

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

SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ BİLGİSAYAR
KONTROLLÜ ÇALIŞTIRILMASI VE SAE 4140 VE SAE 1050
ÇELİKLERİNE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail ERSÖZLÜ

Balıkesir, Mart - 2006

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

SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ BİLGİSAYAR
KONTROLLÜ ÇALIŞTIRILMASI VE SAE 4140 VE SAE 1050
ÇELİKLERİNE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail ERSÖZLÜ

Balıkesir, Mart - 2006

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

SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ
ÇALIŞTIRILMASI VE SAE 4140 VE SAE 1050
ÇELİKLERİNE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail ERSÖZLÜ

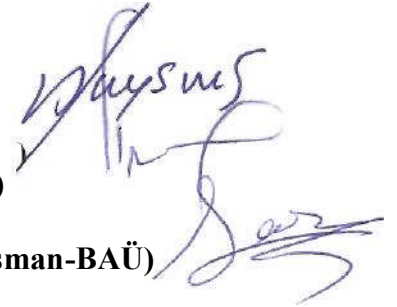
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK

Sınav Tarihi: 22 . 03 . 2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali BAYRAM (Ü)

Doç. Dr. İrfan AY (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK (Danışman-BAÜ)



Balıkesir, Mart – 2006

ÖZET

SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ ÇALIŞTIRILMASI VE SAE 4140 VE SAE 1050 ÇELİKLERİNE UYGULANMASI

İsmail ERSÖZLÜ

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

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

Balıkesir, 2006

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Bölümü Laboratuvarında bulunan sürtünme kaynak makinasının, hidrolik ünitesi, elektrik-kumanda devresi yeniden tasarlanıp montajı yapılarak, cihaz hem elle (manuel) kontrollü hem de bilgisayar kontrollü olarak çalışır hale getirilmiştir.

Düzenlenen sürtünme kaynak cihazında SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerinin sürtünme kaynağı uygulamaları yapılmıştır. Deneyler esnasında, dönme hızı, yığma basıncı ve yığma süresi sabit tutularak, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanı değiştirilmiştir. Ayrıca kaynak esnasında kaynak yerinin sıcaklık değişimi kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı (prometre) ile ölçülmüştür. Sürtünme kaynağı uygulanmış olan numunelerin, sertlik değişimi, çekme dayanımı, makro ve mikro yapıları incelenerek uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir. 3000 dev/dak dönme hızında belirlenen en iyi kaynak parametreleri: sürtünme basıncı 10 daN/cm², sürtünme süresi 6s, yığma basıncı 20 daN/cm² ve yığma süresi 14s' dir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Kaynak / sürtünme kaynağı / SAE 4140-1050 kaynağı

ABSTRACT

OPERATING FRICTION WELDING MACHINE WITH A COMPUTER PROGRAM AND ITS APPLICATION ON SAE 4140 AND SAE 1050 STEELS

İsmail ERSÖZLÜ

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

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

Balıkesir-Turkey, 2006

The friction welding machine in the laboratory of Mechanical Department in the Faculty of Engineering and Architecture in Balıkesir University, its hydraulic unit and its electric-control circuit was redesigned and mounted so that the machine was made to operate both manually and by means of a computer program.

Friction welding applications were conducted on SAE 4140 and SAE 1050 steels with the designed friction welding machine. During the experiments, while rotation speed, upset pressure and upset time were kept constant, friction pressure and friction time varied. In addition, during the welding process, temperature variation in the welding place was measured with infrared temperature measurement device. Suitable welding parameters were specified by examining the hardness variations, the tensile strength, the macro and microstructures of the specimens on which friction welding was applied. The best welding parameters determined in a 3000 rpm rotation speed are as follows: friction pressure: 10 daN/cm², friction time: 6s, upset pressure: 20 daN/cm² and upset time: 14s.

KEY WORDS : Welding / friction welding / welding of SAE 4140-1050

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORD	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
2. SÜRTÜNME KAYNAĞI	8
2.1 Giriş	8
2.2 Sürtünme Kaynağı Oluşması	9
2.3 Sürtünme Kaynağı Parametreleri	11
2.3.1 Dönme Hızı	12
2.3.2 Sürtünme Basıncı	12
2.3.3 Sürtünme Süresi	13
2.3.4 Yığma Süresi	13
2.3.5 Yığma Basıncı	14
2.4 Sürtünme Kaynağı Metotları	15
2.4.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	15
2.4.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	16
2.4.3 Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı	16
2.5 Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları	17
2.6 Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları	18
2.6.1 Otomotiv Endüstrisinde	18
2.6.2 Kesme Delme Takım Endüstrisinde	19
2.6.3 Hidrolik Endüstrisinde	19
2.6.4 Havacılık ve Uzay Endüstrisinde	19
2.6.5 Onarım Amaçlı	19
2.7 Sürtünme Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	20

