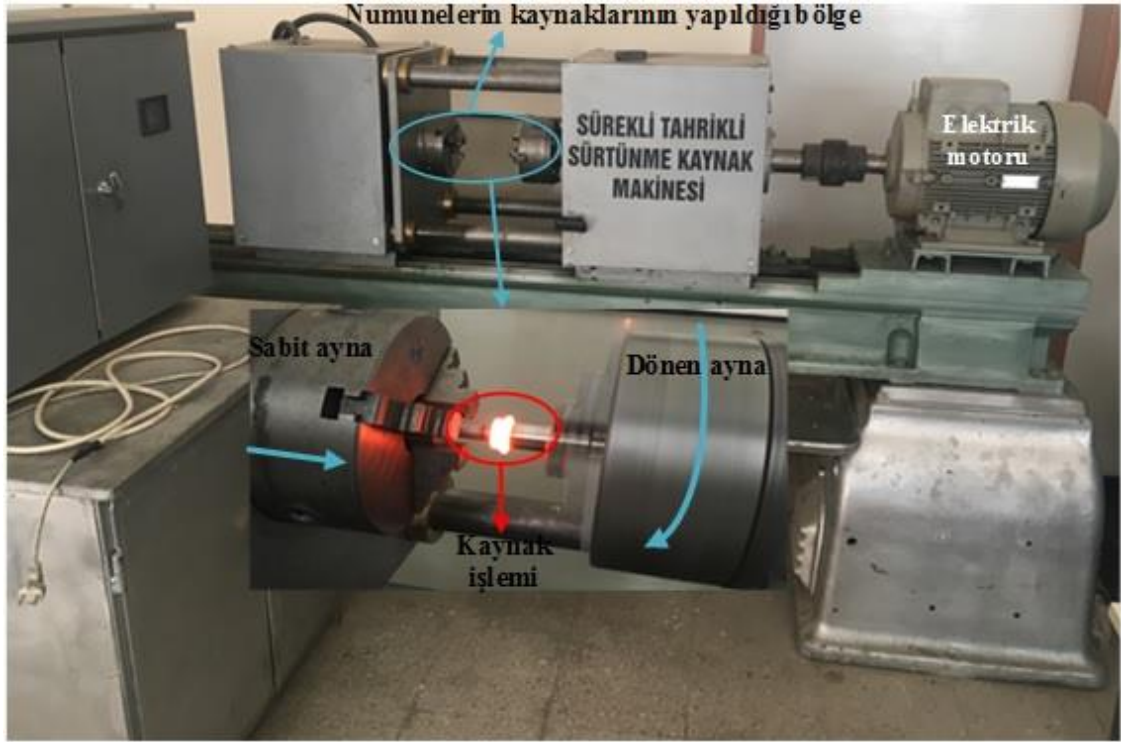
çeliği numuneleri ise 36 adet olacak şekilde 80 mm boylarında kesilmiş ve çapı 25 mm'den kaynak yapılacak yöne doğru 30 mm'lik kısmı 12 mm'ye gelecek şekilde tornalanmıştır. Kaynatılacak olan numunelerin katı modellenmiş hali Şekil 4.1'de verilmiştir:



Şekil 4. 1. Kaynak yapılan numunelerin katı modellenmiş görüntüsü.

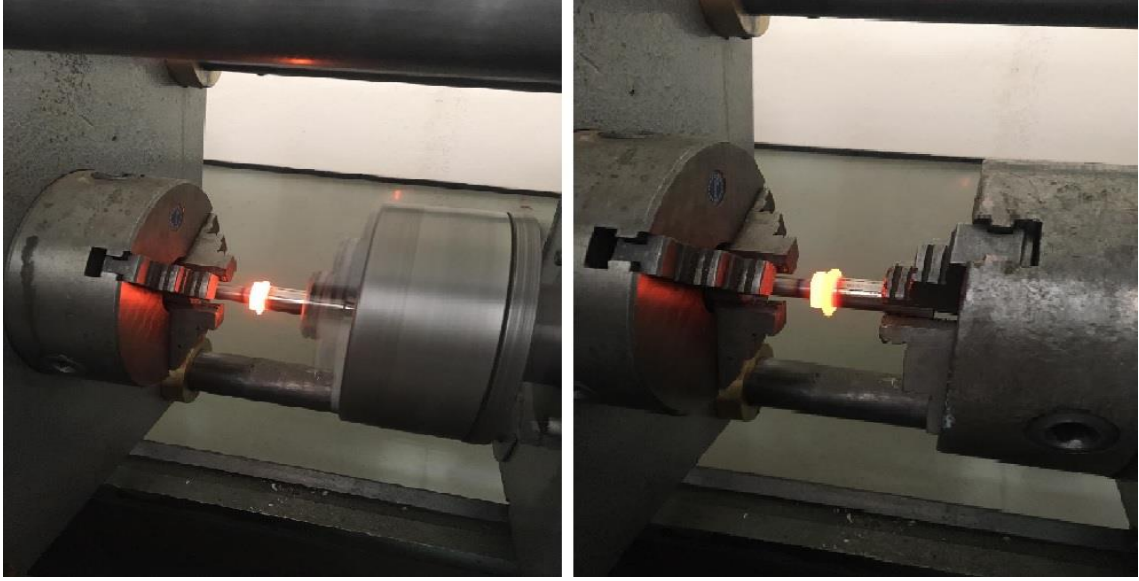
Sürtünme kaynağının Şekil 4.2'de resmi yer alan, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği'ne ait olan ve elektronik kumanda ünitesi, hidrolik güç ünitesi, ısı detektörü, dönerli ayna ve eksenel hareketli aynadan oluşan PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi ile yapılmıştır. Dönerli ayna: 11,1 kW'lık DC motor ile bu tahrik motoru kontrol eden 11,1 kW'lık midi vektör invertör ile kontrol edilebilecek biçimde birleştirilmiştir. Dönerli torna aynasını kumanda eden tahrik motoru devir sayısı, 0-5 V arası DC gerilime sahip hız kontrol ünitesi aracılığıyla 0-3500 dev/dak aralığında çalışabilmektedir. Ayrıca, frenleme ile frenleme zamanı invertör üzerinden tahrik motoruna DC gerilim yapılarak gerçekleştirilmektedir. Eksenel hareketli ayna, tezgâh üstüne dönerli ayna ile maksimum 0,002 eksen kaçıklığında 60 mm çapındaki dört adet eksenleme mili üstüne birleştirilmiş ve 120 mm'lik hidrolik piston mili vasıtası ile ileri geri hareketi gerçekleştirilmiştir. Dönerli ve eksenel hareketli ayna parçalarını birbirine bağlayan bu dört adet mil, eksenel hareketli

aynının ileri geri hareketindeki titreşimleri ile eksen kaymalarını engellemektedir (Kırık ve Özdemir, 2012).



Şekil 4. 2. Sürtünme kaynakların yapıldığı sürekli tahrikli kaynak makinesi.

Şekil 4.3'te sürtünme kaynağının işlem anındaki görüntüsü verilen kaynak aşamasında, 2000, 2200 ve 2400 dev/dak ile ayna döndürülürken diğer parça sabit tutulmuştur. Sabit olan parça dönen parçaya yaklaştırılarak 3, 5 ve 7 sn sürtünme sürelerinde 50 MPa sürtünme basıncı uygulanmıştır. Dönen parçanın bağlandığı ayna aniden durdurularak ısınan parçalara 6, 10 ve 14 sn yığma sürelerinde 80 MPa yığma basıncı uygulanarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 4. 3. Sürtünme kaynağının işlem anındaki görüntüsü.

Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.3'te verilmiştir:

Tablo 4. 3. Kaynak işleminde kullanılan parametreler

Numune No	Dönme Devri (dev/dak)	Sürtünme Süresi (saniye)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Yığma Süresi (saniye)
S1		3			6
S2	2400	5			10
S3		7			14
S4		3			6
S5	2200	5	50	80	10
S6		7			14
S7		3			6
S8	2000	5			10
S9		7			14

4.3. Kaynak Sonrası Deneysel Çalışmalar

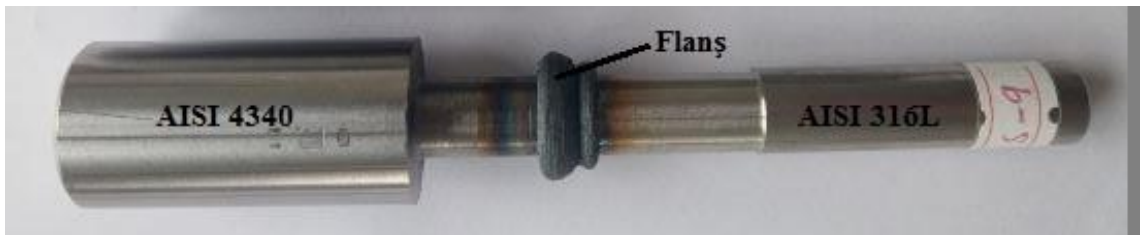
Kaynak sonrası deney numunelerinin genel görüntüsü Şekil 4.4'te verilmiş olup numunelerin flanş çaplarındaki değişimler, boyca kısalma miktarları, mikroyapı analizi, SEM ve EDS analizleri, mikrosertlik, çekme ve burulma testleri yapılmıştır.



Şekil 4. 4. Kaynak sonrası numunelerin genel görünümü.

4.3.1. Flanş Çapları ve Numune Boylarındaki Değişim

Kaynak parametrelerine bağlı olarak birleştirilen numunelerde farklı flanş çapları ve farklı boyuna değişimler meydana gelmiştir. Kaynak işlemi her bir parametrede 3 defa gerçekleştirilmiştir. Numunelerdeki flanş çapı ve boyuna kısaltmalardaki değişimleri görmek için öncelikle kaynak işleminden önceki boyutlar elektronik bir kumpasla 12 mm çap ve 80 mm uzunluk olarak ölçülmüştür. Daha sonra benzer şekilde kaynaklar yapıldıktan sonra elektronik kumpas kullanılarak her bir numunenin flanş çapı ve boyuna şekil değişimleri ölçülmüştür. Kaynak sonrası numunelerin flanş çapı ve boyca kısaltmasının yer aldığı resim Şekil 4.5'te verilmiştir:



Şekil 4. 5. Flanş çapı ve boyca kısaltma görünüşü.

4.3.2. Metalografi Analizi

Malzemenin içyapısını, tane boyutunu, ortalama tane boyutunu, oluşan gerilmeleri ve çatlakları tespit etmek amacıyla metalografik analizler yapılır. Kaynak işlemi sonrası yapılan deneysel çalışmalarda, optik mikroskop, SEM, EDS ve sertlik analizleri yapılmıştır.

4.3.2.1. Optik Mikroskop Analizi

Optik mikroskop analizinde kullanılacak numunelerin kaynak bölgelerinden yüzeye dik olacak şekilde ITAB sınırları içerisinde 30 mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda yer alan Presi marka Manuel Mecatome T260 kesme cihazı kullanılarak kesme işlemi yapılmıştır. Kesilen numunelerin yüzeyleri 220, 400, 800 ve 1200 gritlik zımparalar yardımıyla zımparalanmıştır. Daha sonra Presi marka Minitech 233 parlatma cihazında 3 mikronluk elmas pasta ile malzemelerin son parlatma işlemleri yapılmıştır. Birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimlerin belirlenmesi amacıyla parlatılan numunelerin yüzeyleri hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) ile dağlanmıştır. Mikroyapı ve sertlik ölçümü için hazırlanan numuneler Şekil 4.6'da verilmiştir:

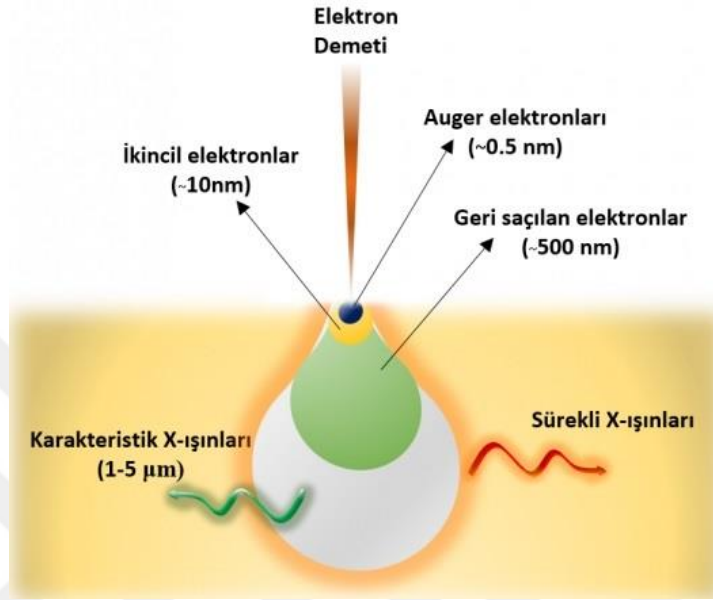


Şekil 4. 6. Mikroyapı ve sertlik ölçümü için hazırlanan numuneler.

4.3.2.2. SEM ve EDS Analizi

Tarama Elektron Mikroskobu (SEM), elektro-optik prensipler dâhilinde çalışan malzeme ile yüksek enerjili elektronlar sayesinde elektron ve foton sinyalleri oluşturarak etkileşen ve malzeme yüzeyinden yüksek kalitede görüntü elde edilmesine yardımcı olan teknolojik bir cihazdır. Farklı açılarda gönderilen elektronlar, algılayıcıda toplanır ve toplanan sinyallerin mikroskobun yazılımı ile eşleşmesi neticesinde görüntüler elde edilir. Geri saçılan ikincil elektronlar ise malzemede yer alan atomik kompozisyonlar ile ilgili bilgi sağlamaktadır. Ayrıca enerji dağılımlı X-ışınları

spektrometresi (EDS) algılayıcı ile noktasal, çizgisel veya bölgesel nitel, nicel analiz ile elementlerin kompozisyonlarının belirlenmesine ve haritalanmasına olanak sağlanmaktadır (<http://nukbilimler.ankara.edu.tr>). Şekil 4.7’de SEM mikroskobunun çalışma prensibi gösterilmektedir:



Şekil 4. 7. SEM mikroskobunun çalışma prensibi (<http://nukbilimler.ankara.edu.tr>).

Yapılan SEM analizi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisli Laboratuvarında yer alan JEOL JSM-6060LV marka SEM cihazında (Şekil 4.8) 30X, 250X ve 1000X büyütmelerde yapılmıştır:

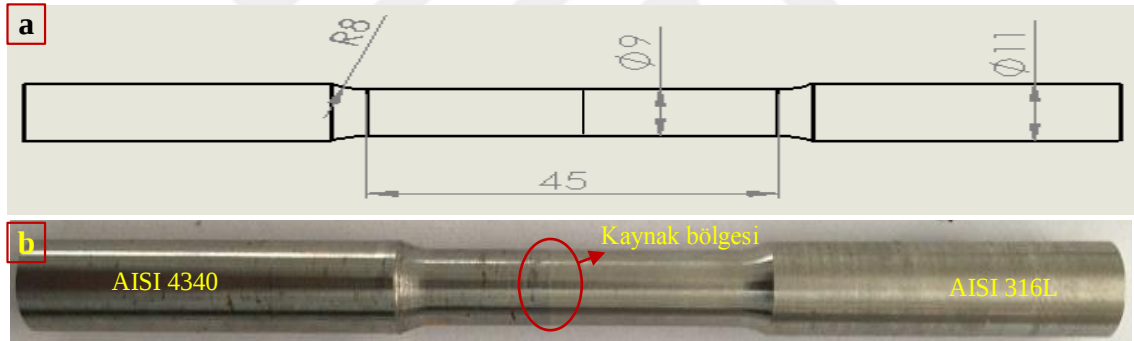


Şekil 4. 8. JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobu.

4.3.3. Çekme Deneyi

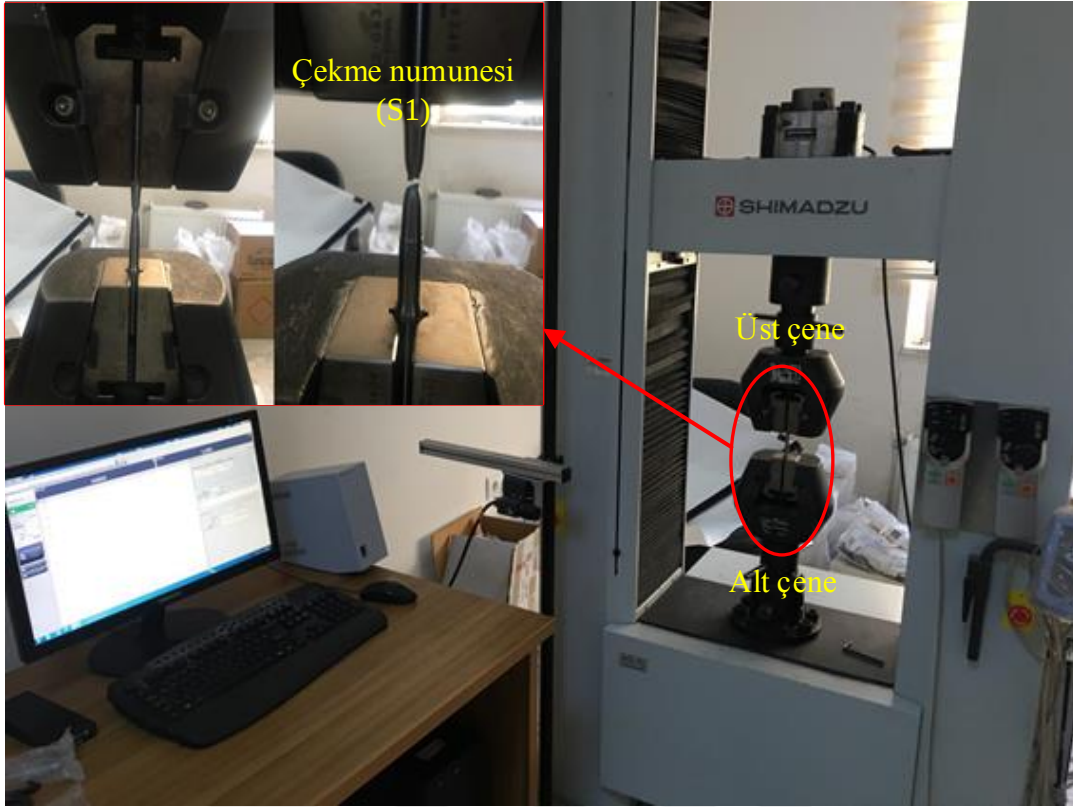
Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerinin (elastik ve plastik davranışlar) belirlenmesi, mekanik özelliklerine göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla uygulanır. Bu yöntem ile belli geometrik standarda getirilmiş numuneler, sürekli artan bir statik çekme zorlanmasına maruz bırakılarak numunenin çekmeye karşı gösterdiği davranış belirlenir. Test sonucunda numunenin akma dayanımı, çekme dayanımı, yüzde uzama miktarı ve elastiklik modülü değerleri tespit edilir (Savaşkan, 1999).

