

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AISI 1040 VE AISI 304 ÇELİKLERİNİN
SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Diğer DİNÇ

Balıkesir, Kasım 2006

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AISI 1040 VE AISI 304 ÇELİKLERİNİN
SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAK.MÜH. DİNÇER DİNÇ

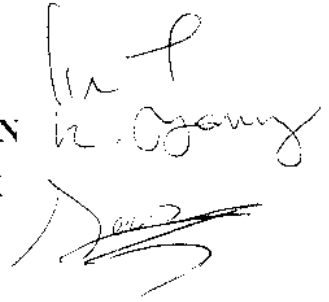
TEZ DANIŞMANI : YRD. DOÇ. DR SARE ÇELİK

SINAV TARİHİ: 22.11.2006

JÜRİ ÜYELERİ: Doç. Dr. İrfan AY

Doç. Dr. Ramazan YAMAN

Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK



Balıkesir, Kasım 2006

ÖZET

AISI 1040 VE AISI 304 ÇELİKLERİNİN SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dinçer DİNÇ

**Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Dr. Sare ÇELİK)

Balıkesir, 2006

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların artması imalat yöntemlerini etkilemiştir. Kaynak tekniği de bunlardan birisidir. Maliyeti en aza indirilebilmek için farklı malzemelerin kaynağı büyük önem kazanmaktadır. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı yöntemi ile farklı malzemelerin kaynağı mümkündür.

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliği ve AISI 1040 karbon çeliklerinin sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Böylece maliyeti yüksek olan AISI 304 çeliğinin sarfiyatından tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kaynak sırasında, kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile kaynak yerlerinin sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Kaynak sonrası numunelere çekme, sertlik deneyleri uygulanmış, mikro yapı incelemeleriyle birlikte EDS analizleri yapılarak optimum kaynak parametreleri saptanmıştır. Ayrıca numunelere uygun şartlarda ısıl işlem uygulanarak tane yapıları ve mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, bu iki çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Sürtünme kaynağı / AISI 304 paslanmaz çeliği / AISI 1040 karbon çeliği / mikro yapı

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF WELDABILITY OF
AISI 1040 AND AISI 304 STEELS
BY FRICTION WELDING**

Dinçer DİNÇ

**Balikesir University, Institute of Science, Department of
Mechanical Engineering**

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Asst. Prof. Dr. Sare ÇELİK)

Balikesir, 2006

Recently development of technology and increase of necessities have been effected manufacturing methods. Welding procedure is one of the methods that has been changed. Welding of different materials becomes very important to reduce cost. With friction welding method which is one of the solid state bonding methods, it is possible to weld different materials.

In this study, the weldability of AISI 304 stainless steel and AISI 1040 carbon steel by friction welding were researched. So it was aimed to save consumption of AISI 304 stainless steel which has high cost. During welding process, temperature variations in the welding places were measured with infrared temperature measurement device. After welding, tensile and hardness experiments were done on specimens, EDS analyses were carried out by examining micro structures to determine optimum welding parameters. In addition changes at grain structures and mechanical properties were researched by applying heat treatment under suitable conditions

As a result of this study, it was seen these two steels could be joined by friction welding.

KEY WORDS: Friction welding / AISI 304 stainless steel / AISI 1040 carbon steel / micro structure

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SÜRTÜNME KAYNAĞI	9
2.1 Giriş	9
2.2 Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları	12
2.3 Sürtünme Kaynağı Parametreleri	13
2.3.1 Çevresel Hız	14
2.3.2 Sürtünme Basınç Kuvveti	14
2.3.3 Sürtünme Süresi	15
2.3.4 Yığma Basınç Kuvveti	15
2.3.5 Yığma Süresi	16
2.4. Sürtünme Kaynağı Metotları	17
2.4.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	18
2.4.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	20
2.4.3 Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı	22
2.5 Birleşme Bölgesindeki İç Yapı	23
2.6 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Parça Geometrileri	24
2.7 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Malzemeler	26
2.8 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları	28
2.9 Sürtünme Kaynağının Avantajları	32

2.10 Sürtünme Kaynağının Dezavantajları	33
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	35
3.2 Sürtünme Kaynak Cihazı ve Teknik Özellikleri	37
3.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması	39
3.4 Sürtünme Kaynağı Deneyleri ve Kaynak Parametreleri	40
3.5 Kaynak Bölgesinin Sıcaklığının Ölçülmesi	42
3.6 Çekme Deneyi Uygulamaları	44
3.7 Kaynaklı Numunelere Isıl İşlem Uygulanması	47
3.8 Sertlik Deneyi Uygulamaları	48
3.9 Mikro Yapı İncelemeleri	50
4. DENEY SONUÇLARI	53
4.1 Kaynak Bölgesinin Sıcaklık Ölçüm Sonuçları	53
4.2 Çekme Deneyi Sonuçları	60
4.3 Isıl İşlem Sonuçları	62
4.4 Sertlik Deneyleri Sonuçları	63
4.5 Mikro Yapı İnceleme Sonuçları	74
4.6 Kırılma Yüzeyinin İrdelenmesi	108
5. SONUÇLAR	110
KAYNAKLAR	114

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Tanımı/Değeri</u>	<u>Birimi</u>
n	Devir sayısı		dev/dak
P_1	Sürtünme basıncı		daN/cm ²
t_1	Sürtünme süresi		s
P_2	Yığma basıncı		daN/cm ²
t_2	Yığma süresi		s
C	Yayım kapasitesi		-----
T	Sıcaklık		°C

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Sürtünme Kaynağı	10
Şekil 2.2	Sürtünme Kaynak Cihazı ve Donanımı	11
Şekil 2.3	Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları	12
Şekil 2.4	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Cihazının Şematik Resmi	18
Şekil 2.5	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağında Zamana Bağlı Kaynak Parametreleri	19
Şekil 2.6	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı Cihazının Şematik Resmi	21
Şekil 2.7	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağında Zamana Bağlı Kaynak Parametreleri	21
Şekil 2.8	Sürtünme Kaynağına Uygun Parça Kesitleri	25
Şekil 2.9	a-) Elektrik Konektörleri (6061-T61 Alüminyumu ETP 110 Bakıra) b-) Geçiş Bağlantıları (304/304L Paslanmaz Çeliği-2219 Alüminyuma)	26
Şekil 2.10	a-) Sürücü ve Yolcu Tarafı Otomobil Hava Yastığı Pompaları, b-) Kompresör Pistonları, c-) Gövde Montajı	29
Şekil 2.11	Hidrolik Silindir	30
Şekil 2.12	a-) Ticari Helikopter Rotor Gövdesi-2024 Alüminyum b-) Roket Yakıt Sisteminde Kullanılan Geçiş Bağlantıları c-) Mars Lander Basınç Depo Fittingsleri (6-4 Titanyum/6061-T6 Alüminyum) d-) MK 48 Ateşleyici Montajı (304Paslanmaz/6061-T6 Alüminyum)	31

Şekil 3.1 Sürtünme Kaynağı Cihazı ve Bilgisayar Kontrol Ünitesi	38
Şekil 3.2 Sürtünme Kaynağı İçin Hazırlanan Numune Boyutları	39
Şekil 3.3 Bilgisayar Programı Ekran Penceresi	42
Şekil 3.4 Raynger 3i Kızıl Ötesi Sıcaklık Ölçme Cihazı	43
Şekil 3.5 Çekme Numunesinin Ölçüleri	44
Şekil 3.6 Çekme Deneyi Cihazı	45
Şekil 3.7 AISI 1040 Çeliğinin Kopmuş Çekme Numunesi	46
Şekil 3.8 AISI 304 Çeliğinin Kopmuş Çekme Numunesi	46
Şekil 3.9 Isıl İşlem Fırınındaki Sıcaklığın Zamanla Değişimi	47
Şekil 3.10 Sertlik Ölçme Cihazı	48
Şekil 3.11 Optik Mikroskop Cihazı	49
Şekil 3.12 Optik Mikroskopta Görülen İz	49
Şekil 3.13 Sürtünme Kaynaklı Numune	50
Şekil 3.14 Bakalite Alınmış Kaynaklı Numune	50
Şekil 3.15 Elektron Mikroskobu	52
Şekil 4.1 Kaynak Sırasında Sıcaklığın Zamanla Değişimi	53
Şekil 4.2 1- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	55
Şekil 4.3 2- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	55
Şekil 4.4 3- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	56
Şekil 4.5. 4- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	56
Şekil 4.6 5- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	57
Şekil 4.7 6- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	57
Şekil 4.8 7- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği	58
Şekil 4.9 Deneylelerdeki Sıcaklığın Zamanla Değişimi	58
Şekil 4.10 Çekme Numunesinin Kuvvet-Uzama Grafiği	61
Şekil 4.11 4- Numaralı Deney Numunesinin Kopma Resmi	61
Şekil 4.12 Yatay Eksende Sertlik Alınan Noktalar	64
Şekil 4.13 1- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	64
Şekil 4.14 2- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	65
Şekil 4.15 3- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	65

Şekil 4.16 4- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	66
Şekil 4.17 5- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	66
Şekil 4.18 6- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	67
Şekil 4.19 7- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı	67
Şekil 4.20 Deneylerin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları	68
Şekil 4.21 4- Numaralı Isıl İşlem Görmüş Deney Numunesinin Sertlik Dağılımı	70
Şekil 4.22 7- Numaralı Isıl İşlem Görmüş Deney Numunesinin Sertlik Dağılımı	70
Şekil 4.23 Isıl İşlem Görmüş Numunelerin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları	71
Şekil 4.24 Isıl İşlemlili ve İşlemsiz 4- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları	72
Şekil 4.25 Isıl İşlemlili ve İşlemsiz 7- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları	72
Şekil 4.26 Sürtünme Kaynaklı Numunenin Tane Yapısı	74
Şekil 4.27 Malzeme Yapısında Oluşan Tane Yönlenmesi	75
Şekil 4.28 Farklı Parametrelerdeki Deneylerin Kaynak Yerlerinin Optik Mikroskop Görüntüleri(200X)	76
Şekil 4.29 1- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=8$ daN/cm ² , $P_2=15$ daN/cm ²)	78
Şekil 4.30 2- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=8$ daN/cm ² , $P_2=20$ daN/cm ²)	79
Şekil 4.31 3- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=10$ daN/cm ² , $P_2=15$ daN/cm ²)	80
Şekil 4.32 4- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=10$ daN/cm ² , $P_2=20$ daN/cm ²)	81
Şekil 4.33 5- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=15$ daN/cm ² , $P_2=15$ daN/cm ²)	82

Şekil 4.34 6- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=15$ daN/cm ² , $P_2=20$ daN/cm ²)	83
Şekil 4.35 7- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=20$ daN/cm ² , $P_2=15$ daN/cm ²)	84
Şekil 4.36 Isıl İşlemlili 7- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)	85
Şekil 4.37 Isıl İşlemlili 4- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)	86
Şekil 4.38 4-Numaralı Deney Numunesinin Mikroskop Görüntülerinin Alındığı Noktalar (500X)	87
Şekil 4.39 4- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (500X)	88
Şekil 4.40 7- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (500X)	89
Şekil 4.41 7- Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafi	92
Şekil 4.42 4- Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafi	93
Şekil 4.43 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu ($P_1=10$ daN/cm ² , $P_2=20$ daN/cm ²)	94
Şekil 4.44 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu	95
Şekil 4.45 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu	96
Şekil 4.46 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 4 Noktasının EDS Sonucu	97
Şekil 4.47 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 5 Noktasının EDS Sonucu	98
Şekil 4.48 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 6 Noktasının EDS Sonucu	99
Şekil 4.49 Deneylerden 7- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu ($P_1=20$ daN/cm ² , $P_2=15$ daN/cm ²)	100
Şekil 4.50 Deneylerden 7- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu	101

Şekil 4.51 Deneylelerden 7- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu	102
Şekil 4.52 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu	103
Şekil 4.53 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu	104
Şekil 4.54 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu	105
Şekil 4.55 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 4 Noktasının EDS Sonucu	106
Şekil 4.56 7- Numaralı Deney Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüleri	109

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Sekil</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Malzemelere Göre Optimum Kaynak Parametreleri	17
Çizelge 2.2	Sürtünme Kaynaklı Malzeme ve Malzeme Kombinasyonları	27
Çizelge 3.1	Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Bileşimleri	36
Çizelge 3.2	Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri	37
Çizelge 3.3	Deney Numaraları ve Kaynak Parametreleri	40
Çizelge 4.1	Kaynak Bölgesi Sıcaklıkları	54
Çizelge 4.2	Çekme Deneyleri Sonuçları	60
Çizelge 4.3	Isıl İşlem Sonrası Çekme Deneyleri Sonuçları	63

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu yüksek lisans çalışması sırasında bana her konuda yol gösterip, tüm bilgilerini benimle paylaşan, yardımını benden esirgemeyen çok değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarına ihtiyaç duyduğum bütün Makine Mühendisliği Bölümü hocalarıma, özellikle Doç. Dr. İrfan AY' a, hiçbir zaman yardımını esirgemeyen arkadaşım Levent FİDAN' a, fakültemizin atölye ve laboratuvarlarında çalışan memurlarımıza, Yüzbaşı İsmail ERSÖZLÜ' ye, Muzaffer BOZ' a, İDA Test çalışanlarına, Gebze' deki TÜBİTAK Araştırma Merkezi' ndeki görevlilere teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatımda, bana her zaman destek olan, hiçbir fedakârlıktan çekinmeyen, hayatım boyunca ne yaparsam yapayım borçlarını ödeyemeyeceğim babam Zeki DİNÇ ve annem Pakize DİNÇ' e sevgi ve saygımı sunar, sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir 2006

Dinçer DİNÇ

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla ilerleyen teknoloji, artmakta olan taleplere karşılık vermek zorundadır. Bu da ancak, zamanla eksiklikleri saptayıp gidermek ve kendini sürekli yenilemekle mümkündür.

İmalat teknolojisinin önemli alanlarından biri olan kaynak tekniği de çağa ayak uydurmalıdır.

Çeşitli kaynak usullerinde genelde rastlanan ve kaynağın kalitesini etkileyen ortak bazı sorunlar vardır. Farklı kristal yapıdaki kompozitlerin kaynak bağlantılarında istenilen dayanımı ve verimliliği almak her zaman mümkün olmayabilir. Kaynak sonrası malzemelerde gözlenen gevrek yapılar buna neden olabilmektedir. Bu faz tabakasının kalınlığı ve tane yapısı da kaynak kalitesini etkilemektedir. Bunun yanında oluşan gözenekler, curuf, iç gerilmeler ve ısı etkisi altında kalan alanın genişliği bu kaliteyi etkileyen faktörlerdendir. Bu noktada günümüzde yaygın olarak endüstride kullanım alanı bulan bir katı hal birleştirme kaynağı olan sürtünme kaynağı önem kazanmaktadır. Bu yöntemle bir problem olarak görünen farklı malzemelerin birleşimi başarıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Sürtünme ile doğan ısı ve sonrasında ortaya çıkan enerjiden faydalanma fikri çok eskilere dayanmaktadır. Ancak bu enerjiyi bir bağlantı oluşturmak amaçlı kullanma fikri ilk kez 1929 yılında Almanya’ da Richter tarafından ortaya konulmuştur, ardından 1942 yılında Klosstock tarafından İngiltere’ de kullanılmıştır [1].

Sürtünme kaynağının ticari amaçlı kullanılması fikrine bağlı olarak ilk bilimsel çalışma 1956 yılında Chdikov adlı bir Rus tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalarda iki metal çubuğu sürtünme kaynağı ile belli şartlarda birleştirip buna bağlı patent almıştır [2].

Lucas 1971 yılında yaptığı çalışmalarda, bir saniye süre ile dövme basıncının uygulanmasının gerekli olduğunu, yığma basıncının yüksek tutularak uygulanmasıyla, kısa kaynak sürelerinin kaynak bölgesini olumlu etkilediğini izlemiştir [3].

Duffin ve Crossland 1971 yılında yürüttükleri araştırmada, düşük karbonlu çelikler için yüksek yığma basınçları ve düşük kaynak sürelerinin malzemede daha ince taneli bir yapı oluşumuna sebep olduğunu görmüşlerdir [4].

Jenning 1971 yılındaki çalışmasında, 19mm çaplı Cr-Mo/Cr çelik çiftine kaynaktan önce ısıl işlemler uygulamış ve farklı kaynak parametrelerinde kaynak işlemlerini yapmıştır. Daha sonra bu parçaları bir dizi çekme, yorulma ve eğme deneylerine tabi tutup mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çekme deneylerinde bütün kopmalar kaynak bölgesi dışında olmuştur. Bu da ısıl işlemin çekme dayanımına olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir. Kullanılan kaynak parametrelerinden sürtünme basıncı ve yığma basıncının düşük seçilmesi en iyi çekme özelliklerini vermiştir [5].

Sereign ve Sabantsev (1975) 14,1 mm çaplı kaynak öncesi çeşitli derecelerde deformasyona uğramış St 20 çeliklerini kullanarak, diğer parametreler sabit kalmak şartıyla, $n = 1200-1400$ d/d gibi iki ayrı dönme hızında elde edilen sürtünme kaynaklı bağlantılara çentik darbe deneyi uygulamışlardır. Bu deneylerin sonucunda dönme hızının yüksek seçilmesi dayanımı arttırmıştır [5].

1980 yılında yayınlanan Welding Handbook' a bakılırsa genel olarak, düşük karbonlu çelikler için; sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa, orta ve yüksek derece karbonlu çelikler için; sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basıncı 100-420 MPa değerleri arasında uygulanmalıdır [6].

Alüminyum ile bakırın, daha önce yapılan sürtünme kaynağı araştırmalarında görüldüğü gibi, kesiti yaklaşık olarak 500 mm² ye kadar olan bağlantılarda dayanım değerleri, alüminyumun ana malzeme dayanımı ile sınırlı bulunmaktadır. Gürleyik (1988) yaptığı çalışmada ise 7800 mm² ye kadar olan oldukça geniş kesitlerinde,

sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceğini göstermiştir. Kaynak dikişinin yüksek dayanım ve elastizitesi, birleşme bölgesinde oluşan intermetalik fazlı difüzyon tabakası kalınlığının 2µm den daha az olması ile ilgili olduğunu açıklamıştır. Alüminyum ile bakırın sürtünme kaynağındaki mekanik özelliklerin, difüzyon tabakasının genişliğine bağlı olduğunu, bu bağlantıların, yüksek sıcaklıklarda yapılışında ise, ara tabaka genişliğinin, sınır değerleri aşmamasına dikkat edilmesini savunmuştur [7].

Grünauer, (1989) yapmış olduğu araştırmada sürtünme kaynağı ile, basınçlı döküm yapılmış alüminyum (G-AISI7Mg) ile preslenmiş alüminyum çubuk (AlZnMgCu 0.5) malzemeyi birleştirmiştir. Yapılan bir dizi deneyden sonra döküm borunun iç yapı oluşumunun çok düzgün ve ince olduğunu, kesitte büyük ötektik yapıların az olduğunu gözlemlemiştir. Bileşim bölgesine bağlı olmayan, bazı ince porlar oluşmuştur. AlZnMgCu-0.5 borusunun başlangıçtaki iç yapısı yeniden kristalize olmakta ve az sayıda deforme olmuş taneler görülmüştür. Yapılmış olan deneyler, döküm alüminyum parçalarında sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceğini göstermiştir [8].

Tanicheva 'nın 1989 'da takım çelikleri üzerine yaptığı bir çalışmada, kaynak bölgelerinden kırılan takım çeliklerinin yüzeyinde görülen hatayı ortadan kaldırmak için, sıcaklığın buna paralel olarak sürtünme basıncının yüksek olması gerektiğini savunmuştur [9].

Yılmaz ve arkadaşları (1995) ortak yürüttükleri çalışmada, deney malzemesi olarak 11.5 mm çapında, C45 alaşımsız ve HS 6-5-2 yüksek hız çeliği çubuklar kullanılmıştır. Deney parçalarının büyük bir bölümü, endüstriyel bir sürtünme kaynak makinesinde değişik kaynak parametreleri kullanılarak; diğer bir bölümü ise, endüstriyel bir yakma alın kaynak makinesinde sabit kaynak parametreleri kullanarak C45 tarafına farklı ön tav sıcaklıkları verilerek kaynak edilmişlerdir. Tüm bağlantılar, kaynaktan sonra fırın içinde 650° C de 4 saat süre ile tavlanmışlardır. Kaynaklı bağlantıların tümünde çubuk eksenine boyunca sertlik değişimleri ölçülmüş, kaynak bölgeleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş, değişimleri ölçülmüş, yapılan EDX ve WDX analizleri ile karbon ve ana alaşım elementleri olan Cr, W, V

ve Mo 'nin kaynak bölgesindeki difüzyonları ve metalurjik iç yapıya etkileri incelenmiştir. Bu incelemelerin ardından şu sonuçlara varılmıştır; yakma alın kaynaklı bağlantılarda, yüksek hız çeliğinden olan malzeme kaybını azaltmak amacı ile uygulanan ön ısıtma sıcaklığı 1 mm gibi çok az bir malzeme kazancı sağlarken, ek işlemler ve artan kaynak süresi yanında kaynak bölgesinin genişlemesine ve ara bölgedeki sertlik farkının artmasına neden olmuştur. WDX analizi ile elde edilen karbon profili ve aynı bölgedeki sertlik profili aynı karakteristikteki eğrilerdir. Karbon profilinde, C45 tarafında gözlenen karbon düşüşü ve yüksek hız çeliği tarafında gözlenen karbon artışı, C45 tarafından yüksek hız çeliği tarafına bir karbon göçü olduğunu açıkça göstermiştir. Bu karbon yapıda bulunan Cr ile birleşerek kabür çökeltileri oluşturmuştur. Kaynaklı bağlantının hemen C45 tarafında gözlenen sertlik düşüşü, saf ferrite yakın dekarbürize bölgeden kaynaklanmıştır. Kaynak sonrası sürtünme kaynaklı bağlantılarda da uygulanan ve tavlama sonrası martenzit ve artık ostenite rastlanılmayan, 650° C deki 4 saat süre ile tavlama yakma alın kaynaklı bağlantılarda yeterli olmamıştır. Bu da yakma alın kaynağında ısı girdisinin çok daha fazla olduğunu göstermiştir [10].

Kurban ve Kahraman çalışmalarında (1995), farklı özellikteki H2210 – St42 çelik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirmeleri sağlanmış ve devir sayısı, kaynak süresi, yükleme basını ile kaynak basıncının kaynaklı parçaların dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır [11].

Kahraman ve arkadaşları (1995) ortak yürüttükleri bir çalışmada ergime sıcaklıkları farklı H2210 çeliği ve alüminyumun sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi imkânlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel olarak kaynak parametreleriyle oynanarak bu parametrelerin kaynak dikişine etkilerini incelemişlerdir. Kaynak sırasında farklı ergime bölgelerinin oluştuğunu saptamışlardır. Bunun sebebinin kaynak metallerinin farklı ısıl özelliklerinin olduğunu düşünmüşlerdir. Ayrıca kaynak metallerinin mikro yapıları ve mekanik özellikleri inceleyerek kaynak dikişinin mukavemetinin alüminyumunkinden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir [12].

Kato ve arkadaşları 1996 yılında normalize edilmiş sürtünme kaynaklı bağlantılara farklı sıcaklıklarda bir dizi deney uygulamışlardır. Bu araştırmaya göre, normalize edilmiş kaynaklı bağlantının yutma enerjisi, normalize edilmemiş göre oldukça fazladır, normalize edilmiş bağlantıda yaklaşık 24° C olan enerji geçiş sıcaklığı, kırılma yüzeyindeki sıcaklık ile uyum içersindedir. Normalize edilmiş bağlantının geçiş bölgesindeki çatlak ilerleme dayanımı, normalize edilmemiş olana göre fazladır. Ayrıca normalize edilmiş kaynaklı bağlantının darbe eğilme mukavemeti, sıcak çekilmiş ana metalinkine yakındır [13].

Sahin ve arkadaşları 1996 yılındaki çalışmalarında; Al-Al, Al-Çelik ve Çelik-Çelik malzeme çiftlerini sürtünme kaynağı ile birleştirilmeleri sonucunda oluşan durumlar kıyaslanmıştır. Kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık değişimi modellenmiş, kaynak yeri çekme testleri ve mikro sertlik ölçümleri yapılmış, ısı tesiri altındaki bölgedeki metalurjik değişiklikler SEM ile incelenmiş, yüzeydeki sıcaklık artışı hesabı yapılmıştır. Kaynak kalitesinden etkilenen parametreler, istatistiksel analizle tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; kaynak parametrelerinin karşılıklı etkisi akma, çekme ve kırılma mukavemetini değiştirmekte, alüminyum parçadaki ITAB 'ın, Al – Çelik kaynaklı bağlantılarında daha geniş olduğunu ortaya koymuşlardır [14].

1998 yılında, Chen ve arkadaşları araştırmalarında, 14 mm çapında ASTM 1045' in karbon çeliği, C-4A-1 marka mantıklı programlanabilir bir sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak ara yüzeyinde oluşan derin olmayan çentikler CTS – 220 A adlı ultrasonik kusur ölçerle teste tabi tutulmuştur. Bu araştırmada kullanılan algoritma yöntemiyle tüm kusurlar belirlenememiştir. Zayıf yapışma bölgesi % 4,8 den küçük olduğunda malzemenin mekanik özelliklerini etkilemediği gözlenmiştir [15].

Farklı metaller arasındaki sürtünme kaynağı ile ilgili olarak yapılan FEM çalışmalarının sayısı sınırlıdır. Bu konuda önemli kaynaklardan biri, farklı kaynaklardan dolayı oluşan ısı dağılımının hesaplanması için sayısal simülasyonların sonuçlarını sunmuş olan Balasubramanian 'dır. Yapılan bu çalışma sadece ısı hesabını içermektedir. Alvise ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları bir çalışmada,

malzemelerin sürtünme kaynağıyla gerçekleşen temasında, deneysel olarak onaylanmış etkili bir sayısal malzeme modelini denemişlerdir. Sürtünme kanunu ve parametreleriyle ilgili sonuca varabilmek için orijinal bir yöntem kullanılmış ve önemi anlatılmıştır. Sonuçta çıkan artık gerilme değerleri, endüstriyel kaynak kalitesini açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca yapılan bu çalışmada kaynak sonrası oluşan saçağın nasıl olabileceği bile yüksek bir doğruluk derecesiyle önceden belirlenmiştir [16].

2003 yılında, Yılmaz ve arkadaşları beraber yürüttükleri bir çalışmada Al/ Çelik numunelerin sürtünme kaynağıyla birleştirilmeleri sırasında oluşan demir dışı fazların birleşmeyi etkilediğinden bahsetmişlerdir. Bu ara fazlar, FeAl, FeAl₂, FeAl₅ ve FeAl₃ olup, bunlar yüksek ısılarla kadar malzeme ara yüzeylerinde sabit kalırlar. Bu ara tabakaların çok ince veya çok kalın olması birleşmeyi olumsuz olarak etkiler. İdeal olan bu faz oluşumunun etkisini ortadan kaldırabilmektir. Bununla sürtünme kaynağı yapılacak malzemelerin arasında doğru seçilmiş bir ara katman kullanmakla olabileceğini ileri sürmüşlerdir [17].

2004 yılında, Özdemir ve Orhan beraber yaptıkları bir çalışmada, termomekanik işlemlerle tane boyutu küçültülmüş süperplastik haldeki ötektoid üstü çelik çifti, farklı işlem kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirilmiştir. Kaynak sonrası elde edilen mikro yapı ve mikro sertlik analizi sonuçlarından, bütün kaynaklı numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen mikro yapısal değişiklikte önemli farklılıklar gözlenmemekle beraber, numunelerde yaklaşık 200-500 µm genişliğindeki aşırı deformasyona uğramış bölge ve bu bölgenin bitişiğinde yine basıncın etkisiyle dövülmüş, taneler arasında plastik deformasyon etkisinin açıkça görüldüğü iki bölgenin varlığı tespit edilmiştir. Bu iki bölgede meydana gelen mikro yapısal bozunum ve plastik deformasyon miktarındaki değişim üzerinde, devir sayısı, sürtünme basıncı ve yığılma basıncının önemli derecede etkili oldukları gözlenmiştir [18].

Şahin 2004 yılındaki çalışmasında aynı boyda ama farklı çaplardaki silindirik AISI 1040 numuneleri sürtünme kaynağı ile birleştirerek ek yerlerini incelemiştir. Araştırmaları sırasında, çapsal oranlardaki artışın kaynak mukavemetini olumsuz

etkilediğini görmüştür. Bu etkiler, kaynak süresince kaynak elemanları arasındaki artan çap oranı ile artan ısı kaybının negatif sonuçları olarak söylenebilir. Bununla birlikte ısı kaybı kaynak elemanlarının yüzey bölgeleri ve ısı yığılması ile ilgilidir [19].

2004 yılında, Antonio ve arkadaşları yürüttükleri çalışmada, Ti-6Al-4V + 10% TiC malzemesinin sürtünme kaynağının birleşme noktalarındaki metalurjik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda ek yerlerindeki gerilme dayanımı, düşük dönme hızı ve basınçtan yararlanılarak iyileştirilmiştir. Bu şekilde iyi gerilme değerlerine sahip olan sürtünme kaynaklı Ti-6Al-4V + 10% TiC malzemeleri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dönme hızı ve basınç yüksek seçildiğinde daha geniş ve ince dönüşmüş bölgelere rastlanmıştır [20].

2004 yılında, Lee ve arkadaşları beraber yürüttükleri bir araştırmada TiAl alaşımını ve AISI 4140 'ı ara metal kullanarak sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirmişlerdir. Bu malzemelerin direkt olarak birleştirilmesi sırasında gevrek reaksiyon ürünlerinden dolayı ara yüzeyde çatlaklar gözlenmiş, TiAl 'da martenzit yapıya dönüşen alanın giderek genişlediği izlenmiştir. Bu dönüşümü önlemek için, saf bakır ara metal olarak kullanılmıştır. Sıcaklıkta etkilenen bölgenin genişliğini en aza indirmek için kullanılan bakır AISI 4140 tarafında uygulanmıştır. Diğer kaynak yöntemlerine göre daha yüksek gerilim gücü değerlerine ulaşılmıştır. Ara metal olarak saf bakırın kullanılmasıyla sürtünme kaynağı bağlantılarında daha iyi sonuçlar alınmıştır [21].

2005 yılında, Hascalik ve Orhan beraber yürüttükleri çalışmada Al 6061 alaşımı ile güçlendirilmiş Al₂O₃ ile SAE 1020 çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Bu araştırmanın sonucunda bunun mümkün olduğunu göstermişlerdir. Sürtünme kaynağı ek yerlerinin mikro yapı değerlendirmesinin sonunda, temel bileşik materyal, bileşik tarafında oksit parçalı, SAE 1020 'de plastik deformasyona uğramış ve temel SAE 1020 çeliği olmak üzere dört farklı bölgeye ortaya çıkmıştır. Oksit parçalanması, ek yerinin bileşik tarafında

oluşmuş ve parçalanma miktarının Al_2O_3 zerrelerinin büyüklüğüne göre arttığı saptanmıştır [22].

Taşkın ve arkadaşları (2005), beraber yürüttükleri çalışmalarında, AISI 430 ve AISI 1010 çelik çifti, 40 MPa yığılma basıncı, 6 sn lik sürtünme, 8 sn lik yığılma sürelerinde, 2000 ve 2200 dev / dak lık devirlerde, 25 ve 35 MPa 'lık farklı sürtünme basıncı, kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirilmiştir. Mikro yapı ve mikro sertlik analizi sonuçlarından, bütün kaynaklı numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen mikro yapısal değişiklikte önemli farklılıklar gözlenmemekle beraber, devir sayısının artmasıyla ITAB 'ın genişlediği ve aşırı deformasyona uğramış bölgede sertlik azalması görülmüştür. Ancak, artan devir sayısına paralel olarak birleşme ara yüzeyinde ulaşılan sıcaklığın artması ile birlikte, viskoz haldeki malzemenin dışarı taşma miktarında artış kaydedilmiş olup, aşırı deformasyona uğramış bölgenin daraldığı görülmüştür [23].

Sahin, AISI 304 çeliklerinin sürtünme kaynağı üzerine yaptığı çalışmada (2006) şu sonuçlara varmıştır; paslanmaz çeliklerin birleşme noktalarındaki gerilme dayanımı, sürtünme zamanı ve basıncın artmasıyla artar. Belli bir değerde maksimuma gelir ama sürtünme zamanı ve basınç artmaya devam ederse gerilme dayanımı düşmeye başlar. Elde edilen bu maksimum gerilme dayanımı esas metalin gerilme dayanımının % 96 'sı kadardır. Ek yerlerinin yorulma dayanımı da gerilme dayanımı özellikleriyle yakın davranışlar gösterir. Çentik etki dayanımı, ana metal olan AISI 304 ün yaklaşık iki katıdır. Kaynak yerleri statik ve dinamik yüklere kolaylıkla karşı koyabilir. Sertlik değişimlerine ve mikro yapılara bakıldığında AISI 304 'ün ek yerlerinin kaynaklı bölgesinde önemli bir sertleştirme etkisi olmadığı görülmüştür [24].

2. SÜRTÜNME KAYNAĞI

2.1 Giriş

Gelişen günümüz teknolojisi yeni imalat metotlarının doğmasına sebep olmuştur. Bu metotlar ile imal edilmesi zor olan malzemeler daha ekonomik, daha az zamanda ve daha az malzeme sarfiyatıyla üretilebilmektedir. Kaynak teknolojisinde son zamanlarda önemli gelişmeler olmuş ve bilinen kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi oldukça zor olan, ergime sıcaklıkları yüksek ve birbirinden farklı olan metaller bu gelişmelerle sorunsuz bir şekilde kaynaklanabilmiştir. Bu yöntemlerden biri sürtünme kaynağı yöntemidir. [12].

Kaynak teknolojisinde, farklı bileşim ve farklı kristal yapıdaki malzemelerin birleştirilmesi zordur. Kaynak sonrası oluşan iç gerilmeler, curuf, gözenekler, gevrek intermetalik fazlar, kaynağın kalitesini etkileyen unsurlardır. Sürtünme kaynağında malzemelerin ergime sıcaklığına ulaşmadan birleşmeleri sayesinde bahsedilen olumsuz unsurlar en az seviyelere inmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sürtünme kaynağı hem bir katı hal hem de bir tür basınç kaynağıdır. Bu kaynak parçaların birbirine sürtünmesiyle mekanik enerjiden doğan ısının yardımıyla gerçekleşir. Isının bu şekilde elde edilmesi ne elektriksel bir enerji ne de başka bir enerji kaynağı yardımı ile olur.

Yukarıdaki bilgiler ışığında sürtünme kaynağını şu şekilde tanımlamak doğru olur. 'sürtünme kaynağı, elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından faydalanmadan, malzemelerin ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme sayesinde bu mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak malzemelerin plastik deformasyona uğramasıyla gerçekleşen bir katı hal kaynak yöntemidir.'

Sürtünme kaynağının uygulanması basit bir işlem sayılabilir. Eksenel olarak birbirine temasta bulunan iki parçadan en az biri sabit bir hızda döndürülmekte iken, dönmesi engellenmiş olan diğer parça bunun üzerine hidrolik olarak bastırılır. Parçaların sürtünmekte olan yüzeylerinde ince bir tabakanın sıcaklığı, malzemelerin plastikleşerek basınçlı kaynak yapma sıcaklığına eriştiğinde, dönme hareketi frenlenerek aniden durdurulmakta ve bu sırada arttırılan basma kuvveti ile parçalar şişirilmektedir [12,25,26]. Bu metot ile aynı cinsten metaller birbiri ile kaynak yapılabildiği gibi, farklı cinsten malzemelerinde kaynatılması mümkün olmaktadır (Şekil 2.1).