3. CİHAZIN DÜZENLENMESİ	22
3.1 Tezgahın Kısımları ve Çalışması	22
3.1.1 Hidrolik Devre ve Çalışması	23
3.1.2 Elektrik-Kumanda Devresi Ve Çalışması	25
3.1.2.1 Sistemin Elle (Manuel) Kontrollü Olarak Çalışması	25
3.1.3 Sistemin Bilgisayar Kontrollü Olarak Çalışması	28
3.1.3.1 Bilgisayar Kontrol Ünitesi	28
3.1.3.2 Elektronik Kontrol Ünitesi	32
3.1.3.2.1 Besleme Ünitesi	33
3.1.3.2.2 Ara Birim ve Mikro Denetleyici Devresi	34
3.1.3.2.3 Sürücü Devresi	36
4. DENEYLERDE KULLANILAN SAE 4140-1050 MALZEMELERİ	38
4.1 Numunelere Ait Teknik Özellikler	38
4.2 Numune Malzemelerinin Kullanıldığı Yerler	42
4.2.1 SAE 1050 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler	42
4.2.2 SAE 4140 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler	42
4.2.3 Alaşımli ve Alaşimsız Çeliklerin Birlikte Kullanıldığı Yerler	42
5. KAYNAKLI NUMUNELERİN MEKANİK VE METALURJİK İNCELENMESİ	45
5.1 Kaynak Parametreleri ve Deney Numune Boyutu	45
5.2 Çekme Testi	46
5.3 Sertlik Ölçme Deneyi	50
5.3.1 Yatay Doğrultuda Sertlik Dağılımı (HV)	51
5.3.2 Dikey Doğrultuda Sertlik Dağılımı (HV)	52
5.4 Makro İnceleme	55
5.5 Mikro Yapı İnceleme	56
5.6 Manyetik Alan Geçirgenliği İncelemesi	66
5.7 Kaynak Bölgesinin Sıcaklığının Ölçülmesi	68
5.7.1 Kaynak Yeri Sıcaklığının Ölçümü	69
5.7.2 Kaynak Yerinden Enine Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçümü	77
6. SONUÇ ve TARTIŞMA	80
6.1 Genel Sonuçlar	83
KAYNAKÇA	85

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Tanımı/Değeri</u>	<u>Birimi</u>
A_K	Kontaktör kontakları		----
Al	Alüminyum		----
C	Kondansatör		nF
f	Sürtünme katsayısı		----
H_K	Kontaktör kontakları		----
I.R	Kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı		°C
K	Köprü diyot		----
M	kuvvetlerin toplam momenti,		Nmm
M_C	Mikro anahtar		----
n	Devir sayısı		dev/dak
P	Basınç		N/mm ²
P_s	Sürtünme basıncı		daN/cm ²
P_u	Yığma basıncı		daN/cm ²
r	Yarı çap		mm
R	Direnç		ohm
R_{ZR}	Röle		----
Ti	Titanyum		----
TR	Transformatör		----
t_s	Sürtünme süresi		s
t_u	Yığma süresi		s
U	Regüle Entegre		----
ZR	Zaman rölesi		----
X	Kristal		----
Δl	Boy Kısılması		mm
ϵ	Yayım Kapasitesi		----
Q	Transistor		----