Kaynaklı bağlantıların maksimum gerilme değerlerini belirlemek için silindirik numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme numuneleri ASTM E8 standardına uygun olarak Şekil 4.9.a'da verilen ölçülerde ve Şekil 4.9.b'de görüldüğü gibi tornalanıp silindirik forma getirilerek yapılmıştır:



Şekil 4. 9. Çekme numunesi ASTM E8 ölçüleri (a) ve tornalanmış (b) görüntüleri.

Çekme deneyleri; Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 4.10'da resmi verilen 250000 N yük kapasitesine sahip SHIMADZU marka çekme test cihazında 1 mm/dk sabit ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.



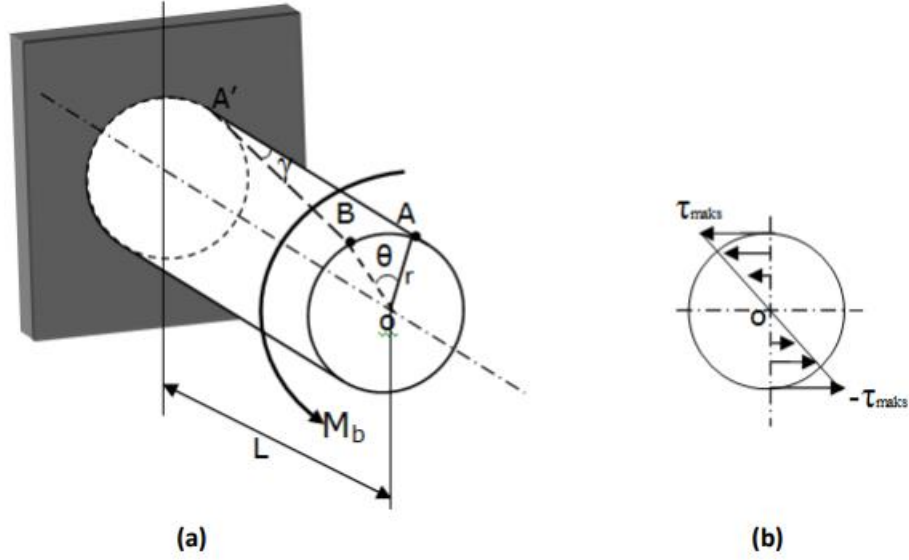
Şekil 4. 10. Çekme deneyi sırasında ve sonrasında çekilmiş görüntü.

4.3.4. Burulma Deneyi

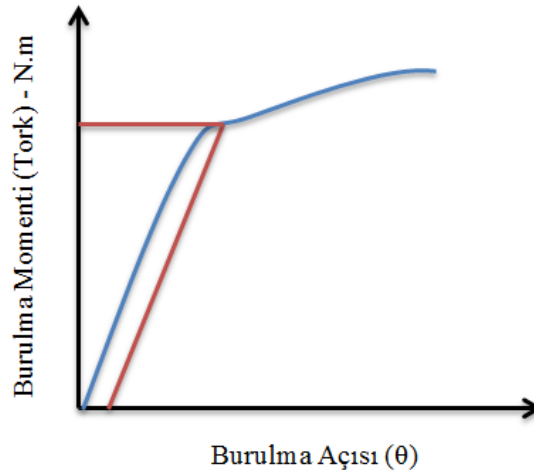
Burulma deneyi, malzemelerin kayma akma gerilmesi (τ_A) ve kayma modülü (G) gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanır. Mühendislik uygulamalarında sıkça rastlanan şekil değişimlerinden birisidir. Burulma deneyi, bir ucu sabit diğer ucu ise hareketli mekanizma yardımıyla hareketli ucundan burulma momenti uygulama prensibi ile yapılır (Şekil 4.11). Buruma momentinin etkisi altında numune kayma gerilmesi meydana gelir. Diyagramı verilen burulma momenti (M_b) ve burulma açısı (θ) grafiği elde edilir (Şekil 4.12). Kayma modülü, tork ve burulma açısı ile gerçekleştirir ve tanımlanır.

Şekil 4.11.a'da görülen bir ucu sabit L uzunluğunda r yarıçaplı bir çubukta, burulma momenti (M_b) etkisi ile başlangıçta çubuk üzerindeki A noktası B konumuna; $A-A'$ lifi ise A' noktası sabit olduğu için $A'-B$ konumuna gelir. Bu durumda A noktasının B noktasına hareketi sonucu, bu noktaların çubuğun O merkezine göre konumları arasında taranan açı burulma açısı (θ); $A-A'$ lifi ve $A'-B$ lifi arasında oluşan açı kayma açısı (γ) olarak ifade edilir. Şekil 4.11.b'de görüldüğü gibi çubuğun

deformasyonu sırasında yüzeydeki liflerde eşit ve zıt yönde maksimum kayma gerilmeleri (τ_{maks}) oluşur. Çubuk malzemesine gidildikçe kayma gerilmesi değeri azalarak çubuk malzemesine ulaştığında sıfır değerini alır.



Şekil 4. 11. Burulma deneyinin şematik gösterimi (depo.btu.edu.tr).



Şekil 4. 12. Burulma momenti (M_b) – burulma açısı (θ) diyagramı.

Kayma gerilmesi formülü Denklem (4.1)'de verilmiştir:

$$\tau = M_b/W_b \quad (4.1)$$

Burada;

τ : Kayma gerilmesi (N/m²)

M_b : Burulma momenti (N.m)

W_b : Burulma mukavemet momenti (m³)

İçi dolu dairesel kesitlerde burulma momenti Denklem (4.2) ile maksimum kayma gerilmesi de Denklem (4.3) ile hesaplanabilir (Dieter ve ark. 2003).

$$W_b = (\pi.d^3)/16 \quad (4.2)$$

$$\tau_{maks} = M_{maks} / W_b \quad (4.3)$$

Burada;

τ_{maks} : Maksimum kayma gerilmesi (N/m²)

M_{maks} : Maksimum burulma momenti (N.m)

Kayma açısı Denklem (4.4) ile kayma elastik modülü ise Denklem (4.5) ile hesaplanabilir (Dieter ve ark. 2003).

$$\gamma = \pi.\theta_{el}.d^4 \quad (4.4)$$

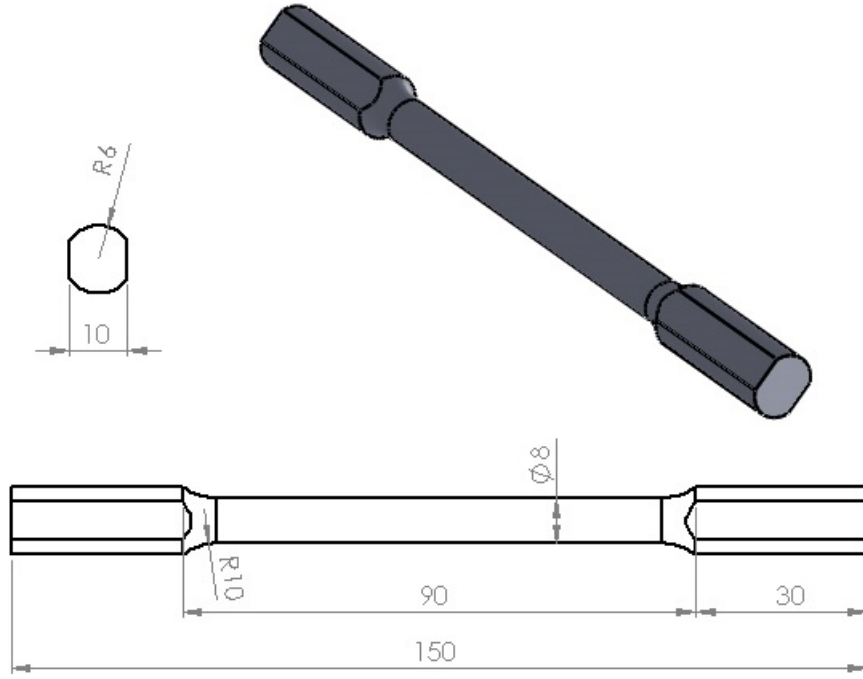
$$G = (32.L.M_{el})/(\pi.\theta_{el}.d^4) \quad (4.5)$$

Burada;

G : Kayma modülü (kN/m²)

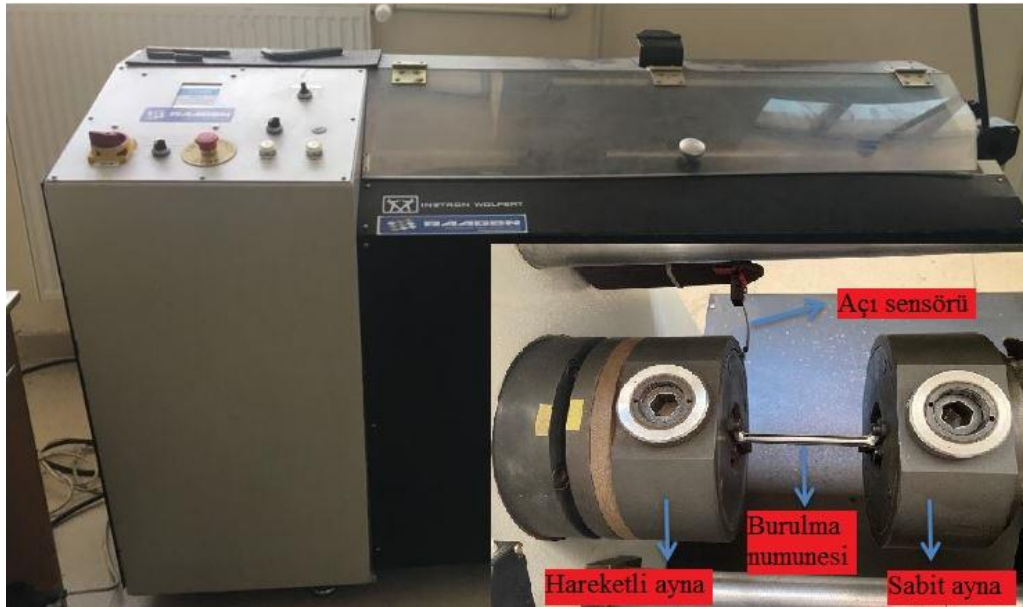
Burada lineer elastik deformasyon aralığında tespit edilmiş olan burulma moment değerlerinden herhangi biri M_{el} ve buna karşılık gelen burulma açısı değeri θ_{el} ile ifade edilir.

Burulma testi için kullanılacak numuneler tornalanarak Şekil 4.13'deki görüntüsü verilen ölçülere getirilmiştir:



Şekil 4. 13. Burulma numunesi ölçüleri.

Testler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yer alan Instron Wolpert Raagon marka burulma test cihazında yapılmıştır. Burulma 500 Nm burulma momenti ve dakikada 30 derece dönme devrinde yapılmıştır. Şekil 4.14’te burulma test cihazı verilmiştir:



Şekil 4. 14. İnston Wolpert Raagon marka burulma test cihazı.

Numunelerin burulmadan önceki görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15. Burulma numunelerinin burulmadan önceki görüntüsü.

4.3.5. Sertlik Analizi

Sertlik veri sonuçları Şekil 4.16'da verilen AOB marka mikrosertlik ölçüm cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Yapılan bu analiz çalışmasında kaynak yapılan bağlantıların tek yüz tarafından 1 mm'lik aralıklarla kaynak eksenini iki ucunda 100 gr deney yükü ile 1N yük uygulanarak Vickers (HV0.1) mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri bilgisayar ortamında grafik haline dönüştürülmüştür.



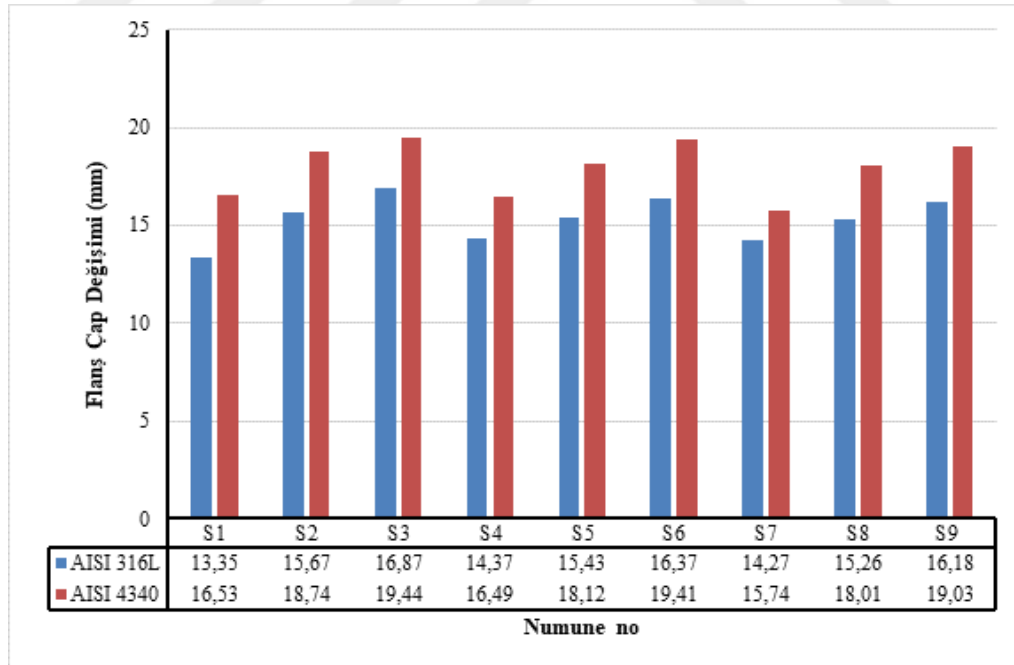
Şekil 4. 16. AOB marka sertlik cihazı.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

AISI 316L paslanmaz çelikleri ile AISI 4340 ıslah çelikleri bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağı kullanılarak farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiştir. Seçilen kaynak parametrelerinin kaynak işlemi yapılan numuneler üzerindeki mikroyapı ve mekanik etkilerini belirlemek için optik, SEM, EDS, mikrosertlik, çekme ve burulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak birleşme bölgesinde oluşan farklı flanş geometrilerini gözlemlemek için makro görüntüler alınmıştır. Elde edilen bütün sonuçlar başlıklar halinde bu bölümde verilmiştir.

5.1. Flanş Çapları ve Malzeme Boylarındaki Değişim

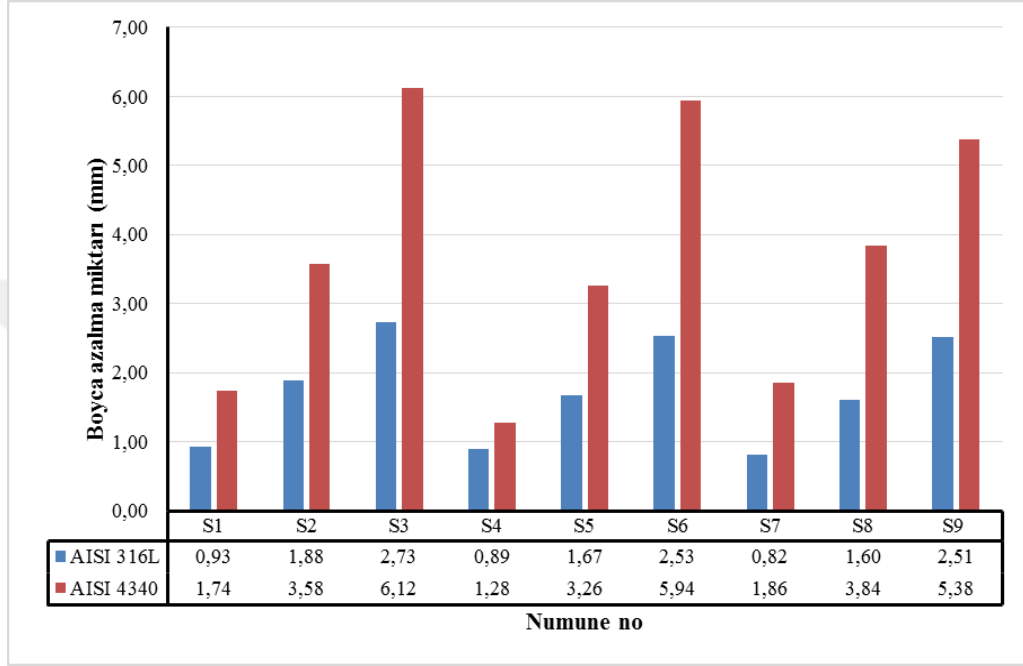
Sürtünme kaynağı yapılan AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerin kaynak işlemi sonrasında kaynak birleşme bölgelerinde oluşan flanş çap değişimleri Şekil 5.1’de ve boyuna eksenini doğrultusundaki uzunluk değişimleri ise Şekil 5.2’de toplu olarak verilmiştir:



Şekil 5. 1. AISI 316L ve AISI 4340 numunelerin flanş çap değişimleri.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de numunelerin flanş çaplarındaki değişim miktarlarına bakıldığında AISI 4340 ıslah çeliğinin kaynak bölgesinde meydana gelen flanş

çaplarındaki değişim miktarları AISI 316L paslanmaz çeliğinden daha yüksektir. Bu durumun iki malzemenin arasındaki ısı iletkenlik katsayısı farkından dolayı gerçekleştiği söylenebilir. En büyük flanş çapı değişimi S3 nolu numunede gerçekleşmiş olup AISI 4340 ıslah çeliğinde 19,44 mm ve AISI 316L paslanmaz çeliğinde ise 16,87 mm olarak ölçülmüştür.