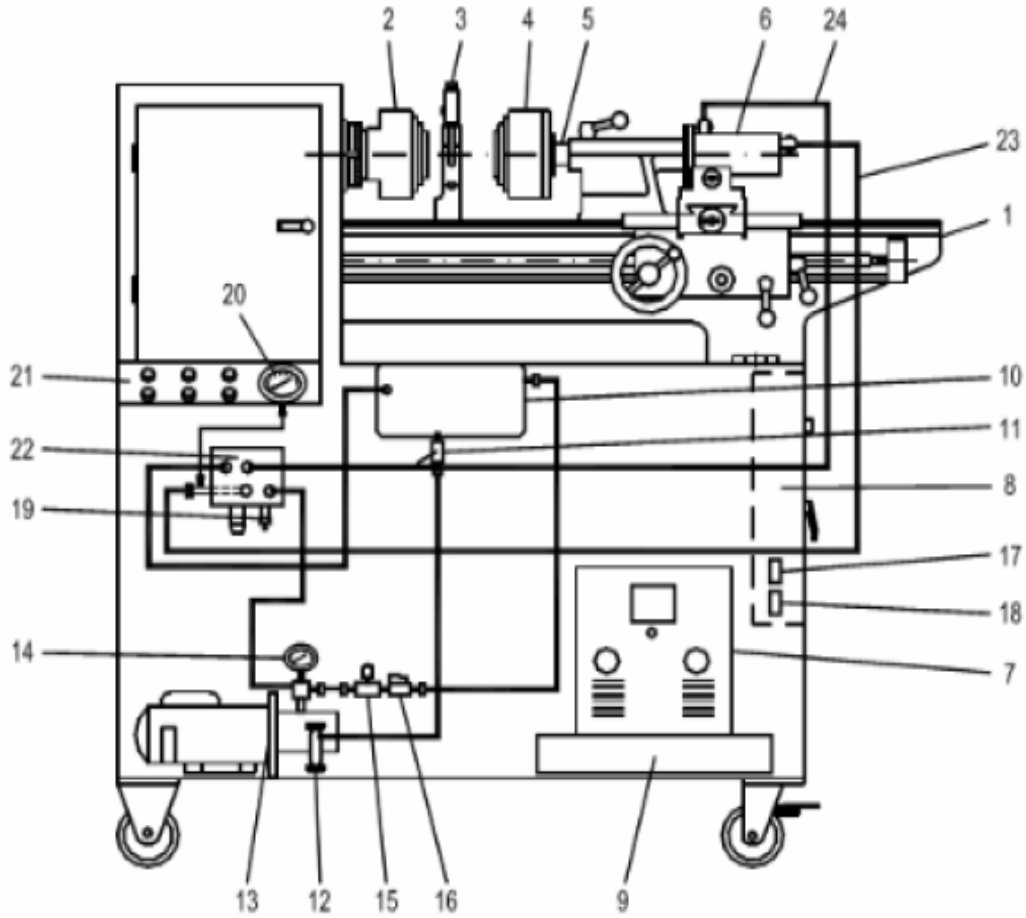


Şekil 2.1 Sürtünme Kaynağı [26]

Sürtünme kaynağı; bir parçanın döndürülüp diğer parçanın eksenel yönde ötelenmesi ile yapılabileceği gibi, dönen veya sabit duran ara parça kullanımıyla da yapılabilir. Ayrıca bu dönme hareketi yerine vibrasyon kullanarak sürtünme hareketi yaptırılabilir [27].

Genel olarak sürtünme kaynağı eksenel simetriye sahip ve daire kesitli parçaların birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen cihazların otomasyonu ve bilgisayar kontrol olanaklarının gelişmesiyle birlikte daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesinde de kolaylıkla kullanılabilir.

Sürtünme kaynağı cihazı tasarım olarak bir torna tezgâhını andırmaktadır. Bu makinelerin üzerinde birtakım değişiklikler yapıp modifiye edilmesiyle aşağıda bölümlerini rahatlıkla görebildiğimiz sürtünme kaynağı makineleri elde edilmektedir (Şekil 2.2).

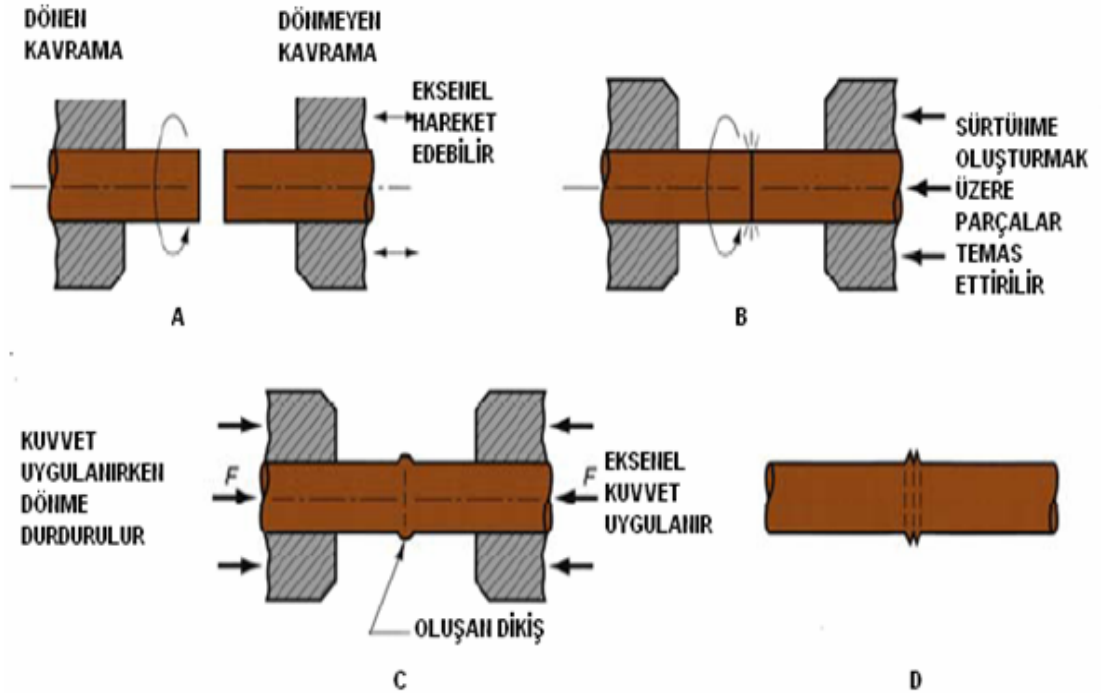


- | | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Torna | 9. Takım avadanlık kutusu. | 17. Zaman rolesi (I) |
| 2. Döner ayna | 10. Hidrolik yağ deposu | 18. Zaman rolesi (II) |
| 3. Merkezleme yatağı | 11. Küresel vana | 19. Basınç ayar valfi (II) |
| 4. Sabit ayna | 12. Filtre | 20. Hidrolik basınç göstergesi |
| 5. Piston kolu | 13. Hidrolik pompa | 21. Kumanda panosu |
| 6. Çift etkili silindir | 14. Yağ basınç göstergesi | 22. Yön Kontrol Valfi |
| 7. Manyetik fren ünitesi | 15. Basınç ayar valfi (I) | 23. Basınç Hattı |
| 8. Elektrik panosu | 16. Selenoid ventil | 24. Dönüş Hattı |

Şekil 2.2 Sürtünme Kaynak Cihazı ve Donanımı [26]

2.2 Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları

- Birleştirilecek parçalar, genelde ayna ve pens yardımıyla aksel olarak cihaza bağlanırlar. Bu parçalardan biri sabit iken, diğeri dönmektedir.
- İstenilen dönme hızına ulaşınca, iş parçaları birbirine temas ettirilerek sürtünme basıncı adıyla adlandırdığımız aksel bir itme kuvveti uygulanır.
- Sürtünmeye başlayan parça yüzeyleri ısınır ve ardından basıncın etkisiyle yığılma başlar.
- Dönmekte olan iş parçası durdurulur ve yine aksel bir kuvvet olan yığıma basıncı uygulanır. Bu şekilde parçaların kaynak işlemi gerçekleşmiş olur (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları [28]

Kaynak sırasında oluşan saçak şeklindeki yığılma, sürtünme kaynak cihazında bulunan aparatla veya ayrı bir torna makinesinde alınmalıdır. Bu saçığın alınmaması çentik etkisi yapacak buda kaynaklı bağlantının dayanımını olumsuz yönde etkileyecektir.

Sürtünme ısı, aksiyal mesafede parçanın ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa ulaştığı anda meydana gelmektedir [11].

Sürtünen yüzeylerde lokal olarak birbirine değen ve sürtünen tepeliklerin ani kaynaklandıkları ve bunların hemen koparıldığı bu sırada noktasal değme yerlerinde sıcaklıkların kısa bir süre için çok yüksek derecelere ulaştıkları hakkında bazı görüşler sunulmuştur. Gerçek olan şudur ki sürtünen yüzeylerde çok kısa bir zamanda yüksek sıcaklıklara erişebilmekte ve buda uygulanan baskı kuvveti altında parçaların birleşmesi için yeterli olmaktadır [29].

Sürtünme kaynağında, sadece parçaların kaynakla birleşeceği kısımlarda ısı üretimi söz konusudur. Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar devam eder. Genel olarak, çelikler için kaynak bölgesinde oluşan bu sıcaklık 900-1300° C arasındadır [27].

2.3. Sürtünme Kaynağı Parametreleri

Sürtünme kaynağında dikkat edilmesi ve sürekli kontrol edilmesi gereken birçok parametre bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sonunda bu parametrelerden en önemlilerinin; çevresel hız, sürtünme basınç kuvveti, sürtünme süresi, yığılma basınç kuvveti ve yığılma süresi olduğu görülmüştür. Bunun yanında dikkat edilmesi gereken parça geometrisi, malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti, malzemenin ısı kapasitesi, parça boyutunda meydana gelen kısılma gibi parametrelerde vardır.

2.3.1 Çevresel Hız

Sürtünme kaynağında birleşmedeki kaliteyi etkileyen en önemli parametre çevresel hızdır.

Çevresel hızın yüksek seçilmesi durumunda ara yüzeydeki sıcaklık artarken, çevresel hızın düşük seçilmesi ara yüzeyde yetersiz bir ısınmaya neden olacaktır. Bu durum çalışmayı etkileyecek kadar büyük momentlerin meydana gelmesine ve düzensiz ısıtmadan dolayı üniform olmayan yığılmaya neden olur. Sonuçta kaynak bağı bundan olumsuz olarak etkilenir.

Farklı metal bağlantıları için düşük çevresel hız, gevrek bir intermetalik yapının oluşumunu sınırlayabilir. Çevresel hızın yüksek tutulması durumunda ise ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişler, kaynak bölgesinde bu şekilde oluşabilecek yüksek ısının kontrolü için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

Çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilmektedir [30].

2.3.2 Sürtünme Basınç Kuvveti

Sürtünme basınç kuvveti, parça geometrisi ve kaynağı yapılacak malzeme çiftinin plastik şekil değiştirebilme yeteneğine bağlıdır.

Sürtünme basıncı ara yüzeydeki oksit filmlerini, yağ, kir, yabancı tabakaları ortadan kaldırıp yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve düzenli bir ısıtmayı sağlayabilecek değerde seçilmelidir.

Alaşımız ve düşük alaşımlı çeliğe uygulanan basıncı iki katına çıkarmak güç talebini % 50 arttırır. Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikte yapılan sürtünme kaynağı için güç gereksinimi, başlangıç durumu için $4,8 \text{ kw/cm}^2$ 'dir. Daha hızlı enerji girişi ve yüksek basınç, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) genişliğini etkiler. Metal yer

değiştirme oranını hızlandırır ve böylece kaynak zamanı kısalarak paralel olmayan kenarlı ısı bandı oluşturur. Eğimi düşük olan sıcaklık gradiyentinin iç yüzeyin hızlı soğumasına yol açması ve kaynak yeteneğini azaltan sert yapıların oluşması sebebiyle, hava ile sertleşebilen çeliklerin kaynağında bu durum önemlidir. Sürtünme süresince gerekli olan basınç değeri malzemeye bağlıdır. Atmosfer etkilerini önleyebilmek için iki yüzeyin yakın teması sağlanmalıdır [31].

2.3.3 Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi malzemeye göre değişir. Bu süre, sürtünen yüzeylerdeki tüm kalıntı ve pislikleri uzaklaştırabilecek, kaynak bölgesinin gerekli olan kaynak sıcaklığına en kısa zamanda ulaşmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Zamanın az veya çok olması malzemenin ısınması etkileyeceğinden kaynak kalitesine de tesir edecektir.

Optimumu aşan bir ısıtma süresi, düşük iletkenliğe, daha fazla malzeme tüketimine, aşırı yığılma ile birlikte geniş bir ITAB' ın oluşmasına sebep olur.

Uygun olmayan sürtünme süresi, düzensiz ısıtma ile beraber ara yüzeyde birleşmemiş bölgeler oluşmasına ve kirlenmelere yol açar.

2.3.4 Yığılma Basınç Kuvveti

Özellikle çeliklerde bağlantı kalitesini arttırabilmek için sürtünme periyodu ardından bir yığılma basıncı uygulanmaktadır. Bu basınç malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır. Yığılma basıncının yüksek olması kaynak yığılmasına neden olurken, düşük olması ise elverişsiz şekillendirmeye, dolayısıyla yetersiz kaynaklanmaya sebep olmaktadır.

Yığılma basıncı, malzemelerin birleştirilmesinin iyi olması için bu malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında bir değer olmalıdır. Aksi halde

yığma basıncı çok yüksek alınırsa malzeme fazla deformasyona uğrayacak, kaynak bölgesinde metalik olmayan yapılar istenilmeyen enine bir akış göstererek yeniden şekilleneceklerdir. Bu durum kaynağın kırılma tokluğunu ve yorulma dayanımını olumsuz etkiler.

Genel olarak, yığma basınç kuvveti paslanmaz çelikler için sürtünme basınç kuvvetinin iki katı olarak tavsiye edilirken, düşük karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa, orta ve yüksek karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basınç kuvveti 100-420 MPa arasında seçilir [31].

2.3.5 Yığma Süresi

Kaynak yapılacak parçaların ara yüzeyinde gereksinim duyulan plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandırmak için yığma basınç kuvvetinin uygulandığı süredir. Doğrudan malzemeye ilgilidir.

Yığma süresi malzemenin soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir.

Yığma süresinin de az veya çok olması aynı sürtünme süresi gibi, malzemenin ısınmasını etkileyeceğinden kaynak kalitesine tesir eder.

Ellis, sürtünme kaynağı üzerine yapmış olduğu araştırmalardan yola çıkarak, malzemelere göre optimum kaynak parametrelerinin neler olabileceğini saptamaya çalışmıştır [32] . Buna göre aşağıdaki tablo oluşturulabilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Malzemelere Göre Optimum Kaynak Parametreleri [31]

MALZEME	Çap(mm)	Sürtünme kuvveti(N/mm ²)	Yığma kuvveti(N/mm ²)	Sürtünme süresi(sn)	Yığma süresi(sn)	Çevresel hız(m/sn)
Alaşsız ve D. Alaşlı çelikler	20	20-80	80-200	1-100	250	0,5-5
C 60	20	50-80	150-250	3-6	2-3	3,5-6
42 CrMo4	20	50-80-	150-250	3-6	2-3	1,5-3
Yüksek alaşımlı çelikler	20	40-100	120-400	3-120	2-10	0,5-5
X5CrNi188	20	60-80	250-300	6-10	2-3	1,5-3
S6-5-3	20	60-100	190-250	10-15	2-3	1,5-3
Y.Sic. Dayanımlı alaşımlar	20	60-180	180-600	5-150	2-15	0,5-5
Nimonic 80	20	60-100	180-400	5-10	2-3	1,5-3
Inconel 713C	20	60-100	400-500	5-10	2-3	1,5-3
Hafif ve ağır metaller	20	10-80	20-250	1-8	2-5	0,5-4
E – Cu	20	10	20-60	1-6	2-5	4
TiAl6V4	20	20-30	60-80	2-8	2-5	1-4
Al 99.5	20	10-30	30-80	0,1-4	2-5	2-4
AlMgSi0.5	20	30-80	50-150	0,1-6	2-5	0,5-2
Pb	20	50-70	70-100	2-4	2-5	1,5-2

2.4 Sürtünme Kaynağı Metotları

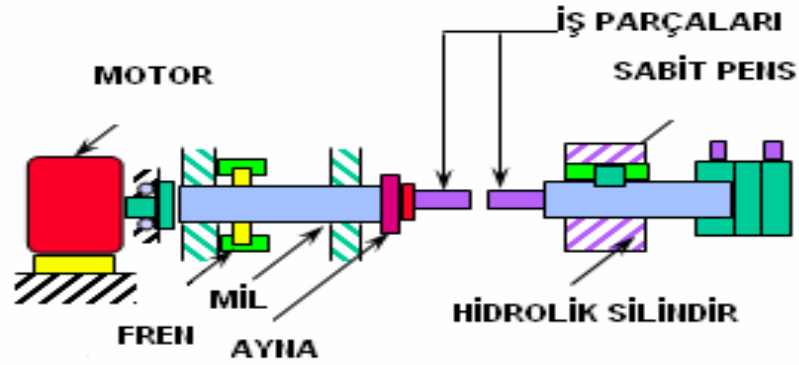
Sürtünme kaynağı, gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre farklı isimler alabilir. Genelde iki tür sürtünme kaynağı vardır. Bunların dışındaki yöntemler bu iki yöntemin ortak kullanıldığı ve frenleme biçimine göre dallara ayrılan yöntemlerdir.

Sürtünme kaynağı yöntemlerinde, tahrik şekli ve yığma işlemi birbirinden farklıdır.

2.4.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

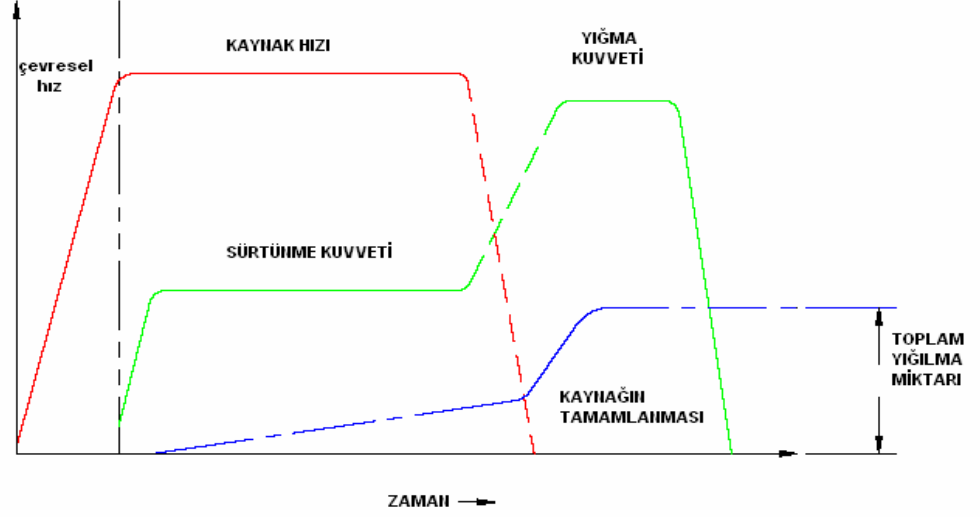
Kaynaklanacak parçalardan biri dairesel harekete sahip bir motor ünitesine bağlanırken, diğeri aynı ekseninde sabitlenir. Motor belirlenen devir sayısında döndürülmeye bununla beraber parçada belli bir hızda dairesel hareket yapmaya başlar, ardından sabit olan parça aksenal yönde hidrolik sistem yardımıyla hareket ettirilerek diğeri parçaya bastırılır. Sürtünen yüzeylerde mekanik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür, bu işlem yüzeyler yeterince ısınıp plastik şekil değiştirmeye başlayıncaya kadar devam ettirilir. Daha sonra motor bir frenleme sistemi yardımıyla durdurulur, daha önceden belirlenen değerde bir yığma kuvveti uygulanır ve bu arada malzeme soğumaya bırakılır [29]. Bu şekilde kaynak işlemi tamamlanmış olur (Şekil 2.4).

Temel kaynak parametreleri; devir sayısı, sürtünme süresi, sürtünme kuvveti, yığma süresi ve yığma kuvvetidir.



Şekil 2.4 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Cihazının Şematik Resmi [33]

Aşağıdaki grafikte sürekli tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı kaynak parametreleri görülmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağında Zamana Bağlı Kaynak Parametreleri [34]

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı üç aşamadan oluşmaktadır:

A) İlk Sürtünme:

Bu ilk aşamada döndürme momenti hızla artarak maksimum değere ulaşır ve aşama sonunda azalır. Momentin hızındaki bu değişim, parçaların yüzeyindeki pürüzlerin kopmasına neden olur. Sürtünme nedeniyle oluşan ısı ara yüzeydeki malzemenin yumuşamasını da sağlar.

B) Isınma:

Bu aşamada moment değerimiz sabit kalır, bununla birlikte malzemeler yığılmaya izin verecek ölçüde ısınırlar.

C) Yığma:

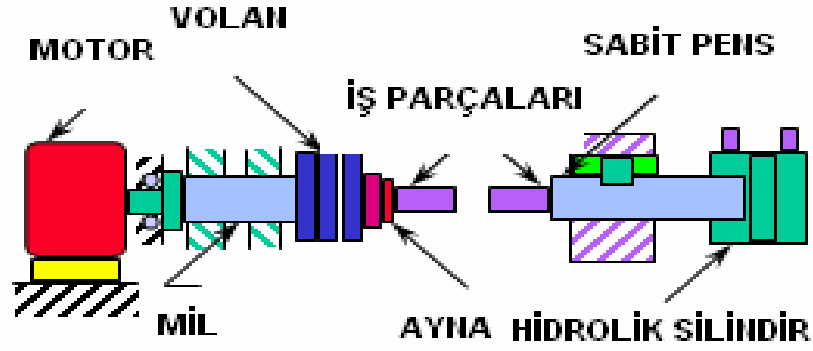
Yığılma, tahrik sisteminin ayrılıp frenlemenin başladığı anda devreye girer. Tahrik mili ayarlanan frenleme süresi ile yavaşlar. Yavaşlama malzemenin türüne bağlıdır. Fren ani bir şekilde uygulanırsa, moment aniden düşer ve yığılma meydana gelir [35].

Eksenel kuvvet sabit kaldığı zaman, frenleme süresinin uzatılması, yavaşlama hızını düşürerek yüklemeye değerini artırır. Eğer bu aşamada eksenel kuvvet artırılırsa frenleme süresi kısalmaya başlar ancak, uygulanan kuvvet daha büyük olduğu için maksimum değeri yükselmeye devam eder. Sürtünmenin artması burulmalı yığılmayı artırır. Bu aşamada, tahrik mili durdurulduktan kısa bir süre sonra sona erer. Basma ve yığma dönemi de dördüncü bir aşama olarak kabul edilebilir.

2.4.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

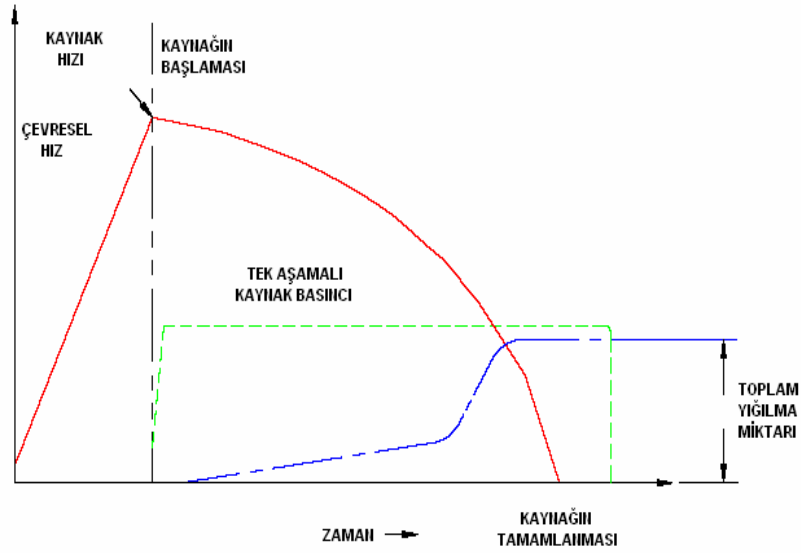
Bu yöntem atalet kaynağı olarak da bilinmektedir. Sistem, sürekli tahrikli sürtünme kaynağına çok benzer. Yalnız burada dönen parçaya tutunan mil bir volana bağlanmıştır. Volan önceden belirlenen bir hıza ivmelendirilir. Böylece dönme enerjisinden kazanılmış olan enerji volan üzerinde toplanır. Daha sonra malzemeler birbirine temas ettirilir ve hidrolik silindir ile belirli bir eksenel kuvvet uygulanır. Parçaların bu şekilde sürtünmesiyle volandaki enerji ara yüzeyler arasında ısı enerjisine dönüşür. Volanın hızının azalmasıyla beraber kaynak bölgesi ısınır. Ayrıca bir fren yapma gereği duymadan, tahrik motorunun devreden çıkarılması sayesinde volanın hızı azalır ve durur [15]. Bazı durumlarda volan tamamen durmadan basınç artırılabilir (Şekil 2.6).

Temel kaynak parametreleri; devir sayısı, yığma kuvveti, yığma süresi ve volanın kütesidir.



Şekil 2.6 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı Cihazının Şematik Resmi [33]

Aşağıda, volan tahrikli sürtünme kaynağının zamana bağlı kaynak parametreleri grafikte sunulmuştur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağında Zamana Bağlı Kaynak Parametreleri [34]

Bir volan tahrikli sürtünme kaynağı da üç aamadan oluşmaktadır:

A) İlk Sürtünme:

Sürtünen yüzeylerin birbirine temasıyla balar, momentin maksimum seviyeye çıkıp daha sonra sabit bir düzeye inmesiyle sona erer.

B) Isınma:

İkinci aşamada, ısı, yüzeyler arasından uzağa doğru iletilir. Bu esnada parçalarda aksenal ksalma az olur. Enerji volandan alınarak, volanın hızı dmeye devam eder.

C) Yığma:

Hız belli bir seviyeye düştüğünde, volan tarafından dağıtılan enerji, yüzeyler arasında iletilen miktardan daha az olur. Hız ve sıcaklık dmeye devam ettiği sırada yığma balar. Metal sertleirken moment tekrar daha yüksek bir seviyeye yükselir. Kaynak soğurken hız ve moment sıfıra der [6,35].

2.4.3. Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı

Bundan önce bahsettiğimiz iki kaynak çeşidinin ortaklaşa kullanıldığı kaynak türüdür. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde avantajlı olduğu söylenebilir. Bu kaynak yönteminde iki safha vardır. Bu safhalar sürtünme ve yığma safhalarıdır. İşlemin başlangıcında kuru sürtünme hâkimdir ve bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi zirve yaptıktan sonra tekrar dengeye gelir. Süreç içerisinde oksit tabakalarının parçalanması sonucu yüzeyde temaslar sırasında kuvvetli atomsal bağlar oluşmaya balar. Bu bağlar sürtünme hareketi ile koparılmaya çalışılır. Sonuçta temas noktalarında büyük adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık arzu edilen seviyeye ulaşır. Frenleme sonrası hız azalırken moment de sıfıra der [27,36].

İkinci safhada ise, kaynak numuneleri sürtünme ile yeterince ısıtıldığında, atalet momentine sahip olan mil durdurulur. Yığma işlemi için basınç korunur veya arttırılır. Bu basınç, kaynak edilecek malzemelerin sıcaklık mukavemetine göre seçilir [36].

Temel kaynak parametreleri; devir sayısı, sürtünme süresi, sürtünme kuvveti, yığma süresi, yığma kuvveti ve frenlemeye başlama zamanıdır.

2.5 Birleşme Bölgesindeki İç Yapı

Sürtünme kaynağında yapılan kaynak dikişinde de, ergitme ve difüzyon kaynaklarındaki gibi, kaynak malzemelerinin birbirine karıştığı bir bölge ve bu bölgenin etrafında her iki malzeme tarafında da ısıdan etkilenmiş alanlar mevcuttur. Malzemelerin birbirine karıştığı bölgede difüzyon söz konusu olup atomlar karşılıklı yer değiştirir. Isıdan etkilenen bölgeler genelde kaynak sırasında oluşan sıcaklığın, değer olarak yaklaşık malzemelerin erime sıcaklıklarının yarısına kadar çıktığı ve daha da üzerine çıktığı alanlardır.

Sürtünme kaynağı sırasında farklı malzemelerde meydana gelebilecek iç yapı değişimleri aşağıda sıralanmıştır:

- a. İntermetalik fazın oluşması.
- b. Yüksek karbonlu alaşımsız çeliklerde karbon miktarının azalması
- c. İç yapı da rekristalizasyon
- d. Ergitme sıcaklığı malzemelerin kendinden daha az olan ötektik alaşımların oluşması.
- e. İç yapıda tane irileşmesinin olması
- f. Çeliklerde martenzitik içyapı dönüşümü

Yukarıda maddeler halinde verilen durumlar, kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

İntermetalik fazlar sert ve gevrek olduklarından kalınlıkları belli genişliği aşınca buldukları tabaka boyunca aşırı bir gevrekleşme gösterirler.

Alaşımız çeliklerde karbon azalması lokal olarak mukavemet değerlerinin azalması demektir. Bu şekilde oluşan yumuşak bölgelerin kaynak bağlantılarının mukavemeti de az olacaktır.

İç yapı da rekristalizasyon veya tanelerin irileşmesi, yumuşak bölgelerin oluşmasına neden olur.

Martenzitik dönüşüme uğrayan bölgeler de belli bir büyüklük ve sertliği aşınca intermetalik fazlarda olduğu gibi gevrekleşmeye neden olurlar.

Sürtünme kaynağının kısa sürmesi ve bu sırada sıcaklık artarken, daha sonrada şişirme esnasında aşırı plastik deformasyonların meydana gelmesi, diğer kaynak metotlarına göre malzeme iç yapı dönüşümünü azaltıcı yönde bir avantaj sağlar [37].

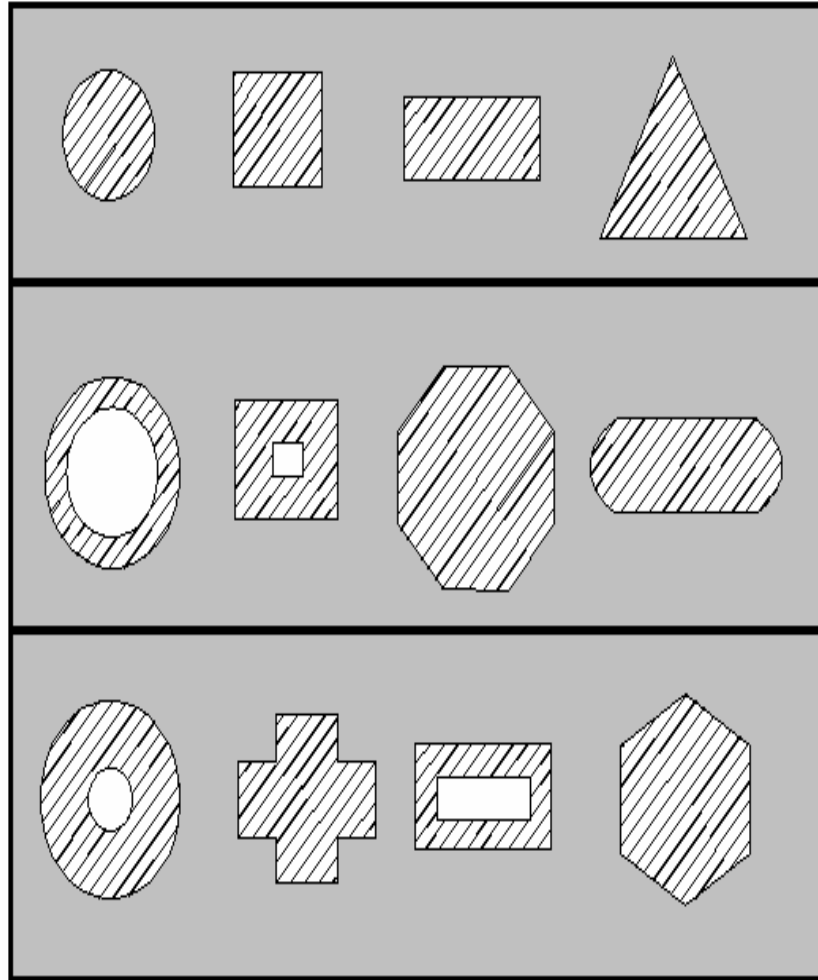
2.6 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Parça Geometrileri

Sürtünme kaynağı genel olarak aksenal simetriye sahip ve dairesel kesitli parçaların birleştirilmesinde kullanılırken, cihazların otomasyonu ve bilgisayarlı kontrol olanaklarının gelişmesiyle birlikte daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesinde de kolaylıkla kullanılmaktadır.

Sürtünme kaynağı ile hem içi dolu hem de boş kesitlerin kaynağını yapmak mümkündür. Dolu kesitlerde parça için çap değeri 1mm' den 300 mm' ye kadardır. Parçalar eğer boş ise, birbirine benzer büyüklükteki kesit alanlarına sahip olanları sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Günümüzde yapılan çok sayıdaki araştırmalar

sonucunda, sürtünme kaynağı ile birçok basit biçimli parçanın birleştirilmesi imknı ortaya çıkmıştır. Az önce bahsedilen teknolojinin gelişmesiyle, sürtünme kaynağı cihazındaki dönel aynanın istenilen pozisyonda frenlenmesi sayesinde, dönel simetrisi olmayan kesitli parçaların da alın kaynağının yapılabileceği ve meydana gelebilecek açısal çarpılmaların önlenebileceği ortaya konmuştur [38].

Bazı çalışmalarda, dikdörtgen kesitli yüksek kalite çeliklerinin de kaynağının mümkün olduğu grlmştir (şekil 2.8).



şekil 2.8 Sürtünme Kaynağına Uygun Parça Kesitleri [39]

2.7 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Malzemeler

Farklı özellikteki malzemelerin birleştirilmeleri endüstride büyük önem arz etmektedir. Sürtünme kaynağı teknikleri, benzer ve benzer olmayan birçok malzeme çifti için son derece uygundur.

Kolaylıkla seri imalata uygulanabilen sürtünme kaynağı, eritme kaynak yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da uygulanabilmektedir. Yapılan araştırmalarda, Titan-Çelik, Çelik-Zirkonyum, Zirkonyum-Zirkonyum çiftlerinin kaynağı bile bu yöntemle başarıyla gerçekleştirilmiştir [29]. Kaynağı zor olan metal çiftlerinin ise genelde kaynak sırasında sıcak gevreklik gösteren çelikler olduğu bilinmektedir (Şekil 2.9).



(a)



(b)

Şekil 2.9 a-) Elektrik Konektörleri (6061-T61 Alüminyumu ETP 110 Bakıra)

b-) Geçiş Bağlantıları (304/304L Paslanmaz Çeliği-2219 Alüminyuma) [34]

Aşağıdaki tabloda bazı malzeme ve malzeme kombinasyonları için sürtünme kaynağının uygunluğu rahatlıkta görülmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Sürtünme Kaynaklı Malzeme ve Malzeme Kombinasyonları [39]

Sürtünme Kaynaklı Malzeme ve Malzeme Kombinasyonları	Tungsten-Bakır Toz Metalurji	Tungsten Toz Metalurji	Titanyum, Titanyum Alaşımları	Çelik (Kesilebilir)	Çelik Toz Metalurji	Dökme Çelik (Östenitik)	Yüksek Alaşımlı Çelik (Östenitik)	Yüksek Alaşımlı Çelik (Ferritik)	Düşük Alaşımlı Çelik	Alaşım sız Çelik	Niobyum	Nikel Alaşımları Toz Metalurji	Nikel, Nikel Alaşımları	Molibden	Magnezyum, Magnezyum Alaşımları	Bakır, Bakır Alaşımları	Sert Metal	Dökme Demir (GGG-GT)	Alüminyum Toz Metalurji	Alüminyum, Alüminyum Alaşımları
Alüminyum, Alüminyum Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆					◆	◆		◆	◆	◆
Alüminyum Toz Metalurji							◆	◆	◆	◆									◆	
Dökme Demir (GGG-GT)							◆	◆	◆	◆								◆		
Sert Metal							◆	◆	◆	◆							◆			
Bakır, Bakır Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆						◆				
Magnezyum, Magnezyum Alaşımları										◆					◆					
Molibden														◆						
Nikel, Nikel Alaşımları			◆				◆	◆	◆	◆		◆	◆							
Nikel Alaşımları Toz			◆				◆	◆	◆	◆		◆								
Niobyum			◆				◆	◆	◆	◆	◆									
Alaşım sız Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆										
Düşük Alaşımlı Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆										
Yüksek Alaşımlı Çelik (Ferritik)				◆	◆	◆	◆	◆												
Yüksek Alaşımlı Çelik (Östenitik)		◆	◆	◆	◆	◆	◆													
Dökme Çelik				◆	◆	◆														
Çelik Toz Metalurji				◆	◆															
Çelik (Kesilebilir)				◆																
Titanyum, Titanyum Alaşımları			◆																	
Tungsten Toz Metalurji	◆	◆																		
Tungsten-Bakır Toz Metalurji	◆																			

2.8 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları

Sürtünme kaynağı günümüzde birçok dalda uygulama alanı bulmaktadır. Sürtünme kaynağı seri üretime uygun olduğu kadar, tamirat gibi az sayıda parçaların söz konusu olduğu durumlarda da başarıyla kullanılmaktadır.