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Sürtünme Kaynağı Resmi	8
Şekil 2.2	Birleştirme şekilleri	9
Şekil 2.3	Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar	10
Şekil 2.4	Sürtünme Kaynağı Parametreleri	12
Şekil 2.5	Değişik Kaynak Parametreleriyle Aynı Malzeme Çiftine Yapılmış Sürtünme Kaynağı	14
Şekil 2.6	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	15
Şekil 2.7	Volan tahrikli Sürtünme Kaynağı	16
Şekil 2.8	Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı	17
Şekil 2.9	Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları	19
Şekil 3.1	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinasının Şematik Şekli	22
Şekil 3.2	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Tezgahının Hidrolik Devresi	24
Şekil 3.3	Sürtünme Kaynak Makinası Güç Devresi	25
Şekil 3.4	Sürtünme Kaynak Makinası Elektrik ve Kumanda Devresi	27
Şekil 3.5	Bilgisayar Programı Ekran Görüntüsü	28
Şekil 3.6	Bilgisayar Programı Akış Şeması	30
Şekil 3.7	Elektronik Kontrol Ünitesi	32
Şekil 3.8	Besleme Ünitesi Devre Şeması	33
Şekil 3.9	Mikro Denetleyici Akış Şeması	34
Şekil 3.10	Ara Birim ve Mikro Denetleyici Devre Şeması	35
Şekil 3.11	Sürücü Devre Şeması	37
Şekil 4.1	Spektrum Analiz Cihazı	40
Şekil 4.2	SAE 4140 Çeliği Mikro Yapı Resmi	41
Şekil 4.3	SAE 1050 Çeliği Mikro Yapı Resmi	41
Şekil 5.1	Deney Numune Boyutları	46
Şekil 5.2	Çekme Numune Boyutları	46
Şekil 5.3	Çekme Cihazı Resmi	47
Şekil 5.4	Kaynaklı Numune Geilme-Uzama Diyagramı	47
Şekil 5.5	Kaynak 1 Numunesi Kopma Resmi	49
Şekil 5.6	Kaynak 7 Numunesi Kopma Resmi	50
Şekil 5.7	Sertlik Ölçümünün Yapıldığı Yerler ve Doğrultular	51
Şekil 5.8	Yatay Eksende Sertlik Dağılımı	52
Şekil 5.9	Dikey Doğrultuda Sertlik Dağılımı	53
Şekil 5.10	Kaynak Yerinin Dağlanmamış Fotoğrafı	54
Şekil 5.11	Numune Çapının Dışında Oluşan Yığılma Bölgesi	55
Şekil 5.12	Kaynaklı Numunenin Dıştan Resmi	55
Şekil 5.13	Freze İle Yarıya Kadar İşlenmiş Yüzeyin Resmi	56
Şekil 5.14	Mikro Yapı İncelenmesi İçin Hazırlanmış Numunenin Resmi	57
Şekil 5.15	Mikro Yapı Cihazı	57
Şekil 5.16	Mikro Yapı İncelemesi Yapılan Yerler	58

Şekil 5.17 Kaynak 1 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	59
Şekil 5.18 Kaynak 2 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	60
Şekil 5.19 Kaynak 4 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	61
Şekil 5.20 Kaynak 5 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	62
Şekil 5.21 Kaynak 7 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	63
Şekil 5.22 Kaynak 8 Numunesinin Mikro Yapı Resmi	64
Şekil 5.23 Kaynak Yerleri Mikro Yapı Resmi	65
Şekil 5.24 Manyetik Akı Kaçakları Cihazı	66
Şekil 5.25 Manyetik Alan Geçirgenliği Diyagramı	66
Şekil 5.26 Manyetik Alan Geçirgenliği Grafiği	67
Şekil 5.27 Kaynak Sırasındaki Sıcaklık-Zaman Grafiği	68
Şekil 5.28 Bilgisayar Programı Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri Kaydı	69
Şekil 5.29 Kaynak Numunelerinin Sıcaklık - Zaman Grafiği	71
Şekil 5.30 6.4 Sürtünme Zamanı 6 s' de ($P_{s1}=10$ daN/cm ² , $P_{s2}=15$ daN/cm ² ve $P_{s3}=20$ daN/cm ²) Sıcaklık - Zaman Grafiği	72
Şekil 5.31 Sürtünme Zamanı 4 s' de ($P_{s4}=$ daN/cm ² , $P_{s5}=20$ daN/cm ² ve $P_{s6}=25$ daN/cm ²) Sıcaklık - Zaman Grafiği	73
Şekil 5.32 Sürtünme Zamanı 8 s' der ($P_{s7}=10$ daN/cm ² ve $P_{s8}=15$ daN/cm ²) Sıcaklık - Zaman Grafiği	74
Şekil 5.33 Sürtünme Basıncı 15 daN/cm ² ' de ($t_{s2}=6s$, $t_{s4}=4s$ ve $t_{s8}=8s$) Sıcaklık - Zaman Grafiği	75
Şekil 5.34 Sürtünme Basıncı 10 daN/cm ² ' de ($t_{s1}=6s$ ve $t_{s7}=8s$) Sıcaklık - Zaman Grafiği	76
Şekil 5.35 Sürtünme Basıncı 20 daN/cm ² ' de ($t_{s3}=6s$ ve $t_{s5}=4s$) Sıcaklık Zaman Grafiği	77
Şekil 5.36 Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri	78
Şekil 5.37 Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değeri Grafiği	78