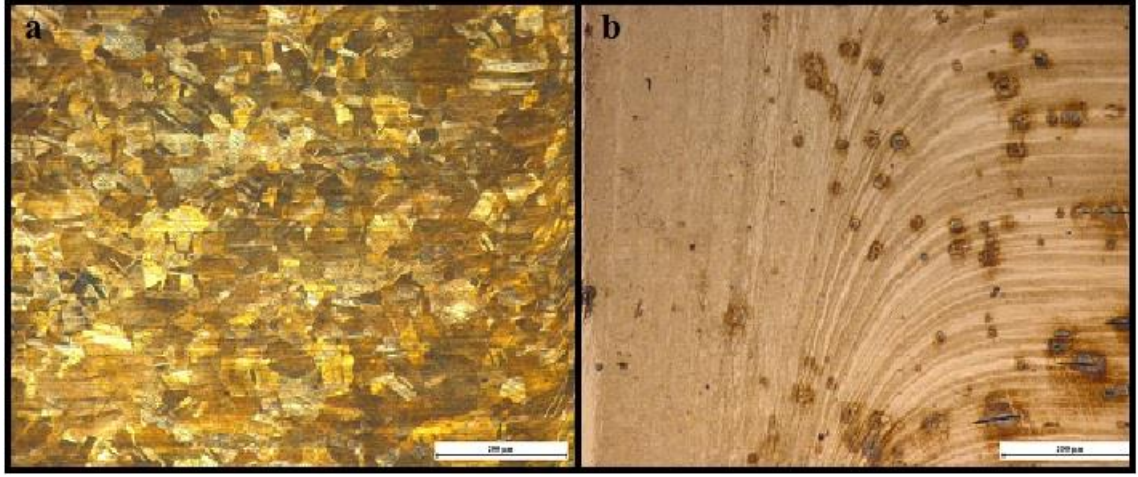
Şekil 5. 2. AISI 316L ve AISI 4340 numunelerin boyca azalma miktarları.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'ye bakıldığında numunelerin boyuna şekil değişimlerinde kaynak parametrelerinin (dönme devri ve sürtünme süresi) önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. AISI 4340 ıslah çeliğinin boyuna kısalma miktarındaki değişim miktarları AISI 316L paslanmaz çeliğe göre daha fazla olmuştur. Tablo 4.2'de verilen ısı iletkenlik katsayılarına bakıldığında AISI 4340 ıslah çeliğin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Sürtünme kaynağının ısı ve basınç altında yapılan bir birleştirme işlemi olduğu göz önünde bulundurulduğunda AISI 4340 ıslah çeliğinin boyuna kısalma miktarlarında daha fazla değişimlerin olması normaldir. Ortalama kısalma miktarlarına bakıldığında en fazla kısalmanın S3 nolu numunede gerçekleştiği anlaşılmaktadır. AISI 4340 ıslah çeliğinde 6,12 mm ve AISI 316L paslanmaz çeliğinde 2,73 mm olarak ölçülmüştür. S3 nolu numunenin 2400 dev/dak dönme devri ve 7 saniye sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işlemi göz önünde bulundurulduğunda diğer numunelere göre beklenen bir durum olduğu söylenebilir. Çünkü yüksek devir ve yüksek sürtünme

sürelerinde yapılan kaynak işleminde açığa çıkan ısıdan dolayı numunelerde boyca kısaltmalar daha fazla gerçekleşir.

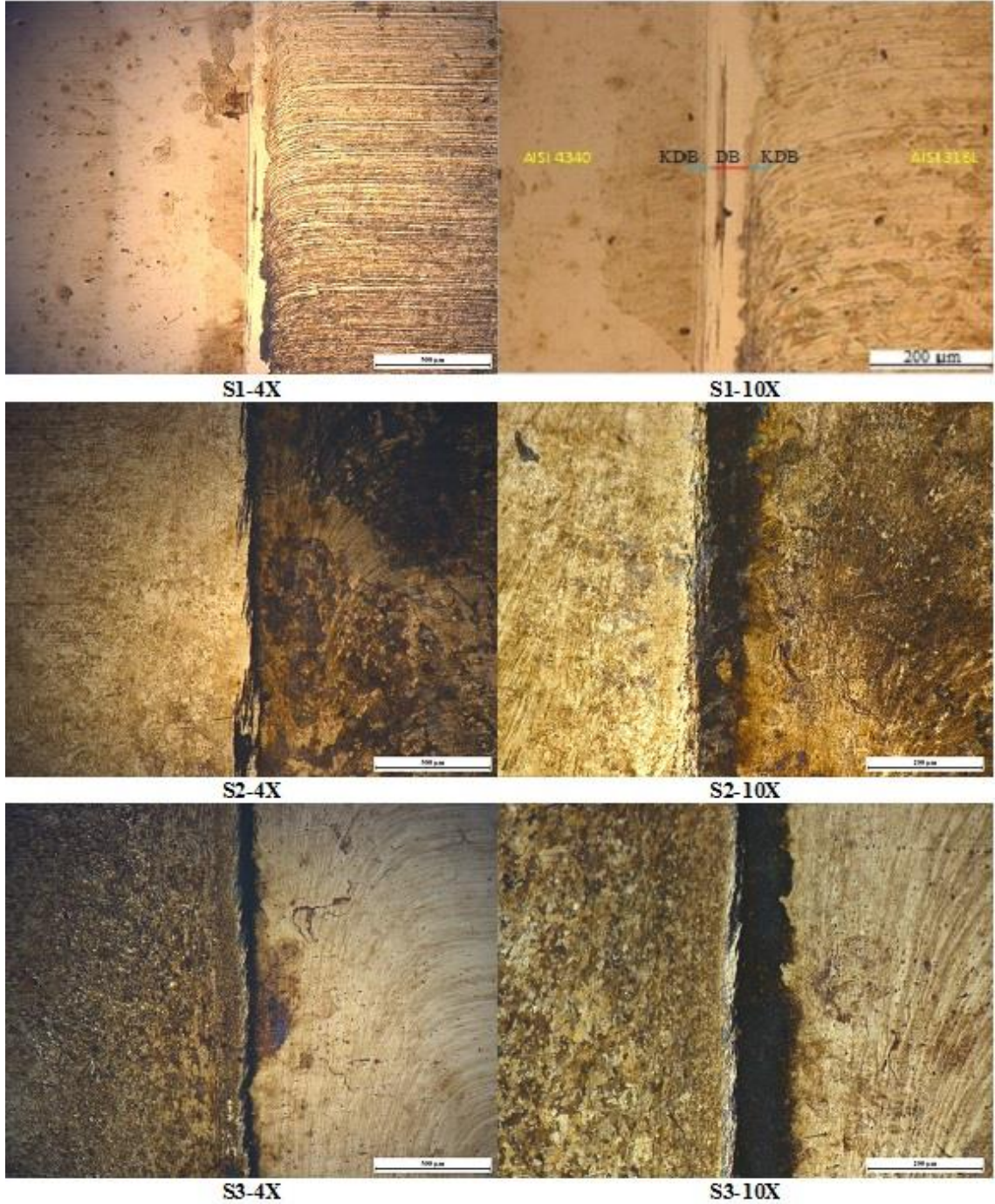
5.2. Kaynak Bölgesinin Optik Mikroskop Görüntüleri

Kaynak parametrelerinin kaynak birleşme bölgeleri üzerindeki mikroyapısal etkilerini gözlemlemek için optik ve SEM görüntüler alınmıştır. Şekil 5.3'te kaynak işleminde kullanılan AISI 316L paslanmaz çeliği ve AISI 4340 ıslak çeliğinin optik görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.4'te S1, S2 ve S3, Şekil 5.5'te S4, S5 ve S6 ve Şekil 5.6'da ise S7, S8 ve S9 numunelerinin optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 5.3. AISI 316L (a) ve AISI 4340 (b) çeliklerin mikroyapı görüntüleri.

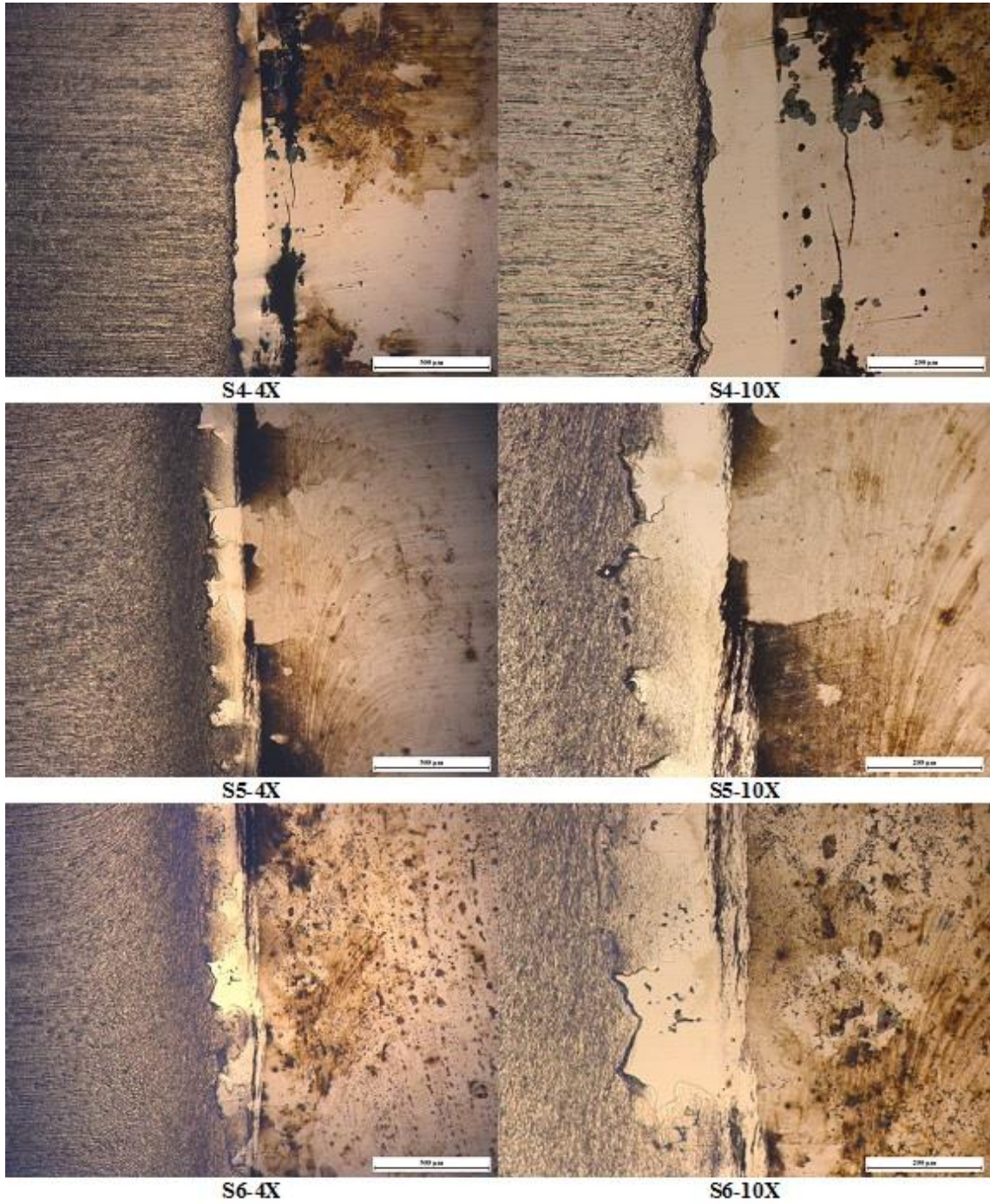
Şekil 5.4'te verilen S1, S2 ve S3 numunelerin 2400 dev/dak dönme devri ve sırasıyla 3, 5 ve 7 sn sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, kaynak bölgelerinde (deformasyon bölgesi-DB) birleşmeyen yapıların varlığına rastlanılmamıştır. Ancak parametre farklılıklarından dolayı DB genişliğinde farklılık olmuştur. S1 numunesinin DB daha geniş iken S3 daha dardır. Makro görüntüler incelendiğinde kaynak işlemi sırasında meydana gelen flanş çaplarındaki artışın olması öngörülebilir.



Şekil 5. 4. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.5'te verilen S4, S5 ve S6 numunelerinin 2200 dev/dak dönme devri ve sırasıyla 3, 5 ve 7 saniye sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, DB bölgelerinde S5 ve S6 numunelerinin bir kısmında birleşmeyen yapıların varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme sürelerinin farklılığından dolayı DB'nin genişliğinde farklılık oluşmuştur. S4 numunesinin DB'si daha geniş iken S6'nın daha dardır. Şekil 4.14 incelendiğinde

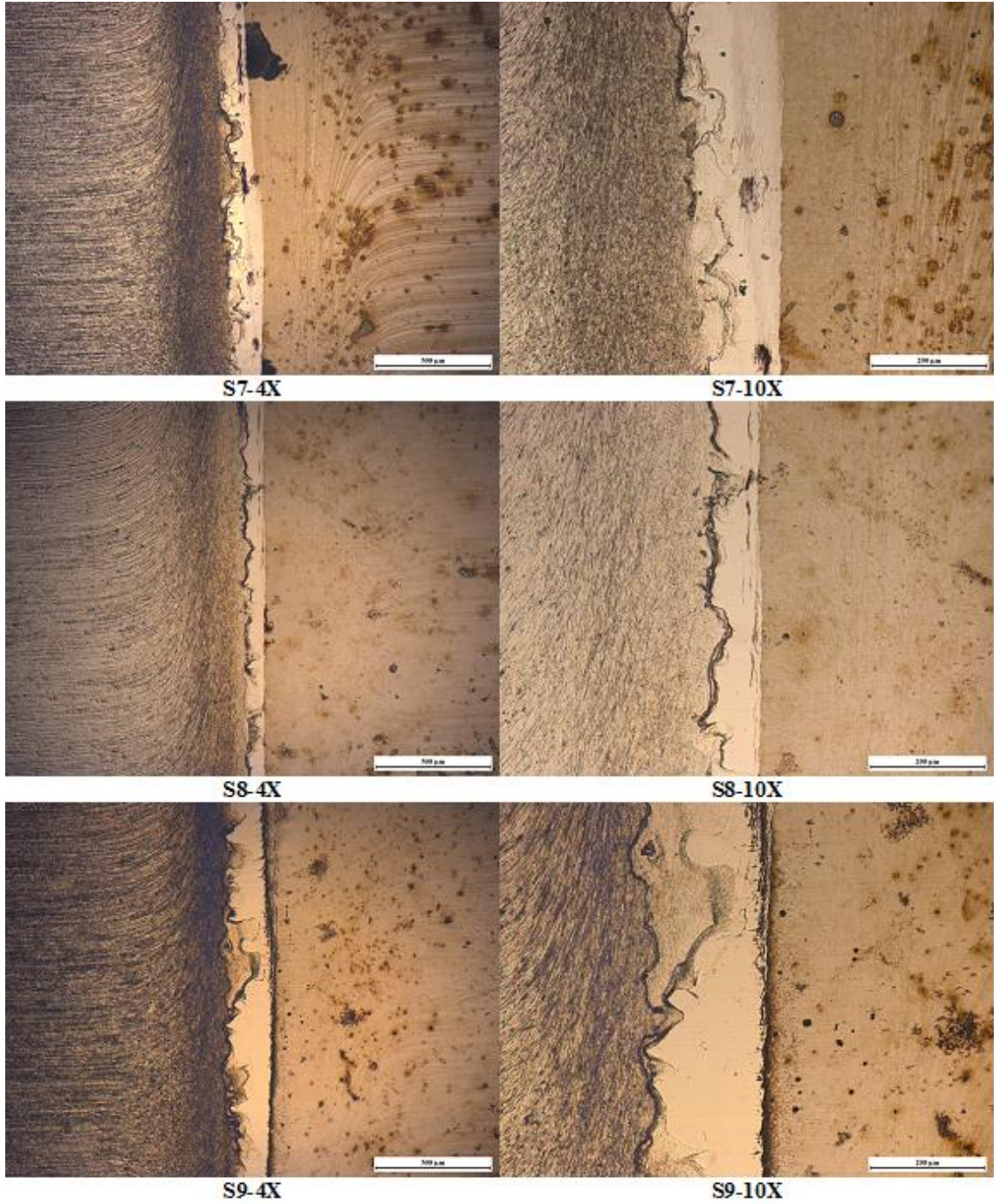
kaynak işlemi sırasında meydana gelen flanş çaplarının sürtünme süresine bağlı olarak daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 5. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.6'da verilen S7, S8 ve S9 numunelerin 2000 dev/dak dönme devri ve sırasıyla 3, 5 ve 7 saniye sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, deformasyon bölgelerinde numunelerin

kaynak kısımlarının dönme devrinin düşük olmasından kaynaklı birleşmenin kısmen olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme sürelerinin farklılığından dolayı DB'nin genişliğinde farklılık olmuştur. S7 numunesinin DB daha geniş iken S8 daha dardır. Şekil 4.14 incelendiğinde kaynak işlemi sırasında meydana gelen flanş çaplarının boyutlarının da sürtünme süresine bağlı olarak daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 6. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin mikroyapı görüntüleri.