Sürtünme kaynağının çeşitli endüstrilerde kullanım alanları şunlardır:

A) Makine İmalatı ve Hidroelektrik Endüstrisi

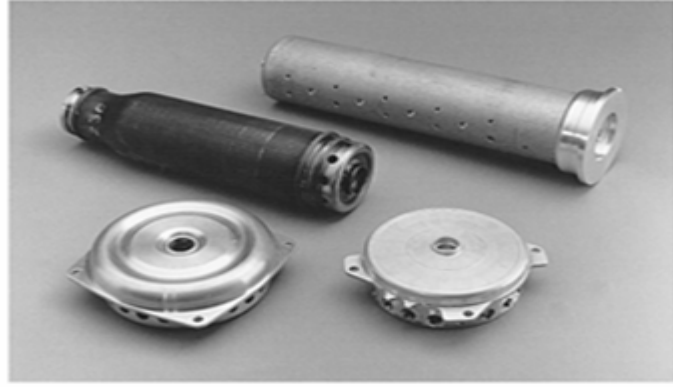
Dişli çarklar, radyal pompalar, piston kolları matkap uçları, hidroelektrik silindirleri, sonsuz vidalı miller, krank milleri, çelik kalemler, delici zımbalar, valfler, rayların kaynatılması, freze bıçakları, iğneler, dişli pompa rotorları petrol araması ve sondaj sektöründe kullanılan boruların birleştirilmesinde [31].

B) Kesme ve Delme Takım Endüstrisi

Raybalar, matkapların uçları, freze bıçakları, delik zımbaları vb. elemanların imalatında sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır [39].

C) Otomotiv Endüstrisinde

Aks milleri, subaplar, dişli-mil parçaları, aks milleri, çatal-mil bağlantıları vb. parçaların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır [34]. Aşağıda buna ilişkin örnekler yer almaktadır (Şekil 2.10).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.10 a-) Sürücü ve Yolcu Tarafı Otomobil Hava Yastığı Pompaları,
b-) Kompresör Pistonları, c-) Gövde Montajı [34]

D) Hidrolik Endüstrisi

Radyal pompa pistonları, hidrolik silindirler, vb. parçaların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Hidrolik Silindir

E) Elektronik ve Elektroteknik Endüstrisinde

Sürekli lehim uçları, devre kontakları, kromatograflar için ayırma sütunları, gaz analizleri için alıcı kameralar, röntgen cihazı tüpleri için anod milleri, geçiş parçaları, flanşlar, fittingsler, boru tesisatı bağlantıları vb. parçaların imalinde sürtünme kaynağı uygulanmaktadır [35,39].

F) Havacılık ve Uzay Endüstrisinde

Yanma odaları, miller, rotorlar, flanşlar, fittingsler, itme jetleri, borular, bağlantı parçaları, vb. malzemelerin yapımında sürtünme kaynağı uygulanmaktadır [34,36]. Bu kullanıma ait bazı resimler verilmiştir (Şekil 2.12).



(a)



(b)

(c)



(d)

Şekil 2.12 a-) Ticari Helikopter Rotor Gövdesi-2024 Alüminyum, b-) Roket Yakıt Sisteminde Kullanılan Geçiş Bağlantıları, c-) Mars Lander Basınç Depo Fittingsleri (6-4 Titanyum/6061-T6 Alüminyum), d-) MK 48 Ateşleyici Montajı (304Paslanmaz/6061-T6 Alüminyum) [34]

G) Onarım Amaçlı

Sürtünme kaynağı, yüklenmelerden dolayı aşınmış, plastik deformasyona uğrayarak eğilmiş parçaların atılmasının yerine onların onarılıp çalışır hale getirilmesinde de verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Ayrıca kimya endüstrisinde ve gemi inşaatı sektöründe de sürtünme kaynağı kullanım alanı bulmaktadır [36,39].

2.9 Sürtünme Kaynağının Avantajları

- a) Kullanılan enerji bakımından, diğer kaynak yöntemlerine göre daha tasarrufludur.
- b) İlave metal kullanılmadığı için, bütün kesitte düzgün bir kaynak kalitesi sağlanabilir.
- c) Kaynak bölgesi, kir, pas ve oksit içermez.
- d) Kaynak sonrası oluşan kaynak bölgesinin mukavemeti, birleştirilen malzemelerin dayanımına eşit hatta bazı durumlarda daha fazla olabilir.
- e) Bilinen kaynak yöntemleriyle birleştirilebilmesi zor olan farklı kompozit malzemeler sürtünme kaynak yöntemiyle kolaylıkla birleştirilebilmektedir.
- f) Kaynağın yapım aşaması çok kolay ve kaynak yüzeylerinde tam anlamıyla bir birleşme söz konusudur.
- g) Kaynak parametrelerini kontrol edebilmek basittir.
- h) Sadece silindirik değil, çok farklı kesitteki malzemelerin kaynağını yapmak mümkündür.

- i) Kaynak sırası ve sonrası ısı değişikliklerindeki hızlı değişimler, kaynak bölgesinde ince taneli bir yapı oluşumuna sebep olur, buda mukavemeti korur.
- j) Sürtünme kaynağı sırasında sürtünmenin etkisiyle oksit, yağ gibi yabancı maddeler yüzeyden uzaklaştırılır.
- k) Kaynak öncesi ayrıca bir temizleme gerekmez.
- l) Kaynağın süresi kısa, birleştirilme sıcaklığı düşüktür.
- m) Isıdan etkilenen bölge dardır.
- n) Koruyucu bir atmosfere gerek yoktur.

2.10 Sürtünme Kaynağının Dezavantajları

- a) İş parçasının boyutları, sürtünme kaynak makinesinin boyutlarıyla sınırlanmaktadır.
- b) Kaynak sonrası gevrekleşme söz konusudur.
- c) Oksijene karşı büyük ilgi vardır.
- d) Kaynak sonrası parçaların boyunda belirli bir kısalma söz konusu olduğundan, malzeme sarfiyatı söz konusudur.
- e) Genelde malzeme listesini kendi ekseni etrafında dönebilen malzemeler oluşturmaktadır.

- f) Büyük kesitli parçalarda homojen bir ısıtma söz konusu olmadığından kaynağın yapımı zorlaşmaktadır.
- g) Sürtünme kaynağı makinesinin ve teçhizatının maliyetleri yüksektir.
- h) Su verilmiş veya su alınmış malzemelerde mukavemet düşer.
- i) Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde kaynak sonrasında sertleşme söz konusu olur.
- j) İş parçaları, aksenal yönde basınca, ısıya ve torca karşı dayanıklı olmalıdırlar.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Yapılan deneylerde AISI 304 (östenitik paslanmaz çelik) ve AISI 1040 çelikleri kullanılmıştır. Bu iki farklı çelik türünün kaynak edilebilirliği incelenmiştir.

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği veren yapısında bulunan ana alaşım elemanı kromdur. Paslanmaz çelikler denilen çelik grubu bileşimlerinde en az % 11 krom içerirler. Bu çeliklere yüksek korozyon dayanımı sağlayan unsur, yüzeyde meydana gelen kararlı kromoksit tabakasıdır. Paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı ve mekanik özelliklerini daha iyi bir seviyeye taşımak için kromun yanında nikel ve molibden de alaşım elemanı olarak kullanılmaktadır [40].

Paslanmaz çelikler metalurjik yapılarına göre, östenitik, ferritik ve martenzitik olmak üzere üç gruba ayrılır.

AISI 304 çeliğinin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir, kaynaklanabilme özelliği çok iyidir, korozyon dayanımı mükemmeldir, sünek olduklarından kolayca şekil verilebilir, temizlenmesi ve bakımı çok kolaydır, manyetik değildir, dayanımını arttırmak için soğuk şekillendirme kullanılır, hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyidir.

AISI 304 çeliğinin kullanım alanları; gıda işleme makineleri, mutfak araç ve gereçleri, makine ve imalat sanayi, kimya endüstrisi, asansörler, bina dış cephe kaplamaları olarak göze çarpmaktadır.

AISI 1040 çeliği ise genelde dişli yapımlarında, transmisyon millerinin ve rayların imalinde kullanılmaktadır [18].

Sürtünme kaynağı ile yüksek mukavemetli birleştirmeler elde edilebilir. AISI 304 çeliği piyasada temin edilmesi zor ve pahalı bir malzeme olarak bilinir. AISI 1040 çeliği ise malzeme piyasasında kolaylıkla bulunur ve maliyeti düşüktür. Bu durumda bu iki çeliğin birleştirilmesi ve gerekli mukavemetin sağlanabilmesi ile malzeme maliyetinde tasarruf sağlanacağı kesindir.

Deneylerde kullanılan, soğuk çekme yöntemi ile üretilmiş olan malzemelerin kimyasal bileşimleri, Balıkesir 6. Bakım Merkezi Komutanlığı Laboratuvarı 'ndaki Baird marka spektrum analiz cihazı ile belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Bileşimleri

MALZEME ADI	C	Ni	Cr	Si	Mn	P	Cu	Mo	Nb	Fe
AISI 1040	0,392	0,072	0,020	0,201	0,780	0,013	0,072	0,003	0,006	98,391

MALZEME ADI	C	Ni	Cr	Si	Mn	S	Cu	Mo	Nb	Fe
AISI 304	0,063	8,221	18,785	0,287	1,341	0,014	0,162	0,03	0,001	70,973

Deneylerde kullanılan AISI 1040 çeliği ve AISI 304 paslanmaz çeliğinin akma mukavemetleri, çekme mukavemetleri, kopma uzamaları ve sertliklerinden oluşan mekanik özellikleri deneyler sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Bu veriler daha sonraki deneylerde elde edilen sonuçların kıyaslanmasında yardımcı olacaktır.

Deneylerde kullanılacak olan numuneler, İDA-TEST Beton ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarındaki ALFA marka dijital kullanım panolu çekme cihazında testlere tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.2 Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

MALZEME ADI	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlikler (HV30)		
AISI 304	738,6	881,2	35	205	203	207
AISI 1040	693,6	915,1	5,25	230	229	233

3.2 Sürtünme Kaynak Cihazı ve Teknik Özellikleri

Çalışmalarda, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi bünyesinde bulunan sürekli tahrikli sürtünme kaynağı cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın ilk montajı ardından yapılan bazı düzenlemelerle tezgâhın hem elle hem de bilgisayar kontrollü olarak çalışması mümkün hale getirilmiştir.

Bilgisayar kontrolüne geçilerek, kaynak işleminin daha rahat ve sağlıklı bir şekilde yürütülmesine imkân sağlanmıştır.

Çalışılan bu tezgâhta, bilgisayar kontrolü, İsmail ERSÖZLÜ tarafından hazırlanan “Delphi 6” adlı programlama dili ile yapılmış bir bilgisayar programı ve bu emirleri kusursuzca sisteme aktarabilecek bir kontrol ünitesi yardımıyla sağlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sürtünme Kaynağı Cihazı ve Bilgisayar Kontrol Ünitesi

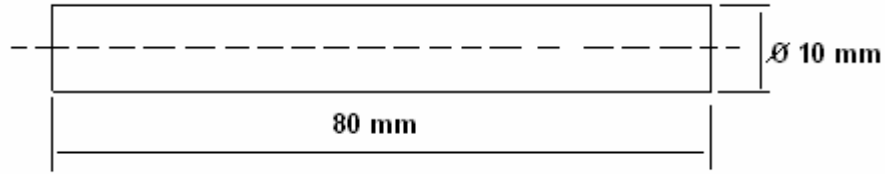
Çalışmalarda kullanılan sürekli tahrikli sürtünme kaynak cihazının teknik özellikleri şunlardır [39]:

Tezgah Genişliği	: 600 mm
Tezgah Boyu	: 1550 mm
Tezgah Yüksekliği	: 1170 mm
Elektrik Motoru Devri	: 1440 d/ dak
Elektrik Motoru Gücü	: 7.5 kW
Hidrolik Pompa Motor Devri	: 1420 d/ dak
Hidrolik Pompa Motor Gücü	: 1.5 Kw
Hidrolik Pompanın Tipi	: Dişli

3.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan AISI 1040 ve AISI 304 silindirik numuneler Balıkesir Üniversitesi Takım Tezgâhları Atölyesindeki üniversal tornada hassas olarak işlenerek Şekil 3.2 de gösterilen ölçülere getirilmiştir.

Yapılan araştırmalar ve sürtünme kaynağı tezgâhı özelliklerine göre belirlenen numune boyutları hem AISI 1040 hem de AISI 304 için aynı seçilmiştir.



Şekil 3.2 Sürtünme Kaynağı İçin Hazırlanan Numune Boyutları

Torna tezgâhındaki alın tornalama esnasında devir sayısı çok yüksek seçilmeyerek bu şekilde malzemede yüksek ısı oluşumundan dolayı değişebilecek kimyasal yapının önüne geçilmiştir.

Hassas tornalama sonucunda, sürtünme kaynağında olması istenen en önemli durumlardan olan, parçaların yatayda aynı ekseninde çakışması ve alınlarının tamamının temasta bulunması hali sağlanmıştır.

Numunelerin torna tezgahındaki işlemlerinin ardından birleşecek alın yüzeyleri sulu zımparalama yöntemiyle sırasıyla 180-320-400-600-800-1000-1200 numaralı zımparalardan geçirilmiştir. Bu şekilde kaynağın kalitesini olumsuz etkileyebilecek oksit, yağ, vb. yüzeyden uzaklaştırılmıştır. Aynı zamanda kaynak sonrasında çentik etkisi yaratabilecek istenmeyen parçacıklarda ortadan kaldırılmıştır.

Bu zımparalama işlemleri, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında bulunan Metkon marka çift taraflı zımpara cihazında dikkatlice gerçekleştirilmiştir.

3.4 Sürtünme Kaynağı Deneyleri ve Kaynak Parametreleri

Bu çalışmada sürtünme kaynağı yöntemi ile AISI 304 ve AISI 1040 'ın birleşebilirliği ve yapılan kaynağın kalitesi araştırılmıştır.

Yapılan literatür çalışmaları ve ön denemeler sonucunda, bu iki farklı çeliğin sürtünme kaynağı için uygun olabileceği düşünülen kaynak parametreleri 7 farklı şekilde Çizelge 3.3 verilmiştir [12,26].

Çizelge 3.3 Deney Numaraları ve Kaynak Parametreleri

DENEY NUMARALARI	DEVİR SAYISI (n) (dev/dak)	SÜRTÜNME BASINCI (P ₁) (daN/cm ²)	SÜRTÜNME SÜRESİ (t ₁) (s)	YIĞMA BASINCI (P ₂) (daN/cm ²)	YIĞMA SÜRESİ (t ₂) (s)
DENEY- 1	3000	8	6	15	6
DENEY- 2	3000	8	6	20	6
DENEY- 3	3000	10	6	15	6
DENEY- 4	3000	10	6	20	6
DENEY- 5	3000	15	6	15	6
DENEY- 6	3000	15	6	20	6
DENEY- 7	3000	20	6	15	6

Deneylerde, sürtünme basıncı 8, 10, 15, 20 daN/cm², yığma basıncı 15, 20 daN/cm² olarak alınmıştır. Yığma ve sürtünme basıncı süreleri sabit tutulup 6 saniye olarak ayarlanmıştır. Yapılan çalışmalarda yığma basınçları sürtünme basınçlarından yüksek alınmıştır. Sadece 7 numaralı deneyde yığma basıncı

sürtünme basıncından düşük seçilerek bu durumun kaynak kalitesini nasıl etkilediğinin görülmesi istenmiştir.

Sürtünme kaynağı deneyleri sırasında, cihazın motoruna bağlı dönel aynaya AISI 304 numuneleri, hidrolik mekanizmaya bağlı olan sabit pense ise AISI 1040 numuneleri bağlanmıştır.

Belirlenen deney şartları, Delphi 6 programlama dili ile hazırlanmış programla uygulanmıştır.

Bilgisayar programı iki pencereden oluşmaktadır (Şekil 3.3). Bu pencerelerden birincisi, sistemin kumandasına etki etmemekte olup, tamamen bilgilendirme ve sonrası için saklanabilecek, motor devri, parçanın devri, sürtünme süresi, kullanılan malzemelerin isimleri, sürtünme basıncı ve yığma basıncı değerlerinin girilebileceği kısımlardan oluşmaktadır.

Programın ikinci penceresi ise sistemin kumandasına doğrudan etki etmektedir. Burada bilgisayar çıkışı için gerekli port ayarlaması yapılmakta, sürtünme süresi ve yığma süresi değerleri girilmektedir. Böylece program başlatılmaya hazır bir hale gelir.

Yapılan sürtünme kaynağı deneyleri sonucunda numunelerin temas yüzeyinden dışa doğru taşan çapağın farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Sürtünme basıncı ve yığma basıncının artmasıyla oluşan çapağın arttığı gözlemlenmiştir. Ama bu artışta, sürtünme basıncının yığma basıncından daha etkin bir rol oynadığı saptanmıştır. Bu deneylerde farklı bileşime sahip iki çeliğin kullanılmasından dolayı kaynak yerinin her iki tarafında farklı boyutta çapaklar oluşmuştur. AISI 304 tarafında oluşan çapak AISI 1040 tarafında meydana gelen çaptan daha azdır.



Şekil 3.3 Bilgisayar Programı Ekran Penceresi

3.5 Kaynak Bölgesinin Sıcaklığının Ölçülmesi

Sürtünme kaynağı deneylerinde sürtünme ile oluşan ısının ölçümü, “Raynger 3i” adlı kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.4). Bu cihaz rahatlıkla taşınabilmekte olup, sıcaklık ölçümünde temas olmadan, hızlı ve tahribat vermeden kullanılmaktadır.

Sıcaklık ölçüm cihazı hedef tarafından yayılan kızıl ötesi enerjiyi toplar ve hedefin yüzey sıcaklığını hesaplar. Bu sıcaklıklar dijital olarak cihazın üstünden takip edilebilir. Bu değerler cihazın kendine ait programıyla da bilgisayardan sayısal veriler olarak alınabilir. Yine bu programla, zamanla oluşan sıcaklık değerleri grafiksel olarak da elde edilebilir.

“Raynger 3i”, 200°C - 1800°C arası sıcaklık ölçümlerini yapabilmektedir. 200°C’ nin altındaki sıcaklıklar ölçülememektedir. Ölçümün doğruluğu için kaynak sırasında cihazın lazeri tam olarak kaynağın gerçekleştiği yere dik bir şekilde yansıtılmalıdır. Sıcaklık ölçme cihazında buna yardımcı olabilecek, üzerine monte

edilebileceği tripot bir ayak kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan dzenek kaynak numunelerinden 50 cm uzaklıkta sabitlenmiştir.



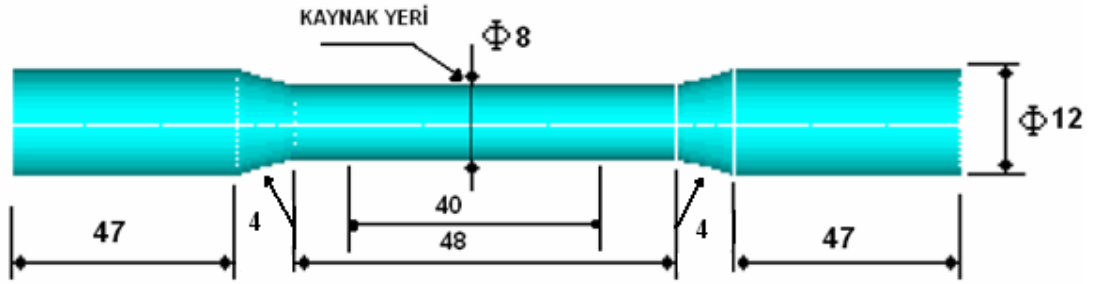
şekil 3.4 Raynger 3i Kızıl Ötesi Sıcaklık Ölçme Cihazı

Cihazın kullanım kılavuzunda metaller için yayım kapasitesi değerleri tablosu dzenlenmiştir. Bu tablodan, kullanılan metallere göre bu yayım kapasitesi değeri (ϵ =emissivity) 0.4 alınarak ölçüm cihazına girilmiştir. Bu şekilde sıcaklık ölçümleri daha sağlıklı yapılmıştır.

Çalışmalarda bilgisayar yoluyla değerler kayıt altına alınırken, ölçüm cihazı her saniyede bir ölçüm yapacak şekilde ve toplam ölçüm süresi 40 saniye olarak programda gerekli ayarlamalar yapılmıştır.

3.6 Çekme Deneyi Uygulamaları

Numune çiftlerinin sürtünme kaynağı işlemlerinin ardından çekme testi uygulamak için Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi' n deki üniversal torna tezgahında her bir kaynaklı numune dikkatli bir şekilde TS 287 EN 895 ölçülerine göre hazırlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çekme Numunesinin Ölçüleri [41]

Çekme deneyleri için hazırlanan kaynaklı numuneler, herhangi bir çentik etkisine izin vermemek için 180-400-1000 numaralı zımparalardan geçirilmiştir.

Çekme deneyleri, Balıkesir' deki İDA Test Beton ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarı' n da yapılmıştır. Bu laboratuvarında kullanılan ALFA marka çekme deneyi cihazı dikeyde 60 ton maksimum kuvvet uygulayabilmektedir. Dijital servis kontrol ünitesi ile kullanım kolaylığı ve hassaslığına sahiptir (Şekil 3.6).

Çekme cihazı kendine ait program ile bilgisayar ile kumanda edilebilir. Bu programda, ortalama hız, akma mukavemeti, çekme mukavemeti % uzama gibi veriler hatasız bir şekilde hesaplanır.



Şekil 3.6 Çekme Deneyi Cihazı

Çekme deneyleri yapılırken, cihaz için ilerleme hızı 3 mm / dak olarak ayarlanmıştır. Kaynaklı numunelerin çekme sonuçlarından doğru sonuçlar alabilmek için bu hızın düşük seçilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

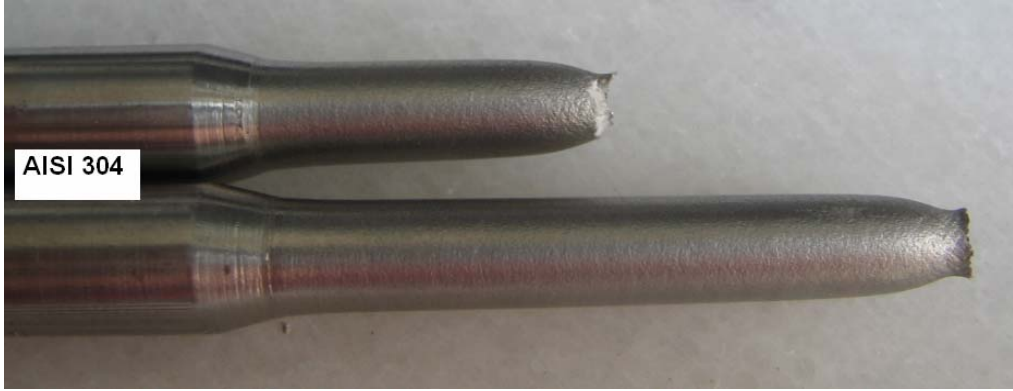
Kaynaklı numuneler çekme cihazına yerleştirilirken, çenelerin numuneleri her iki taraftan da eşit kavramasına dikkat edilmiştir. Bu şekilde dikey ekseninde uygulanan kuvvetin eşit dağılımı sağlanmıştır.

Aşağıda, 10 mm çapında AISI 1040 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki kopmuş numune resmi yer almaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 AISI 1040 Çeliğinin Kopmuş Çekme Numunesi

10 mm çapındaki AISI 304 çeliğinin çekme deneyi sonucundaki elde edilmiş numune resimde görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 AISI 304 Çeliğinin Kopmuş Çekme Numunesi

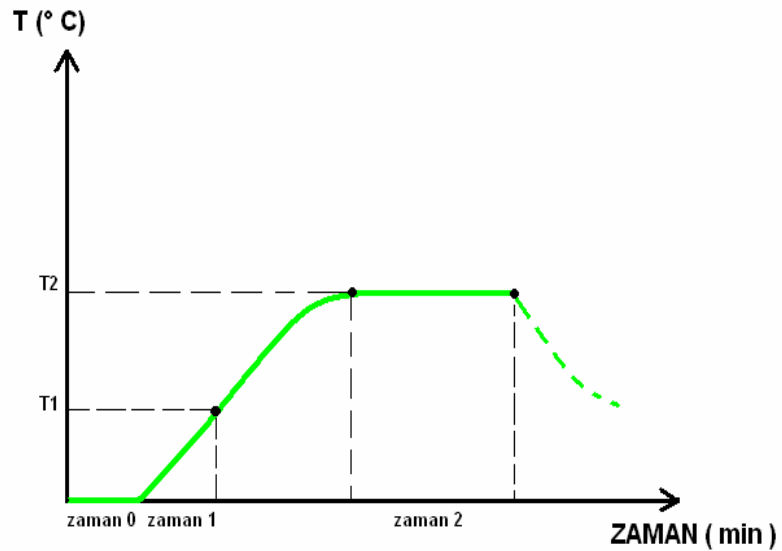
AISI 304 ve AISI 1040 çeliklerinin çekme deneylerinde sünek bir davranış gösterdiği, kopmadan önce belirgin bir akma göstererek boyun verdikleri görülmüştür.

3.7 Kaynaklı Numunelere Isıl İşlem Uygulanması

Kaynak sırasında malzemelerin kaynak bölgesinde oluşabilecek iç gerilmeler, tane yapılarındaki değişiklikler kaynaklı bağlantının dayanımını olumsuz etkileyen unsurlardır. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırabilmek, malzemede yeniden kristalleşmeyle tane yapısını düzenli hale getirmek ve süneklilik kazandırmak için normalizasyon ısıl işlemi yapılmıştır.

Farklı parametrelerle yapılan sürtünme kaynaklı numuneler, NABERTHERM marka ısıl işlem fırını kullanılarak normalizasyona tabi tutulmuştur.

Yapılan araştırmalara dayanarak, kaynaklı numunelerdeki karbon (C) oranları, numune boyutları ve kimyasal yapılarına bağlı olarak ısıtma sıcaklığı ve tutma süreleri belirlenmiştir. Buna göre fırın 250 °C ye 90 dakikada gelecek şekilde ayarlanmıştır. Fırın bu sıcaklığa ulaştıktan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, numuneler, 840°C 'de 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra numuneler fırından hemen çıkarılmayarak ortamın oda sıcaklığına inmesi beklenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Isıl İşlem Fırınındaki Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Bu grafikte, T_1 değeri $250^{\circ} C$, T_2 değeri $840^{\circ} C$, zaman 0 değeri 90 dakika, zaman 2 değeri 30 dakika olarak sisteme tanıtılmış ve ısıl işlem deneyleri bu sayısal verilere göre yürütülmüştür.

3.8 Sertlik Deneyi Uygulamaları

Kaynaklı numuneler Balıkesir Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı ‘ n da ki ‘‘Dia Testor 2 RcS’’ marka sertlik lme cihazında deneylere tabi tutulmuştur (şekil 3.10).

Sertlik lme cihazında Vickers yöntemi ile 30 kg yük kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sırasında sertlik alınan eksenlerle ve noktalarla ilgili bilgiler sertlik deneyleri sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur.



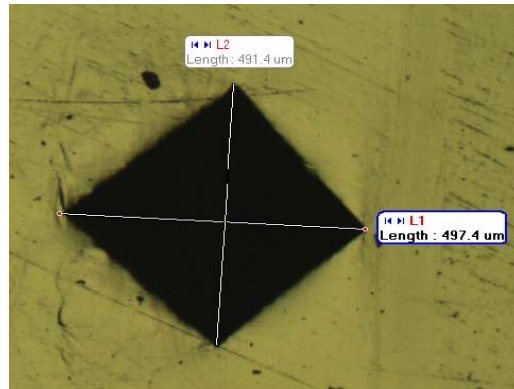
şekil 3.10 Sertlik lme Cihazı

Sertlik ölçümleri sırasında cihazın ekranında vickers ucu ile elde edilen eşkenar dörtgenlerin ölçümleri hem sertlik cihazındaki ekrandan hem de Balıkesir Üniversitesi Ölçme Cihazı Laboratuvarı' n da bulunan Olympus GX41 modelindeki optik mikroskopta yapılmıştır (Şekil 3.11). Bu şekilde elde edilen değerlerin doğruluğu onaylanmıştır.



Şekil 3.11 Optik Mikroskop Cihazı

Optik mikroskopta incelenen izler bilgisayar yardımıyla ekrana aktarılmakta, buradan programın sağladığı özellikle köşegenlerin uzunlukları hassas bir şekilde hesaplanabilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Optik Mikroskopta Görülen İz

3.9 Mikro Yapı İncelemeleri

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numuneler aşağıdaki görüntüye sahiptir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Sürtünme Kaynaklı Numune

Tüm numuneler yatay eksene paralel bir şekilde 10 mm olan çapları 5 mm ye indirilecek şekilde işlenmiştir. Bu sırada numunelerin fazla ısınmasına izin verilmeyerek, malzeme yapısında doğabilecek olası değişikliklerin önüne geçilmiştir.

Freze de işlenen numuneler 14 mm boyunda kesilip bakalite alınmışlardır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Bakalite Alınmış Kaynaklı Numune

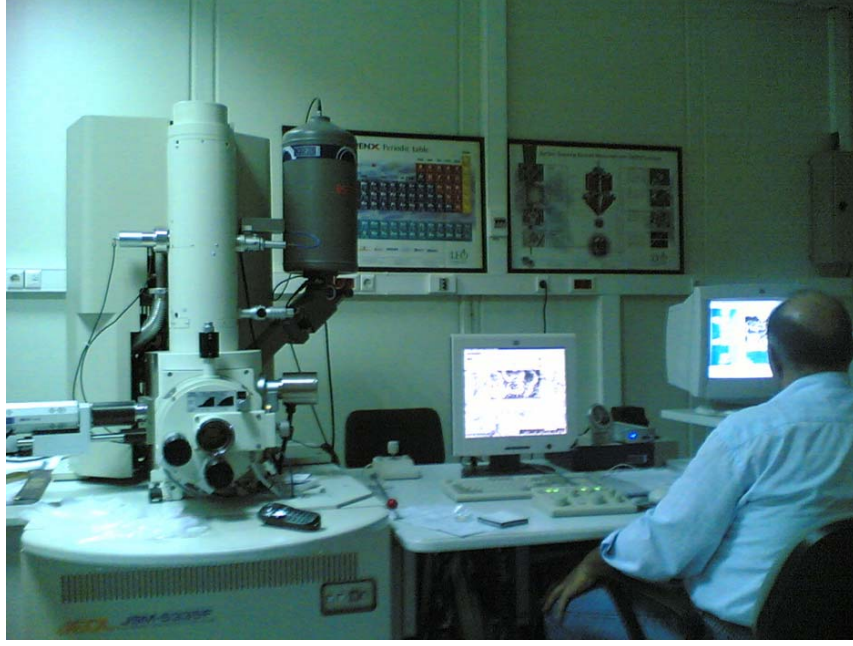
Kaynaklı numuneler bakalite alındıktan sonra zımparalama işlemine geçilmiştir. Tüm numuneler Balıkesir Üniversitesi Ölçme Laboratuvarı' n da ki Metkon üretimi "Gripo 2V" marka çift taraflı zımpara cihazında su yardımıyla 180-320-400-600-1000-1200 numaralı zımparalardan geçirilerek yüzeylerdeki pürüzler ve karşıt yöndeki çizgiler ortadan kaldırılmıştır.

Numuneler zımparalama işlemi bittikten sonra, 3µm ve 1µm elmas pasta ile, 0.05µm partikül çapına sahip alümina (Al₂O₃) solüsyonu ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numune yüzeyleri metil alkol ile temizlenerek olası oksitlenmenin önüne geçilmiştir.

Numuneler %4 nitrik asit (HNO₃) katılmış etil alkol ile dağlanmış. Bu dağlama sonucunda paslanmaz çelik tarafında fazla bir yapı değişikliği olmadığından tane yapısı gözlenememiştir. Numunelerden 4 ve 7 numaralı deneylere ait olanlar ise Gebze 'deki TÜBİTAK araştırma merkezinde, 150 ml. HCl, 50 ml. laktik asit ve 3 gr oxalik asitten oluşan çözelti de 4 saniye kadar 1-2 volt akım verilerek elektrolitik dağlama yöntemiyle dağlanmışlardır. Ardından kurutulan numuneler optik mikroskop ve SEM incelemeleri için hazır hale getirilmiştir.

Optik mikroskopta incelenen yapılar hem mikroskoptan, hem de kendine ait bilgisayar programı sayesinde bilgisayar ekranından takip edilebilmiştir. Bu incelemeler çeşitli büyütmelelerde yapılabilmıştır. Bu şekilde kaynaklı numunelerdeki mikro yapısal değişimler, geçiş bölgeleri, ısı tesiri altındaki bölgelerde ki (ITAB) değişimler belirlenmiştir.

Kaynaklı numuneler üzerindeki elektron mikroskop çalışmaları (SEM), Gebze 'deki TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Merkezi' n de yapılmıştır. Bu çalışmalarda, Jeol Jsm-633F Field Emission Scanning Elektron Microscope kullanılmıştır (Şekil 3.15).



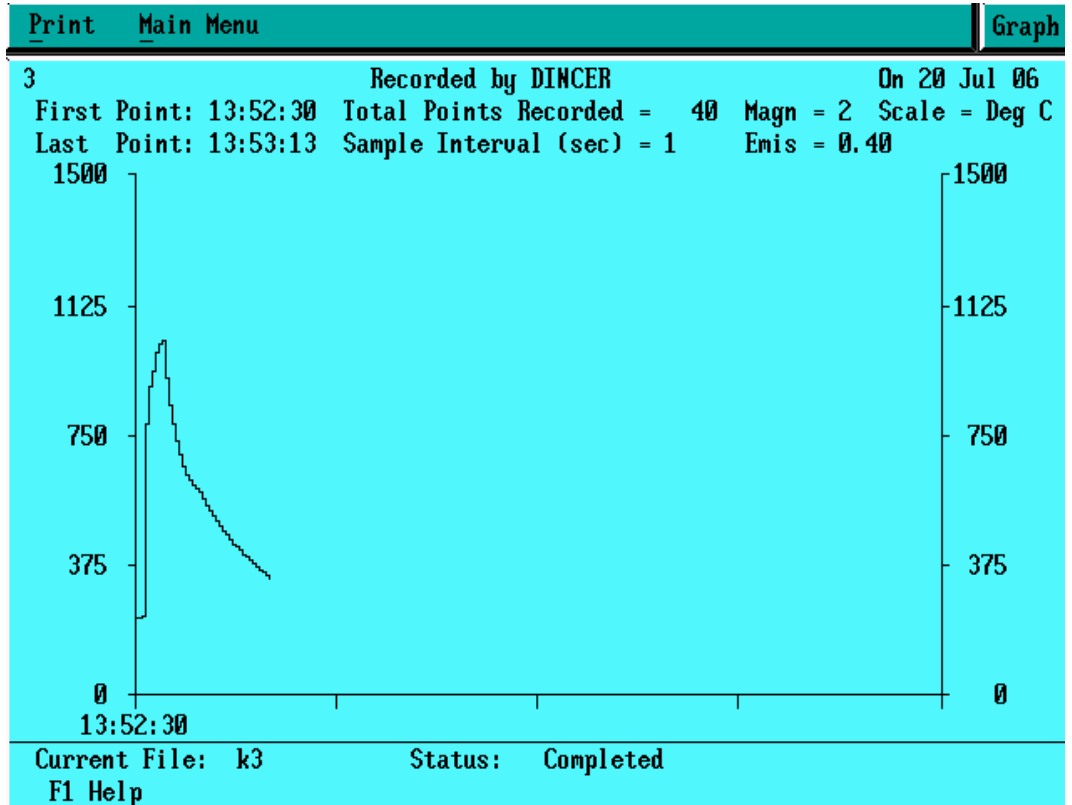
Şekil 3.15 Elektron Mikroskobu

Elektron mikroskop çalışmalarıyla, numuneler de sürtünme kaynağıyla oluşan ara bölgeler hassas bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemelerin ışığında uygun görülen bölgelerden çizgisel olarak EDS analizleri alınmıştır. Bu şekilde malzemelerin esas yapılarına göre değişen kimyasal bileşimleri araştırılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Kaynak Bölgesinin Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Deneyleerde, zamanla elde edilen sıcaklık değışimlerinin grafiklerle sunumunun sıcaklık cihazına ait programla mümkün olduğu belirtilmişti. Örnek olarak 3 numaralı deneyin sıcaklık-zaman grafiği bu program yardımıyla oluşturulmuştur (şekil 4.1).