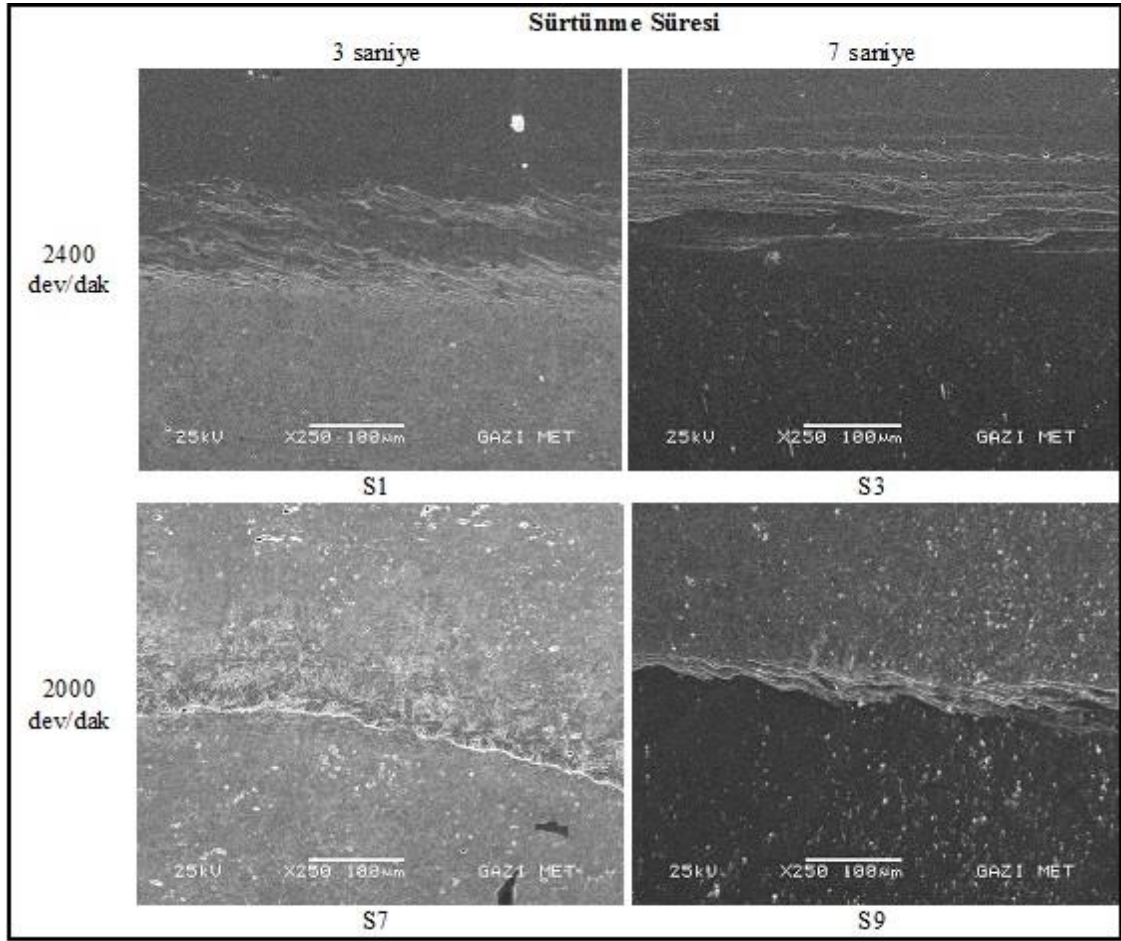
5.3. Kaynak Bölgesinin SEM ve EDS Analizi Sonuçları

SEM ve EDS analizinde kullanılan numuneler, sertlik analizinde de kullanılmıştır. S1, S3, S7 ve S9 numuneleri için kaynak bölgesinden 250X ve 1000X büyütme SEM görüntüleri alınmıştır. Numunelerde yapılan EDS analizi ise S3 numunesinden alınmıştır. Kaynak yapılan malzemelerin bünyesinde bulunan Fe, Cr ve Ni elementleri dışındaki diğer elementlere çizelgelerde yer verilmemiştir.

5.3.1. Kaynak Bölgesinin SEM Analizi Sonuçları

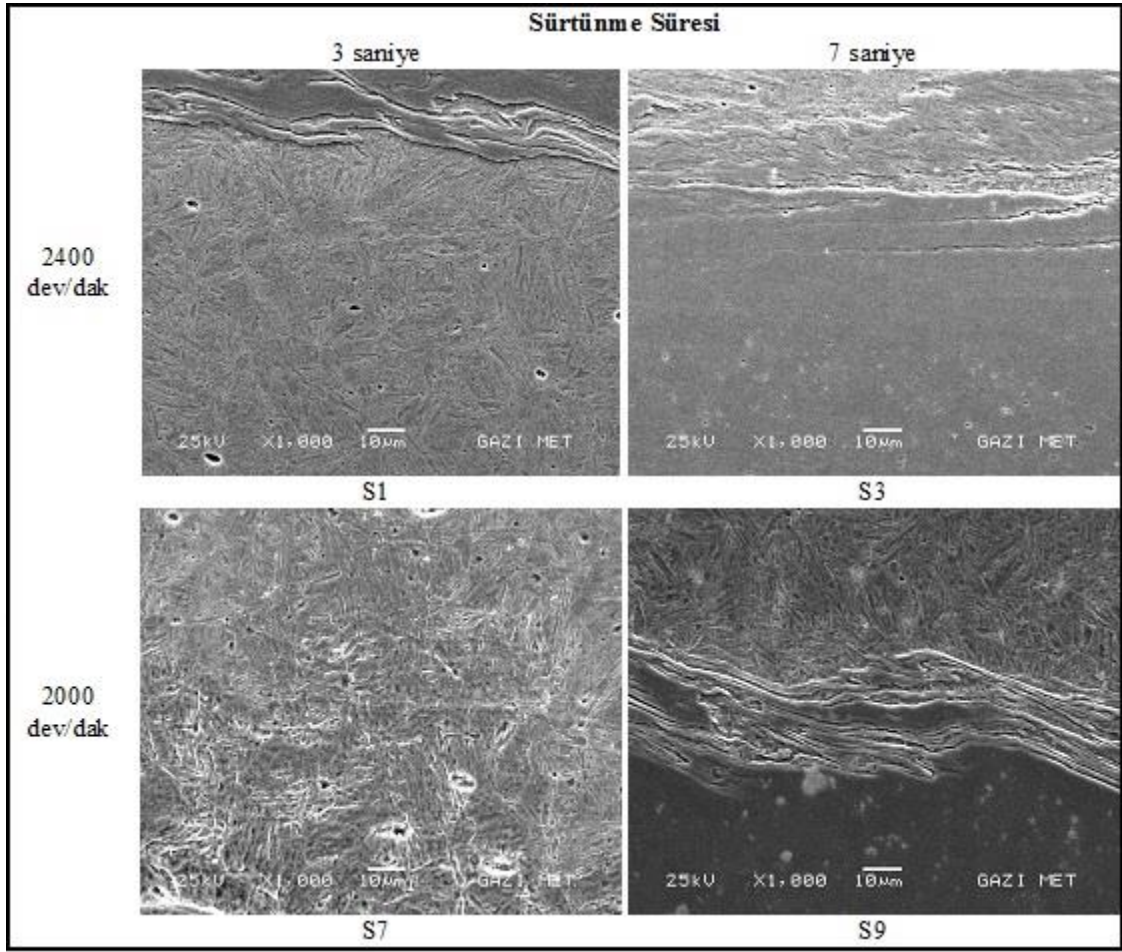
Şekil 5.7’de, farklı dönme devri, sürtünme süresi ve yığma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen S1, S3, S7 ve S9 olarak tanımlanmış numunelerin kaynak bölgelerinin SEM fotoğrafları verilmiştir. Bu parametrelerden sürtünme ve yığma süreleri aynı oranda arttırılmıştır. Bu nedenle, SEM fotoğraflarının değerlendirilmesinde sürtünme süresi esas alınmış, yığma süresi ise sürtünme süresiyle aynı oranda değişken bir parametre olduğu için ayrı bir parametre olarak değerlendirilmemiştir. Buna göre, S1 ve S3 numunelerinin her ikisi de 2400 dev/dak dönme devrinde kaynak edilmiş olup sürtünme süreleri sırasıyla 3 ve 7 sn’dir. S7 ve S9 numuneleri ise 2000 dev/dak dönme devrinde, sırasıyla 3 ve 7 sn süreyle yapılan kaynak işlemiyle üretilmiştir. Dolayısıyla Şekil 5.7’de dönme devrinin ve sürtünme süresinin birleşme arayüzeyine yani deformasyon bölgesine etkisini görmek mümkündür. Buna göre, 2400 dev/dak hızında 3 sn süreyle kaynak edilen malzemede (S1 numunesi) DB genişliği yaklaşık 90 μm iken, sürtünme süresinin 7 saniyeye çıkarılmasıyla DB genişliği azalmış ve 75 μm olarak elde edilmiştir. Dönme devri 2000 dev/dak değerine geldiğinde, DB yaklaşık 15 μm genişliğinde ince bir hat şeklinde oluşmuştur. Ancak 2000 dev/dak dönme devrinde sürtünme süresinin 7 saniyeye çıkmasıyla DB’nin genişliği de 30 μm değerine artmıştır. Bu tespitlerden hareketle, sürtünme kaynağında ele alınan dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri içinde, dönme devrinin kaynak arayüzey genişliğini önemli ölçüde etkileme potansiyeli olduğu görülmüştür. Öyle ki dönme devrinin 2400 dev/dak değerinden 2000 dev/dak değerine gelmesiyle (% 17 azalmasıyla), arayüzey genişliği de önemli ölçüde azalmıştır. Dönme devrinin bu etkisinin kısa kaynak sürelerinde daha belirgin olduğu (3 sn kaynak süresinde dönme devrinin azalması arayüzey genişliğini yaklaşık 6 kat azaltmıştır), ancak artan kaynak süresiyle bu etkinin nispeten azaldığı (7

sn kaynak süresinde dönme devrinin azalması arayüzey genişliğini yaklaşık 2 kat azaltmıştır) görülmektedir.



Şekil 5. 7. Farklı dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri kullanılarak kaynak edilen malzemelerin arayüzeylerinin SEM fotoğrafları.

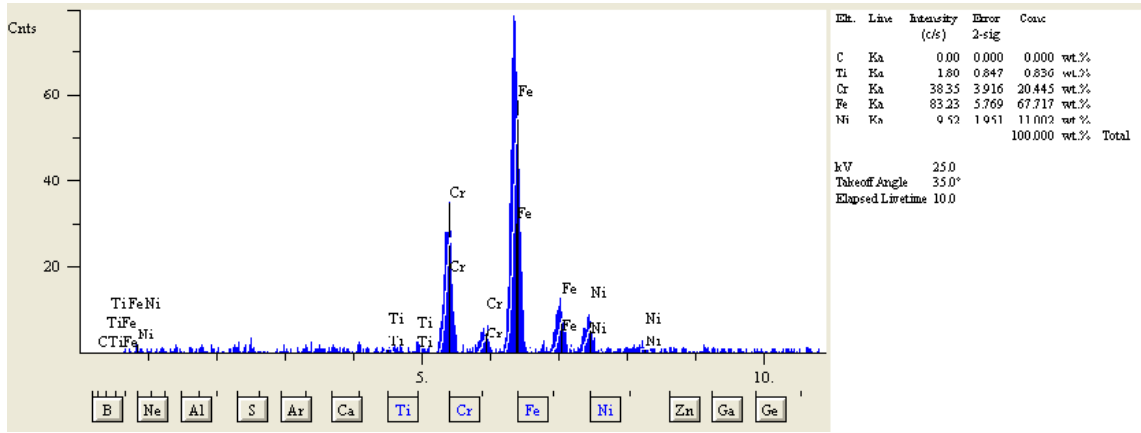
Şekil 5.8’de farklı dönme devri ve kaynak süresi kullanılarak kaynak edilen malzemelerin arayüzey morfolojilerinin yüksek büyütme SEM fotoğrafları verilmiştir. Buna göre, S1, S3 ve S9 olarak tanımlanan numunelerde kaynak işlemi yapılan hareketli aynanın dönme yönüyle uyumlu bir plastik akış olduğu görülmektedir. Ancak bu morfoloji, incelenen numuneler içinde en düşük dönme devri ve sürtünme süresi kullanılarak kaynak edilen S7 numunesinde tespit edilmemiştir.



Şekil 5. 8. Farklı dönme devri ve sürtünme süresi parametreleri kullanılarak kaynak edilen malzemelerin arayüzey morfolojilerinin yüksek büyütme SEM fotoğrafları.

5.3.2. Kaynak Bölgesinin EDS Analizi Sonuçları

İncelenen numuneleri temsilen S3 numunesinin kaynak arayüzeyinde yapılan EDS analizinin sonuçları Şekil 5.9’da verilmiştir. Buna göre, arayüzeyin baskın olarak Fe (ağ. % 67,7), Cr (ağ. %20,4) ve Ni (ağ. %11) içerdiği görülmektedir. Arayüzeydeki Cr ve Ni kaynak edilen malzemelerden biri olan 316L paslanmaz çelikten kaynaklanmaktadır. Söz konusu paslanmaz çeliğin Tablo 4.1’de verilen kimyasal analizi göz önüne alındığında, kaynak arayüzeyindeki Ni varlığının 316L paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimine (ağ. % 12) yakın olduğu, ancak Cr oranının kimyasal bileşimdeki Cr oranına göre (ağ. % 17) bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

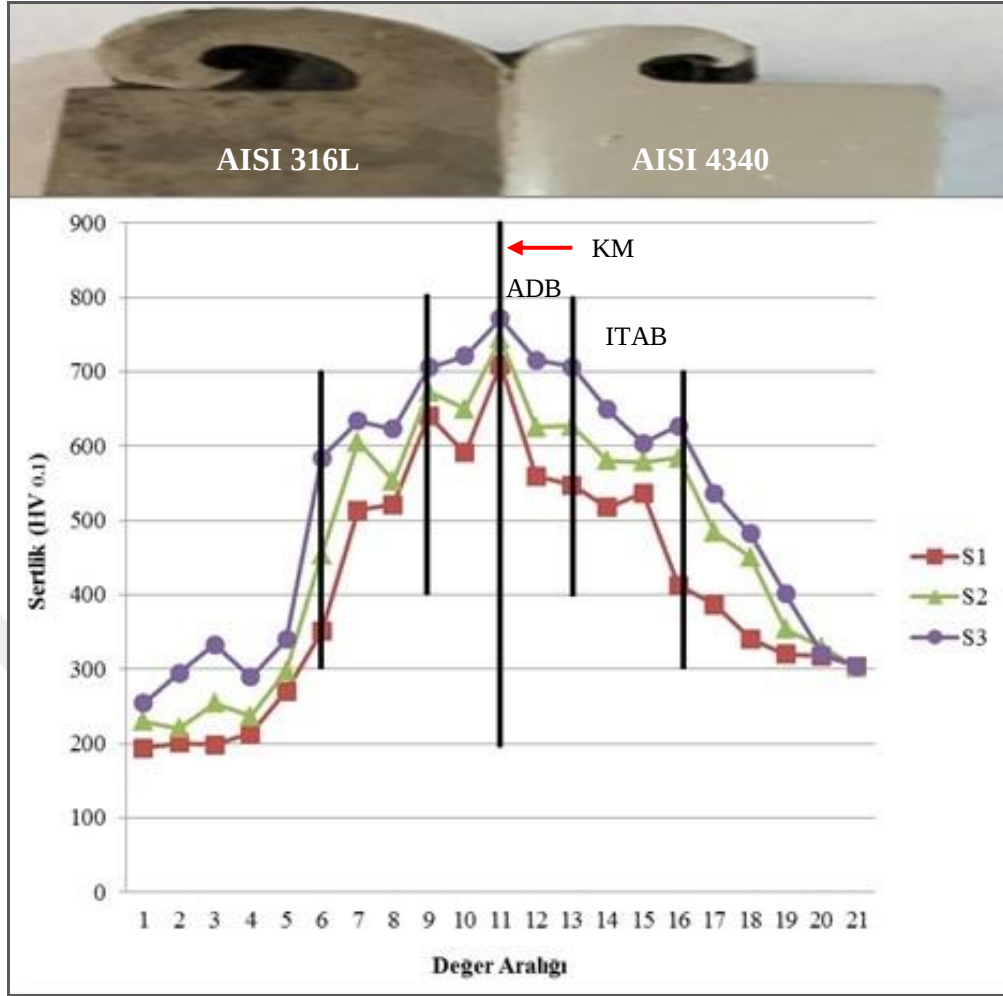


Şekil 5. 9. S3 numunesinin kaynak arayüzeyinin EDS analizi.

5.4. Sertlik Analizi Sonuçları

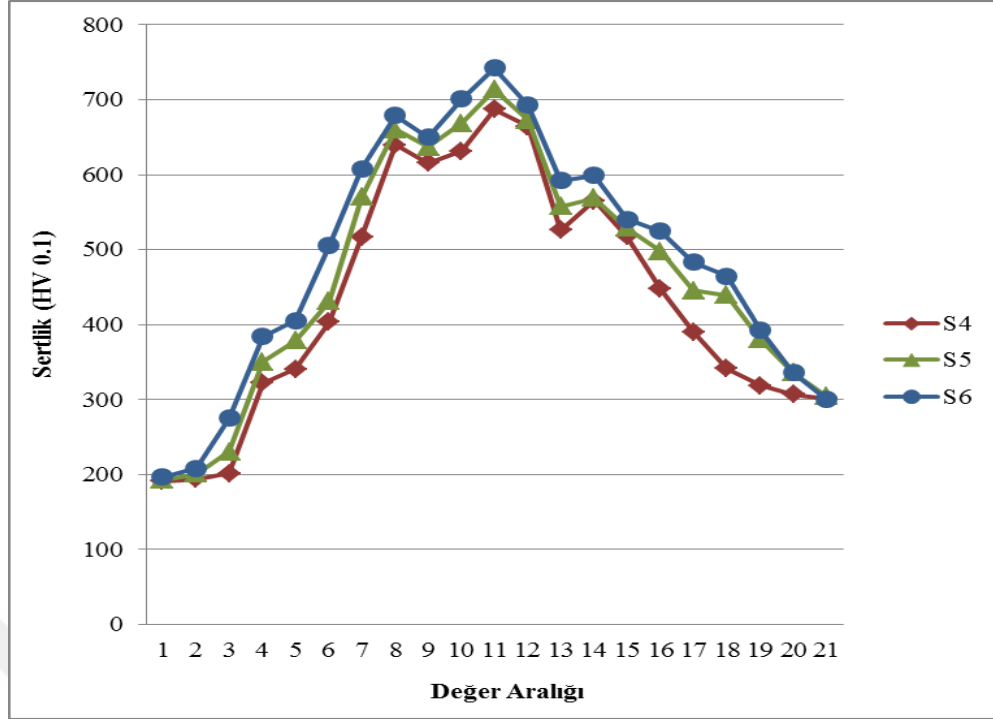
Mikrosertlik ölçümleri, devir sayıları ve sürtünme süreleri parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkan yapısal değişimi ve bu değişimin malzemenin sertliği üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılmış ve sertlikler, kaynaklı bağlantıların birleşme merkezinden çizgisel doğrultuda geçen 21 noktadan alınmıştır.