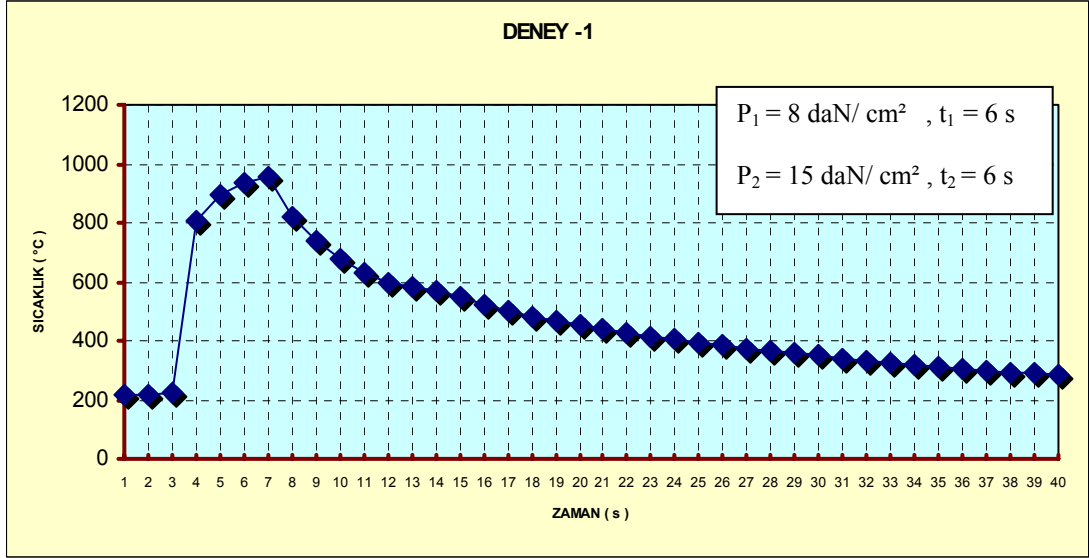
şekil 4.1 Kaynak Sırasında Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Yapılan sürtünme kaynağı deneyleri sonrasında elde edilen kaynak bölgesi sıcaklıkları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

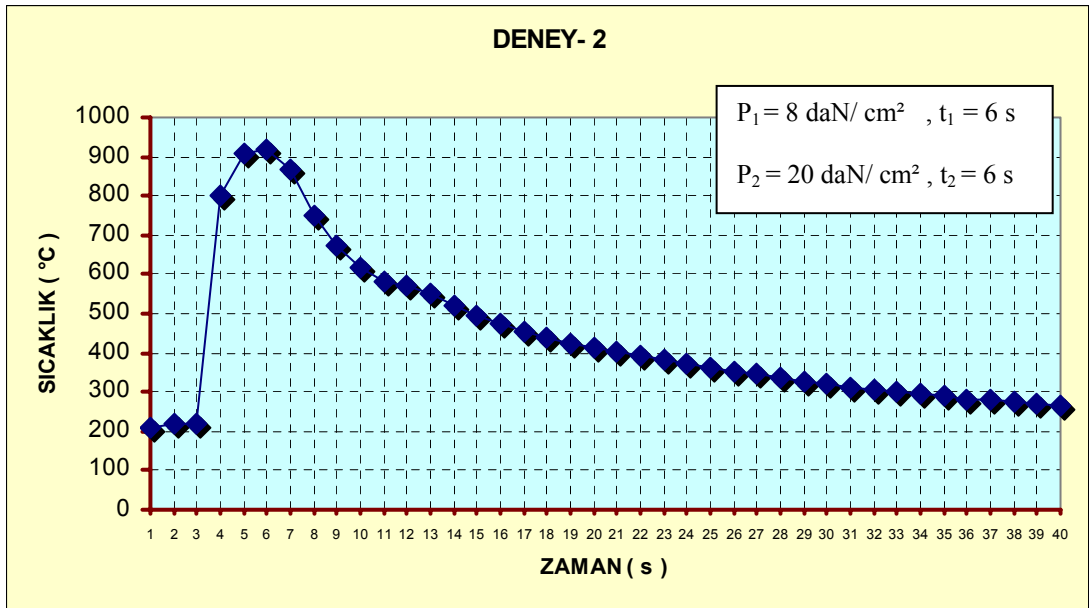
Çizelge 4.1 Kaynak Bölgesi Sıcaklıkları

SICAKLIK ÖLÇÜM ZAMANLARI (s)	SICAKLIK DEĞERLERİ (°C)						
	DENEY- 1	DENEY- 2	DENEY- 3	DENEY- 4	DENEY- 5	DENEY- 6	DENEY- 7
1	214	210	206	215	215	222	217
2	219	218	210	222	222	227	222
3	221	221	212	607	345	867	817
4	805	799	862	845	880	964	966
5	897	906	919	911	971	1041	1042
6	934	919	975	972	1046	1087	1099
7	955	865	1026	1020	1094	1107	1112
8	821	749	1063	1083	1103	1032	1058
9	737	674	981	977	1011	945	975
10	678	617	890	887	932	879	905
11	631	584	823	821	869	825	849
12	598	570	770	769	818	782	802
13	582	549	724	727	776	744	765
14	570	519	685	692	740	714	732
15	549	494	655	661	709	687	707
16	523	474	633	640	684	666	689
17	501	455	615	624	664	650	673
18	482	440	604	609	646	639	662
19	466	426	595	604	636	626	657
20	452	415	586	596	626	621	652
21	439	403	567	584	619	612	644
22	427	392	550	565	610	600	632
23	415	383	532	544	595	586	617
24	406	371	516	526	579	568	597
25	396	363	499	510	561	550	585
26	385	352	485	499	546	535	565
27	375	346	474	484	528	520	550
28	366	338	463	473	514	505	535
29	358	329	450	461	501	494	522
30	350	321	438	449	491	480	507
31	342	312	426	440	479	470	497
32	334	306	415	428	467	460	485
33	327	301	407	421	454	447	472
34	320	296	396	409	443	439	460
35	314	290	387	401	435	427	450
36	305	282	378	393	423	419	439
37	300	280	369	385	415	411	431
38	294	275	360	377	407	402	419
39	289	270	349	369	398	393	414
40	284	265	341	360	390	386	405

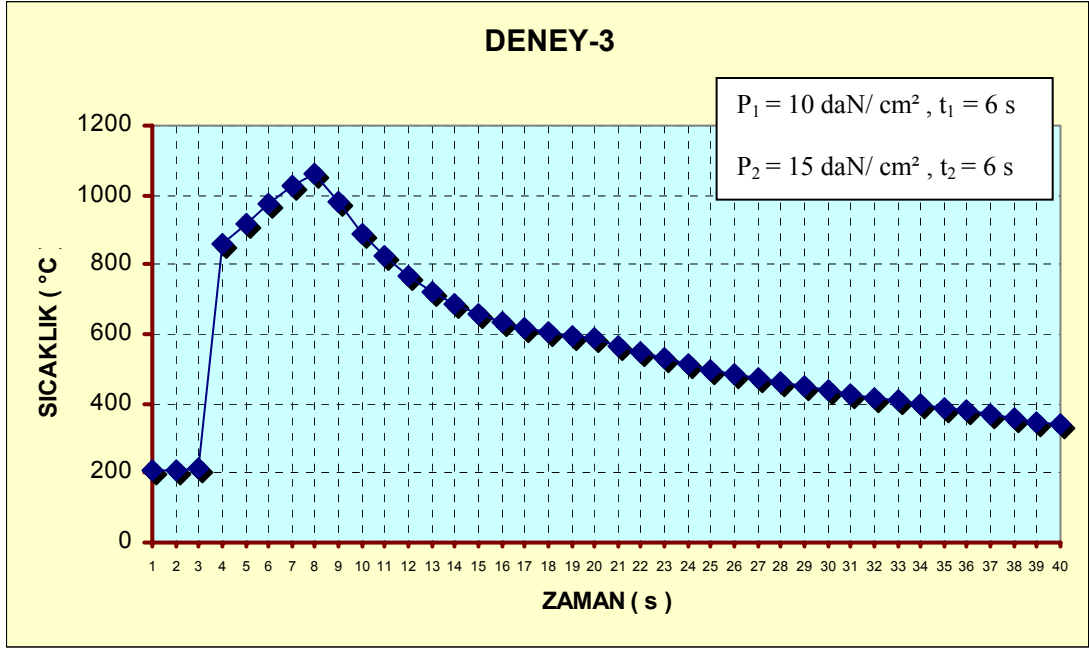
Sürtünme kaynağı yapılan 7 çift farklı kaynak şartlarındaki numunelerin, kaynak sırasında oluşan zamanla sıcaklık değişimleri Microsoft Office Excel programında grafik olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2-8). Sıcaklık ölçümü numunelerin temasa başlamasından yaklaşık 2-3 saniye önce başlatıldığından bu süre zarfında sıcaklıklar sabittir.



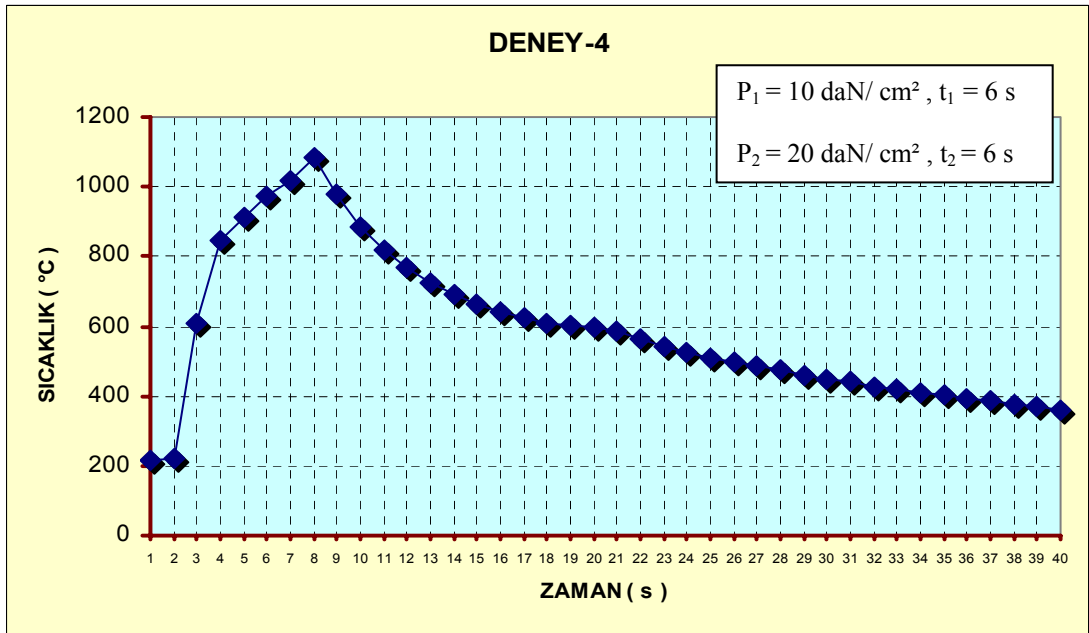
Şekil 4.2 1- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği



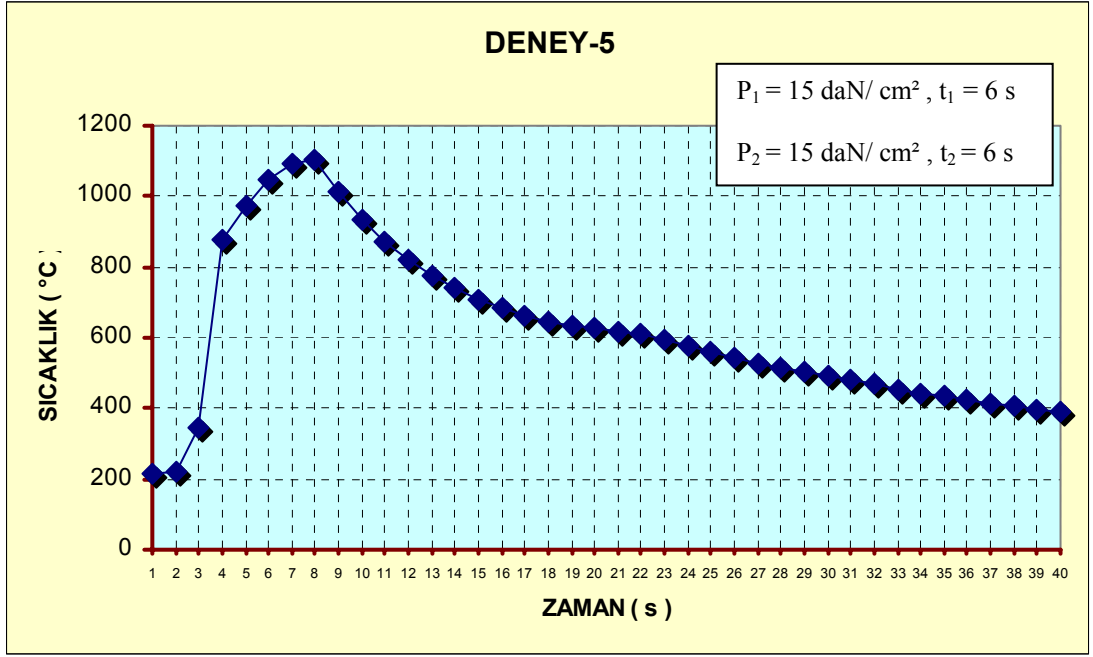
Şekil 4.3 2- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği



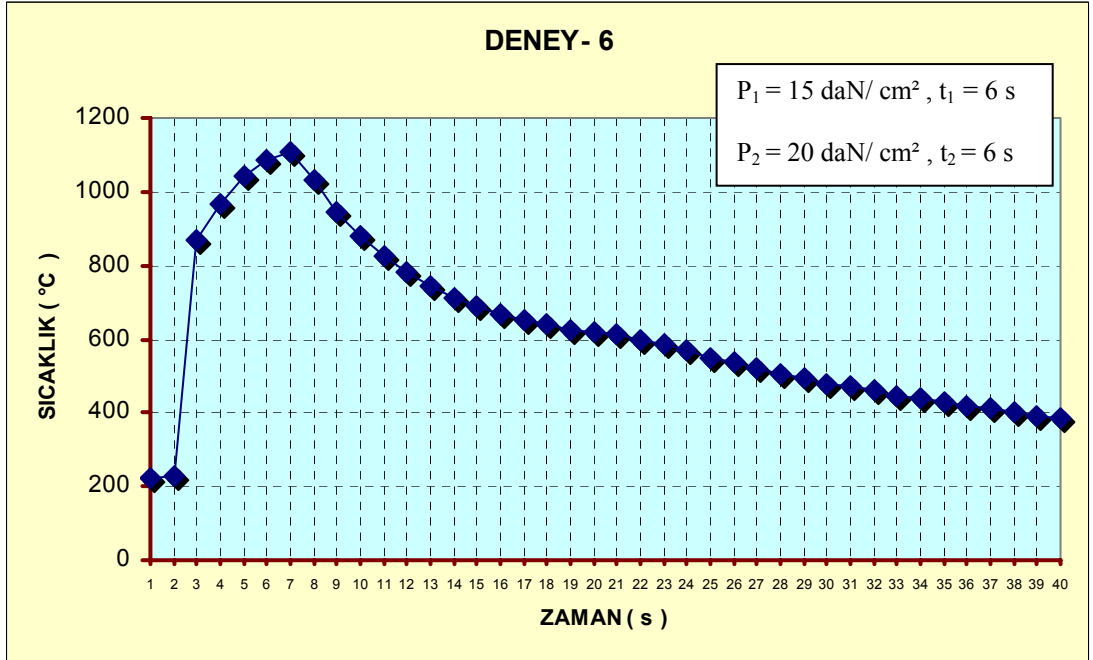
Şekil 4.4 3- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği



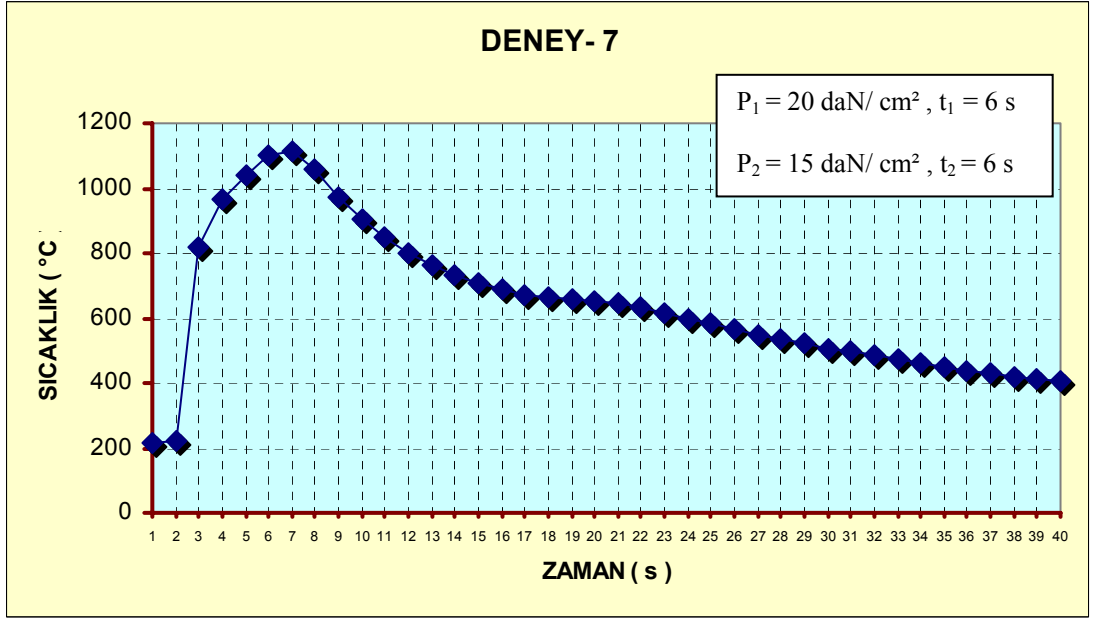
Şekil 4.5. 4- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği



Şekil 4.6 5- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği

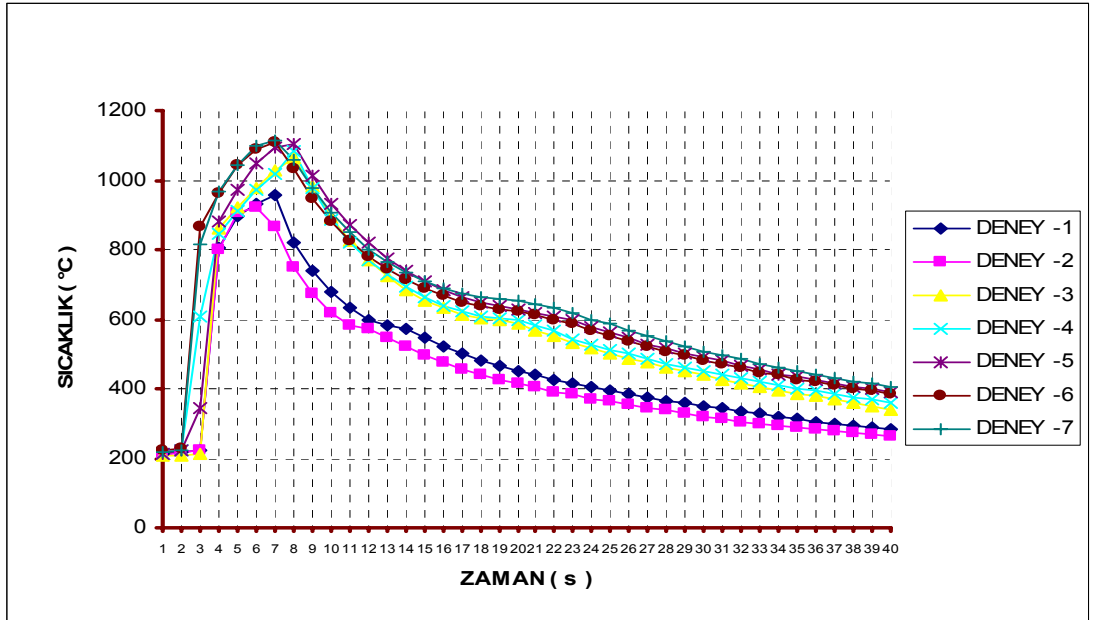


Şekil 4.7 6- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği



Şekil 4.8 7- Numaralı Deneyin Zamana Bağlı Sıcaklık Grafiği

Oluşturulan sıcaklık-zaman grafikleri daha rahat karşılaştırılabilmek için tek bir grafikte toplanabilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 DeneYlerdeki Sıcaklığın Zamanla Değişimi

Bu grafikler ve verilerden yola çıkarak, tüm deneylerde sıcaklığın zamanla parabolik olarak arttığı ve ardından azaldığı saptanmıştır. Grafiklerde dikkat çeken ortak özellik, ilk saniyelerde sıcaklığın hızla artması ve daha sonra bu artışın yavaşlamasıdır. Bunun sebebinin, sürtünme ile artan ısının sürtünme katsayısını düşürmesi olduğu düşünülmüştür [42].

Maksimum sıcaklıklar, deney-1 de 955 °C, deney- 2 de 919 °C, deney-3 de 1063 °C, deney-4 de 1083 °C, deney- 5 de 1103 °C, deney- 6 da 1107°C ve deney- 7 de 1112 °C olarak alınmıştır. Burada sıcaklık değerlerini dikkatlice incelendiğinde maksimum sıcaklıklarının artışının sürtünme basıncının artışı ile arttığı görülmüştür. Bu sıcaklığı etkilemesi beklenen sürtünme basıncı süresi sabit tutulduğundan bu etki söz konusu olmamıştır. Bir diğer gözlem ise yağma basıncının sürtünme basıncı kadar sıcaklığa doğru orantılı olarak etki etmediğidir.

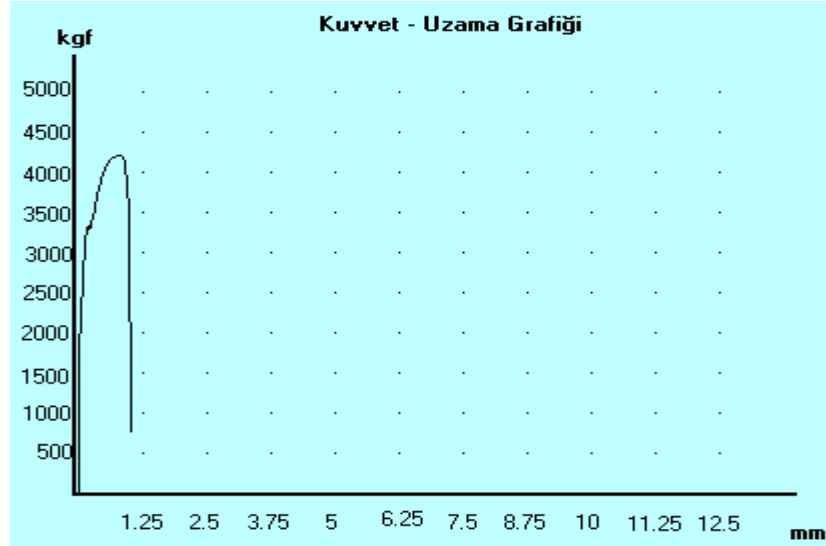
4.2 Çekme Deneyi Sonuçları

TS 287 EN 895 'e göre hazırlanan numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.2 de düzenlenmiştir.

Çizelge 4.2 Çekme Deneyleri Sonuçları

NUMUNELER	ÇEKME KUVVETİ (N)	ORTALAMA ÇEKME KUV. (N)	AKMA MUK. (MPa)	ÇEKME MUK. (MPa)	ORT. ÇEKME MUK. (MPa)	% UZAMA
DENEY- 1	35190	35940	577	736,8	733,5	0,8
DENEY- 1	36690		506,8	730,2		2,9
DENEY- 2	33720	34150	573,8	734	738,5	2,5
DENEY- 2	34580		623,9	743		5,6
DENEY- 3	34930	37480	578,6	713	726,5	3,9
DENEY- 3	40020		620,7	740,1		3,1
DENEY- 4	36500	37900	562,8	764,3	754,4	5,6
DENEY- 4	39300		599,9	744,5		5,1
DENEY- 5	38760	36780	577,3	791,1	750,5	5,75
DENEY- 5	34790		565,8	710		4,3
DENEY- 6	34160	35910	614,2	733,8	751,1	1,1
DENEY- 6	37650		622,3	768,5		4,5
DENEY- 7	37480	37840	667,4	805,4	792,4	3,3
DENEY- 7	38190		661,7	779,5		6,4

Çekme cihazının kendine ait bilgisayar programında, numunelerin kuvvete bağlı uzama miktarları grafik olarak elde edilmiştir. Örnek olarak deney numunelerinden birinin çekme deneyi sırasındaki kuvvet-uzama grafiği Şekil 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.10 Çekme Numunesinin Kuvvet-Uzama Grafiği

Deney şartlarından 4 numaralı sürtünme kaynaklı numuneye uygulanan çekme deneyi sonrasındaki numunelerin resmi Şekil 4.11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 4- Numaralı Deney Numunesinin Kopma Resmi

Numunelerin kopma yerleri incelendiğinde tüm malzemelerin kaynağa yakın, ITAB bölgesinde AISI 1040 tarafından koptukları görülmüştür. Bunun sebebinin, malzemelerin mekanik kilitlemeyle malzemeler arası difüzyonun sağladığı mukavemet artışının olduğu düşünülmüştür [26].

Deneylede, genelde sürtünme basıncının artışıyla çekme dayanımının arttığı belirlenmiştir.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda, çekme mukavemeti olarak en yüksek değer 7 numaralı deney numunesinde elde edilmiştir. 3 numaralı deney numunesinin çekme mukavemetinin ise en düşük değerde olduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan tablodan deneylerden elde edilen akma mukavemeti değerleri ve % uzamalar görülmektedir.

Optimum kaynak şartlarını belirlerken, çekme deneyleri sonucunda elde edilen, kaynaklı numunelerin çekme mukavemetleri, akma mukavemetleri ve % uzamaları önemlidir.

Deney 4 'e ait kaynaklı numunenin ortalama çekme mukavemeti (754,4 MPa), AISI 1040 'ın çekme mukavemetinden daha düşük olan AISI 304 'ün çekme mukavemetine (881,2 MPa) göre % 14.3, deney -7 'ye ait kaynaklı numunenin ortalama çekme mukavemetine (792,4 MPa) göre ise AISI 304 'ün çekme mukavemetinden % 10 daha düşüktür. Deney 4 'de % 5.4, deney 7 'de % 4,9 olan ortalama uzama değerleri, AISI 1040 'ın % 5.25 olan uzama değerine göre önemli bir fark göstermemiştir.

4.3 Isıl İşlem Sonuçları

Isıl işlemsiz numunelerden elde edilen çekme deneyleri sonuçlarına, makro ve mikro incelemelere, kaynak kalitesine göre seçilen 4 ve 7 numaralı numunelere normalizasyon ısıl işlemi sonrası İDA Test Laboratuvarı' n da tekrar çekme testi yapılmıştır. İlerleme hızı 3 mm / dak olarak yapılan çekme deneylerinin sonuçları Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Isıl İşlem Sonrası Çekme DeneYleri Sonuçları

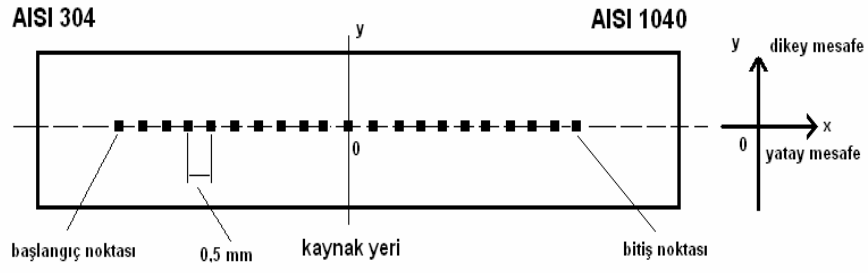
NUMUNELER	ÇEKME KUVVETİ (N)	ORTALAMA ÇEKME KUV. (N)	AKMA MUK. (MPa)	ÇEKME MUK. (MPa)	ORT. ÇEKME MUK. (MPa)	ORT. % UZAMA
DENEY- 4	33240	35480	584	714	751,9	12,8
DENEY- 4	37720		554,3	789,8		
DENEY- 7	32420	32590	489,2	661,7	722,2	10,2
DENEY- 7	32750		659,4	782,7		

Isıl işlem sonrası malzeme yapılarındaki tane küçülmeleri ve yönlenmeleri ortadan kalkmış, taneler daha düzenli bir hal almıştır. Ayrıca kaynak sırasında ITAB bölgelerinde oluşabilen martenzit yapı ve doğabilecek iç gerilmeler yok olmuştur. Bu durum gevrek olan malzeme yapısının daha sünek bir hale geçmesiyle açıklanabilir. Ortalama çekme dayanımlarında ise bir miktar düşüş olmuştur [43]. Ana malzemelere göre baktığımızda ise, 4 numaralı deney numunesinin ısıl işlem sonrası ortalama çekme mukavemeti, AISI 304 ‘ün çekme mukavemetinden (881,2 MPa) %14.6, deneylerden 7 numaraya ait kaynaklı numunenin ortalama çekme mukavemeti ise AISI 304 ‘ün çekme mukavemetinden % 18 daha düşüktür. Ancak, ısıl işlem sonrası % uzamalarda belirgin bir artış olmuştur. Isıl işlem öncesi deney 4 ‘de % 5.4 olan uzamanın % 12.8 ‘e, deney 7 ‘de % 4.9 olan uzamanın % 10.2 ‘ye çıktığı görülmüştür.

Numunelerin çekme deneyleri sonrası kopma ise tamamında kaynağa yakın olan ITAB bölgesinde ve AISI 1040 tarafında gerçekleşmiştir.

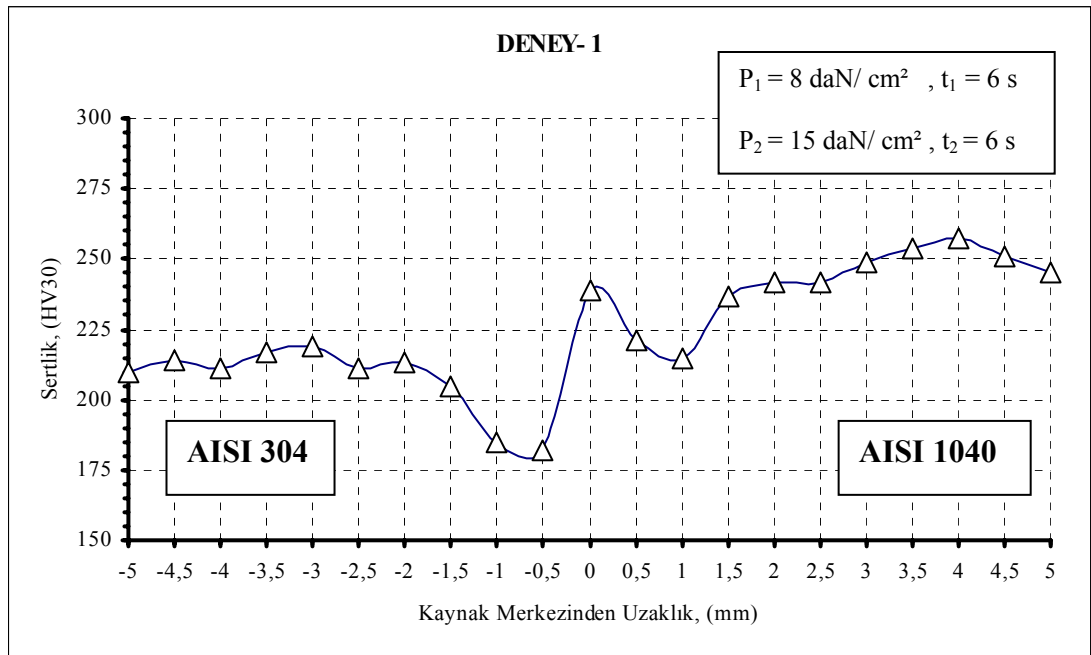
4.4 Sertlik DeneYleri Sonuçları

Yatay eksen de sertlik değerleri alınırken vickers ucun iz bıraktığı her nokta arası 0,5 mm olarak ayarlanmıştır. Sertlik değerlerinin alındığı noktalar Şekil 4.12 de gösterilmiştir.

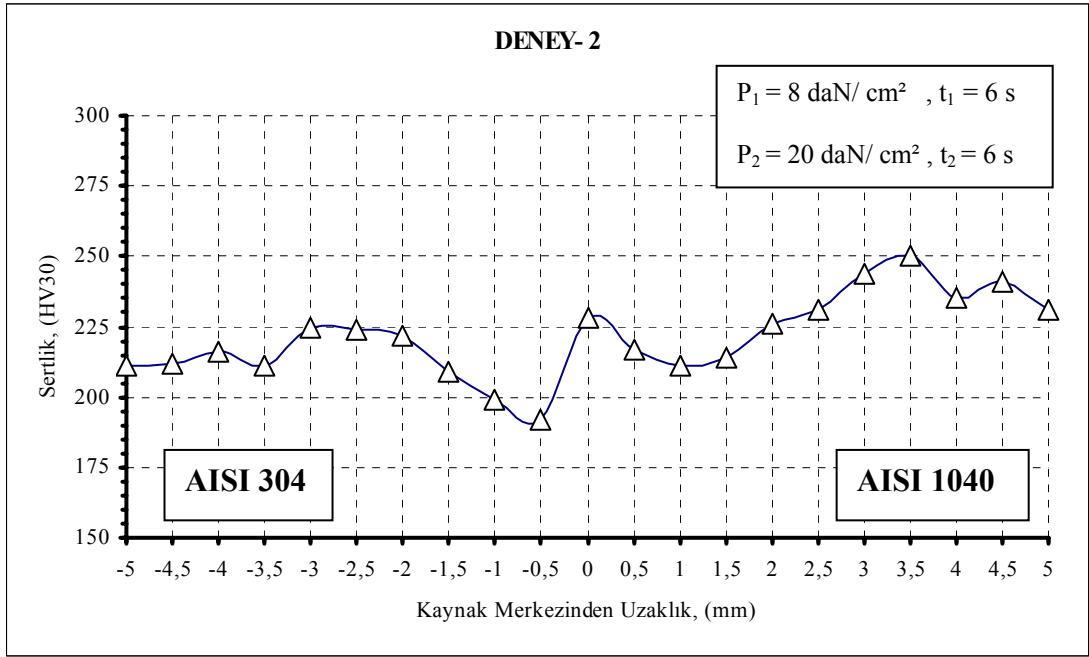


Şekil 4.12 Yatay Eksende Sertlik Alınan Noktalar

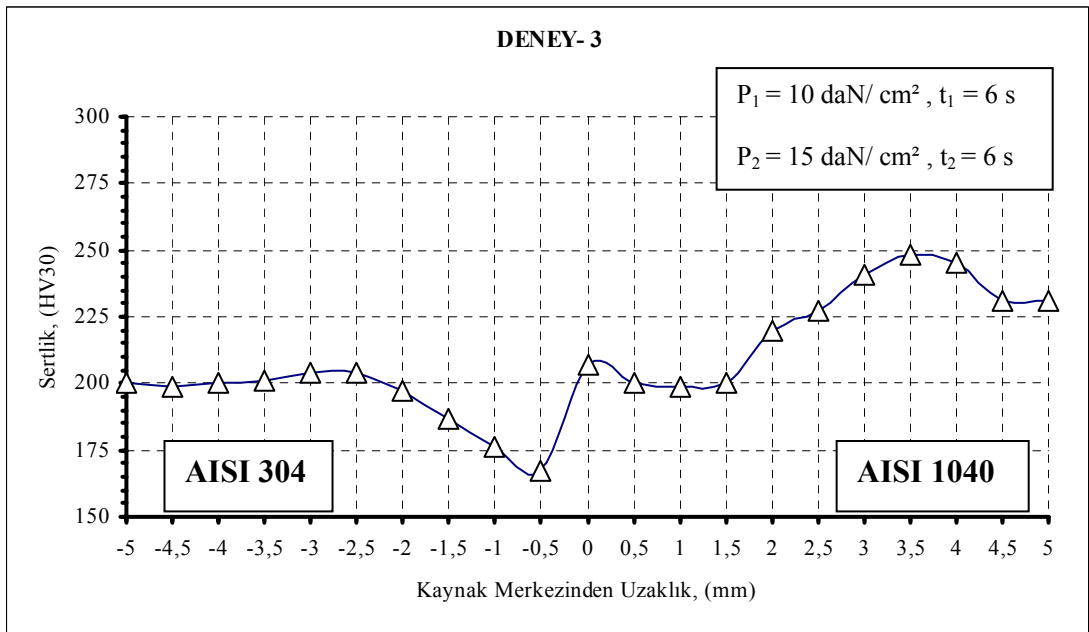
Bu bilgilere dayanarak 7 farklı şarttaki deney numunelerinin sertliğinin her bir nokta için değişimleri tablo olarak oluşturulmuştur (Şekil 4.13-19).