Sürtünme kaynağı ile 2400 dev/dak dönme devrinde kaynatılan AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin optik, SEM ve EDS görüntüleri sonrası yapılan sertlik analizleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Yapılan analizler doğrultusunda ve mekanik özelliklerin yer aldığı Tablo 4.2'de benzer şekilde AISI 4340 ıslah çeliğin HV 0.1 sertlik değerleri AISI 316L paslanmaz çeliğinden fazla çıkmıştır. Şekil 5.10'da 316L çeliğinden kaynak merkezine gidildikçe ergiyen kaynak metalinin ani soğumasından kaynaklı yapısal dönüşümlerinden dolayı sertliğin arttığı görülmektedir. S1 numunesinin 3 sn, S2 numunesinin 5 sn ve S3 numunesinin 7 sn sürtünme sürelerinden kaynaklı olarak S3 numunesinin ITAB mesafesinin fazla olması Şekil 4.4'te verilen flanş çaplarından da anlaşılmaktadır. Ayrıca numunelerin ana metal kısımlarının kendi aralarında sertliklerin birbirine yakın olduğu ITAB'dan KM'ye gidildikçe sertliğin zikzak şeklinde arttığı ve kaynak merkezinde en fazla değere ulaştığı görülmüş ve en yüksek sertlik değeri, 771,9 HV ile S3 numunesinden ölçülmüştür. Aydın ve ark. (2010) yaptıkları kaynaklı birleştirmelerde ITAB bölgesinde fazla ısı girdisi olması sebebiyle sertlik değerlerinin bu bölgelerde düştüğünü gözlemlemişlerdir.



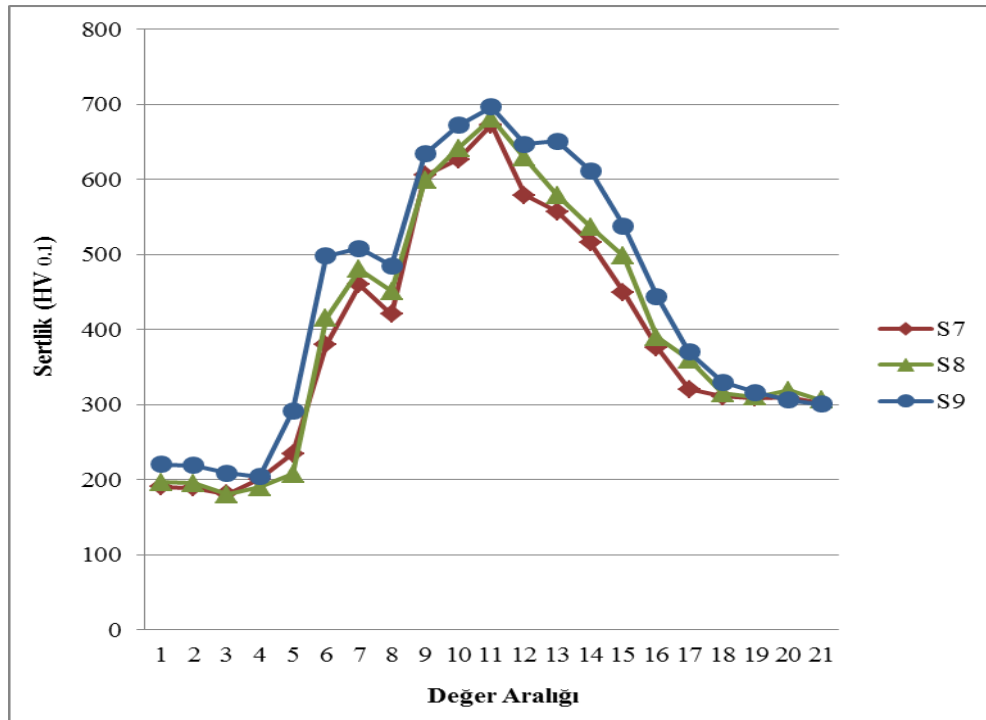
Şekil 5. 10. 2400 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.

Şekil 5.11 incelendiğinde 2200 dev/dak'da kaynak edilen S4, S5 ve S6 numunelerinin Şekil 5.10'da olduğu gibi sertlik değerlerinin ana metalden kaynak merkezine gidildikçe arttığı görülmektedir. Sürtünme süresi 3 sn olan S4 numunesinin sertlik değerinin en az, sürtünme süresi 7 sn olan S6 numunesinin ise sertlik değerinin ise maksimum sertlik değerinde olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, sabit devirde S6 numunesinin sürtünme süresi daha fazla olduğu için kaynak esnasında daha fazla ısının açığa çıkmasıdır. Bu durum soğuma ile birlikte kaynak metalinde daha yüksek sertlik değerinin ölçülmesine sebebiyet vermiştir. S6 nolu numunenin maksimum sertlik değeri 742 HV olarak ölçülmüştür.



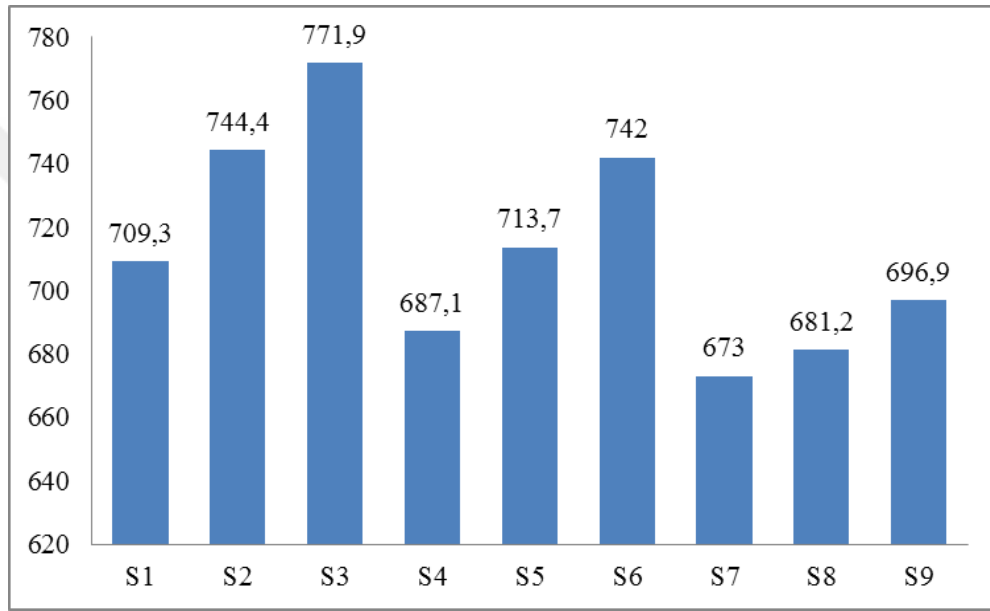
Şekil 5. 11. 2200 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.

Şekil 5.12 incelendiğinde 2000 dev/dak dönme devrinde kaynatılan numuneler arasında en yüksek sertlik değeri 696,9 HV ile S9 numunesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 12. 2000 dev/dak'da sertlik deneyi sonuçları.

Genel olarak en yüksek sertlik değerlerinin bütün olarak verildiği Şekil 5.13 incelendiğinde dönme devri sabit tutularak sürtünme süresi baz alındığında sürtünme süresine bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı, diğer taraftan sürtünme süresi sabit tutularak dönme devri baz alındığında, dönme devrinin artması ile birlikte de sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En fazla dönme devri 2400 dev/dak ve en fazla sürtünme süresi 7 sn olan S3 numunesinin sertliğinin en yüksek değeri 771,9 HV olarak ölçülmüştür. Diğer taraftan, en az dönme devri 2000 dev/dak ve en az sürtünme süresi 3 sn olan S7 numunesinin sertliğinin en az değeri 673 HV olarak ölçülmüştür.



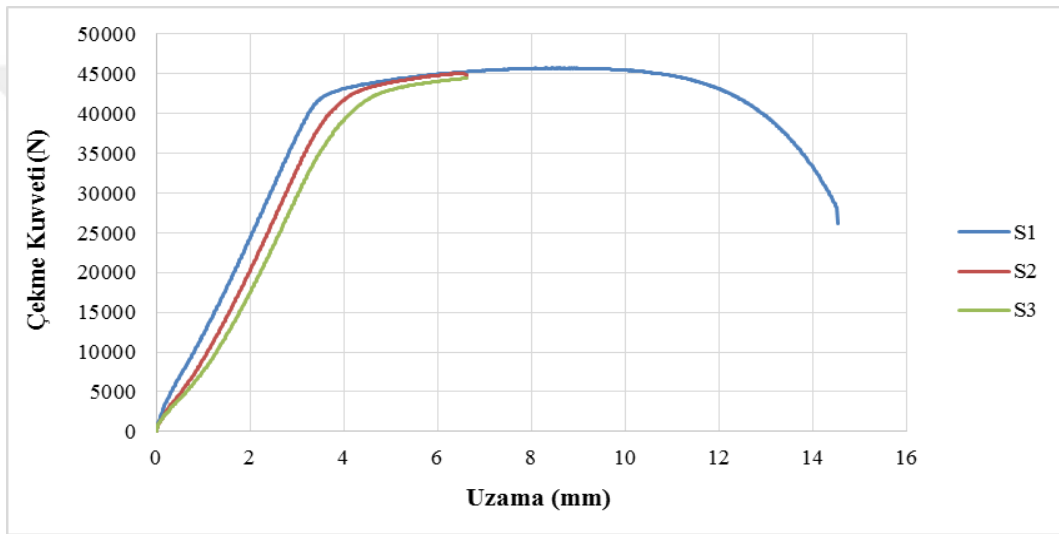
Şekil 5. 13. Maksimum sertlik değerlerinin detaylı gösterimi.

5.5. Çekme Deneyi Sonuçları

AISI 316L paslanmaz çeliği ve AISI 4340 ıslah çeliklerinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde; dönme devri ve sürtünme süresi parametrelerinin çekme özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu testler, numuneler üzerinde çekme mukavemetini belirlemek için yapılmıştır. Numuneler oda sıcaklığında, 250 KN yük ile 1 mm/dk sabit ilerleme hızında çekme gerilimine tabi tutularak kırılma meydana gelene kadar yük uygulanmıştır. Şekil 5.17’de çekme sonrası numunelerin makro görüntüsü verilmiştir.

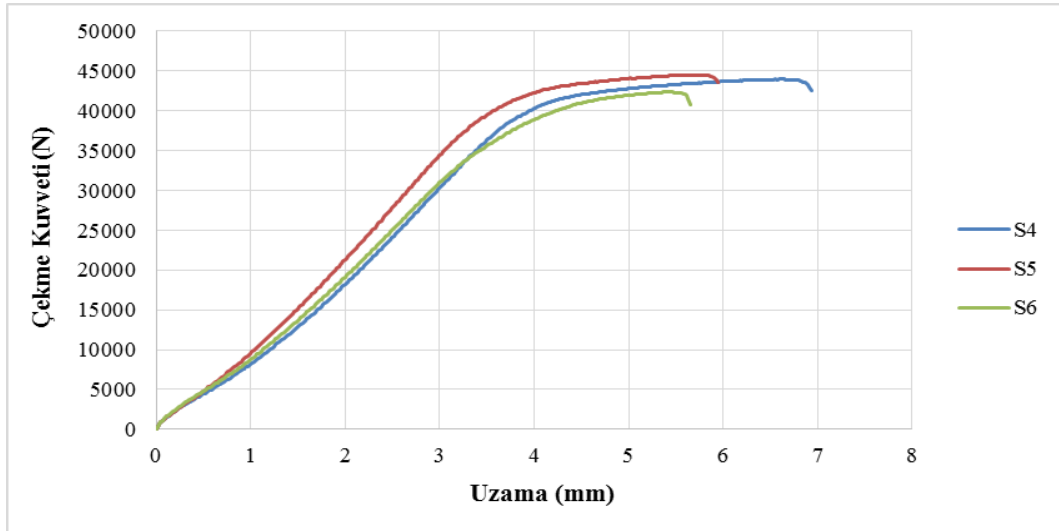
AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çelikleri dönme devri 2400 dev/dak, sürtünme süresi 3, 5 ve 7 sn, sürtünme basıncı 50 MPa, yığma basıncı 80 MPa ve sürtünme sürelerine doğru orantılı olan yığma süresi 6, 10 ve 14 sn parametreleri

kullanılarak birleştirilen S1, S2 ve S3 no'lu kaynaklı bağlantılara ait çekme sonrası kuvvet (N) ve uzama miktarı (mm) grafiği Şekil 5.14'te verilmiştir. Artan sürtünme süresine bağlı olarak çekme kuvvetleri; S1 numunesi 45726,56 N, S2 numunesi 45039,06 N ve S3 numunesi 44546,88 N olarak ölçülmüştür. Uzama değerleri açısından değerlendirildiğinde, S1 numunesinin uzama değeri diğer numunelerin uzama değerlerinden çok daha yüksek çıkmıştır. Bu numunelerin sertlik değerleri kıyaslandığında S1 numunesinin sertlik değeri S2 ve S3 numunelerinden daha düşük değerlerde ölçüldüğü görülmüştür. Bu durumun aynı zamanda kaynak birleşme bölgesine daha az ısı girdisi ile birlikte numunenin sünek davranış sağladığı düşünülmektedir.



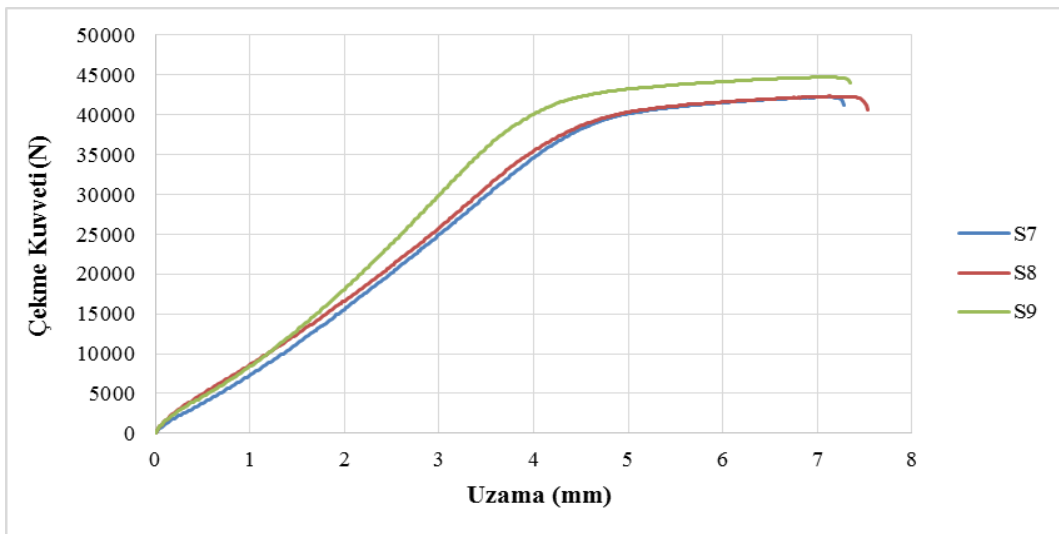
Şekil 5. 14. 2400 dev/dak'da kaynak edilen AISI316L/AISI4340 çeliklerin çekme deney sonuçları

Şekil 5.15'te AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çelikleri 2200 dev/dak dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi, 50 MPa sürtünme basıncı, 80 MPa yığma basıncı ve sürtünme sürelerine doğru orantılı olan (6, 10 ve 14 sn) yığma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen S4, S5 ve S6 no'lu kaynaklı bağlantılara ait çekme sonrası kuvvet (N) ve uzama miktarı (mm) grafiği verilmiştir. Tablo 5.1'de görüldüğü gibi artan sürtünme süresine bağlı olarak çekme kuvvetleri; S4 numunesi 44000 N, S5 numunesi 44492,19 N ve S6 numunesi 42335,94 N olarak ölçülmüştür. Grafikten S5 numunesinin çekme kuvvetinin daha fazla olduğu, S4 numunesinin ise uzama miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. 15. 2200 dev/dak'da kaynak edilen AISI316L/AISI4340 çeliklerin çekme deney sonuçları

Şekil 5.16'da AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çelikleri 2000 dev/dak dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi, 50 MPa sürtünme basıncı, 80 MPa yığılma basıncı ve sürtünme sürelerine doğru orantılı olan (6, 10 ve 14 sn) yığılma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen S7, S8 ve S9 numaralı kaynaklı bağlantılara ait çekme sonrası kuvvet (N) ve uzama miktarı (mm) grafiği verilmiştir. Tablo 5.1'de görüldüğü gibi artan sürtünme süresine bağlı olarak çekme kuvvetleri; S7 numunesi 42203,13 N, S8 numunesi 42328,13 N ve S9 numunesi 44742,19 N olarak ölçülmüştür. Grafikten S9 numunesinin çekme kuvvetinin daha yüksek olduğu, S8 numunesinin ise az bir miktar da olsa uzama miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. 16. 2000 dev/dak'da kaynak edilen AISI316L/AISI4340 çeliklerin çekme deney sonuçları

Genel olarak Tablo 5.1’de AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çeliklerinin (2400, 2200 ve 2000 dev/dak) dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi, 50 MPa sürtünme basıncı, 80 MPa yığma basıncı ve sürtünme sürelerine doğru orantılı olan (6, 10 ve 14 sn) yığma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen numunelerin kaynaklı bağlantılara ait çekme sonrası kuvvetleri (N) ve uzama miktarları (mm) verilmiştir. En yüksek çekme kuvvetinin ve uzama miktarının 2400 dev/dak dönme devri ve 3 sn sürtünme süresi ile birleştirilen S1 numaralı numunede elde edilmiştir. En düşük çekme kuvvetinin 2000 dev/dak dönme devri ve 3 sn sürtünme süresi ile birleştirilen S7 numaralı numunede ve en az uzama miktarının ise 2200 dev/dak dönme devri ve 7 sn sürtünme süresi ile birleştirilen S6 numaralı numunede gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 5. 1. Maksimum çekme kuvveti ve uzama değerleri

Numune No	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Maksimum Uzama Miktarı (mm)
S1	45726,56	14,532
S2	45039,06	7,066
S3	44546,88	6,632
S4	44000,00	6,932
S5	44492,19	5,965
S6	42335,94	5,649
S7	42203,13	7,283
S8	42328,13	7,533
S9	44742,19	7,349

Şekil 5.17’de çekme sonrası numunelerin makro görüntüleri incelendiğinde numunelerin tamamının AISI 316L paslanmaz çeliklerinden koptuğu tespit edilmiştir. Şekilden görüleceği üzere S1 dışındaki bütün numunelerin ITAB’dan kopmuş olduğu, ancak S1 numunesi 316L çeliğinde sünek bir davranış sergileyerek koptuğu anlaşılmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde maksimum dönme devri ve minimum sürtünme süresinin kaynak kalitesi için ideal parametreler olduğu açıktır.