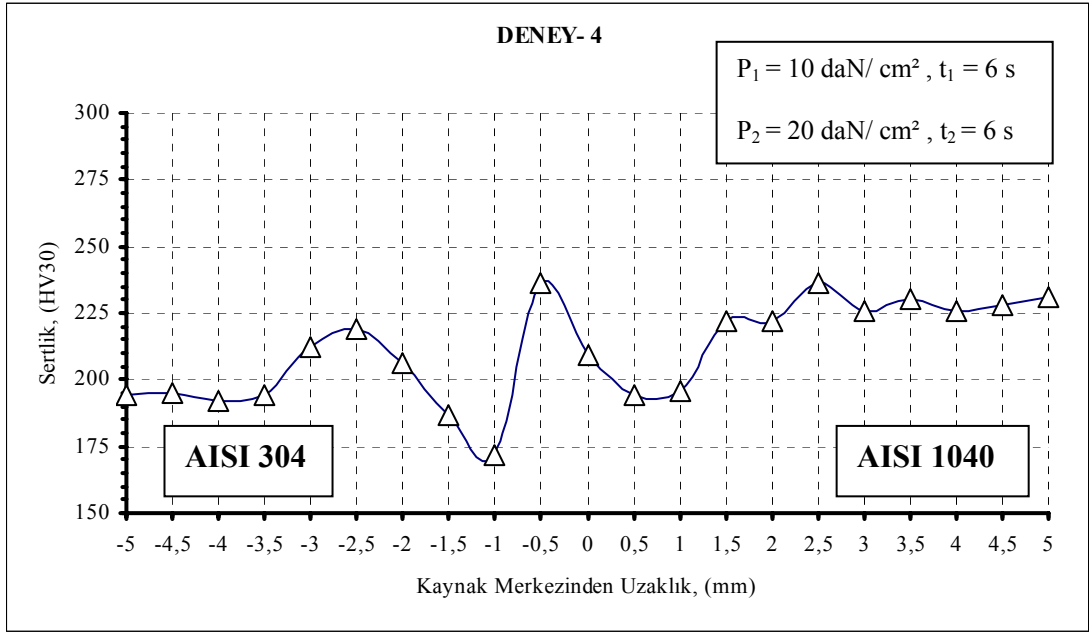
Şekil 4.13 1- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı



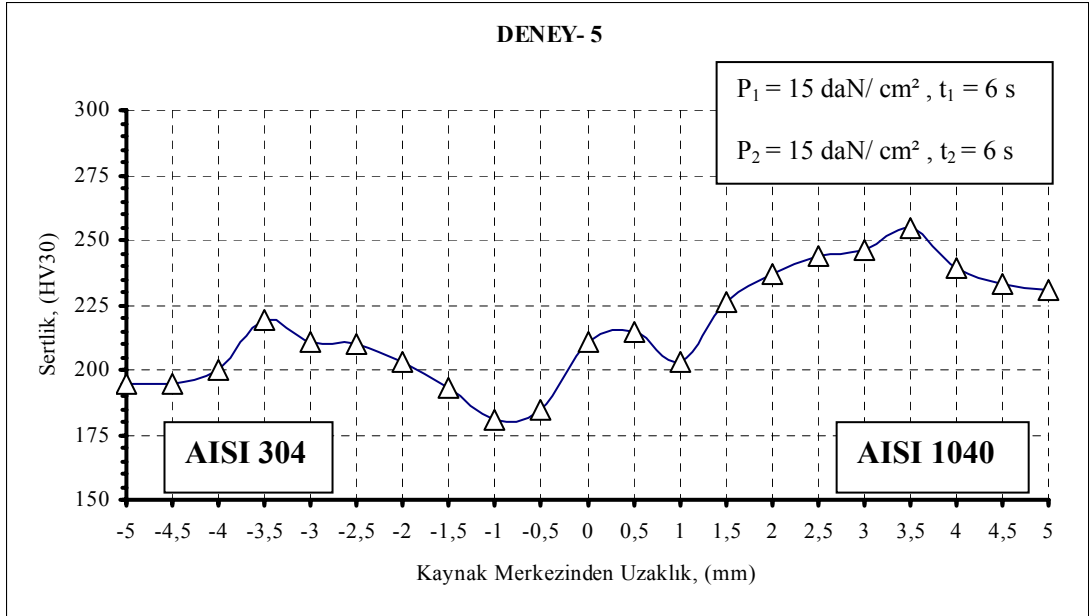
Şekil 4.14 2- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı



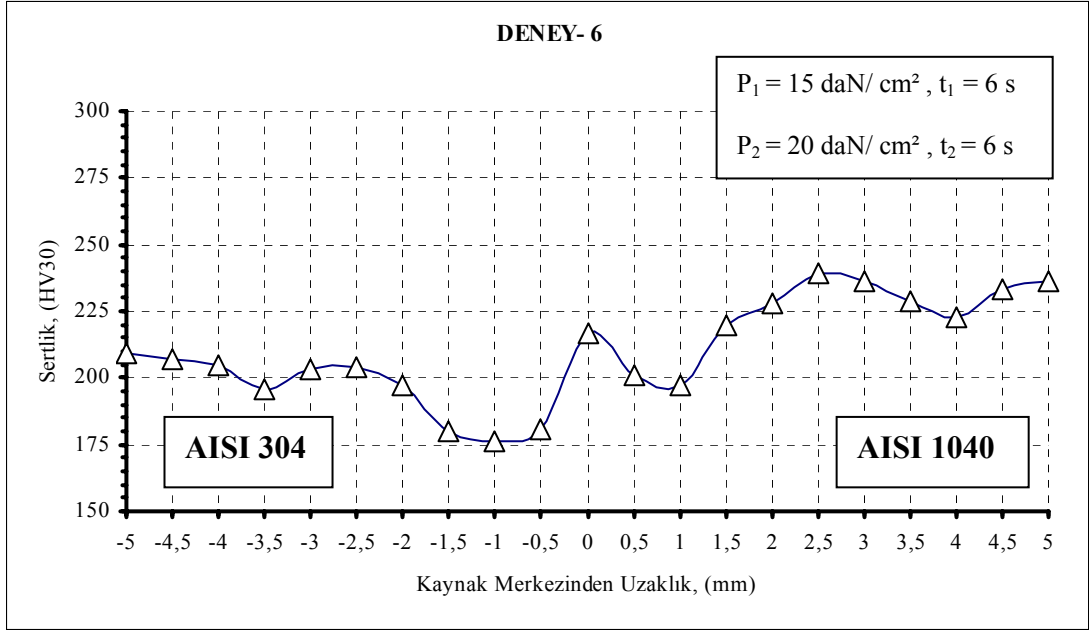
Şekil 4.15 3- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı



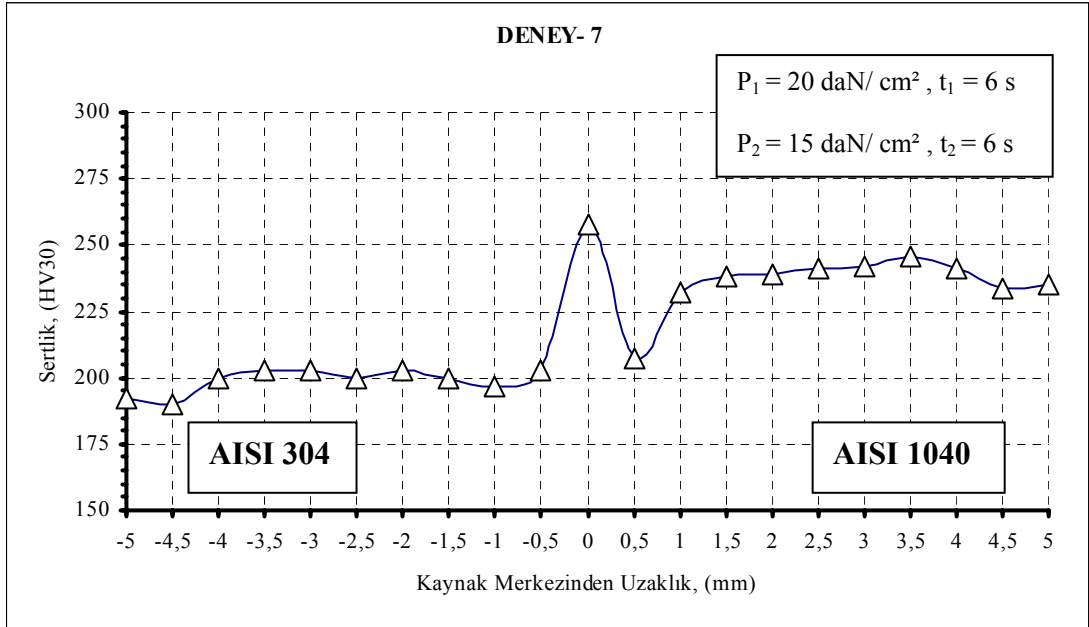
Şekil 4.16 4- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı



Şekil 4.17 5- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı

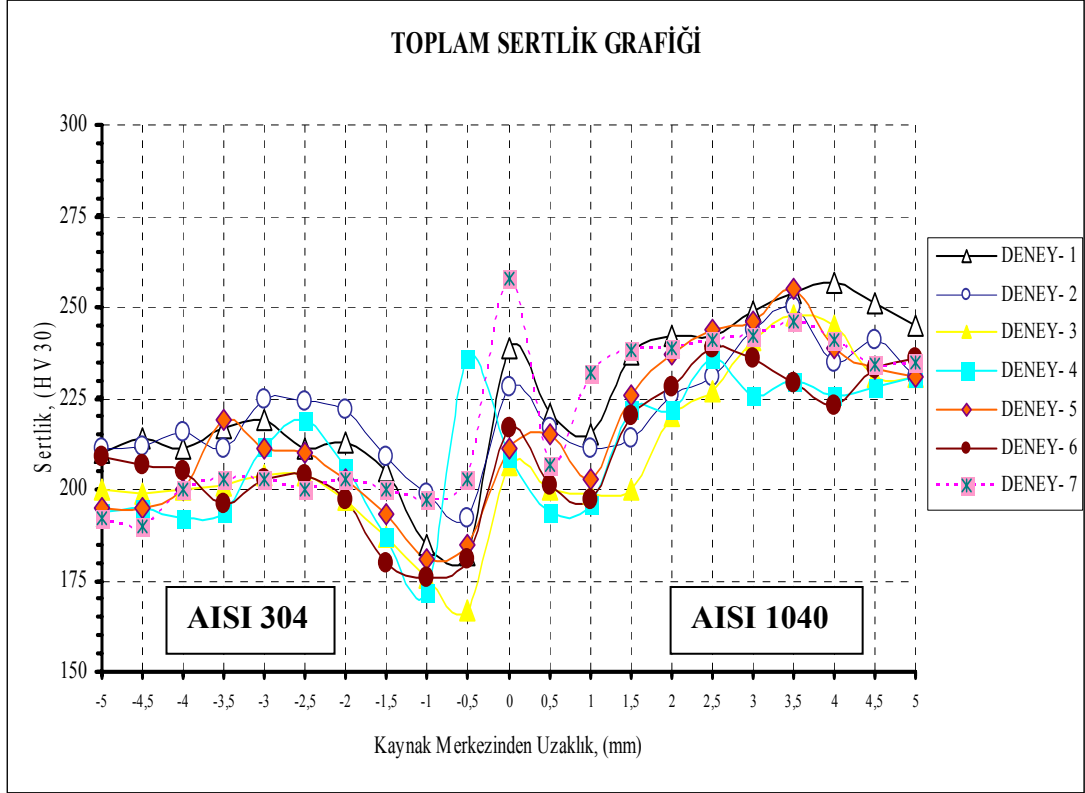


Şekil 4.18 6- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı



Şekil 4.19 7- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımı

Tüm deneylerin yatay eksendeki sertlik dağılımları Şekil.4.20 de toplanmıştır.



Şekil 4.20 Deneylerin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları

Sertlik grafiklerine bakılırsa, numunelerin kaynak merkezinden ana malzemelere doğru gidildikçe değişim gösteren sertlik değerlerinin ana malzemelerin sertlik değerlerine ulaşmaya kadar olan bölgenin kaynaklı bölge ve ITAB olduğu görülür. Sertlik değişimlerinden anlaşılacağı gibi tüm deneylerde ITAB AISI 1040 tarafında daha geniş bir alana yayılmıştır.

Genel olarak sertlik grafiklerinden; numunelerin hepsinde ara kesitte sertlikte bir artış olduğu gözlenmiştir. Daha sonra parabolik olarak azalıp artan sertlik değerleri ana malzemelerin sertliklerine ulaşmıştır.

Elde edilen sertlik profilleri kendi aralarında kıyaslandığında önemli bir fark görülmektedir. Kaynak merkezindeki sertlik değeri 7 numaralı deney numunesinde en yüksek değerini almıştır. 3 numaralı deneyde ise bu değer en düşük sertlik değeridir. Genelde kaynak merkezinden AISI 304 çeliğine doru ilerledikçe ölçülen sertlik değerlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Kaynak merkezinden AISI 1040 tarafına ilerlendiğinde bu sertlik değerlerinde çok fazla bir değişiklik yoktur. Sertlik değerlerindeki bu değişimler ortam ve kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farklarıyla açıklanabilir. Birleşme çizgilerinin hemen yanında deformasyona uğramış bölgede, deformasyon sertleşmesi, karbon ve kromun yaptığı karbür çökeltileri ve intermetalik fazların oluştuğu, bunların sertliği arttırdığı tahmin edilmiştir [21,23,40].

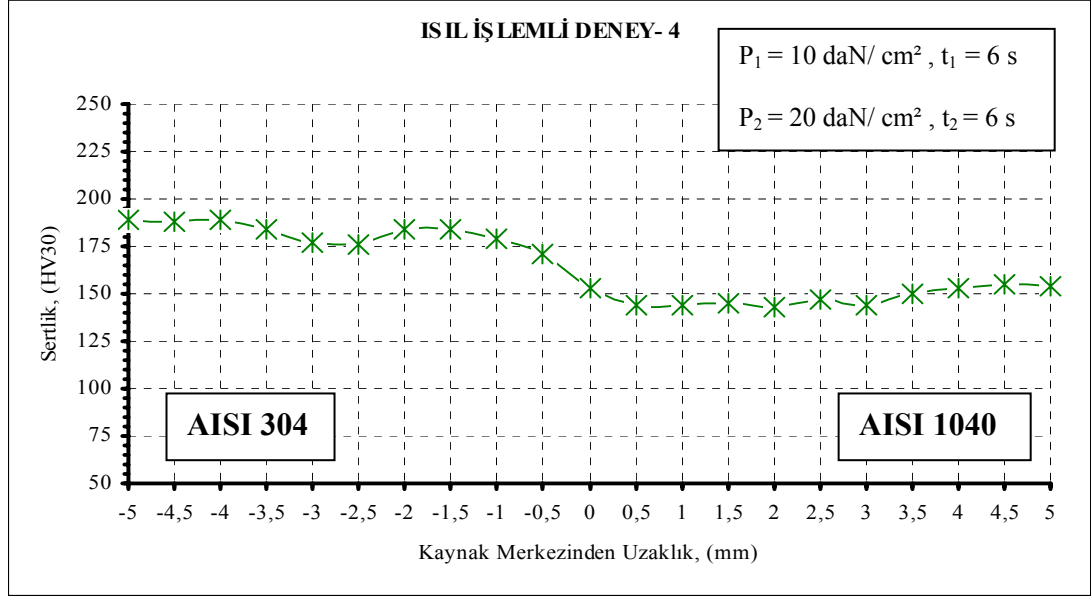
Deformasyona uğramış bölgede oluşan intermetalik fazların kalınlığına dikkat edilmesi gerekir. Malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler [17].

Deneylerden 7 numaraya ait numunenin ($P_1= 20 \text{ daN/cm}^2$, $P_2= 20 \text{ daN/cm}^2$) kaynak bölgesi çok dar bir alandadır. Bununla beraber, ortam ve kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farkı diğer deney numunelerine göre fazladır. Buna göre kaynak sonrası hızlı soğumayla iç gerilmelerin doğmasına neden olur. Bu deneyde yığma basıncının sürtünme basıncından düşük seçilmesiyle, kaynak yerinde oluşan sertliği arttırıcı özellikleri bulunan karbürlerin ve intermetalik fazların dışarı altılamadığı düşünülebilir.

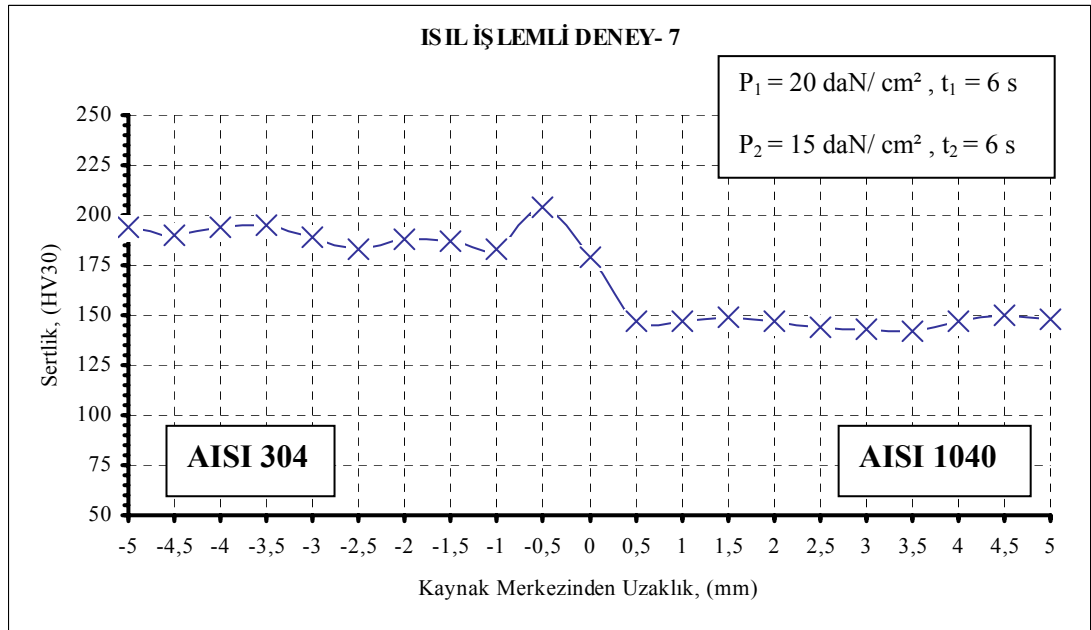
Kaynak bölgelerinde, yığma basıncının ve sıcaklık farkının etkisiyle tane yapıları küçülmüş ve yönlenmişlerdir. Taneler yatay eksene dik bir şekilde uzamışlardır. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Aynı zamanda yığma ve sıcaklığın etkisiyle oluşan viskoz yapı içerisinde tane geçişleri olduğu düşünülmüştür. Cr 'un bir kısmının kaynak işlemi sırasında AISI 1040 çeliği tarafına geçtiği ve kaynak bölgesinde toplandığı bunda sertliği arttırdığı söylenebilir [18,23,35,44].

840°C de 30 dakika bekletilerek ısıl işlem gören 4 ve 7 numaralı deney numunelerinin yatay eksenindeki sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.21-22).

Kıyas yapabilmek için, yatay eksen vickers ucun bıraktığı iz sayısı ve mesafeleri diğer deneylerle aynı tutulmuştur ve buna göre dikkatli şekilde ölçümler yapılmıştır.

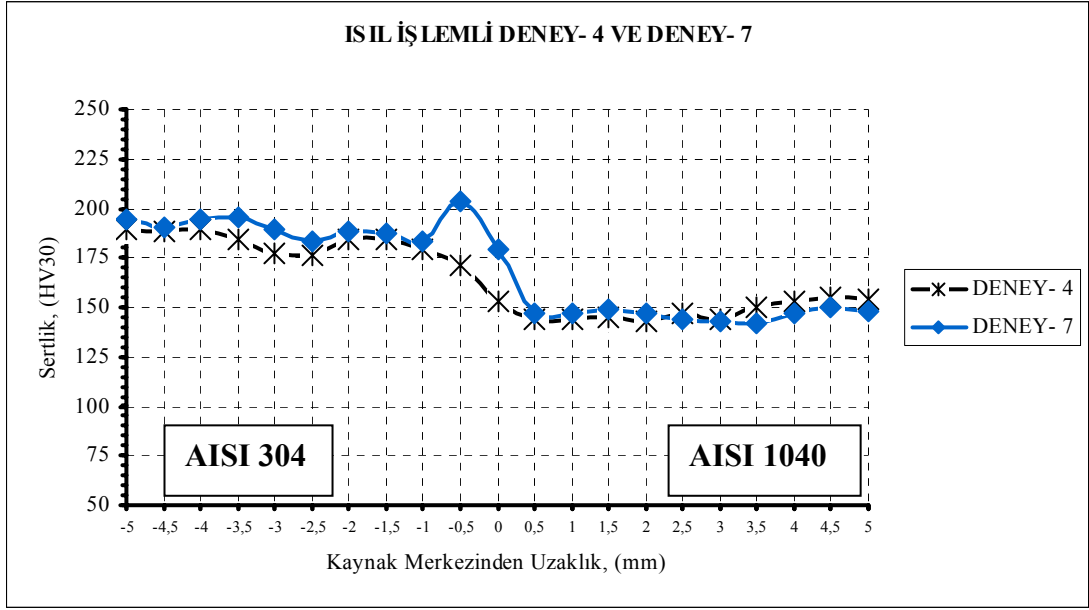


Şekil 4.21 4- Numaralı Isıl İşlem Görmüş Deney Numunesinin Sertlik Dağılımı



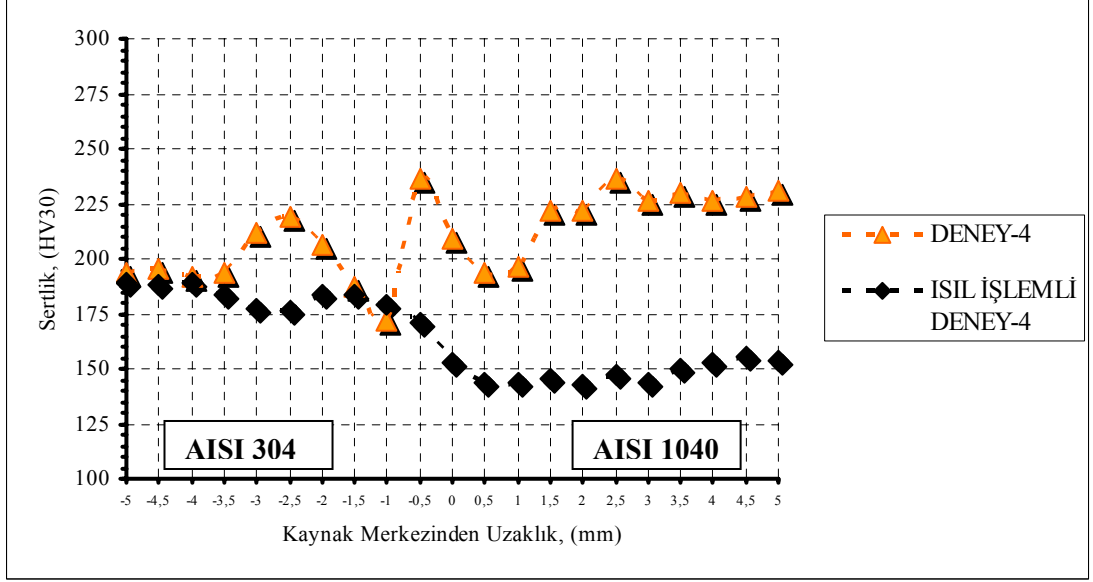
Şekil 4.22 7- Numaralı Isıl İşlem Görmüş Deney Numunesinin Sertlik Dağılımı

Sürtünme kaynağı deneyleri sonrasında normalizasyon tavlaması yapılmış 4 ve 7 numaralı deney numunelerinin yatay eksendeki sertlik değerleri Şekil 4.23 de birlikte verilmiştir.

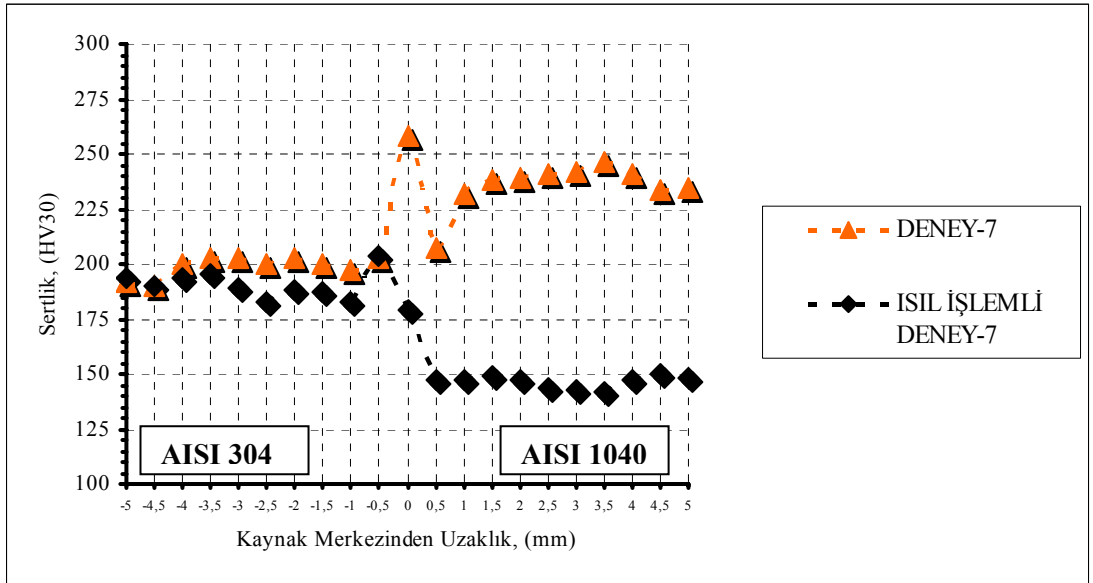


Şekil 4.23 Isıl İşlem Görmüş Numunelerin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları

Karşılaştırabilmek için ısıtılmış ve ısıtılmamış 4 numaralı deney numunesiyle (Şekil 4.24), aynı şekilde 7 numaralı deney numunesinin sertlik değerleri farklı grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.25).



Şekil 4.24 Isıl İşlemlili ve İşlemsiz 4- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları



Şekil 4.25 Isıl İşlemlili ve İşlemsiz 7- Numaralı Deney Numunesinin Yatay Eksendeki Sertlik Dağılımları

Grafikler incelendiğinde normalizasyon ısıl işlemi sonrası AISI 304 çeliğinin sertliğinde fazla bir değişim olmamış, AISI 1040 çeliğinin ise sertliği ısıl işlem sonrasında düşmüştür. Genel olarak bakıldığında, ısıl işlem öncesi ani düşüş ve yükselmelerin olduğu ITAB bölgesinde, daha düzenli bir sertlik profili elde edilmiştir. Isıl işlem öncesi kaynak merkezinde artış gösteren sertlik değerleri, ısıl işlem sonrası aşırı derecede düşmüşlerdir. Sertlik değerlerindeki bu düşüşün ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerin zayıflamasının nedeninin ısıl işlem sonucu ara tabaka kalınlığının artması olduğu düşünülmüştür. Ayrıca normalizasyon ısıl işlemi sonrasında elde edilen çekme değerlerine göre oluşan sünek yapının sebebi olarak düşünülen, iç gerilmelerin azalması, tane küçülmesi ve yönlenmesinin ortadan kalkmasıyla tane yapılarının daha düzenli hale geçmesi, sertliğin burada düşme nedenleri olarak söylenilebilir.

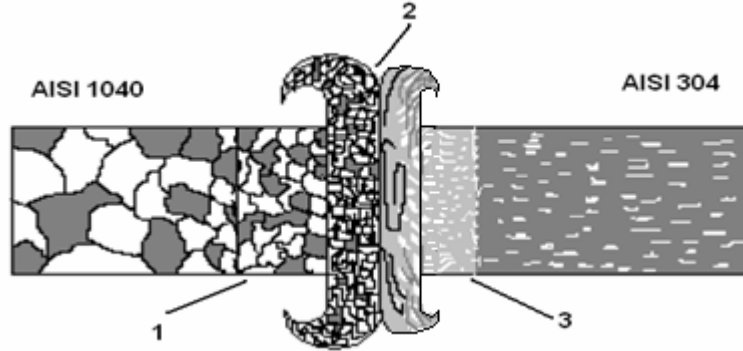
Isıl işlem görmüş 4 numaralı deney numunesinin kaynak merkezinde sertlik 170 HV civarında olup AISI 304 çeliğine doğru yatayda ilerledikçe sertlikte belirgin bir değişime gözlenmemiş ve neredeyse sabitlenmiş bir şekilde devam etmiştir. Aynı durum AISI 1040 çeliğinde de söz konusudur. Tek fark merkeze yakın kısımda azda olsa sertlikte bir düşmenin görülmesidir.

Isıl işlem görmüş 7 numaralı deney numunesinin sertlik grafiği incelenirse, kaynak merkezinde sertliğin 205 HV civarında olduğu ve 4 numaralı deney numunesine göre yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak merkezinden AISI 304 çeliğine doğru ilerlendiğinde kaynağa yakın bölgede sertlikte bir düşme söz konusu olmuş daha sonra ufak dalgalanmalarla 195 HV civarında sabitlenmiştir. Kaynak merkezinden AISI 1040 tarafına ilerlendiğinde merkeze yakın bölgede sertliğin yüksek bir değerde düştüğü ve ardından 145 HV civarında devam ettiği görülmüştür. Bu durumun yığma basıncının sürtünme basıncından daha yüksek alınmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Sıcaklıkla tane yapısı çok etkilenmeyen paslanmaz çelikte, sertliğin bu tavrı göstermesinin sebebinin, malzeme yapısında oluşan karbür çökeltilerinin olduğu düşünülmüştür [17,18,35]. Normal olarak sürtünme basıncının uygulandığı sırada sertliği arttıran bu oluşumlar yığma basıncına geçildiğinde malzeme dışına itilir. Ama bu deneyde yığma basıncında bu itici güç sağlanamamıştır.

4.5 Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

AISI 304 ve AISI 1040 çeliklerinin sürtünme kaynak işlemlerinin ardından mikro yapı incelemeleri öncesi araştırmalara dayanarak numuneler dağlanmıştır [44]. İncelemelerde kaynak yeri ve iki numunenin kaynağa yakın bölgelerinde yapısal farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılığın sebebi kaynak esnasında yüksek sıcaklıklara ulaşılması ve bu esnada uygulanan basınç olarak gösterilebilir. Hazırlanan 7 farklı numunenin mikro yapılarında göze çarpan AISI 304 çeliğindeki yapısal değişimin AISI 1040 çeliğine göre çok az olmasıdır.

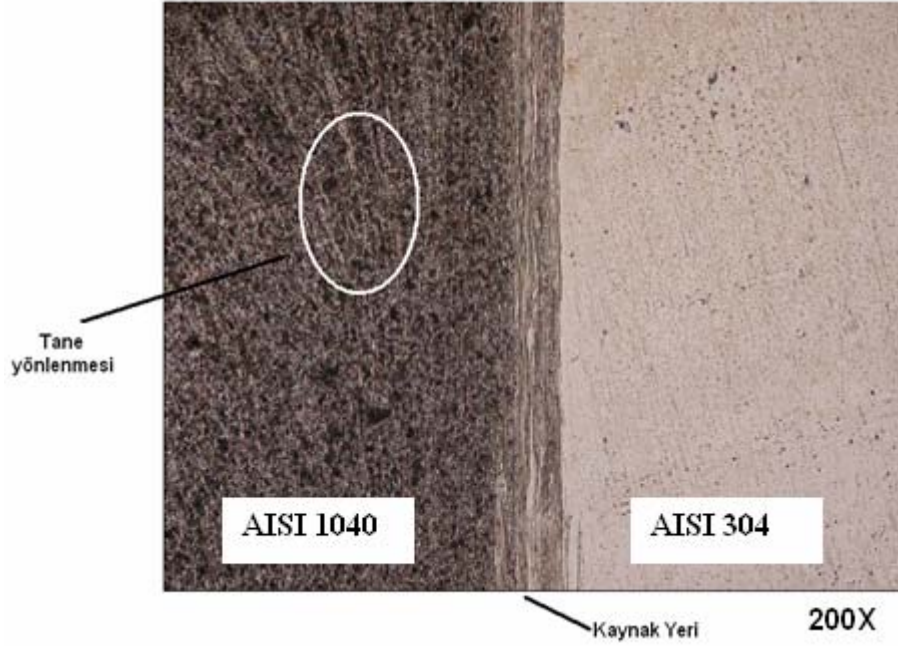
İki çeliğin kaynağında meydana gelen değişimler 3 farklı bölge olarak görülmüştür. Bunlardan birincisi AISI 1040 çeliğinin kaynak yerine yaklaştıkça küçülen ve yönlene tane yapısının oluştuğu bölge, ikincisi kaynak merkezindeki plastik deformasyonun en çok görüldüğü ve difüzyonla parçalı geçişlerin olduğu bölge, üçüncüsü ise AISI 304 çeliğinin kaynağa yakın kısımlardaki küçülmüş ve ısıdan etkilenen tane yapısının görüldüğü bölgedir (Şeki 4.26).



Şekil 4.26 Sürtünme Kaynaklı Numunenin Tane Yapısı [23]

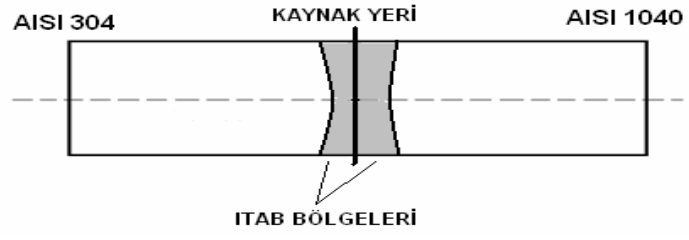
AISI 304 çeliği tarafında oluşan tanesel yapı değişimi ve buna paralel olarak ısı değişimi tam olarak tespit edilememiştir. Tüm deneylerde AISI 1040 tarafındaki kaynağa yakın kısımdaki taneler sıcaklık ve basıncın etkisiyle küçüldüğü gibi ısının kaçtığı yöne doğru uzamışlardır.

Sürtünme kaynağında kaynak merkezinde çevresel hız sıfırdır. Çap genişledikçe ve merkezden uzaklaştıkça bu hız artar. Hızın artmasıyla sürtünme artmış ve oluşan ısı da buna paralel olarak artmıştır. Mikro yapı incelemelerinde tanelerin bu etkiyle nasıl yönlendiği Şekil 4.27 de açıkça görülmektedir [44].

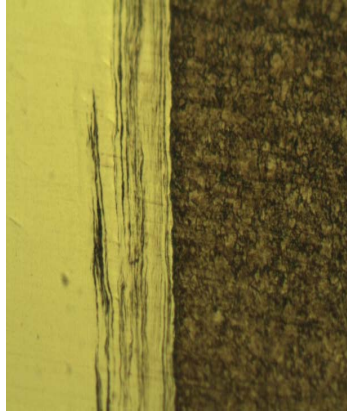


Şekil 4.27 Malzeme Yapısında Oluşan Tane Yönlmesi

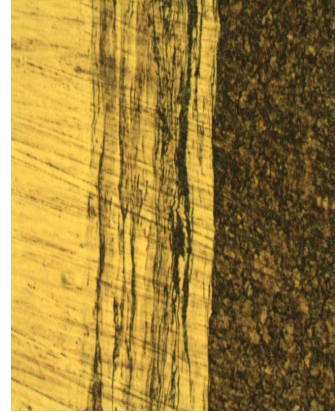
Sürtünme kaynaklı numunelerin kaynak yerlerinin 200X büyütme oranıyla oluşturulan optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.28 de verilmiştir.