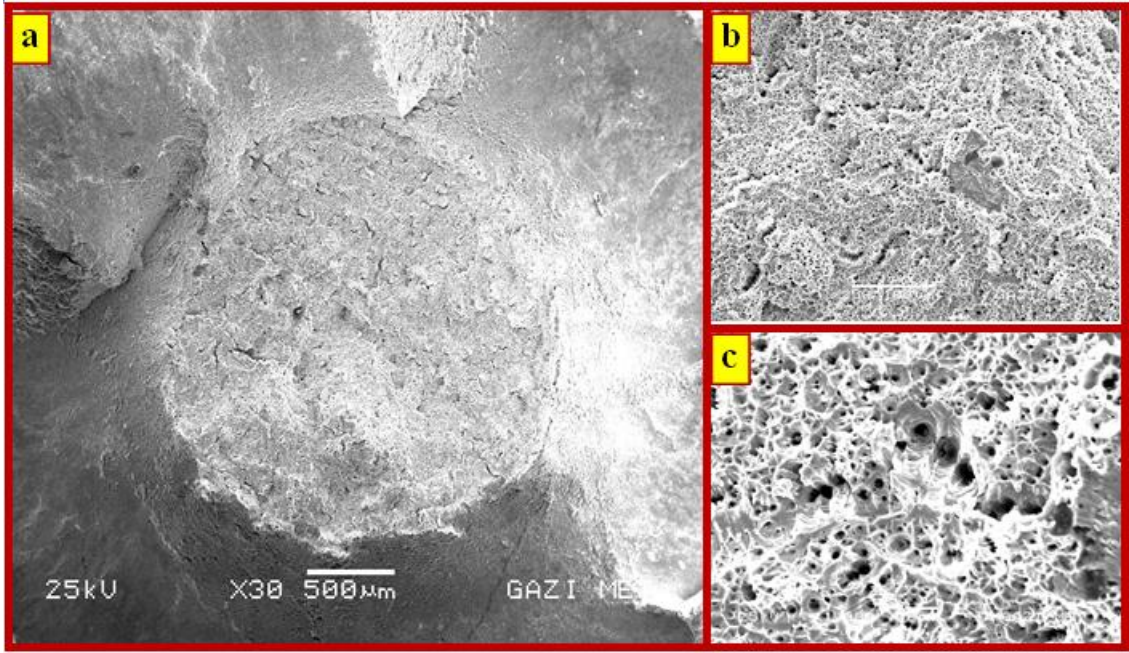


Şekil 5. 17. Çekme sonra kopma görüntüleri.

5.6. Kırık Yüzey SEM Görüntüleri

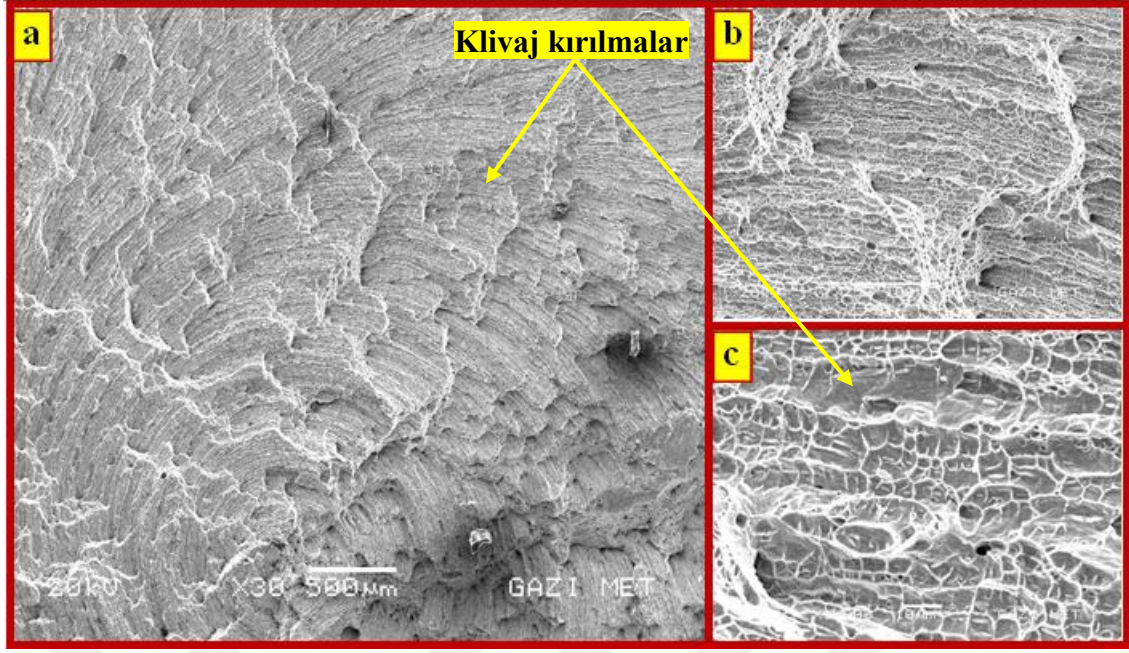
AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çeliklerinin (2400, 2200 ve 2000 dev/dak) dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi parametreleri kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin çekme sonrası kırık yüzey SEM analizleri yapılmıştır. Şekil 5.18 (S1), Şekil 5.19 (S3), Şekil 5.20 (S4), Şekil 5.21 (S5), Şekil 5.22 (S7) ve Şekil 5.23'te (S9) elde edilen analizler verilmiştir.

Şekil 5.18'de verilen kopma sonrası kırık yüzey SEM fotoğrafları incelendiğinde, yüksek devir (2400 dev/dak) ve kısa sürtünme süresinde (3 sn) birleştirilen S1 numunesinde ince taneli homojen bir yapının olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.18.a incelendiğinde yüke bağlı olarak boyun vermiş şekilde içe doğru koni-çanak şeklinde kopmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumun çekme yükü altında numunenin sünek bir davranış sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kırık, (2012) yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlara ulaşmıştır.

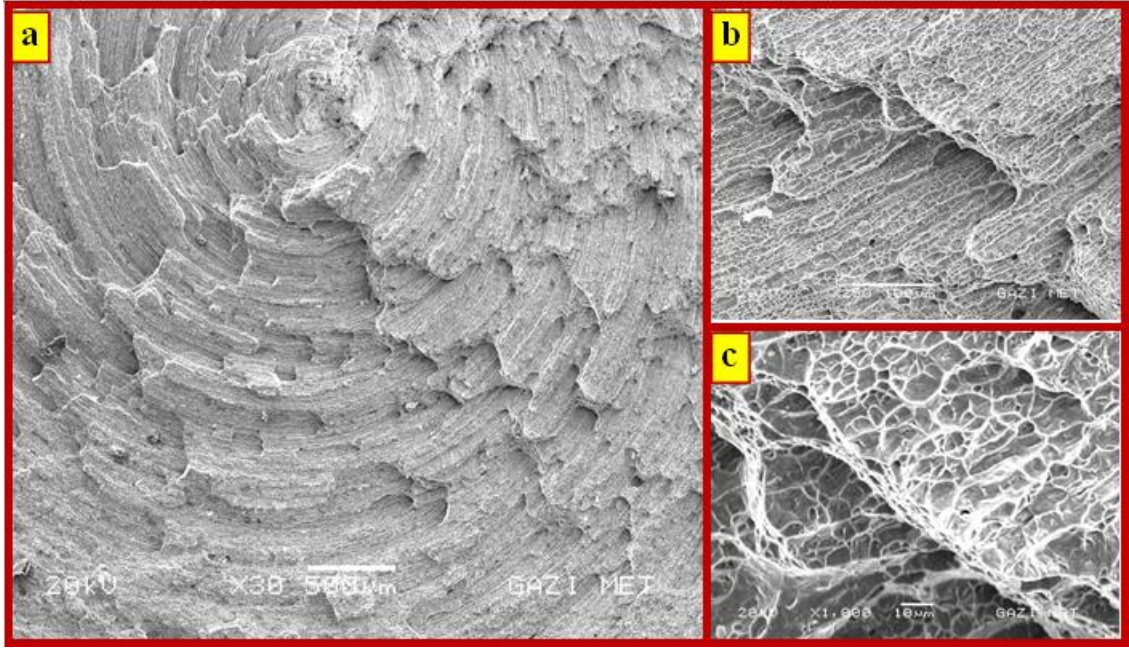


Şekil 5. 18. S1 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.

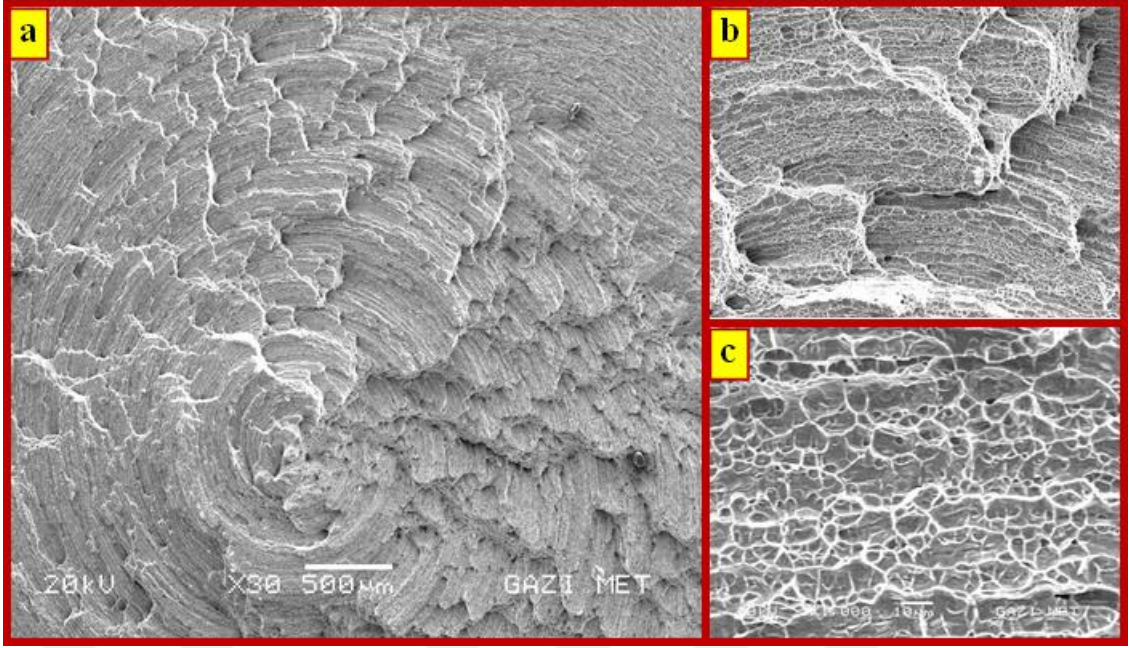
Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te numunelerinin çekme sonrası kopma görüntüleri birbirine benzer çıkmıştır. İlk olarak 30X'te verilen görüntüler incelendiğinde kopmanın boyun vererek değil de geniş bir yüzeyde sünek/gevrek (klivaj) mekanizmaların birlikte gerçekleştiği görülmektedir. 250X ve 1000X görüntülerine bakıldığında S1 numunesinin (Şekil 5.18) yüzey morfolojine yakın bir görüntünün olduğu görülmektedir. Ancak tane yapıların S3, S4, S5, S7 ve S9 numunelerinde daha büyük olduğu söylenebilir.



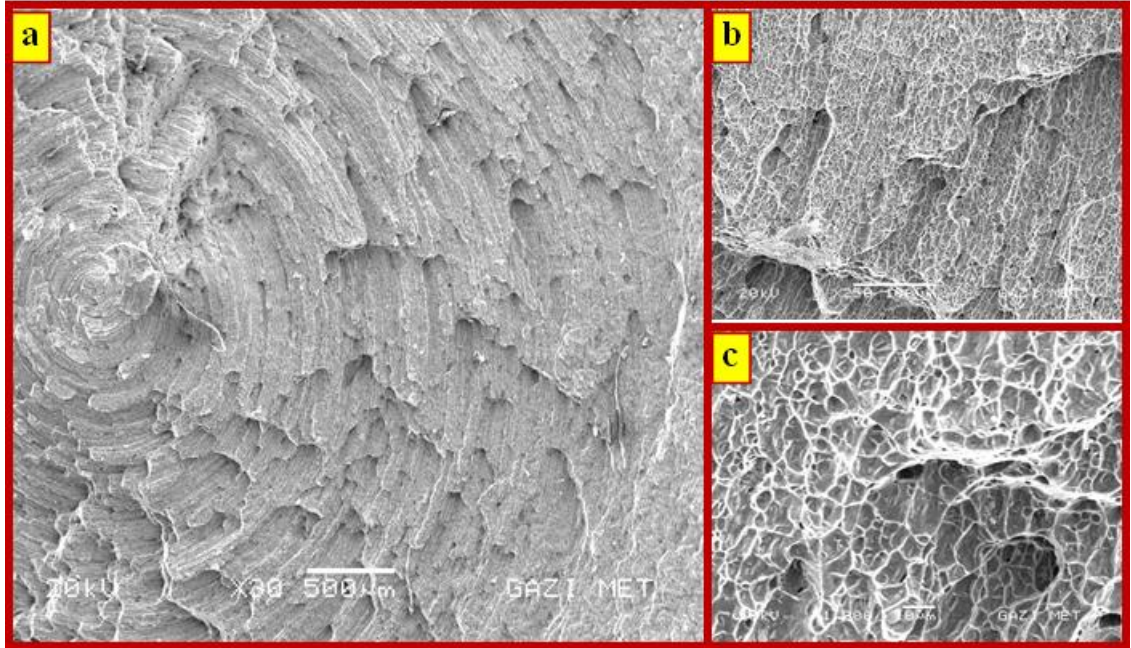
Şekil 5. 19. S3 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.



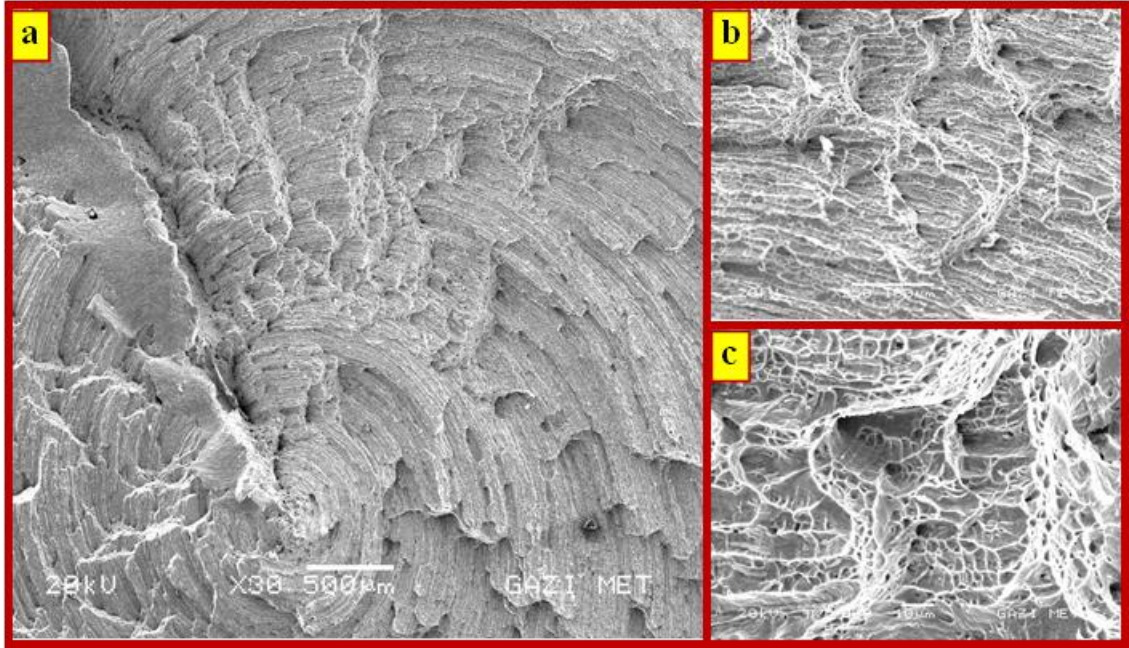
Şekil 5. 20. S4 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.