Deney- 1



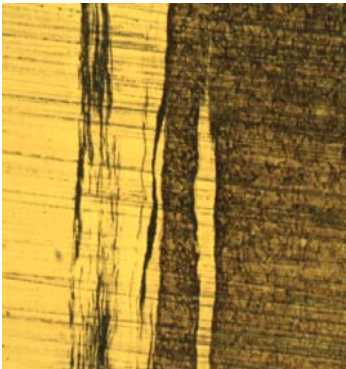
Deney- 2



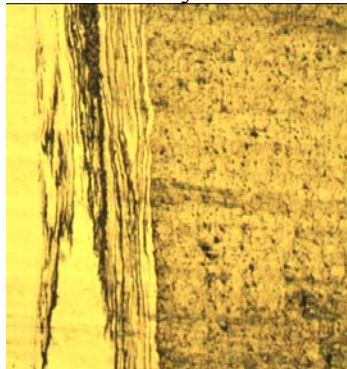
Deney- 3



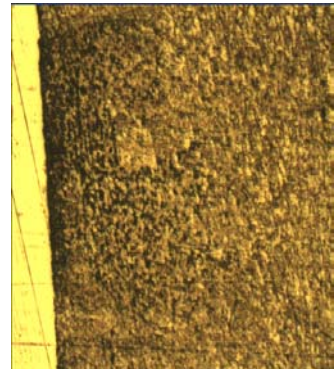
Deney- 4



Deney- 5



Deney- 6



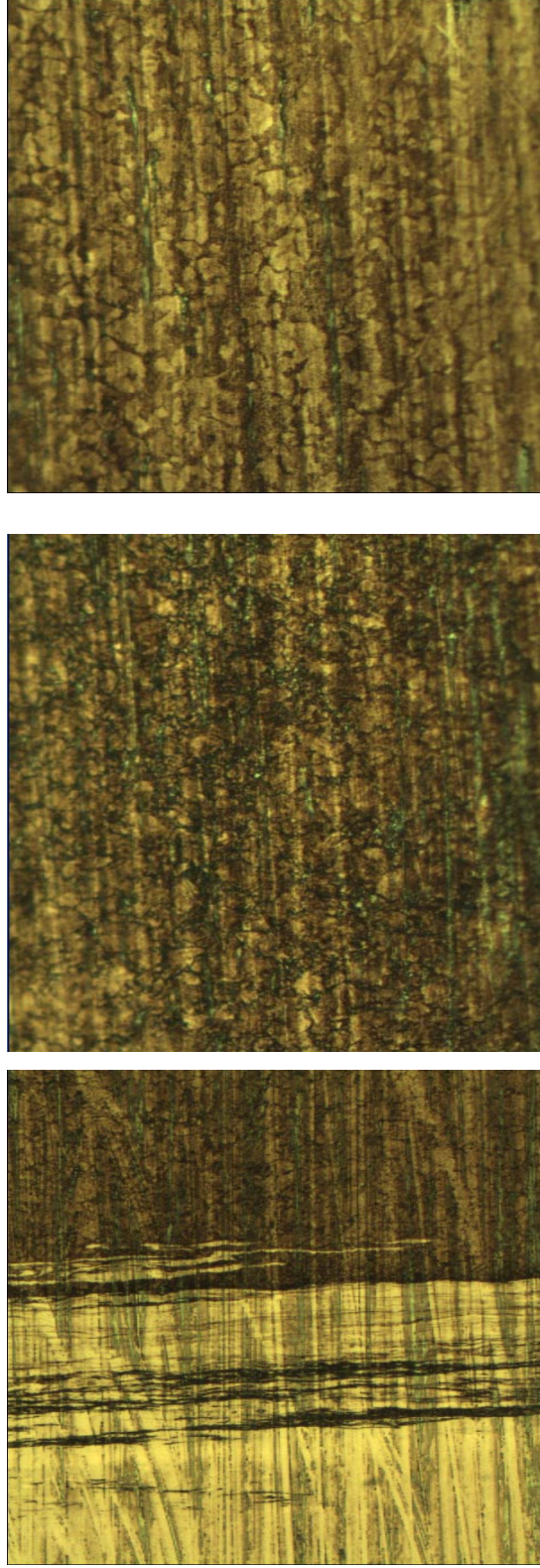
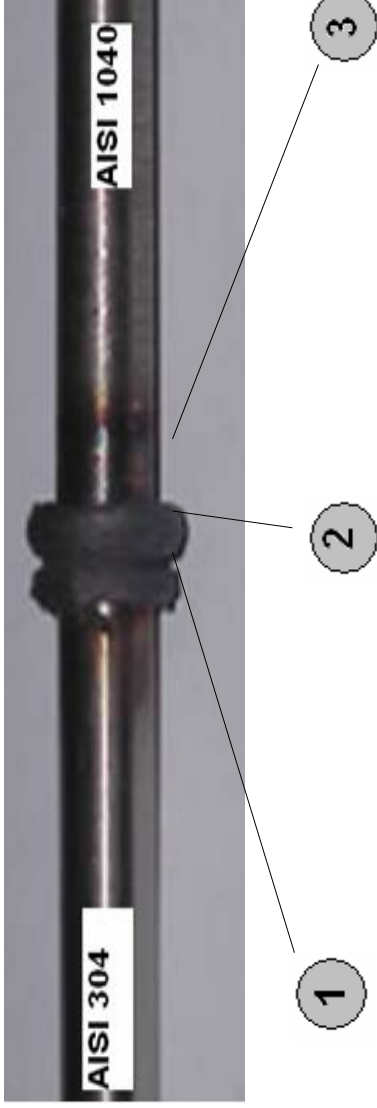
Deney- 7

Şekil 4.28 Farklı Parametrelerdeki Deneylerin Kaynak Yerlerinin Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)

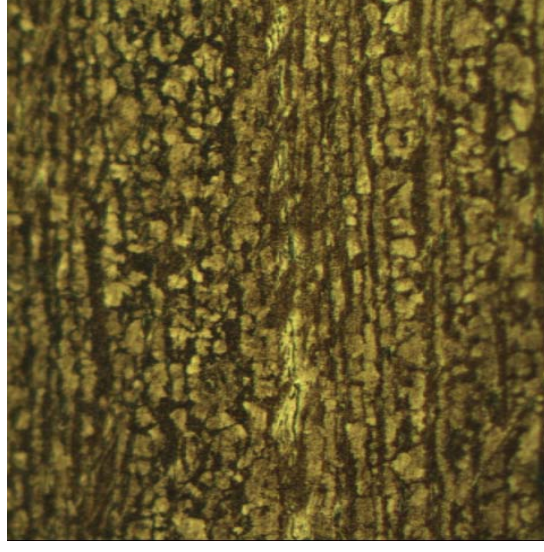
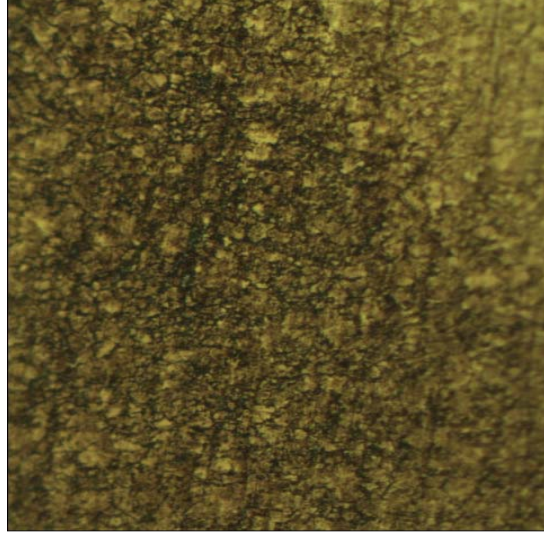
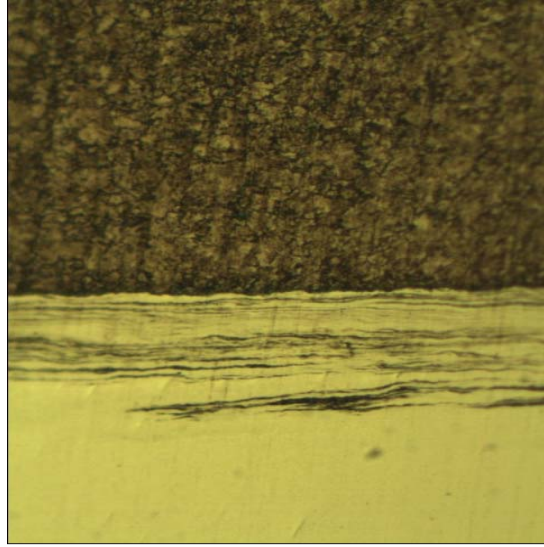
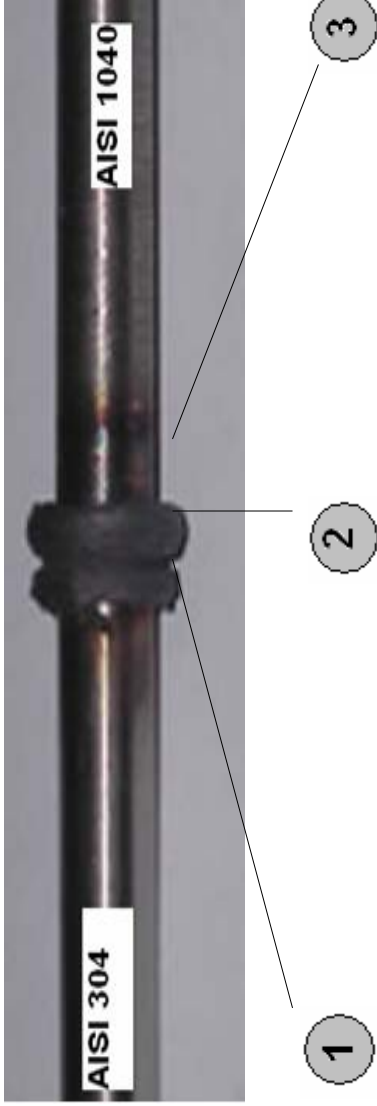
Elde edilen kaynak yerleri görüntülerine bakıldığında 7 numaralı deney numunesinin dışında tüm numunelerin kaynak yerlerinde parçalı bir birleşme söz konusudur. Bunun sebebi kaynak esnasında oluşan yüksek sıcaklıkla birlikte plastik deformasyonun artışıdır. Basıncında etkisiyle özellikle AISI 1040 çeliğinin kaynak bölgesinde görülen yüksek plastik deformasyon malzemelerin birbiri içine geçişini sağlamıştır. Neredeyse tüm kaynaklı numunelerin AISI 1040 tarafında karbür çökeltilerinin olduğu düşünülmüştür.

Deneylerden 7 numaraya ait olan numunenin kaynak bölgesi incelendiğinde, kaynak yerinin malzemelerin birbirine geçişi ile değil bir çizgi halinde olduğu saptanmıştır. Bunun sebebinin bölgede sıcaklığın yeterli seviyeye ulaşmadığı düşünülse de kaynak bölgesinde yapılan sıcaklık ölçümlerinde bu numunenin kaynak bölgesindeki sıcaklığı en yüksek çıkmıştır. Araştırmalara göre bu numunenin kaynak parametrelerinden olan sürtünme basıncı ve yığma basıncının seçiminin bu bölgedeki oluşuma etki ettiği düşünülmüştür. Bu deneyde $P_1 = 20 \text{ daN/cm}^2$, $P_2 = 15 \text{ daN/cm}^2$ şartlarında, yığma basıncının sürtünme basıncından daha düşük seçilmesi bu geçişi olumsuz etkilemiş, ortam sıcaklığı yeterli olmasına rağmen gerekli olan itmeyi sağlayamayan yığma basıncı nedeniyle malzemeler arası birleşmenin meydana gelmediği düşünülmüştür.

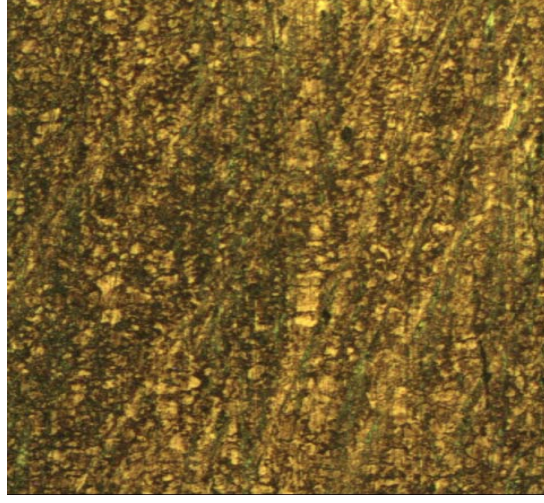
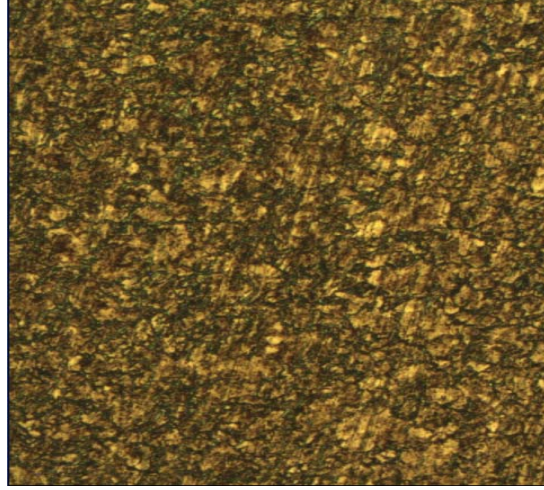
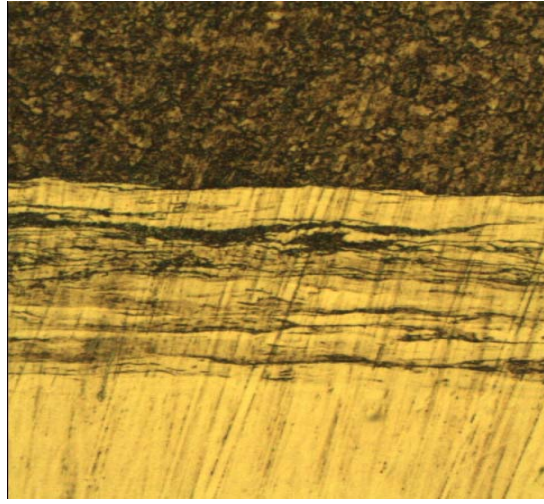
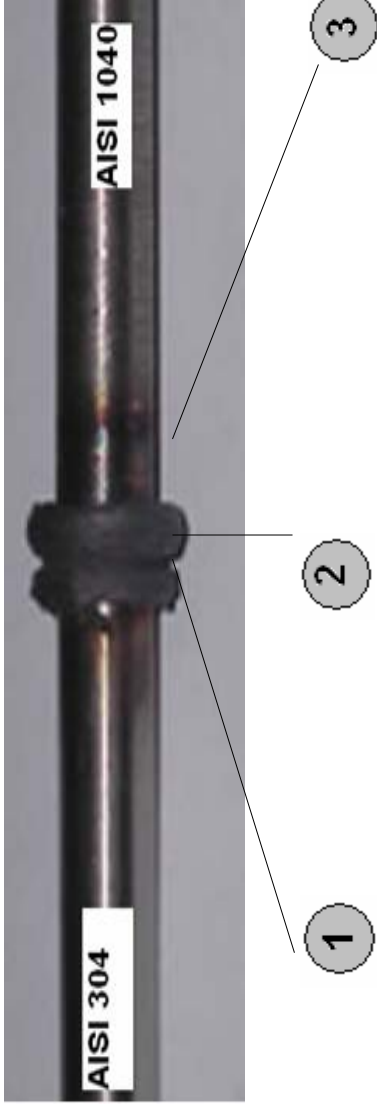
Sürtünme kaynağıyla birleştirilmiş 7 adet numunenin, AISI 1040 tarafında gözlenen yapısal değişimler optik mikroskopla elde edilmiştir. Bu optik mikroskop incelemeleri 200X büyüklüğünde gerçekleştirilmiştir. 1 numaralı bölge kaynak yerini, 2 numaralı bölge kaynak bölgesinin hemen yanındaki ITAB bölgesini, 3 numaralı bölgede ITAB bölgesinden ana malzemeye geçilen kısmı göstermektedir (Şekil 4.29-35).



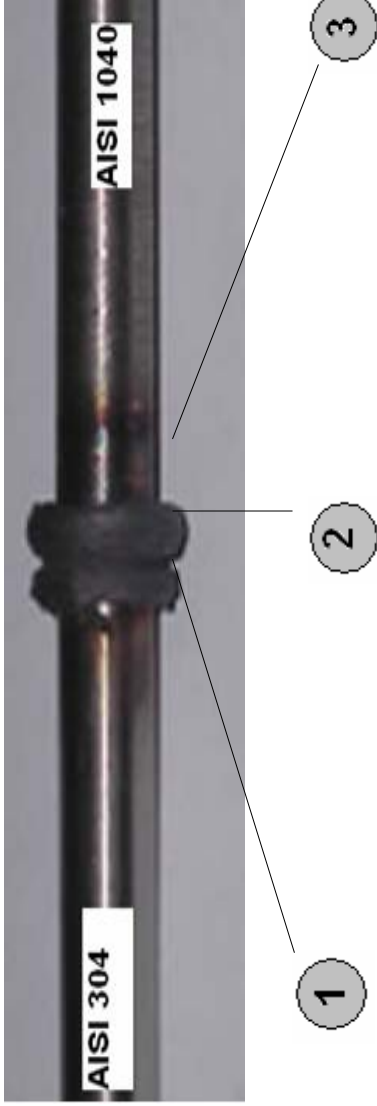
Şekil 4.29 1 - Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=8 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=15 \text{ daN/cm}^2$)



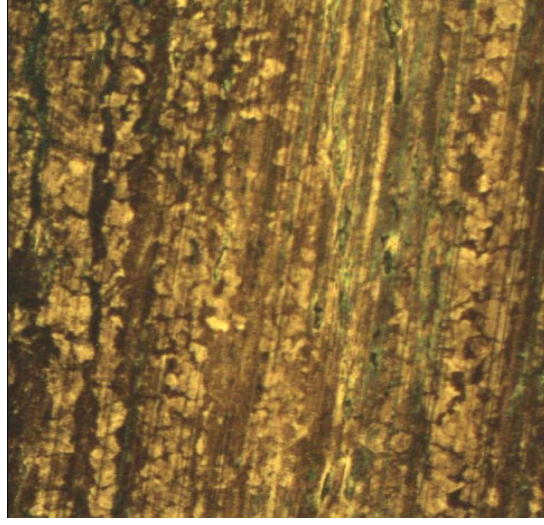
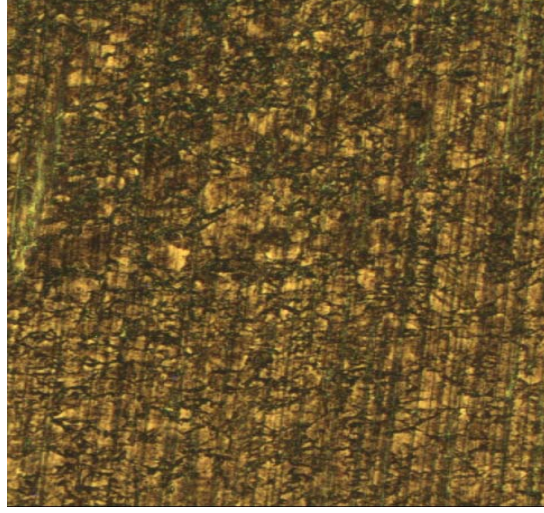
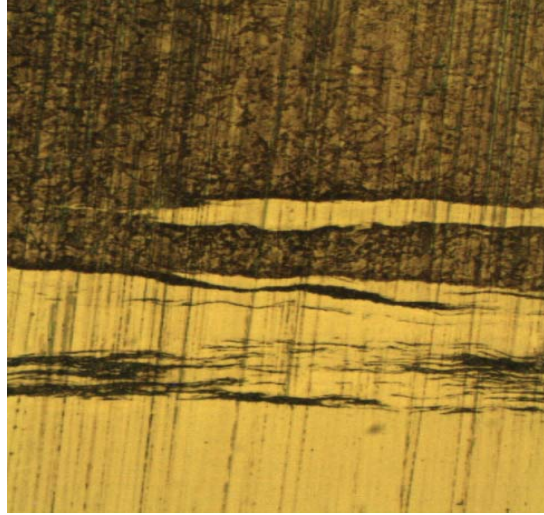
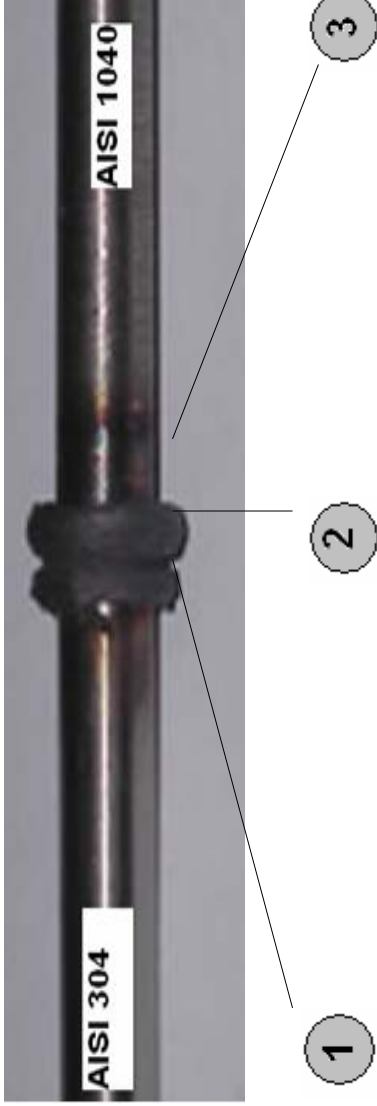
Şekil 4.30 2- Numaralı Deney Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=8 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=20 \text{ daN/cm}^2$)



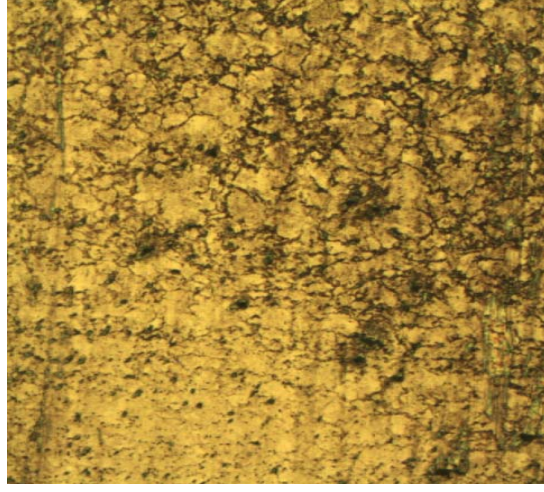
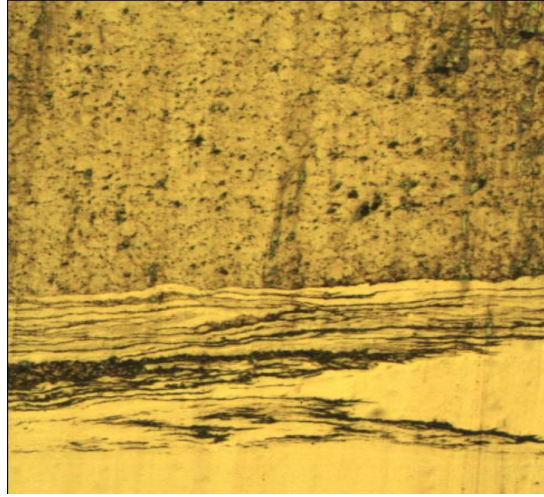
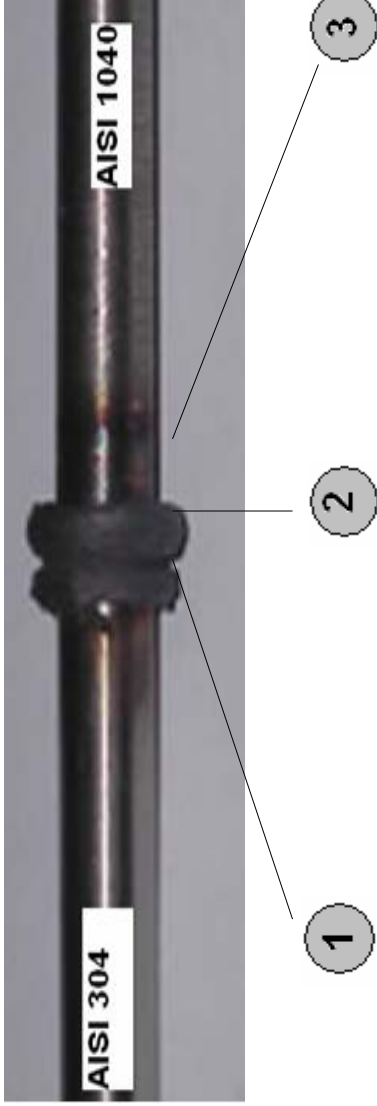
Şekil 4.31 3- Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=10 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=15 \text{ daN/cm}^2$)



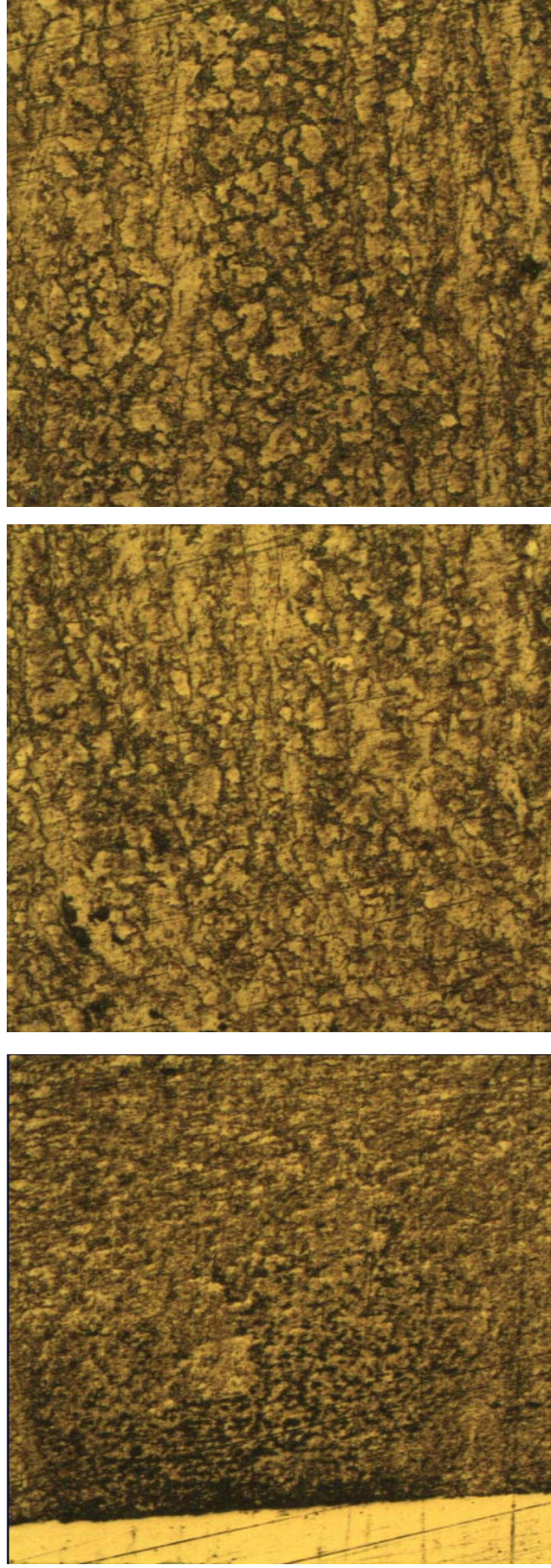
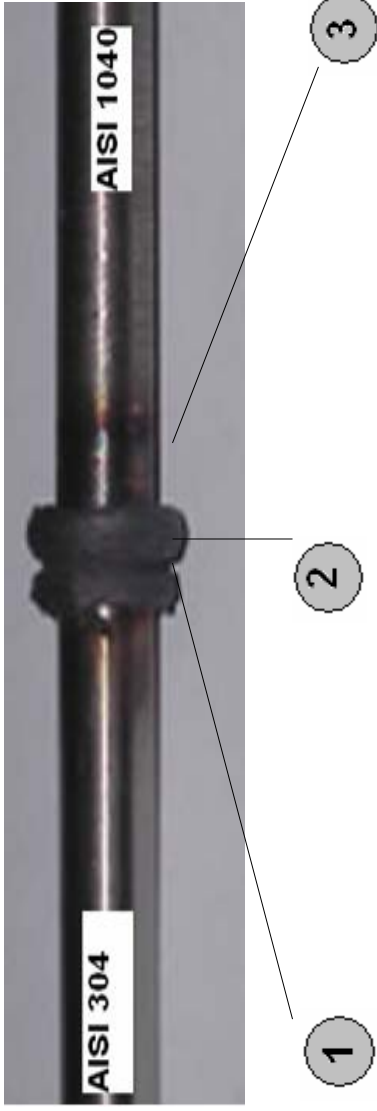
Şekil 4.32 4- Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=10 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=20 \text{ daN/cm}^2$)



Şekil 4.33 5- Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=15 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=15 \text{ daN/cm}^2$)

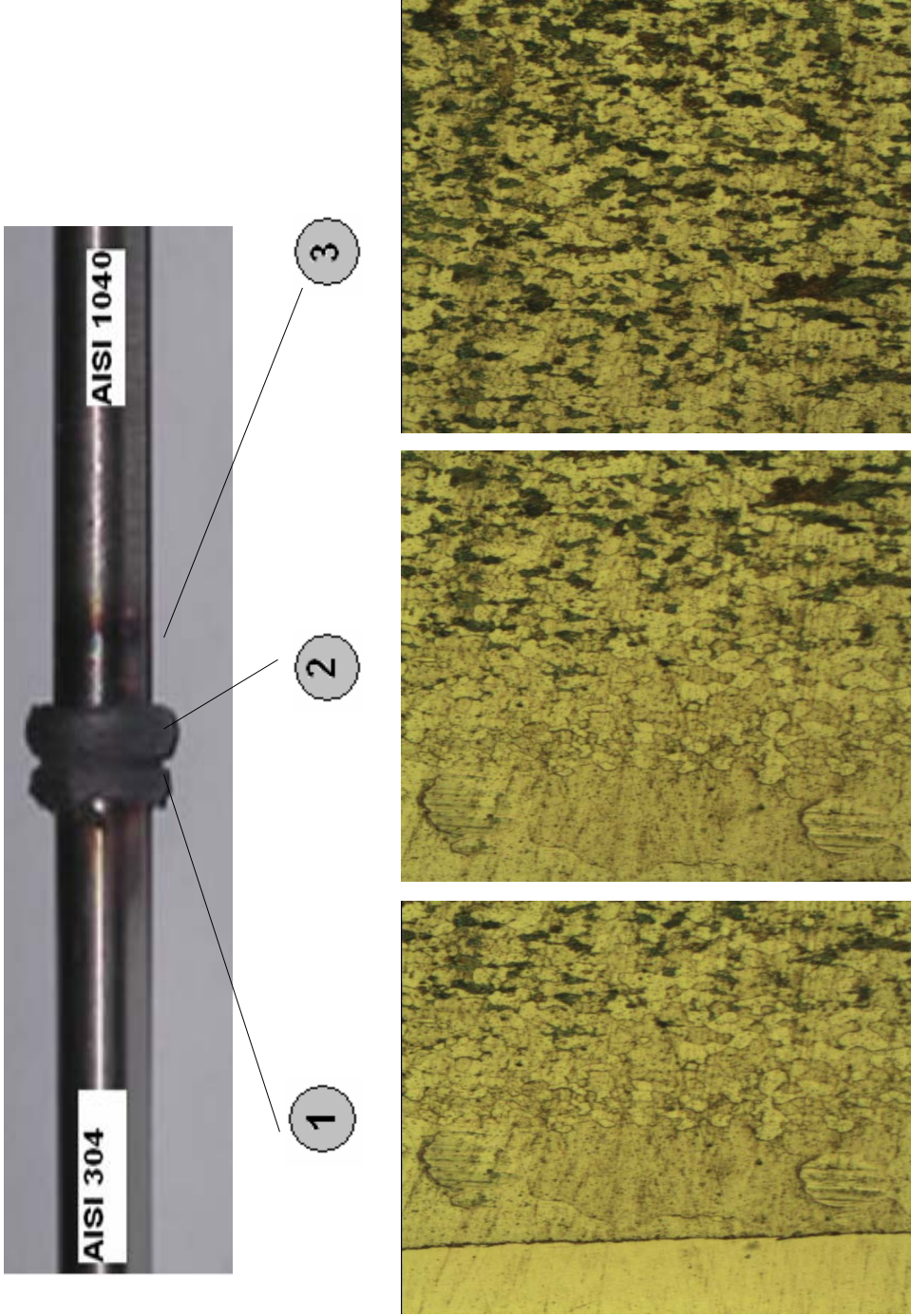


Şekil 4.34 6- Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=15 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=20 \text{ daN/cm}^2$)



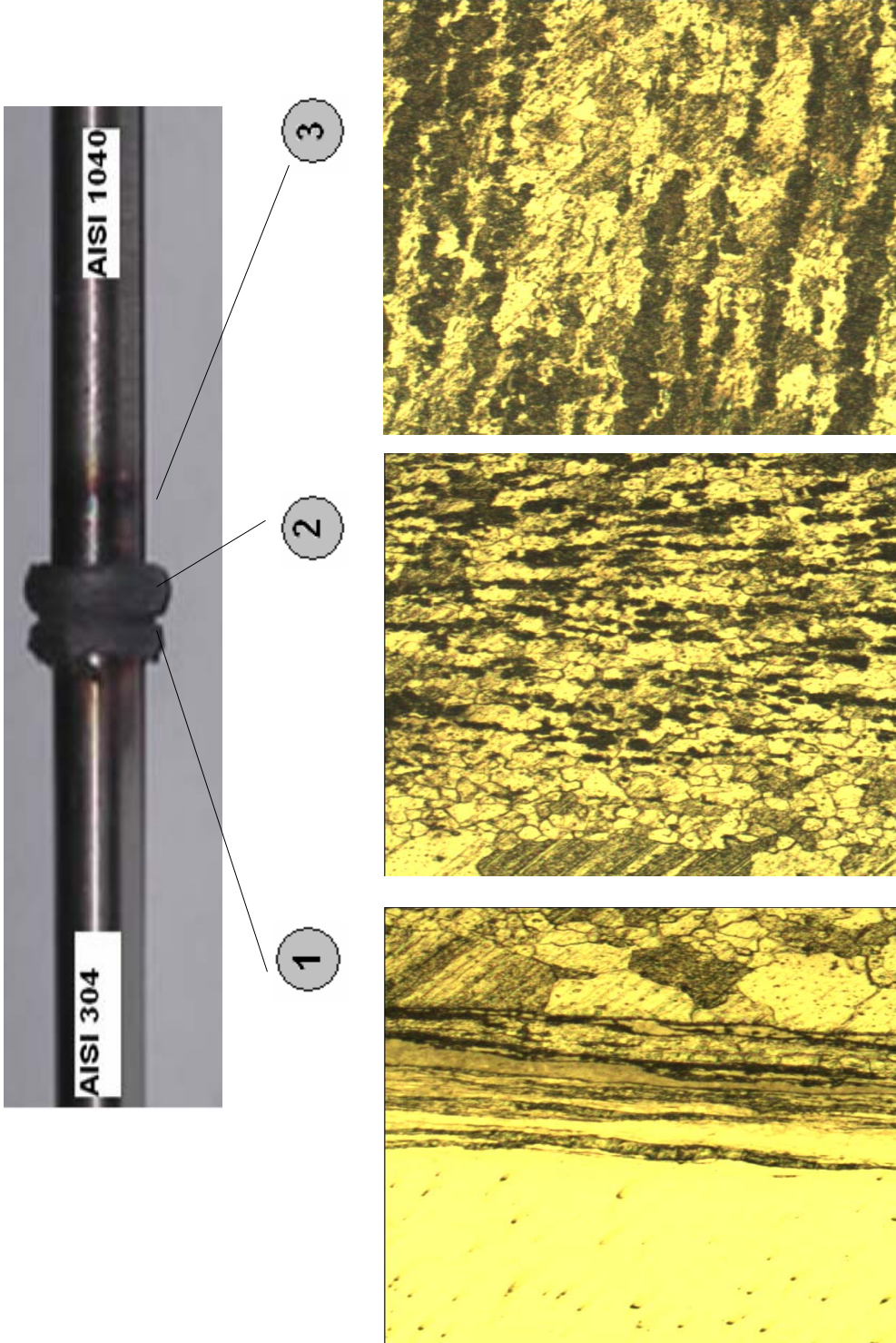
Şekil 4.35 7- Numaralı Deneysel Numunesinin 200X Büyüklüğündeki Optik Mikroskop Görüntüleri ($P_1=20 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=15 \text{ daN/cm}^2$)

Normalizasyon tavlaması yapılmış 7 numaralı deneye ait numunenin, 200X büyüklüğünde yapılan optik mikroskop incelemeleri Şekil 4.36 de verilmiştir.



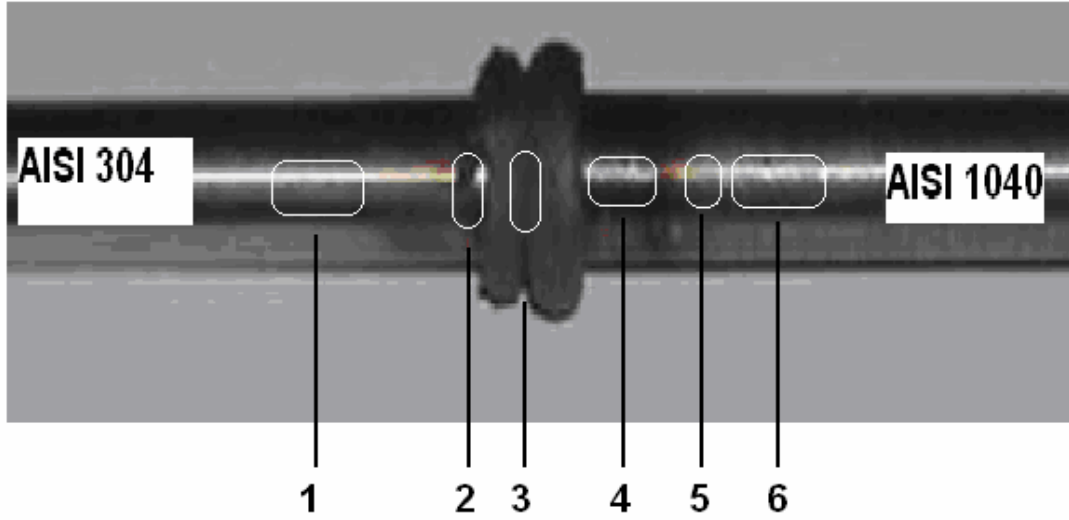
Şekil 4.36 Isıl İşlemli 7- Numaralı Dene Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)

Normalizasyon tavlaması yapılmış 4 numaralı deneye ait numunenin, 200X büyüklüğünde yapılan optik mikroskop incelemeleri Şekil 4.37 da verilmiştir.



Şekil 4.37 Isıl İşlemli 4- Numaralı Dene Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (200X)

Numunelerin mikro yapılarında görülen değişiklikleri daha iyi saptayabilmek için 4 numaralı deney numunesinin 500X büyüklüğündeki büyütme oranıyla optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Numuneden inceleme yapılan noktalar Şekil 4.38 'de gösterilmiştir. Burada paslanmaz çelik tarafında oluşan tane yapıları da açıkça gözlemlenmiştir (Şekil 4.39).



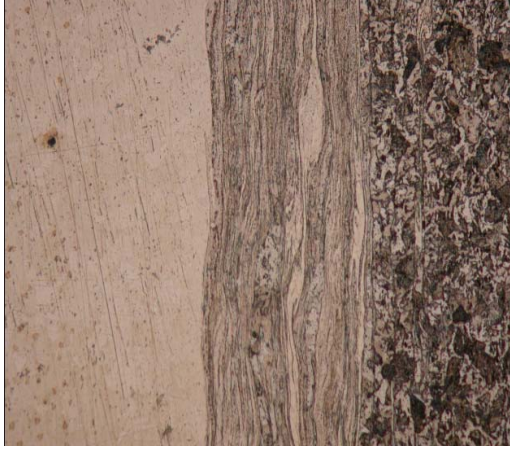
Şekil 4.38 4-Numaralı Deney Numunesinin Mikroskop Görüntülerinin Alındığı Noktalar (500X)



1



2



3



4



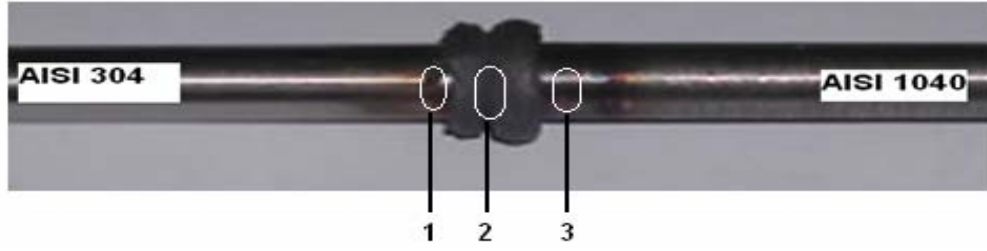
5



6

Şekil 4.39 4- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (500X)

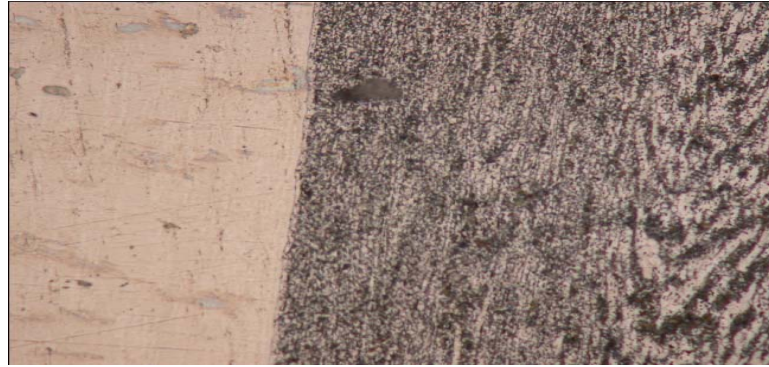
Deneylelerden 7 numaraya ait numunenin de 500X büyüklüğünde optik incelemeleri yapılmıştır. İlk bölge, AISI 304 çeliğinin ITAB bölgesinden ana malzemeye geçişini, ikinci bölge, kaynak yerini, üçüncü bölge ise AISI 1040 çeliğinin ITAB bölgesinden ana malzemeye geçişini göstermektedir (Şekil 4.40).



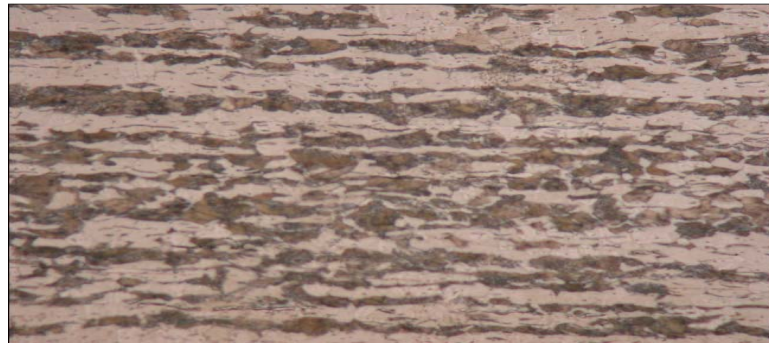
1



2



3



Şekil 4.40 7- Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (500X)

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerde ITAB bölgeleri birbirlerinden farklı genişliktedir. Yapılan deneylerde ITAB bölgesinin genişliğinin sürtünme basıncının artışıyla arttığı görülmüştür (Şekil 4.29-36).

Mikro yapı incelemelerinde, AISI 1040 çeliğinin tane yapısında değişimler olduğu görülmüştür. Paslanmaz çelik tarafında tane yapısında değişiklik olmamasının sebebinin, sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin yeterli gelmemesi olduğu düşünülmüştür.

Genel olarak, optik incelemelerde kaynak bölgesinin tane yapısının çok küçüldüğü görülmüştür. Bunun sebebinin kaynak sırasındaki yüksek sıcaklık oluşumuyla tanelerin plastik deformasyon tarafına yönelmeleri ve uygulanan yığma basıncı olduğu düşünülmüştür [11,12,44].

Kaynak bölgelerinde malzeme, ısının etkisiyle rekristalizasyona uğramış ve tane yapıları poligonal bir hal almıştır. AISI 1040 tarafında karbür çökeltileri olduğu düşünülmüştür. Yığmanın ve haddelemenin etkisiyle birinci bölgelerde küçülen ve yönlene taneler bulunmuştur. Literatür çalışmalarında bu alanda, genelde sıcaklığın A_3 sıcaklığı üzerine çıkmasından dolayı ferritin yanında kalıntı östenitinde olabileceği, soğumanın hızlı olmasından dolayı östenitin bir kısmının ferrite dönüşemediği düşünülmüştür. Bu çalışmada elde edilen veriler bu bulguları destekler niteliktedir. Ayrıca tane yapıları bölgede düzenli bir şekilde dağılmışlardır. [17,18,35,45,46]

İkinci bölgelerde tane yapısı incedir. Tane yapıları ferrit ve perlitten oluşmaktadır. Açık renk olan taneler ferrit, koyu renk olanlar ise perlittir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da bölgelerde soğuma hızından dolayı az da olsa kalıntı östenitin olabileceği tahmin edilmiştir. Sementitlerin tam olarak toparlanamamasından dolayı, sıcaklığın A_1 ile A_3 arasında olduğu düşünülmüştür [35,36,44].

Benzer çalışmalarda olduğu gibi üçüncü bölgelerde perlitlerin ayrışmaya başladığı görülmüştür. Buna göre sıcaklıkların A_1 sıcaklığın biraz üzerinde olduğu

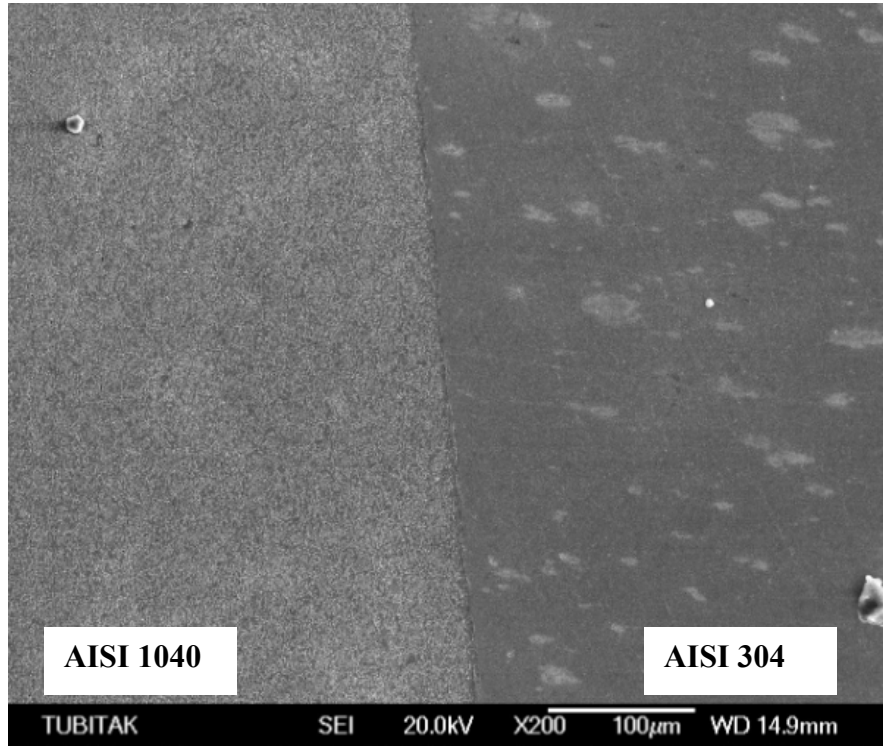
söylenbilir. Bu bölgelerde tane yapıları irileşmiştir. Tanelerin dağılımı ise düzenli değildir [35].

Normalizasyon tavlaması yapılmış 7 numaralı deney numunesinde ise aynı tane yapıları yine saptanmıştır. Kaynak bölgesindeki tane yapısı ince olup saf ferrite yakındır. Diğer bölgelerde taneler daha düzenli bir haldedir.

Yapılan deneylerde paslanmaz çeliğin iç yapısında pek bir değişiklik olmadığı optik mikroskop incelemelerinde rahatlıkla görülmüştür. Tane yapısı olan östenit kendini korumuştur [46,47].

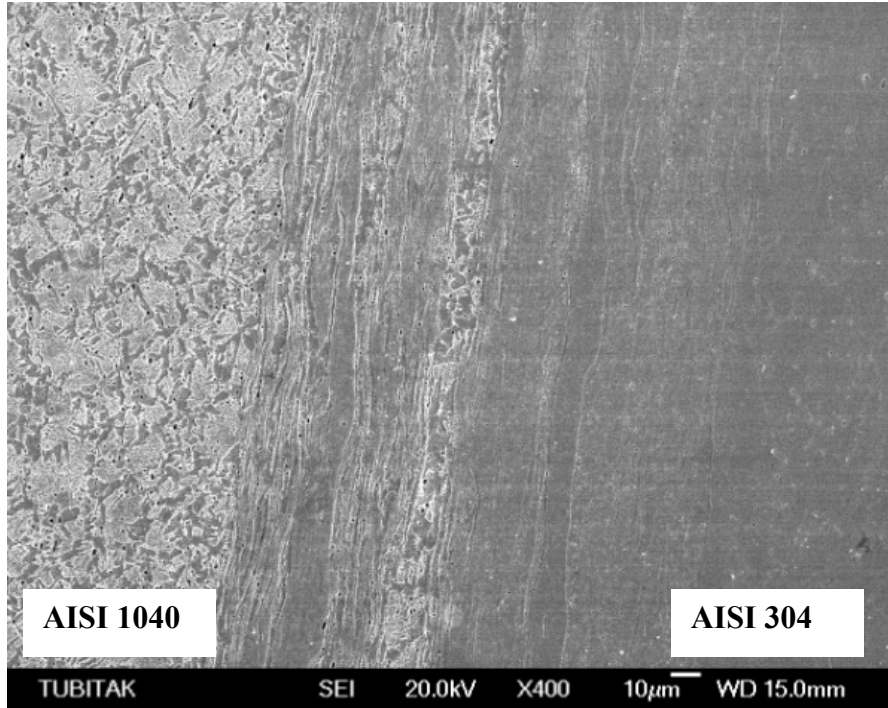
Isıl işlemler numunelerin mikro yapılarında ise aynı tane yapılarına rastlanmıştır. Burada önemli fark, yağmanın ve sıcaklığın etkisiyle oluşan tane yapılarının daha düzenli bir hale geçmesidir[48]. Isıl işlemler numunelerinin sertlik değerlerinin düşmesi bu değerlendirmeyi desteklemiştir.

Kaynak parametreleri, dayanım ve uzama değerleri incelendiğinde sağlıklı kaynaklar olduğu dūřünülen 4 numaralı kaynaklı numuneyle, yığıma basıncının sūrtünme basıncından dūřük seğilmesinin kaynak kalitesine nasıl bir etki yarattığı dūřünülen 7 numaralı kaynaklı numunenin elektron mikroskopundaki (SEM) incelemelerine bakıldığında, 7 numaralı deney numunesinde kaynak yerinin bir çizgi olarak olduğu görülmüştür (şekil 4.41).



şekil 4.41 7- Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafı

Aşağıda ise 4 numaralı deney numunesinin kaynak bölgesine ait SEM fotoğrafı görülmektedir. Bu numunede kaynak bölgesi 7 numaralı numuneye göre farklılık göstermektedir. Burada kaynak bölgesi plastik deformasyon ve basıncın etkisiyle parçalı durumdadır (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 4- Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafi

Bu incelemelerin ışığında Gebze 'de bulunan TÜBİTAK araştırma merkezinde, Jeol Jsm-6335F Field Emission Scanning Electron Misroscope cihazında alınan SEM fotoğraflarının ardından kaynaklı numunelere uygun görülen bölgelerden EDS analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin yapıldığı noktalar resimlerde kare içine alınmıştır. Deneylerden 4 numaraya ait numunenin yapılan EDS analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 4.43-48).

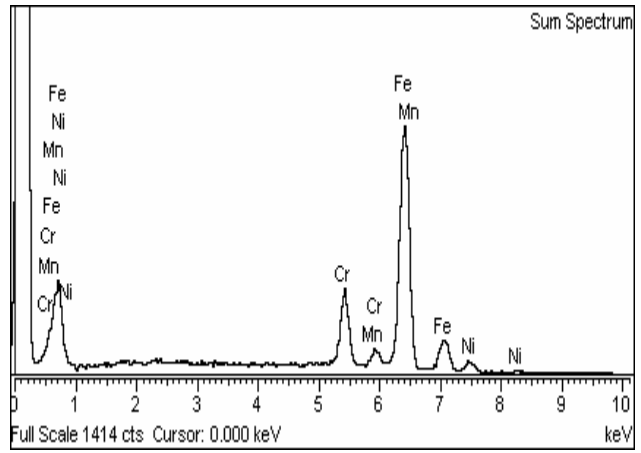
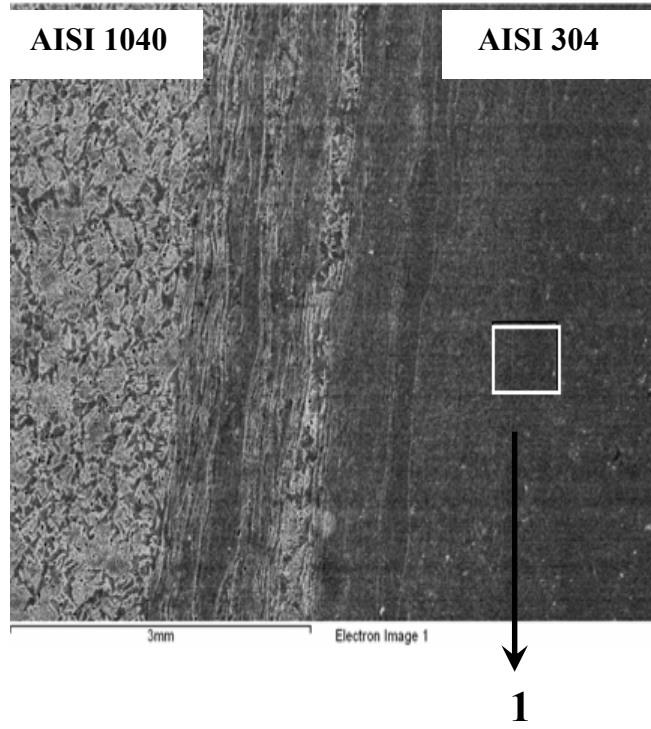
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements
analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :

Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	13.68	14.59
Mn K	2.12	2.14
Fe K	78.44	77.84
Ni K	5.75	5.43
Totals	100.00	



Şekil 4.43 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu
($P_1=10 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=20 \text{ daN/cm}^2$)

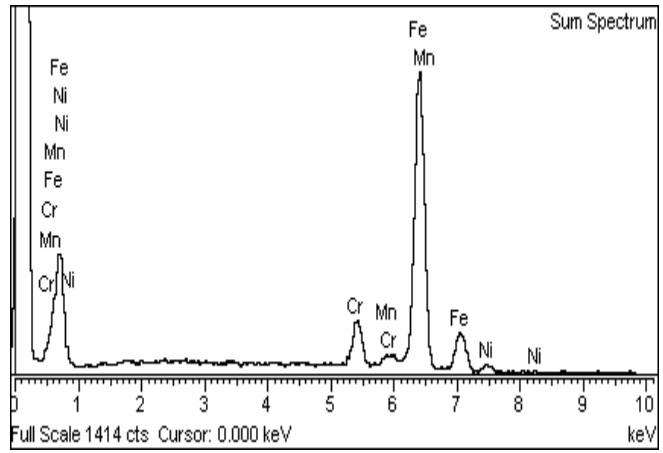
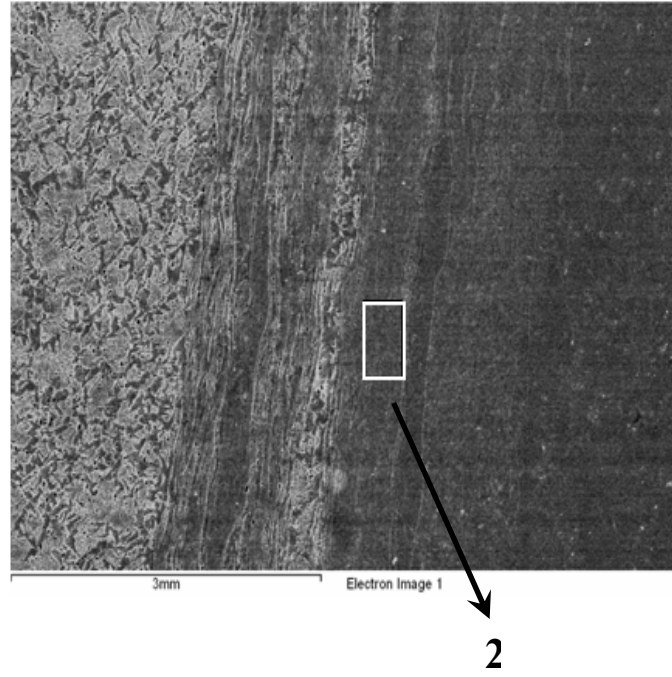
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements
analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :

Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	7.56	8.09
Mn K	1.46	1.48
Fe K	87.57	87.20
Ni K	3.40	3.22



Şekil 4.44 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu

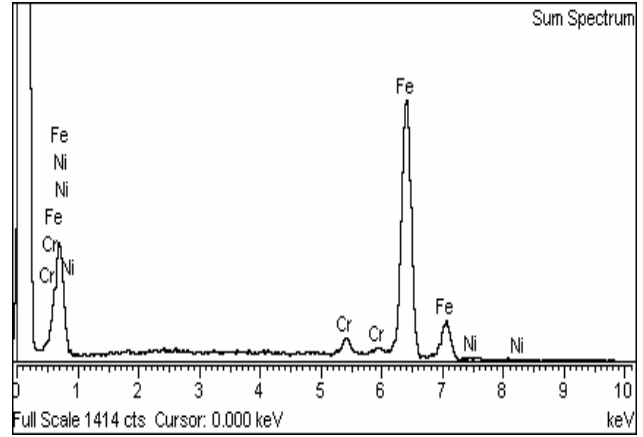
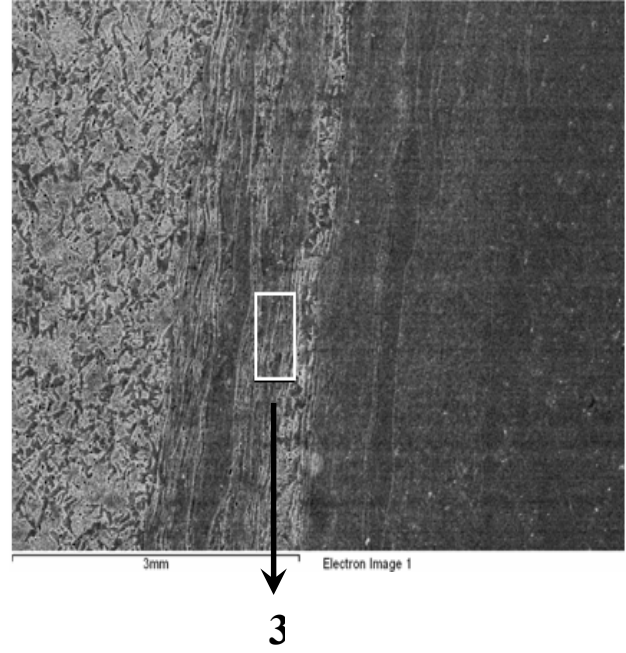
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :

Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	2.85	3.06
Fe K	96.39	96.22
Ni K	0.76	0.72
Totals	100.00	



Şekil 4.45 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 2

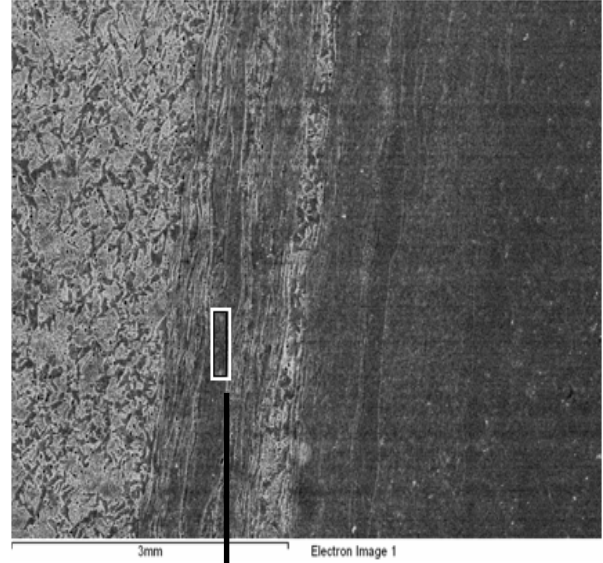
Standard :

Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM

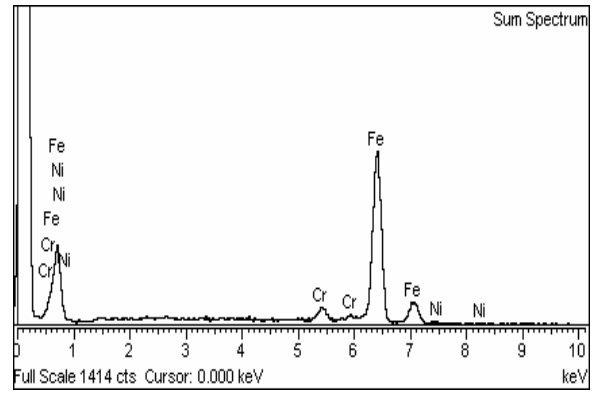
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	3.88	4.16
Fe K	94.54	94.34
Ni K	1.58	1.50
Totals	100.00	



4



Şekil 4.46 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 4 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 2

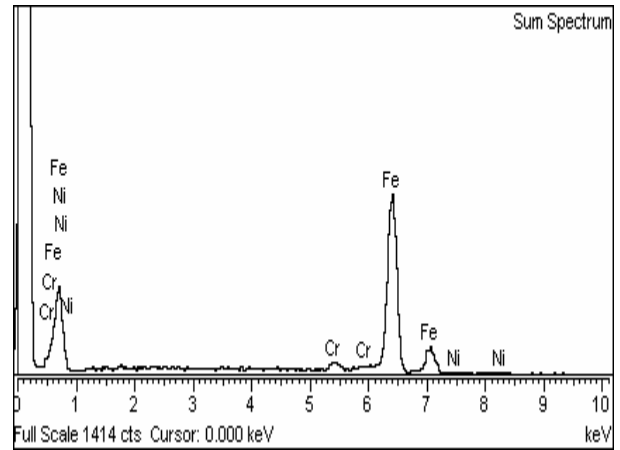
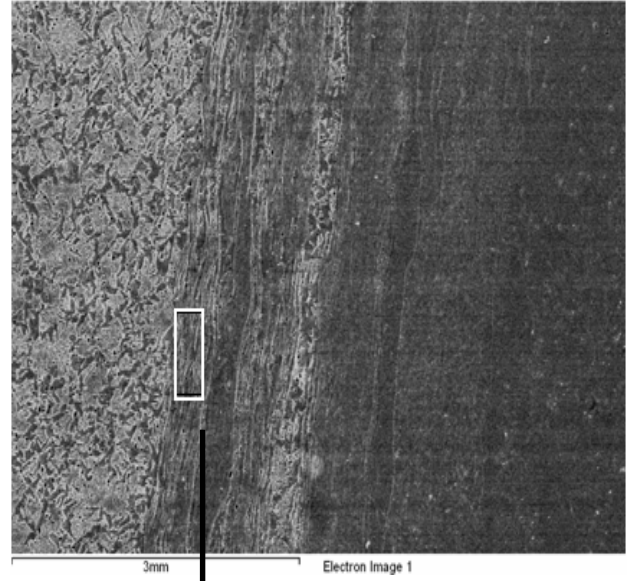
Standard :

Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	2.04	2.18
Fe K	97.04	96.94
Ni K	0.93	0.88
Totals	100.00	



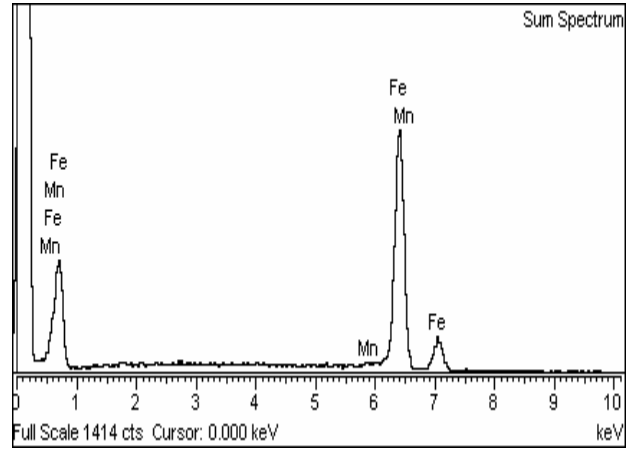
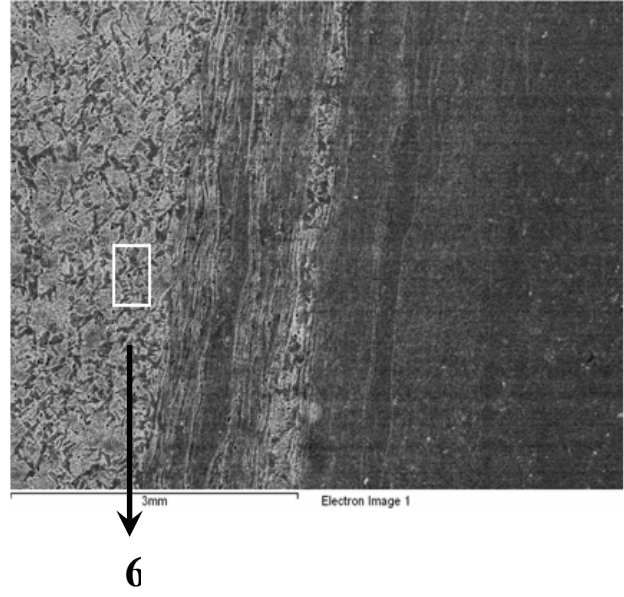
Şekil 4.47 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 5 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 1

Standard :
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mn K	1.39	1.41
Fe K	98.61	98.59
Totals	100.00	



Şekil 4.48 Deneylerden 4- Numaralı Numuneye Ait 6 Noktasının EDS Sonucu

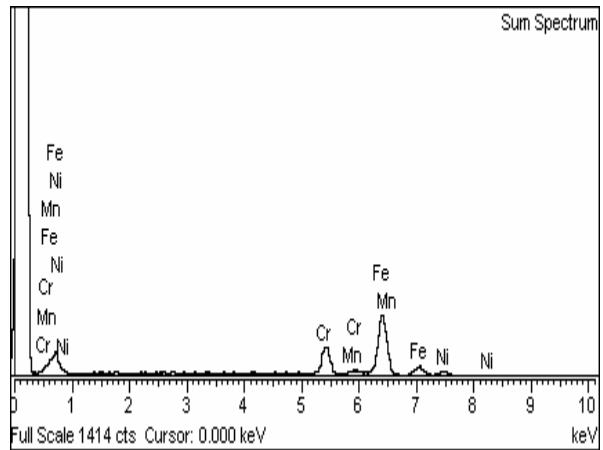
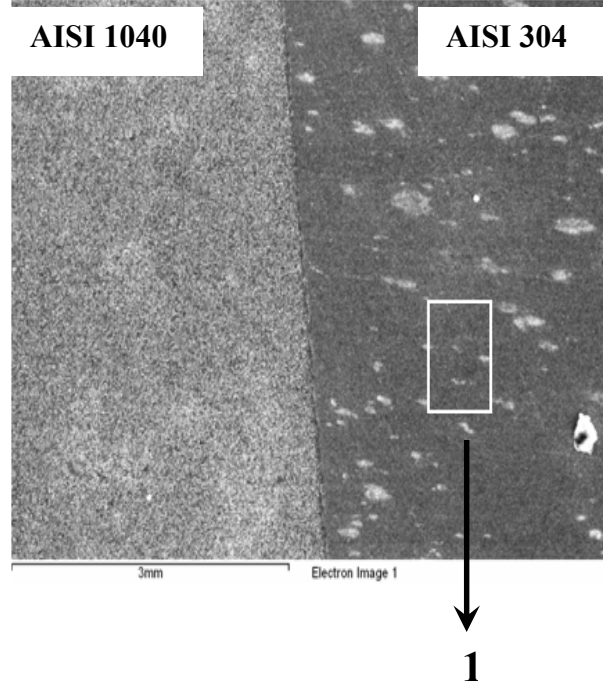
Çizgisel olarak yapılan EDS analizi 7 numaralı Deney numunesine uygulanırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilir (Şekil 4.49-51).

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	19.24	20.45
Mn K	1.89	1.90
Fe K	70.43	69.70
Ni K	8.45	7.96
Totals	100.00	



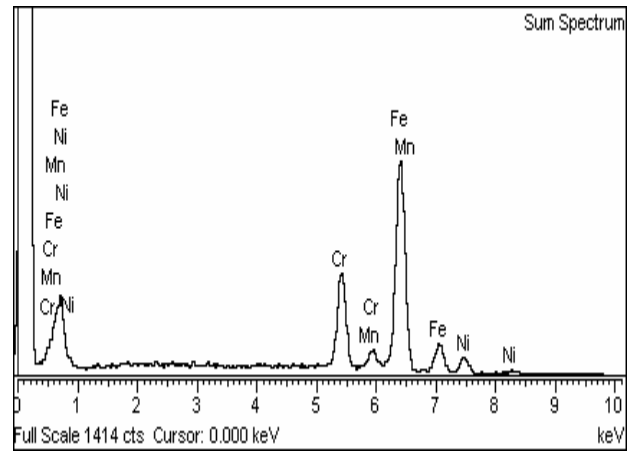
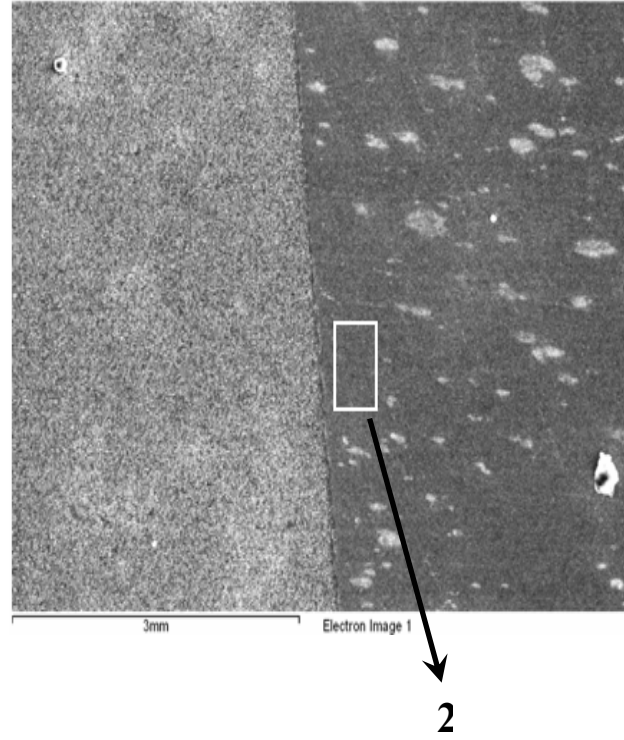
Şekil 4.49 Deneylerden 7- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu
($P_1=20 \text{ daN/cm}^2$, $P_2=15 \text{ daN/cm}^2$)

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	19.74	20.97
Mn K	1.82	1.83
Fe K	70.37	69.60
Ni K	8.07	7.59
Totals	100.00	



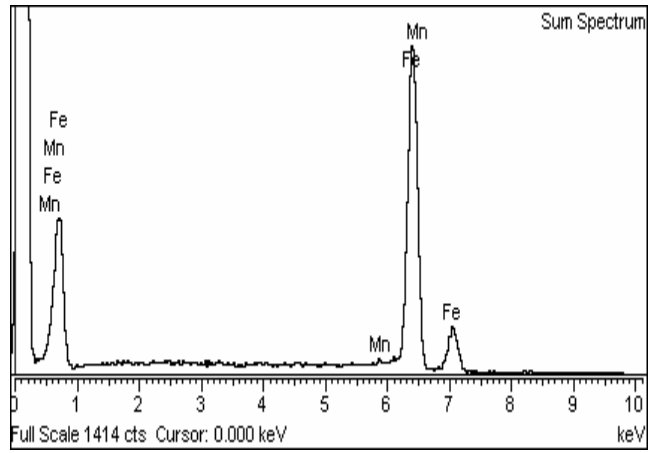
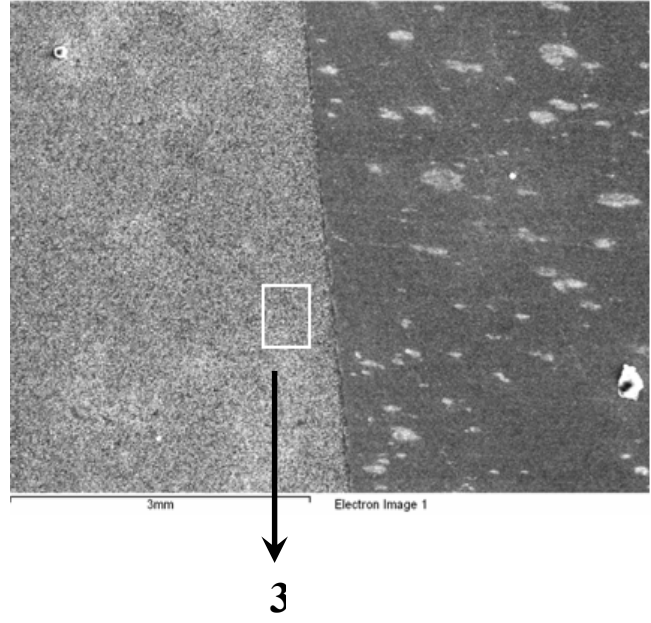
Şekil 4.50 Deneylerden 7- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 1

Standard :
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mn K	1.13	1.15
Fe K	98.87	98.85
Totals	100.00	



Şekil 4.51 DeneYlerden 7- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu

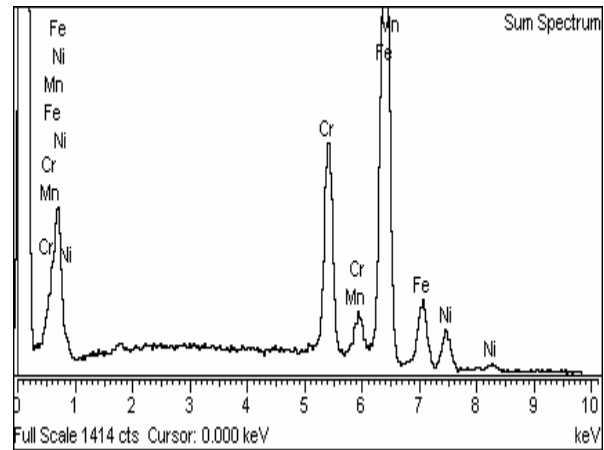
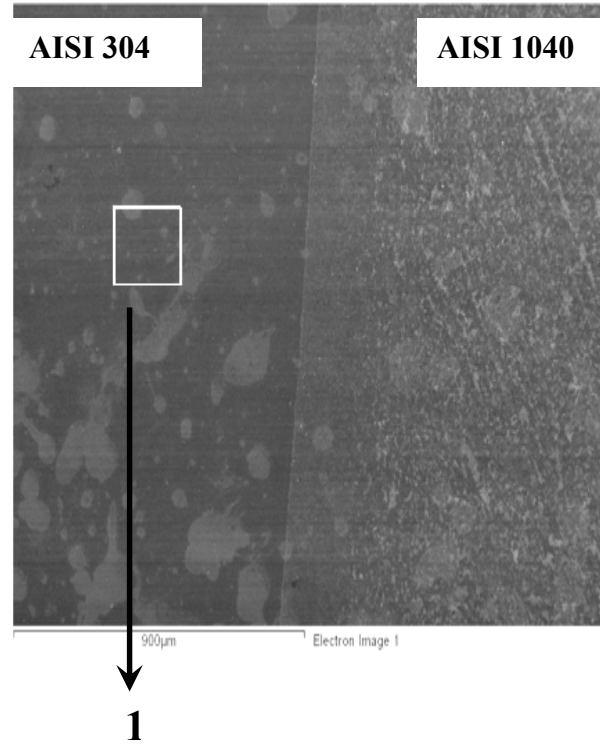
Yapılan EDS sonuçlarına göre yorum yapabilmek ve kıyaslayabilmek için 7 numaralı ısıtılmış işlem görmüş deney numunesine de EDS analizi yapmak faydalı olacaktır (Şekil 4.52-55).