Şekil 5. 21. S5 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.



Şekil 5. 22. S7 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.



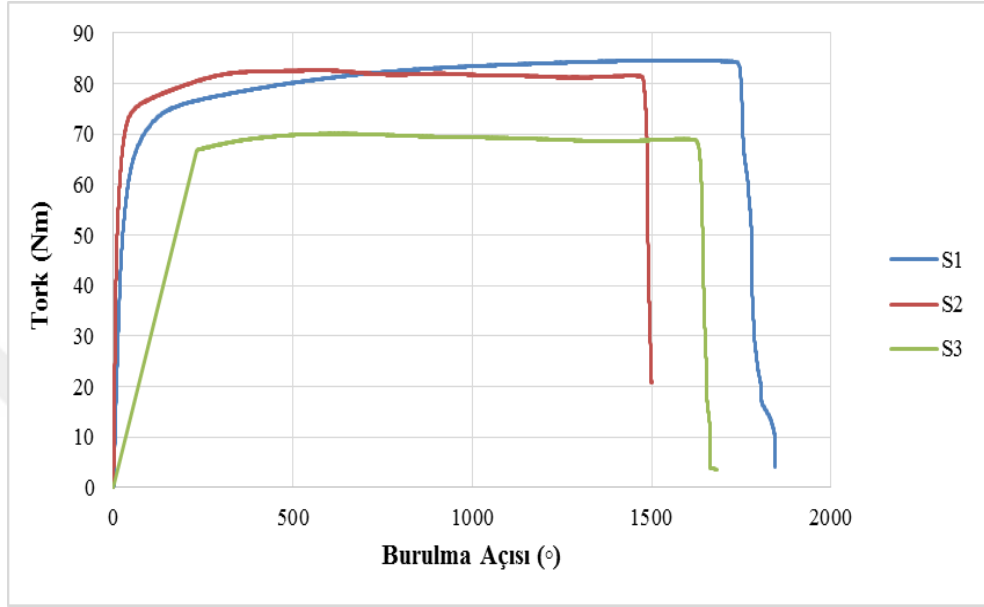
Şekil 5. 23. S9 numunesinin çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri (a) 30X, (b) 250X, (c) 1000X.

5.7. Burulma Deneyi Sonuçları

AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çeliklerinin (2400, 2200 ve 2000 dev/dak) dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi parametreleri kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelere kaynak işleminden sonra burulma deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen burulma torku ve açısına bağlı olarak çizilen grafikler; Şekil 5.24, Şekil 5.26 ve Şekil 5.28’de verilmiştir. Şekil 5.25, Şekil 5.27 ve Şekil 5.29’da ise burulma sonrası kopan numunelerin makro görüntüleri verilmiştir.

Şekil 5.24’te 2400 dev/dak dönme devri ve (3, 5 ve 7 sn) sürtünme sürelerinde kaynak işlemi yapılan S1, S2 ve S3 numunelerinin burulma torku ve burulma açısına bağlı olarak çizilen grafik incelendiğinde, S1 numunesinin burulma torku ve burulma açısının diğer numunelerden yüksek çıktığı görülmüştür. Elde edilen tork ve açı değerleri sırasıyla 84,96 Nm ve 1850,70°’dir. Genel olarak Şekil 5.24’e bakıldığında burulma torkunun belli noktaya kadar görünür şekilde arttığı daha sonra numunelerin deformasyona uğradıktan sonra yük taşımayacak duruma gelmesi ile birlikte yükün sabit kaldığı ancak burulma açısının numunelerde ayrılma gerçekleşene kadar devam ettiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.25’te kopma sonrası makro görüntüler incelendiğinde kopmaların tamamının AISI 316L paslanmaz çelik tarafında kaynak

bölgesine yakın koptuğu görülmektedir. Katı, (2014) sürtünme kaynağı ile birleştirmiş olduğu AISI 420 ve AISI 4340 çeliklerine burulma testi uygulamış, bu test sonucu numunelerin daha sert mikroyapıya sahip AISI 4340 ıslah çeliği tarafından koptuğunu tespit etmiştir.



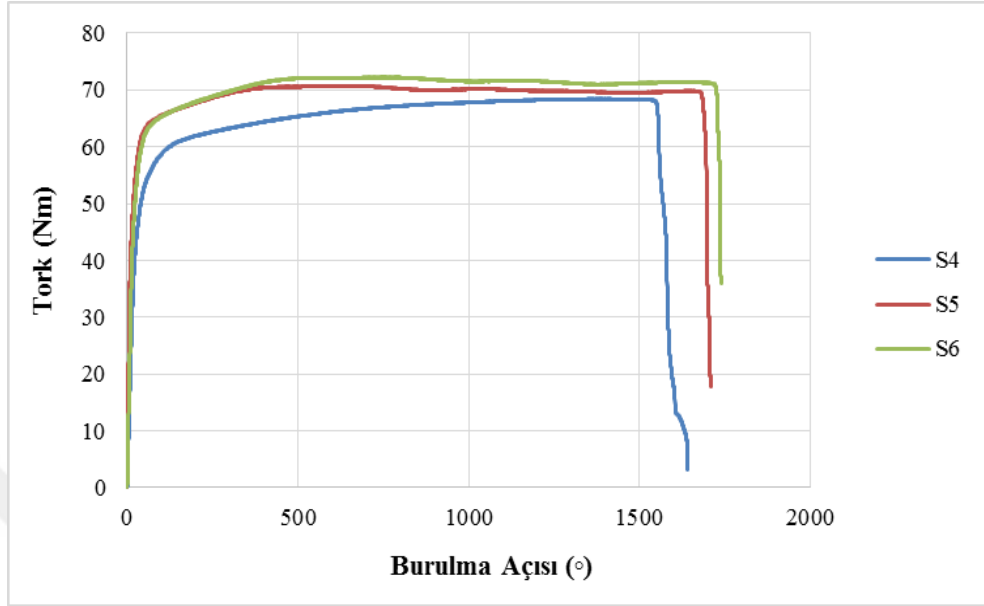
Şekil 5. 24. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.



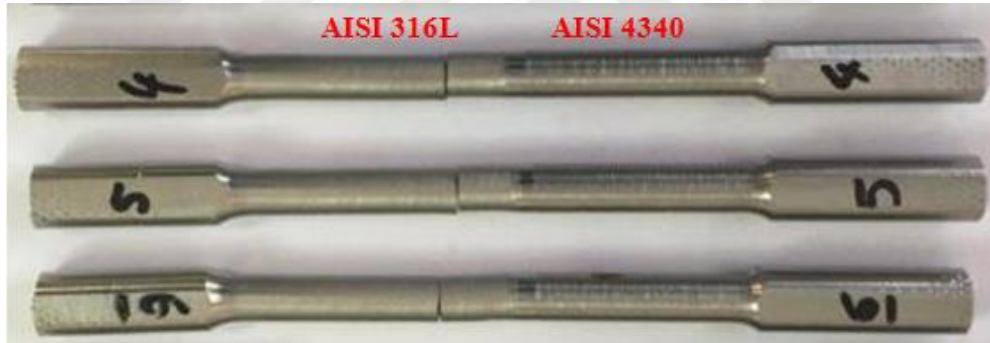
Şekil 5. 25. 2400 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.

Şekil 5.26'te 2200 dev/dak dönme devri ve (3, 5 ve 7 sn) sürtünme sürelerinde kaynak işlemi yapılan S4, S5 ve S6 numunelerinin sürtünme sürelerine bağlı olarak çizilen burulma torku ve burulma açıları grafiği incelendiğinde, sürtünme süresi 7 sn olan S6 numunesinin burulma torkunun ve burulma açısının S4 ve S5 nolu numunelerinkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen tork değerleri sırasıyla 68,18, 70,45 ve 72,25 Nm'dir. Ayrıca Şekil 5.27'de burulma deneyi sonrası

kopan numunelerin makro görüntülerine bakıldığında kopma olayı kaynak bölgesine yakın AISI 316L paslanmaz çelik tarafından gerçekleştiği görülmektedir.

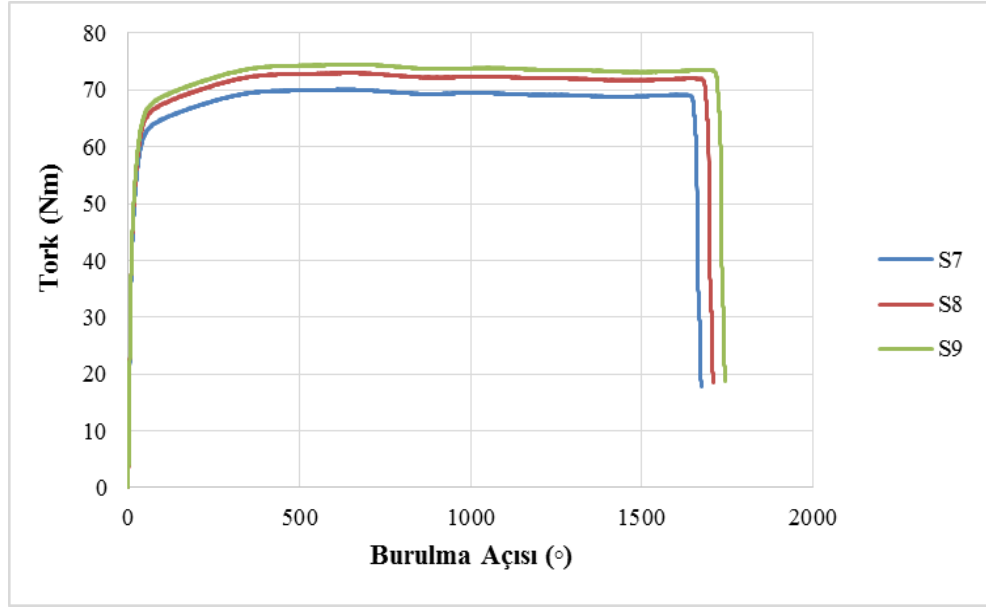


Şekil 5. 26. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.

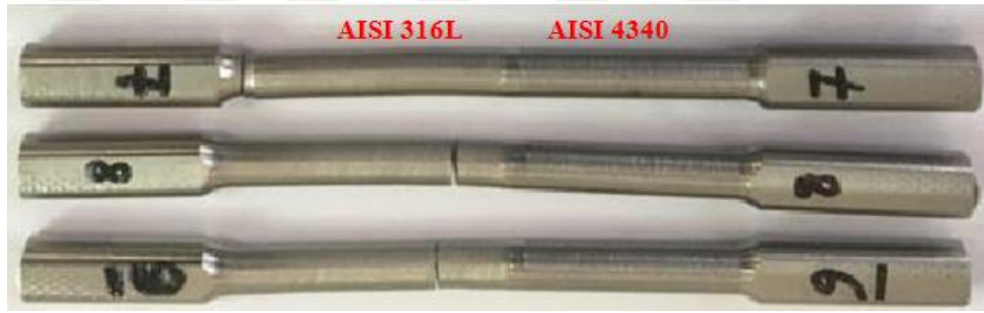


Şekil 5. 27. 2200 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.

Şekil 5.28'de 2000 dev/dak dönme devri ve (3, 5 ve 7 sn) sürtünme sürelerinde kaynak işlemi yapılan S7, S8 ve S9 numunelerinin sürtünme sürelerine bağlı olarak çizilen burulma torku ve burulma açıları grafiği incelendiğinde, sürtünme süresi 7 sn olan S9 numunesinin burulma torkunun ve burulma açısının S7 ve S8 nolu numunelerinkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.29'da S7 numunesi haricindeki diğer numunelerin AISI 316L paslanmaz çelik tarafından kaynak bölgesine yakın koptuğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5. 28. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma grafiği.



Şekil 5. 29. 2000 dev/dak'da kaynatılan numunelerin burulma sonucu resimleri.

Tablo 5.2'den burulma deneyinin genel sonuçları görülmektedir. Tablo incelendiğinde maksimum burulma torku 84,96 Nm ve maksimum burulma açısı 1850,7° ile 2400 dev/dak dönme devri ve 3 sn sürtünme süresi ile kaynak işlemi yapılan S1 numunesi olarak analiz edilmiştir. Buna karşın en düşük burulma torku 70,03 Nm ile 2400 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi yapılan S3 numunesi ve en düşük burulma açısı ise 1384,4° ile S7 numunesi tespit edilmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında çekme deneyinde olduğu gibi S1 numunesinin değerleri diğerlerinden yüksek çıkmıştır.

Tablo 5. 2. Maksimum burulma torku ve açısı değerleri

Numune No	Sürtünme Devri (dev/dak)	Sürtünme Süresi (sn)	Maksimum Burulma Torku (N.m)	Maksimum Burulma Açısı (°)
S1	2400	3	84,96	1850,70
S2		5	82,99	1507,60
S3		7	70,03	1680,30
S4	2200	3	68,18	1639,60
S5		5	70,45	1708,36
S6		7	72,25	1731,34
S7	2000	3	71,95	1384,41
S8		5	73,81	1442,09
S9		7	74,50	1759,50

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmada, farklı bileşiklere sahip, ergitme kaynağı ile birleştirilmesi güç olan AISI 316L paslanmaz çelikleri ve AISI 4340 ıslah çelikleri (2400, 2200 ve 2000 dev/dak) dönme devri, (3, 5 ve 7 sn) sürtünme süresi, 50 MPa sürtünme basıncı, 80 MPa yığma basıncı ve sürtünme sürelerine doğru orantılı olan (6, 10 ve 14 sn) yığma süresi parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra ilk olarak flanş çaplarındaki değişim ve numunelerin boyca kılma miktarlarındaki değişim incelenmiş; daha sonra sırası ile optik mikroskopta mikroyapı, SEM ve EDS analizleri, sertlik, çekme ve burulma testleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak çekme ve burulma testleri sonrası kopan numunelerin kırılma yüzey analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- ✓ Tüm numunelerin kaynağı başarılı bir şekilde yapılmış, makro ve mikro fotoğraflar ışığında mukavemeti olumsuz etkileyebilecek çatlak ve boşluklara rastlanmamıştır.
- ✓ Flanş çaplarındaki değişim miktarlarına bakıldığında AISI 4340 ıslah çeliğinin kaynak bölgesinde meydana gelen flanş çaplarındaki değişim miktarları, AISI 316L paslanmaz çeliğinden daha yüksek çıkmıştır. En büyük flanş çapı değişimi S3 numaralı numunede gerçekleşmiş olup AISI 4340 ıslah çeliğinde 19,44 mm, AISI 316L paslanmaz çeliğinde ise 16,87 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama kılma miktarlarına bakıldığında en fazla kılmanın S3 numaralı numunede olan AISI 4340 ıslah çeliğinde 6,12 mm, AISI 316L paslanmaz çeliğinde ise 2.73 mm olarak ölçülmüştür.
- ✓ S1, S2 ve S3 numunelerinin 2400 dev/dak ve sırasıyla 3, 5 ve 7 sn sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, DB içerisinde birleşmeyen yapıların varlığına rastlanılmamıştır. Ancak farklı parametrelerden dolayı DB genişliğinde farklılık oluşmuştur. DB'nin S1 numunesinde daha geniş, S3'te daha dar olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ S4, S5 ve S6 numunelerinin 2200 dev/dak dönme devrinde ve sırasıyla 3, 5 ve 7 saniye sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, kaynak bölgesinde DB içerisinde S5 ve S6

numunelerinin bir kısmında birleşmeyen yapıların varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme sürelerinin farklılığından dolayı DB'nin genişliğinde farklılık olmuştur. S4 numunesinin DB daha geniş iken S6 numunesinin DB daha dardır.

- ✓ S7, S8 ve S9 numunelerinin 2000 dev/dak dönme devrinde ve sırasıyla 3, 5 ve 7 sn sürtünme sürelerinde yapılan kaynak işleminin optik mikroskoptan alınan görüntüleri incelendiğinde, deformasyon bölgelerinde numunelerin kaynak kısımlarının dönme devrinin düşük olmasından kaynaklı birleşmenin kısmen olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürtünme sürelerinin farklılığından dolayı DB'nin genişliğinde farklılıklar oluşmuştur. S7 numunesinin DB daha geniş iken S8 numunesinin DB daha dardır
- ✓ S1, S3, S7 ve S9 numuneleri için kaynak bölgesinden 30X, 250X ve 1000X büyütme SEM görüntüleri alınmıştır. 2400 dev/dak hızında 3 sn süreyle kaynak edilen S1 numunesinin DB genişliği yaklaşık 90 μm iken, sürtünme süresinin 7 saniyeye çıkartılmasıyla DB genişliği azalmış ve 75 μm olarak elde edilmiştir. Dönme devri 2000 dev/dak değerine azaltıldığında, DB yaklaşık 15 μm genişliğinde ince bir hat şeklinde oluşmuştur. Ancak 2000 dev/dak dönme devrinde sürtünme süresinin 7 sn değerine çıkarılmasıyla DB genişliği de 30 μm değerine çıkmıştır. S1, S3 ve S9 olarak tanımlanan numunelerde kaynak bölgesinde dönme yönüyle uyumlu bir plastik akışın olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu morfoloji, incelenen numuneler içerisinde en düşük dönme devri ve sürtünme süresi kullanılarak kaynak edilen S7 numunesinde tespit edilmemiştir.
- ✓ EDS analizi incelenen numuneleri temsilen S3 numunesinin kaynak arayüzeyinde yapılmıştır. Yapılan analizde, arayüzeyin baskın olarak Fe (ağ. % 67,7), Cr (ağ. %20,4) ve Ni (ağ. %11) içerdiği görülmektedir. Arayüzeydeki Cr ve Ni kaynak edilen malzemelerden biri olan 316L paslanmaz çelikten kaynaklanmıştır. Söz konusu paslanmaz çeliğin kaynak arayüzeyindeki Ni varlığının 316L paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimine (ağ. % 12) yakın olduğu, ancak Cr oranının kimyasal bileşimdeki Cr oranına göre (ağ. % 17) bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ S1 numunesinin 3 sn, S2 numunesinin 5 sn ve S3 numunesinin 7 sn sürtünme sürelerinden kaynaklı olarak S3 numunesinin ITAB mesafesinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Ana metal kısımlarının kendi aralarında sertliklerin birbirine yakın olduğu ITAB'dan ADB ve KM'ye gidildikçe sertliğin zikzak şeklinde

arttığı ve KM’de en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. En yüksek sertlik değeri, 771,9 HV ile S3 numunesinde ölçülmüştür. 2200 dev/dak’da kaynak edilen S4, S5 ve S6 numunelerinin sertlik değerlerinin ana metalden kaynak merkezine gidildikçe arttığı görülmüştür. Sürtünme süresi 3 sn olan S4 numunesinin sertlik değerinin en az, sürtünme süresi 7 sn olan S6 numunesinin ise maksimum sertlik değerinde olduğu ölçülmüştür. S6 numunesinin sürtünme süresinin daha yüksek olmasından dolayı daha fazla ısı açığa çıkmıştır. S6 numunesinin maksimum sertlik değeri, 742 HV olarak ölçülmüştür. 2000 dev/dak dönme devrinde birleştirilen numuneler arasında en yüksek sertlik değeri 696,9 HV ile S9 numunesinde olduğu görülmüştür.