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	19.45	20.67
Mn K	1.30	1.30
Fe K	70.61	69.88
Ni K	8.65	8.14
Totals	100.00	



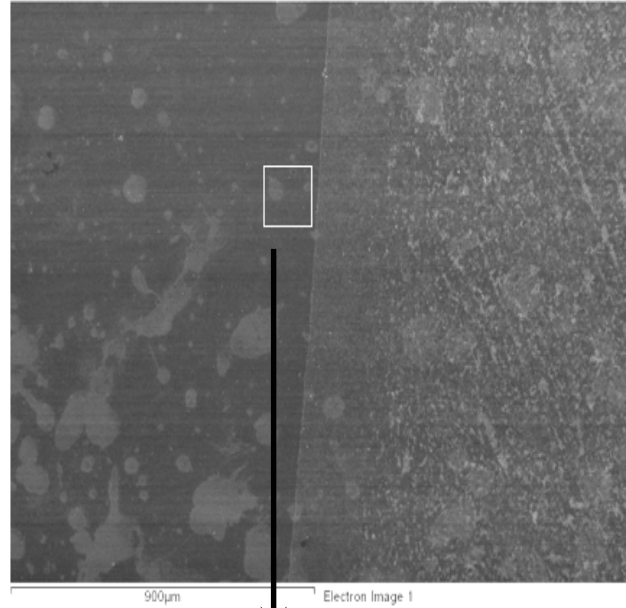
Şekil 4.52 Isıtılmış İşlemlenmiş 7- Numaralı Numuneye Ait 1 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 1.755, 4.680 keV

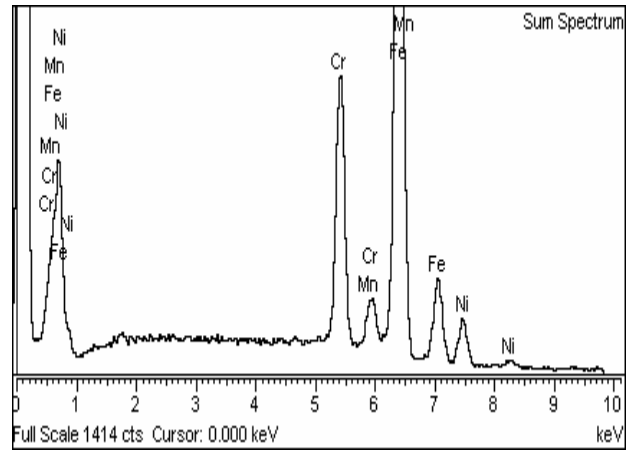
Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	19.12	20.32
Mn K	1.64	1.65
Fe K	71.29	70.55
Ni K	7.95	7.48
Totals	100.00	



2



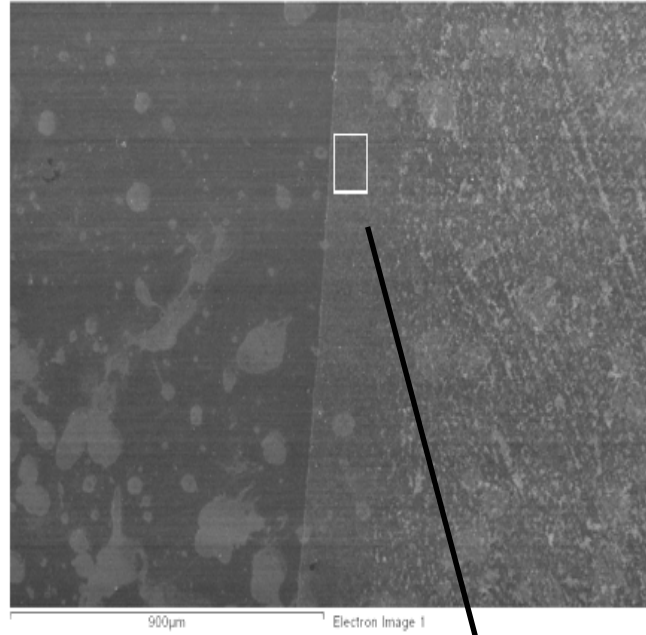
Şekil 4.53 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 2 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

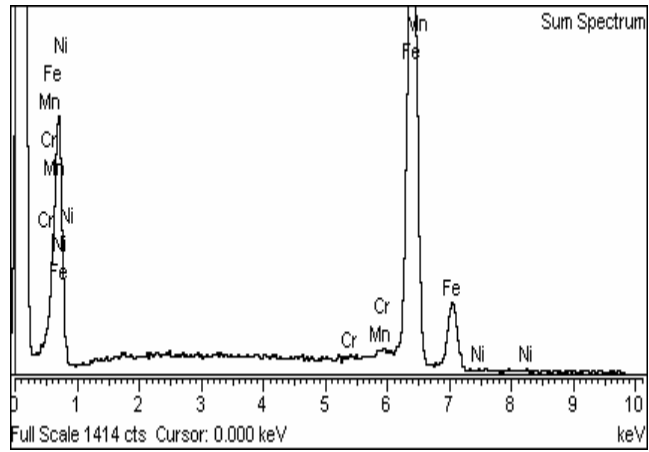
Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 1

Standard :
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	0.10	0.10
Mn K	1.22	1.24
Fe K	98.45	98.43
Ni K	0.24	0.22
Totals	100.00	



3



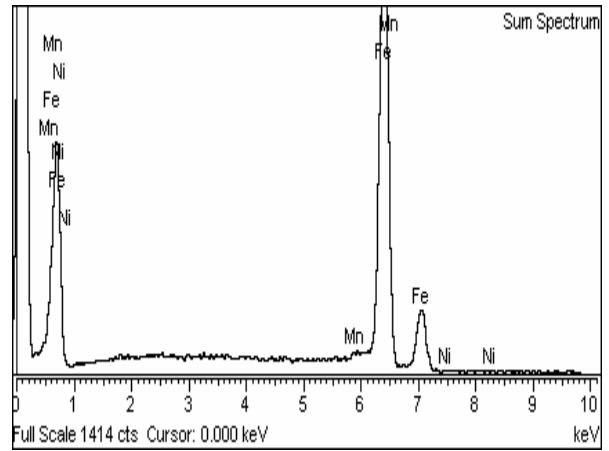
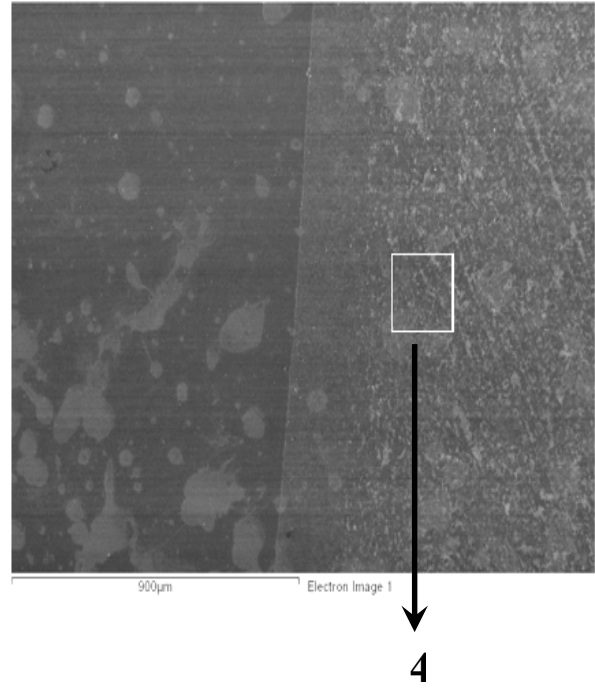
Şekil 4.54 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 3 Noktasının EDS Sonucu

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 1

Standard :
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mn K	0.91	0.92
Fe K	98.97	98.96
Ni K	0.13	0.12
Totals	100.00	



Şekil 4.55 Isıl İşlemlı 7- Numaralı Numuneye Ait 4 Noktasının EDS Sonucu

Numunelerden 4 numaralı deneye ait olanın EDS analizine bakıldığında, kaynak bölgesine yakın bölgede paslanmaz çeliğin yapısındaki Cr elementinin oranında azalma görülmüştür. Bu azalmanın sebebi olarak, sıcaklığın ve basıncın etkisiyle kaynak bölgesinde malzemelerin girişimi ve difüzyon olarak gösterilebilir. Kaynak esnasında paslanmaz çeliğin yapısında bulunan Cr elementinin bir kısmının AISI 1040 çeliği tarafına geçtiği düşünülmüştür. Sertlik ölçümlerinde kaynak merkezindeki artışın, paslanmaz çelik tarafında düşmesinin sebebi olarak Cr elementinin bu bölgede yoğunlaşması olduğu düşünülmüştür.

Görüntülerden anlaşılacağı gibi hem sürtünme kaynağı sonrası ısıtılmış işlem görmemiş, hem de ısıtılmış işlemli 7 numaralı deney numunelerinin kaynak yeri çizgi şeklindedir. 4 numaralı deney numunesinde olduğu gibi birbirine geçmiş bir kaynak bölgesi yoktur.

Isıtılmış işlem görmemiş 7 numaralı deney numunesinin, AISI 304 çeliğinden kaynak yerine doğru ilerlendiğinde elementlerin oranında fazla bir değişim söz konusu olmamıştır. Cr miktarında hafif bir artış söz konusudur. Ama buradaki Cr oranı 4 numaralı deney numunesinde olduğu gibi difüzyona uğrayıp bölgelere dağılmamış, kaynak yerinde yüksek bir oranda kendini göstermiştir. AISI 1040 çeliği tarafına geçildiğinde ise elementlerin difüzyonu söz konusu olmamış, numune sahip olduğu ana yapısını korumuştur. Cr elementinin bu bölgeye geçişi söz konusu olmamıştır. Bu da sertliğin buradaki ani düşüşünü açıklar bir sebeptir. Yığılma basıncının artmasıyla malzemeler arası element geçişlerinin arttığı düşünülmüştür. Kaynak sırasında AISI 1040 tarafına geçen Cr elementinin ferritleşmeye yol açtığı tahmin edilmiştir [23,35].

Isıtılmış işlemli 7 numaralı deney numunesinin EDS analizine bakıldığında, paslanmaz çelikten kaynak yerine doğru ilerledikçe elementlerin oranlarında, ısıtılmış işlem görmemiş numuneye göre bir farklılık gözlemlenmemiştir. Burada kaynak yerine doğru ilerlendiğinde, malzeme yapılarındaki elementlerinin oranı değişmemiştir. Kaynak yerine yaklaşıldığında paslanmaz çelik tarafında az da olsa küçülen taneler, ısıtılmış işlem sonrası büyüyerek bu bölgede düzenli bir hal almıştır.

Sonuçta, ölçülen sertlik değerlerindeki düşüşün sebebinin, bu yapı değişimlerinin olduğu düşünülmüştür.

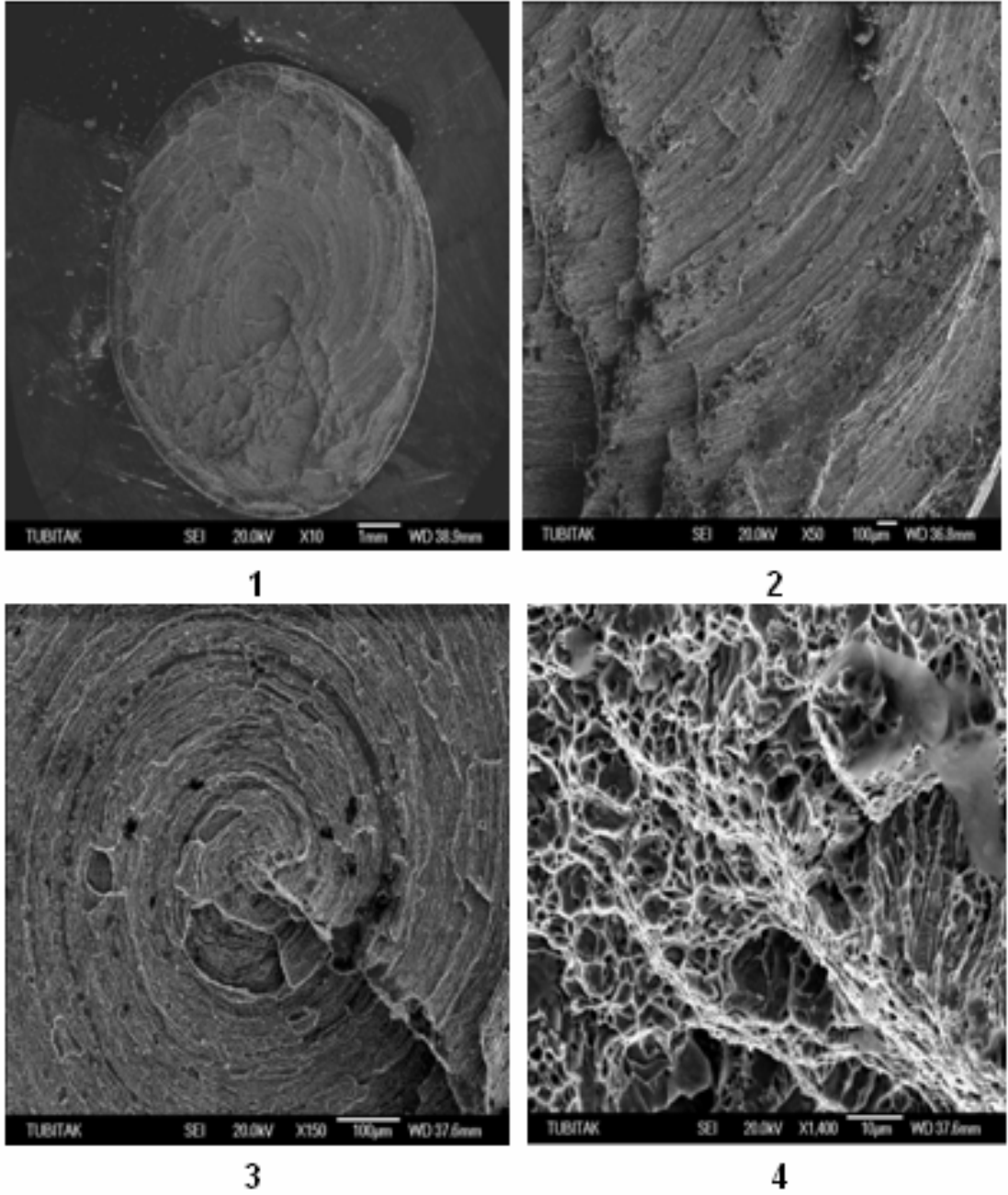
4.6 Kırılma Yüzeyinin İrdelenmesi

Malzemede kırılma olayı iki ana mekanizme sonucu oluşur. Bu mekanizmalar klivaj veya kesme olarak adlandırılırlar. Bazen her ikisinin kombinasyonu olarak da ifade edilirler [49].

Klivaj kırılma tipinde, kırılma çekme gerilmesine dik doğrultuda meydana gelir. Bu durum, çekme doğrultusundaki atomik kuvvetlerin bozulmasına neden olur. Klivaj kırılması iyi tanımlanmış bir gerilmenin uygulanması sonucunda ve birçok hallerde fark edilir bir deformasyon olmadan meydana gelir. Diğer taraftan kesme kırılması yavaş gelişir ve kırılma başlangıcındakinden daha büyük gerilme ve deformasyonlarda tamamlanır. Klivaj kırılması bir tür gevrek kırılma olarak tanımlanır [49].

Y.M.K sistemde kristalleşen metaller, daima kesme, H.M.K. kristal yapılı metaller ise hem klivaj hem de kesme kırılması gösterirler [49].

Sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde genelde aynı davranışı ve oluşumu gösterdikleri saptanmıştır. TÜBİTAK Araştırma Merkezi 'nde SEM kullanılarak yapılan yüzey incelemelerinden 7 numaralı deneye ait görüntüler elde edilmiştir (Şekil 4.56).



Şekil 4.56 7- Numaralı Deney Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüleri

Büyütme oranları verilmiş kırılma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde kırılmanın gevrek bir kırılma olduğu söylenebilir. Yüzeyde girinti çıkışın fazla olduğu, uygulanan yüksek çekme kuvvetinin etkisiyle büyük çukurcukların oluştuğu saptanmıştır. Beyaz örgüler halinde görülen yapılar az da olsa malzemenin bu kısımlarda sünek bir kırılma davranışı sergilediği sonucuna ulaştırmaktadır [50].

5. SONUÇLAR

1. Bu çalışmada, AISI 1040 karbon çeliğinin ve AISI 304 paslanmaz çeliğinin birleştirilmesi başarıyla sağlanmıştır. Bu şekilde maliyeti yüksek olan AISI 304 paslanmaz çeliğin kullanımından tasarruf edilmiştir.

2. Sürtünme kaynak cihazının bilgisayar kontrollü çalıştırılması ile zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca deneyler daha hassas bir şekilde uygulanmıştır.

3. Genel olarak yığılma basıncının artmasıyla malzemelerden taşan çapakların arttığı görülmüş fakat kaynak sonrası, paslanmaz çelik tarafında yeterli deformasyon sıcaklığına ulaşılmaması nedeni ile AISI 1040 karbon çeliği tarafında oluşan çapakların daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.13).

4. Çoğunlukla her kaynak işleminde olduğu gibi, kaynak yerinin her iki tarafında ısıdan etkilenmiş bölgeler (ITAB) oluşmuştur ve bu bölge AISI 1040 karbon çeliği tarafında ısı iletiminin yüksek olmasından dolayı daha geniş alana yayılmıştır.

5. Kaynak deneyleri sırasında, kaynak yerinde oluşan sıcaklıklar, kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile belirlenmiştir (Çizelge 4.1). 7 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ daN/cm², $P_2=15$ daN/cm², $t_{1,2}= 6$ s) şartlarında, kaynak yerinde oluşan sıcaklık 1112°C olarak ölçülürken, en düşük sıcaklık değeri 2 numaralı deney numunesinin ($P_1=8$ daN/cm², $P_2=20$ daN/cm², $t_{1,2}= 6$ s) şartlarında 919°C olarak ölçülmüştür. Diğer numunelerde ise bu değerler arasında sıcaklıklar elde edilmiştir. Buradan, sürtünme basıncının artmasıyla kaynak yerlerinde oluşan sıcaklıklarında arttığı düşünülmüştür. Sürtünme basıncı ile sıcaklığın başlangıçta çok hızlı, sonradan ise daha yavaş olarak maksimuma gelmesinin sebebi, başlangıçta sürtünmenin yüksek olması ile sıcaklığın hızlı artışı, sürtünme katsayısını bu sıcaklığın düşürmesidir (Şekil 4.2-7).

6. Kaynaklı numunelere yapılan çekme deneyleri sonucunda 7 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ daN/cm², $P_2=15$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında en yüksek ortalama çekme mukavemetine (792,4 MPa) sahip olduğu görülmüştür. 3 numaralı deney numunesi ise ($P_1=10$ daN/cm², $P_2=15$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında en düşük ortalama çekme mukavemetine (726,5 MPa) sahiptir. 4 numaralı deney numunesinin ($P_1=10$ daN/cm², $P_2=20$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında ise ortalama çekme kuvveti ortalama bir değer (754,4 MPa) vermiştir. Numunelerden 7 numaralı deneyde ortalama % 4,9 uzama elde edilmiştir. Çekme deney sonuçları incelendiğinde 4 numaralı deney numunesinin ($P_1=10$ daN/cm², $P_2=20$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında ve 7 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ daN/cm², $P_2=15$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında diğer numunelere göre en sağlıklı kaynaklar olduğu düşünülmüştür (Çizelge 4.2).

7. Numunelerin yatay ekseninde ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde genelde kaynak bölgesinde bir artış belirlenmiştir. Kaynak yerlerinden ana malzemelere doğru gidildikçe tam lineer olmayan, artıp azalan sertlik değerleri görülmüştür (Şekil 4.13-20). Kaynak bölgesinde oluşan sertlik değerlerindeki artışın sebebi, yüksek ısı farkları ile oluşan iç gerilmeler, karbon ve kromun beraberce yaptığı krom-karbür çökeltileri, deformasyon sertleşmesi ve oluşabilecek intermetalik fazlar olduğu tahmin edilmiştir. 7 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ daN/cm², $P_2=15$ daN/cm², $t_{1,2}=6$ s) şartlarında kaynak sırasında kaynak bölgesinde en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi ise kaynak sırasında bu bölgede oluşan yüksek sıcaklığın (1112°C) doğurduğu karbürlerin ve intermetalik fazların, yığılma basıncının sürtünme basıncından düşük seçilmesiyle dışarı atılamaması olarak görülmüştür.

8. Mikro yapı incelemelerinde, üç ayrı bölgeye rastlanmıştır (Şekil 4.26). Birincisi, kaynak merkezinde yüksek ısıya maruz kalıp plastik deformasyona uğrayan bölge, ikincisi AISI 1040 karbon çeliğinin kaynağa yakın kısmında ısıdan etkilenen bölge (ITAB), üçüncüsü ise, AISI 304 paslanmaz çeliğinin kaynağa yakın kısmında ısıdan etkilenen bölgedir (ITAB). AISI 304 paslanmaz çeliğinin kaynağa yakın bölgesinde çok fazla bir yapı değişikliğine rastlanamamıştır. Bunun sebebi, paslanmaz çeliğin deformasyonu için yeterli sıcaklığa erişilememesidir.

İncelemelerde, 7 no 'lu deney numunesi hariç diğer tüm numunelerin kaynak bölgelerinde yüksek sıcaklığın yarattığı plastik deformasyon ve basıncın etkisiyle malzeme geçişinin olduğu çizgilerin birden fazla ve belirgin olduğu net bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 4.28). Yığma basıncının sürtünme basıncından düşük olduğu 7 numaralı deney numunesinde ise, difüzyonu sağlayacak yeterli yığma basıncı uygulanamadığından kaynak bölgesi tek bir çizgi olarak görülmüştür.

9. Yapılan EDS analizleri sonucunda, (Cr) elementinin kaynak geçiş bölgesinde toplandığı görülmüştür (Şekil 4.43-48). Bu veri, bölgedeki sertlik artışının kromun oluşturduğu bileşikler sebebiyle olduğunu desteklemiştir. Ayrıca analiz sonuçlarında, AISI 304 paslanmaz çelik tarafındaki (Cr) elementinin bir kısmının difüzyon yoluyla bir kısmının da yığma basıncı ile AISI 1040 karbon çeliği tarafına geçtiği düşünülmüştür.

10. Numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde, kırılmanın fark edilir bir deformasyon olmadan meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.56). Bu gevrek yapıda bir kırılma tipidir. Kopmalar AISI 1040 karbon çeliği tarafında ITAB bölgesinin iri taneli olan bölgesinde görülmüştür. Bunun da iri tane bölgesinde oluşan martenzit yapıdan, krom karbür ve Fe_3C sementitlerin oluşumundan meydana geldiği tahmin edilmiştir. Fakat çok ince detaylı incelendiğinde Şekil 4.56 da görülen SEM görüntülerinden 1400X büyütme fotoğrafta gözükten beyaz örgülerin sünek kırılmayı simgeleyen çukurcuklar (dimples) olduğu görülmüştür. Buradan numunelerin bu bölgelerde azda olsa sünek bir kırılma davranışı gösterdiği düşünülmüştür.

11. Mekanik özellikler dikkate alındığında sağlıklı kaynaklar olduğu düşünülen 4 ve 7 numaralı numunelere normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. 840 °C de 30 dakika bekletilen numuneler fırında soğutulmaya bırakılmışlardır. Isıl işlem sonrası, kaynak bölgesinde görülen tane küçülmeleri ve yönlendirmeleri ortadan kalkmış, daha düzenli bir hal almıştır. Kaynak sırasında ITAB bölgelerinde oluşan martenzit yapılar ve iç gerilmeler en aza indirilmiştir. Bu şekilde gevrek olan malzemeler biraz daha sünek bir yapı kazanmıştır.

12. Isıl işlem sonrası numunelerin ortalama çekme dayanımlarında bir miktar düşüş olmuştur. Ana malzemelere göre bakıldığında ise, 4 numaralı deney numunesinin ısıl işlem sonrası ortalama çekme mukavemeti, AISI 304 'ün çekme mukavemetinden (881,2 MPa) %14.6, deneylerden 7 numaraya ait kaynaklı numunenin ortalama çekme mukavemeti ise AISI 304 'ün çekme mukavemetinden % 18 daha düşüktür. Ancak, ısıl işlem sonrası % uzamalarda belirgin bir şekilde artış olmuştur. Isıl işlem öncesi deney 4 'de % 5.4 olan uzamanın % 12.8 'e, deney 7 'de % 4.9 olan uzamanın % 10.2 'ye çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.2, Çizelge 4.3).

13. Isıl işlem sonrasında numunelerin kaynak bölgeleri ve AISI 1040 karbon çeliği tarafındaki sertlik değerleri belirgin bir şekilde düşmüştür (Şekil 4.23). Sebebi, ısıl işlem sonrası, iç gerilmelerin azalması, tane yönlenmesinin ortadan kalkması ve daha düzenli bir tane yapısının elde edilmesidir.

14. Çekme, sertlik deneyleri, mikro yapı, SEM ve EDS incelemeleri sonucunda 4 numaralı deney numunesinin ($P_1=10$ daN/cm², $P_2=20$ daN/cm², $t_{1,2}= 6$ s) şartlarında en sağlıklı kaynak olduğu düşünülmüştür. Normalizasyon ısıl işlemi uygulanan numunelerde kaynak bölgesinde, tane yönlenmesinin ortadan kalktığı ve daha düzenli bir yapı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Tülbentçi, K., ve Yılmaz, M., “Farklı Takım eliklerinin Katı Hal Kaynağı”, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu, İT, (1989)
- [2] Ertuğ, A., “Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi, cilt: 21, sayı: 241, (1977), 45
- [3] Lucas, W., Poces parameters and friction welds, Met. Conts. And British, Welding Journal, (1971), 293
- [4] Duffin, F.D., Crossland, B., Friction welding with sudden relase of the fixed component, advances in welding processes, solid phase joining of the conference, The Welding Institute, ağabeyngton Hall, Cambridge, (1971), 25
- [5] Sereign, S.A., Sabantsev, V.P., “The Friction Welding of Plastically Deformed Steel”, Weld. Prod., (1980), 34
- [6] AWS, Resistance and Solid-state Welding and Other Joining Processes, Weiding Handbook, Miami, (1980), 240
- [7] Gürleyik, M., “Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilen Alüminyum İle Bakırın Mikroskobik Yapısı ve Mekanik zellikleri”, Mhendis ve Makine Dergisi, cilt: 29, sayı: 337, (1988), 21
- [8] Grnauer, H., “Döküm Parçalarının Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi, cilt: 30, sayı: 357, (1989), 13
- [9] Tanicheva, O.N., ET AL, Nature of the defect “bright ring” forming in friction welding of tool steel, Metarial Science and Heat Treatment, (1989),200

- [10] Yılmaz, M., Kaluç, E., Karagöz, Ş., Tülbentçi, K., “Alaşimsız C45 ve HS 6-5-2 Yüksek Hız Çeliği Çiftinin Sürtünme ve Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mikro Yapısal Analizi”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan, (1995), 185
- [11] Kurban, A., Kahraman, N., “Farklı Metallerin Sürtünme Kaynağı ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkisi”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan, (1995), 226
- [12] Kahraman, N., Yılbaş, B., Odabaş, D., “H2210 Çeliği İle Alüminyumun Sürtünme Kaynağıyla Kaynak İşlemi ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkilerinin Deneysel olarak Araştırılması”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan (1995), 217
- [13] Kato, M., Kagaya, C., Kawaguchi, Y., Tokisue, H., “Influence of normalization on impact fracture behaviour of friction welded joints”, Society of Mechanical Engineers, (1996), v62, n602, p2236
- [14] Sahin, A.Z., Yılbaş, B.S., Al-Garni, A.Z., “Friction Welding of Al-Al, Al-Steel, and Steel-Steel Samples”, Journal of Materials Engineering and Performance , v5,n1, (1996), 89
- [15] Chen, Y.J., Shi, Y.W., Zhang, X.P., “Detection of Weak Bonding in Friction Welds by Ultrasound”, Ultrasonics 36, (1998), 141
- [16] Alvisé, L.D., Massoni, E., Wallqé, S.J., “Finite element modelling of the inertia friction welding process between dissimilar materials”, Journal of Materials Processing Technology, 125-126, (2002), 387
- [17] Yılmaz, M., Çöl, M., Acet, M., “Interface properties of alüminium/steel friction-welded components”, Materials Characterization, 49, (2003), 421

- [18] Özdemir, N., Orhan, N., “Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş süperplastik haldeki ötektoid üstü çeliğin ara yüzey mikro yapı değerlendirmesi”, On birinci Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Antalya, (2004)
- [19] Sahin, M., “Simulation of friction welding using a developed computer program”, Journal of Materials Processing Technology, 153-154, (2004)1011
- [20] Silva, A., Meyer, A., Santos, Jorge., Kwietniewski, C., Strohaecker, T., “Mechanical and metallurgical properties of friction-welded TiC particulate reinforced Ti-6Al-4V”, Composites Science and Technology, 64, (2004), 1495
- [21] Lee, W., Kim, Y., Jung, S., “Effects of copper insert layer on the properties of friction welded joints between TiAl and AISI 4140 structural steel”, Intermetallics 12, (2004), 671
- [22] Hascalik, A., Orhan, N., “Effect of particle size on the friction welding of Al₂O₃ reinforced 6160 Al ally composite and SAE 1020 steel”, Materials and Design, (2005), 1
- [23] Taşkın, M., Çay, V., Özdemir, N., “Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI430/Ç1010 çelik çiftinin ara yüzey mikro yapı değerlendirmesi”, Teknoloji, cilt:8, (2005), 65
- [24] Sahin, M., “Evaluation of the joint interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding”, Materials and Design, (2006), 1
- [25] Coşkun, O., Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağının Bilgisayarla Kontrolü İçin Bir Simülasyon, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Anabilim Dalı, Haziran (1992)
- [26] Karabulut, A., Taşgetiren, S., “Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinesi Tasarım ve İmalatı”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2004), 38

- [27] Anık, S., Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Holding, (1991)
- [28] Vural, M., MAK 351-İmal Usulleri, Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, (2003)
- [29] Otmanbölük, A.N., “Sürtünme kaynağı prosesleri üzerine bir araştırma”, 7.Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan (1997), 507
- [30] Gürler, M., Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Kaynak Özellikleri, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2000)
- [31] Orhan, A., Al Matrisli Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Metalurji Eğitim Anabilim Dalı, (2003)
- [32] Ellis, C.R.G., “Recent industrial developments in friction welding”, Welding J., (1976), 582
- [33] www.gatewaycoalition.org
- [34] www.mtiwelding.com
- [35] Özlü, M., Transmisyon Çeliği İle Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Sürtünme Kaynağı, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, (2002)
- [36] Şahin, M., Sürtünme Kaynağı İle Birleştirmede Parça Boyutları ve Plastik Şekil Değiştirmenin Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şubat (2001)
- [37] Gürleyik, M., “Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi, 16, (1982),91

- [38] Şahin, M., Akata, H.E., Özel, K., “Soğuk şekil verilmiş alüminyum malzemelerin sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmesi üzerine deneysel bir çalışma”, Kaynak Teknolojisi Beşinci Ulusal Kongresi
- [39] Çelik, İ., Alüminyum ve Bakır Çubukların Sürtünme Kaynağı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (1997)
- [40] Kölük, F., Gülenç, B., “Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Teknoloji, cilt:7, (2004), 693
- [41] Solmaz, M., Yıldırım, Ş., Turgut, A., “Farklı Delik Açıklarına Sahip Çekme Numunelerinde Gerilme Analizi”, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), (2004), 291
- [42] www. labthink.cn “Material Friction Coefficient and Temperature”
- [43] Ulu, S., Aytakin, H., Said, G., “4 Farklı Çeliğin Bazı Mekanik Özelliklerine Fe-Fe₃C Faz Diyagramında A₁- A₃ Arasında Yapılan Isıl İşlemlerin Etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2006), 1
- [44] Kovan, V., Materials 2006, 11th International Materials Symposium, Denizli, (2006), 84
- [45] Sahin, M., “Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel”, Journal of Materials Processing Technology, 168(2005), 202
- [46] Metals Handbook Vol.7 “Atlas of Microstructures” 8. Baskı, A.S.M.,(1972),32-134-135-136-137
- [47] Satyanarayana, V.V., Madhusudhan, Reddy, G., Mohandas, T., “Dissimilar metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steels”, Journal of Materials Processing Technology, 160(2005), 128

- [48] Akkurt, M., Makine Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1977, 181
- [49] Tekin, A., Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı, Hakan Ofset, 1984, 72
- [50] Ateş, H., Ferritik Süper Alaşımların Sürtünme Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,(2003)