- ✓ Çekme deneyi sonrası artan sürtünme süresine bağlı olarak 2400 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin çekme kuvvetleri; S1 numunesi 45726,56 N, S2 numunesi 45039,06 N ve S3 numunesi 44546,88 N olarak ölçülmüştür. Uzama değerleri açısından değerlendirildiğinde, S1 numunesinin uzama değeri diğer numunelerin uzama değerlerinden çok daha yüksek çıkmıştır.
- ✓ 2200 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin çekme kuvvetleri; S4 numunesi 44000 N, S5 numunesi 44492,19 N ve S6 numunesi 42335,94 N olarak ölçülmüştür. S5 numunesinin çekme kuvvetinin daha fazla olduğu, S4 numunesinin uzama miktarının ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2000 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin çekme kuvvetleri; S7 numunesi 42203,13 N, S8 numunesi 42328,13 N ve S9 numunesi 44742,19 N olarak ölçülmüştür. S9 numunesinde çekme kuvvetinin daha yüksek olduğu, S8 numunesinde ise az bir miktar da olsa uzama miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Numunelerin makro görüntüleri incelendiğinde numunelerin tamamının AISI 316L paslanmaz çeliklerinden koptuğu tespit edilmiştir. S1 dışındaki bütün numunelerin kaynak bölgesinden kırılmış olduğu, ancak S1 numunesinin kaynak bölgesi dışından sünek bir davranış sergileyerek koptuğu görülmüştür.
- ✓ Çekme sonrası kırık yüzey SEM analizleri incelendiğinde, yüksek dönme devri (2400 dev/dak) ve kısa sürtünme süresinde (3 sn) birleştirilen S1 numunesinde ince taneli homojen bir yapının olduğu görülmüştür. Ayrıca yüke bağlı olarak boyun vermiş şekilde içe doğru koni-çanak şeklinde kopmanın gerçekleştiği

görülmüştür. Bu durumun çekme yükü altında numunenin sünek bir davranış sergilemesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. S3, S4, S5, S7 ve S9 numunelerinin çekme sonrası kopma görüntüleri birbirine benzer çıkmış, kopmaların geniş bir yüzeyde sünek/gevrek şeklinde gerçekleştiği ve tane yapılarının iri olduğu görülmüştür.

- ✓ 2400 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi yapılan S1 numunesinin burulma torku ve burulma açısı değerlerinin sırasıyla 84,96 Nm ve 1850,70⁰ oldukları böylece diğer numunelerden yüksek çıktığı görülmüştür.
- ✓ 2200 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi yapılan S4, S5 ve S6 numunelerinin sürtünme sürelerine bağlı olarak burulma torkları 68,18, 70,45 ve 72,25 Nm'dir. 2000 dev/dak dönme devri ile kaynak işlemi yapılan S7, S8 ve S9 numunelerinin burulma torklarının sırasıyla 71,95, 73,81 ve 74,50 Nm; burulma açılarının ise 1384,41⁰, 1442,09⁰ ve 1759,50⁰ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kopan numunelerin tamamının AISI 316L paslanmaz çelik tarafından kaynak bölgesine yakın koptuğu görülmüştür.
- ✓ Yapılan yüksek lisans çalışmasında iki farklı kimyasal bileşime sahip malzeme iki farklı kaynak parametresi kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri analiz edilerek literatüre katkı sağlanmıştır.

5.2 Öneriler

- ✓ AISI 316L paslanmaz çeliği ve AISI 4340 ıslah çeliği sürtünme basıncı, yığma basıncı ve yığma süresi parametrelerinin değiştirildiği sürtünme kaynağı yapılabilir.
- ✓ AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerini diğer katı hal kaynak yöntemleri ile birleştirilip sürtünme kaynağı ile karşılaştırılabilir.
- ✓ Sürtünme kaynağı esnasında ara tabaka kullanılarak meydana gelen birleşmenin makro yapı, mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılabilir.
- ✓ Aynı parametrelerle kaynak işlemi yapıp AISI 316L ve AISI 4340 çeliklerinin yorulma ve korozyon dirençleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Acarer, M., 2001, Patlamalı Kaynakta Patlayıcı Oranı, Ara Boşluk Mesafesi ve Altlık Cinsinin Çelik/Çelik Birleştirilmesi Kalitesine Etkisi, *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 5-119.
- Anık, S., 1991, Yöntemler ve Donanımlar, *Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Kaynak Tekniği El Kitabı, İstanbul*, s. 12, 93,109,113-115,150-152, 208-213.
- Arslan, H., 2007, Bilyalı Rulman Yuvarlanma Elemanı Kusurunun Titreşim Analizi Yöntemiyle İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13 s. 2.
- Atasoy, E., 2007, Titanyumun Ve Düşük Karbonlu Çelik Çiftinin Arabağlayıcı Kullanılarak Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*, 38-40.
- Aydın, Ş., Ertürk, İ., Önder, M., 2010, AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s.16(2), 139-147.
- Besharati-Givi, M.K., & Asadi, P.,2014, *Advances In Friction-Stir Welding And Processing*, Elsevier.
- Booth, M., 2016, Effects Of Processing Parameters On Friction Stir Welded Lap Joints Of AA7075 - T6 And AA6022-T4, *Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, University of Waterloo, Waterloo, Ontario*.
- Cavaliere, P., Campanile, G., Panella, F., & Squillace, A., 2006, Effect Of Welding Parameters On Mechanical And Microstructural Properties Of AA6056 Joints Produced By Friction Stir Welding, *Journal Of Materials Processing Technology*, 180(1-3), 263-270.
- Cavaliere, P., Panella F.W., 2008, Effect Of Tool Position On The Fatigue Properties Of Dissimilar 2024-7075 Sheets Joined By Friction Stir Welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (1-3), 249-255. doi: 10.1016/j.jmatprotec. 2007.12.036.
- Çelikyürek, İ., Torun, O., Baksan, B., & Özcan, A., 2020, AISI 316 L Paslanmaz Çelik ile Fe60Al40 Metaller arası Bileşiğin Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmesi, *El-Cezeri*, 7(1), 267-274.
- Çetkin, E., 2020, Farklı Kaynak Parametrelerinde Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI304/AISI5140 Çelik Çiftlerinin Mekanik ve Mikroyapılarının Araştırılması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1724-1733.

- Çil, E., 2009, Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş Paslanmaz Çelik Ve Bakır Parçaların Kaynak Bölgesi Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.*
- Dalkılıç, S., 2012, Sürtünme Karıştırma Kaynağı Ve Havacılık Ve Uzay Endüstrisindeki Uygulama Alanları, *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5 (4), 25-33.
- Dinç, D., 2006, AISI 1040 ve AISI 304 Çeliklerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.*
- Dede, A., Soy U., Aslanlar S., 2002, Sürtünme Kaynak Yöntemi, *Sakarya University Journal of Science*, 6(1), 7-12.
- Dieter, G. E., Kuhn, H. A., & Semiatin, S. L. (Eds.), 2003, Handbook of workability and process design, *ASM international.*
- Doad, N., S., Gill, A., & Dhiman, D., P., 2018, An Experimental Approach to Study the Effect of Process Parameters on Tensile Strength of Friction Welded Interface of Dissimilar Metals AISI304/4340, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(1).
- Eser, G., 2018, Gemi Çeliği-Titanyum Kompozitlerin Patlamalı Kaynak Yöntemi İle Üretilmesi Ve Birleştirme Arayüzeyinin İncelenmesi, *Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Gavcar, B., 2019, Termoplastiklerin Ultrasonik Kaynağı İçin L Ve LT Modlarında Çalışan Rezonatör Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 3-35.
- Gül, A., 2006, Farklı Metalsel Malzemelerin Sürtünme Kaynağında, Kaynak Parametrelerinin Dikiş Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Gürleyik, M.Y., 1997, Mühendis ve Makine Dergisi, C.: 16, S.;241.
- [https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/Burulma%20Deneyi\(2\).pdf](https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/Burulma%20Deneyi(2).pdf) (Ziyaret Zamanı: 02.03.2023)
- <https://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/1Burulma.pdf> (Ziyaret Zamanı: 02.03.2023)
- <http://nukbilimler.ankara.edu.tr/elektron-mikroskobu/> ((Ziyaret Zamanı: 10.03.2023)
- Itoh, Y. Z., Suruga, S., Kashiwaya, H., 1989, Prediction Of Fatigue Crack Growth Rate İn Welding Residual Stres Field, *Engineering Fracture Mechanics*, 33, 3, 397-407.

- İpekoğlu, G., 2003, Difüzyon Kaynaklı TiAl-TiAl Alaşımlarının İçyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya*, 1-62.
- Kahraman, N., 2003, Titanyum Levhaların Patlamalı Kaynak Yöntemi İle Farklı Metallerle Birleştirilmesi Ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 1-99.
- Kahraman, N., ve Gülenç B., 2013, Modern Kaynak Teknolojisi, *Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti., Ankara*, 1-323.
- Kahraman, N., ve Gülenç, B., 2016, Sürtünme kaynağı, Modern Kaynak Teknolojisi, 3. Baskı, *Ankara, Türkiye: Epamat Basım Yayın San. Ltd. Şti., böl.2, ss. 248–260.*
- Kalli, R., 2018, Az63-Aa6063 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Batman*, 7-8.
- Karabey, Ö., & Akkuş, A. 2022, Effect of Welding Parameters on Axial Shortening in Continuous Friction Welded Inconel 718 Superalloy and AISI 316L Stainless Steel, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 311-316.
- Katı, N., 2014, Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AISI 4340/AISI 420 Çelik Çiftinin Burulma Davranışının İncelenmesi, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- Kaya, Y., 2014, Patlamalı Kaynak Yöntemi ile Üretilen Grade A Gemi Sacı-Paslanmaz Çelik Kompozitlerin Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 1-215.
- Kırık, İ., 2012. Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilen AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının Araştırılması, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- Kırık, İ., & Özdemir, N., 2012, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi İmalatı Ve Farklı Özellikteki AISI 1040 / AISI 204L Çelik Çiftlerinin Sürtünme Enerjisi Kullanılarak Birleştirilmesi, *Technological Applied Sciences*, 7(3), 60-74.
- Kulekci, M. K., Şik, A., & Kaluç, E., 2008, Effects Of Tool Rotation And Pin Diameter On Fatigue Properties Of Friction Stir Welded Lap Joints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9), 877-882.
- Kumru, E., 2007, Farklı Malzemelerin Sıcak Basınç Kaynağı İle Birleştirilmesinde İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

- Mercan, S., 2013, Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 2205/AISI 1020 Malzeme Çiftinin Mikroyapı Ve Yorulma Davranışının Araştırılması, *Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.*
- Meriç, C., Köksal, N. S., Erdoğan, M. T., & Okur A., 2008, Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, *Celal Bayar University Journal of Science*, 4(2), 135-144.
- Murti, K. G. K., & Sundaresan, S. (1986). Structure And Properties Of Friction Welds Between High-Speed Steel And Medium-Carbon Steel For Bimetal Tools, *Materials Science And Technology*, 2(8), 865-870.
- Odabaş, C., 2004, Paslanmaz Çelikler Temel Özellikleri, Kullanım Alanları Kaynak Yöntemleri, *Kaynak Tekniği San. ve Tic. AŞ, İstanbul*, 76s.
- Orhan, N., & Taşkın, M., 2003, Transmisyon Çeliği İle Martenzitik Bir Paslanmaz Çeliğin Sürtünme Kaynağında Devir Sayısının Etkisi, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 104-107.
- O'Brien, R.L., 1991, Welding Handbook: Welding Processes, *Miami: American Welding Society. ISBN 0-87171*, 110-116.
- O'Brien, R.L., 1997, Jefferson's Welding Encyclopedia, *NewYork: American Welding Society*.
- Öcalır, Ş., 2019, Farklı İki Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Direncine Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*
- Özdemir, N., 2002, Tane Küçültülmüş Düşük Alaşımli Yüksek Karbonlu Çeliklerin Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.*
- Özdemir, U., 2003, Difüzyon Kaynaklı TiAl Ve Ti6Al4V Alaşımlarının İçyapı Ve Mekanik Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya*, 7-40.
- Özdemir, N., 2005, Investigation Of The Mechanical Properties Of Friction-Welded Joints Between AISI 304L And AISI 4340 Steel As A Function Rotational Speed, *Materials letters*, 59(19-20), 2504-2509.
- Özdemir, N., Sarsılmaz, F., & Haşçalık, A., 2007, Effect Of Rotational Speed On The Interface Properties Of Friction-Welded AISI 304L To 4340 Steel, *Materials & design*, 28(1), 301-307.
- Rankin, D.W.H., 2008, CRC Handbook of Chemistry and Physics, *CRC Press*, doi:10.1080/08893110902764125.

- Savaşkan, T., 1999, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, *Beta Basım A.Ş., Trabzon.*
- Sönmez, F., 2007, Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmesi Yüksek Hız Çeliği (HSS) Ve AISI 1040 Çeliklerinde Mukavemet Ve Metalurjik Özelliklerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.*
- Singh, C. J., Singh, K. P., & Amit, H.. 2021, Exploration of Rotary Friction Welding Technique. *Strojnícky Časopis-Journal of Mechanical Engineering*, 71(2), 53-60.
- Skowrońska, B., Chmielewski, T., & Zasada, D., 2022, Assessment of Selected Structural Properties of High-Speed Friction Welded Joints Made of Unalloyed Structural Steel, *Materials*, 16(1), 93.
- Smith, W.F., 2000, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, *Paslanmaz Çelikler Bölüm 5, Cilt 1., (Çeviri: Erdoğan, M.) Ankara.*
- Srubar, M., 2009, Application Of Friction Stir Welding In Aircraft Structures, *Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Brno University of Technology, Brno.*
- Sufizadeh, A.R., & Mousavi, S.A., 2017, Investigation of Nd: YAG Pulsed Laser Dissimilar Welding Of AISI 4340 And AISI 316l Stainless Steels On Weld Geometry And Mechanical Properties, *Mechanics & Industry*, 18(5), 512.
- Şahin, M., Akata, H.E., Özel, K., 2005, Çelikler ve Demir-Dışı Malzemelere Soğuk Basınç Kaynağının Uygulanması, *III. Demir-Çelik Kongresi ve Sergisi, sa: 217-221, Karadeniz-Ereğli, Zonguldak.*
- Taşkın, M., Çay, V.V., ve Özdemir, N., 2005, Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 430/Ç 1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Değerlendirmesi, *Teknoloji, c. 8, sayı 1, ss. 65–70.*
- Torun, O., 2017, 316 L Paslanmaz Çelik ve AZ91 Magnezyum Alaşımının Sürtünme Kaynağı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 1165-1171.
- Trimble, D., 2011, Optimisation Of Process Parameters And Tooling During Friction Stir Welding Of AA2024-T, *Yayımlanmış Doktora Tezi, University of Dublin, Dublin.*
- Troughton, M., 2008, Handbook Of Plastics Joining: A Practical Guide, *Second Edition, Norwich: Elsevier Inc.*
- Türkyilmazoğlu, A., 2006, Dupleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.*
- Uday, M.B., Fauzi, M.N.A., Zuhailawati, H., and İsmail, A.B., 2010, Advances in Friction Welding Process: a Review, *Science and Technology of Welding and Joining, c. 15, sayı 7, ss.534–558.*

- Ünal, E., Karaca, F., & Sarsılmaz, F., 2019, Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AISI 316L/AISI 4140 Çelik Çiftlerinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 701-708.
- Yalçınöz, M., 2016, AISI 4340-AISI 2205 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliği, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- Yılmaz, M., 1993, Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sinan BİNİCİ
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Önlisans	: Anadolu Üniversitesi Tarım Teknolojisi	2021
Lisans	: Gazi Üniversitesi T.E.F. Metal Öğretmenliği	2008
Lisans	: Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği	2021
Yüksek Lisans	: Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens. Metal Eğitimi	2011
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğt. Ens. Makine Mühendisliği	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010 -	Emniyet Genel Müdürlüğü	Polis Memuru

UZMANLIK ALANI

Kamu Güvenliği
Kaynak Teknolojisi
Konstrüksiyon ve İmalat
Nanoteknoloji

YABANCI DİLLER

YAYINLAR

Binici, S., Çetkin, E., 2023, Farklı Kaynak Parametrelerinde Birleştirilmiş AISI 4340 / AISI 316L Çeliklerin Flanş Geometrilere ve Boyuna Değişimlerinin Belirlenmesi, *2nd International Conference on Innovative Academic Studies – ICIAS 2023*, January 28-31, Konya-Türkiye