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları	18
Çizelge 3.1	Mikro Denetleyicinin Kısımları	36
Çizelge 4.1	Literatürdeki MKE' nin Tablolarında Görülen SAE 4140 1050 Çeliklerine Ait Mekanik ve Kimyasal Özellikler	38
Çizelge 4.2	Kullandığımız SAE 4140 ve SAE 1050 Çeliklerinin Kopma Dayanımı, Kopma Uzaması ve Sertlik Değerleri	39
Çizelge 4.3	SAE 4140 Çeliğinin Spektrum Analiz Değerleri	40
Çizelge 4.4	SAE 1050 Çeliğinin Spektrum Analiz Değerleri	40
Çizelge 4.5	Farklı Çeliklerin Sürtünme Kaynağı Uygulamaları	43
Çizelge 5.1	Kaynak Parametreleri	45
Çizelge 5.2	Çekme Testi Değerleri	48
Çizelge 5.3	Yatay Eksende Sertlik Dağılımı	51
Çizelge 5.4	Dikey Eksende Sertlik Dağılımı	53
Çizelge 5.5	Kaynak Numuneleri Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri	70

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK' e, çalışmalarım esnasında büyük destek ve yardım gördüğüm B.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü hocalarına ve çalışanlarına, 1012. Ana Tamir Fabrikası çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezgahın hidrolik ve elektrik-kumanda devresinin tasarımı ve montajında en büyük fedakarlığı gösteren Sayın A. Rıza ÇAKAR ve Muzaffer BOZ' a ve bilgisayar programı ve elektronik kontrol ünitesinin tasarımı ve yapımında yardımlarını esirgemeyen Ütgm. P. Alper ÜNER'e ve Ütgm. İrfan KARAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans yapmamdaki gerekli ortamı sağlayan ve beni teşvik eden K.K. Astsubay Meslek Yüksek Okulu sıralı amirlerime ve mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Fedakar insan babam İsmail HAYTA, annem Zeynep HAYTA' ya ve yüksek lisans çalışmalarım süresince bana hep destek olan eşim Hasel, kızlarım İlinay ve Aylin' e ve bende emeği bulunan tüm büyüklerime teşekkür ederim.

Balıkesir, 2006

İsmail ERSÖZLÜ

1. GİRİŞ

Günümüzde, endüstriyel üretimdeki hızlı artış ve rekabet ortamı, üretimin seri ve maliyetinin ucuz olmasını gerekli kılmıştır. İmalat sektörü, üretimin seri ve daha az maliyetle gerçekleştirebilmesi için ham madde fiyatı ve işçilik giderlerini minimuma indirmenin yollarını aramıştır. Bu durum, endüstride otomasyonun ve değişik imalat yöntemlerinin kullanılmasına yol açmıştır.

Sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak benzer ve benzer olmayan, hatta bir çok karmaşık malzemenin birleştirilebilmesi imalat sektöründe enerji ve materyal tasarrufu sağlamıştır. Alaşımli çelik ile normal karbonlu çeliğin birleştirilmesi ile üretim yapma, ham madde maliyetini düşürdüğü için imalat sektöründe kullanılmaktadır. Günümüzde, otomotiv sektöründe, supaplar, bendiks dişlileri, aks milleri, dişli-mil parçaları, turboşarj pervane milleri, çatal-mil bağlantıları, vb. parçalar alaşımli çelik ile normal karbonlu çeliğin sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilmesi ile üretilmektedir[1-6].

Bu çalışmada, laboratuvar boyutlu sürtünme kaynak makinasının, hidrolik ünitesi ve elektrik-kumanda devresi yeniden tasarlanarak montajı gerçekleştirilmiş, cihaz hem elle kontrollü hem de bilgisayar kontrollü çalıştırılmıştır. Sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak SAE 4140 alaşımli çelik ile SAE 1050 orta karbonlu çeliğin birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde birleştirilmiş olan parçaların, çekme deneyi, sertlik deneyi, makro ve mikro yapı incelemesi yapılarak bağlantı mukavemeti test edilmiş ve uygun kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca kaynak esnasında, kaynak yerinin sıcaklık değişimi kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile ölçülmüş ve sürtünme kaynağı parametrelerinin kaynak bölgesi sıcaklığı üzerine etkisi araştırılmıştır.

1.1 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çelik[2], erğitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi çok zor olan fakat birleştirilmeleri işlev bakımından gerekli olan alüminyum ve bakırın sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi için optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesini esas almıştır. Deney numuneleri mekanik testlere tabi tutularak bunların çekme, sertlik ve mikro yapıları incelenmiştir. Çekme deneyleri sonunda kopma alüminyum tarafında olmuştur.

Kawamura ve arkadaşları[7-9], sıvı halden aşırı soğutulmuş durumda yüksek zorlama oranlarında süper plastiklik sergileyen metal camların endüstriyel malzemeler olarak uygulamaları için metal camların bağlama teknolojisi metalurjisini saptamaya çalışmışlardır. Çalışmalarında, metal camların ($Pd_{40}Ni_{40}P_{20}$, $Pd_{40}Cu_{30}P_{20}Ni_{10}$, $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ ve $Zr_{41}Be_{23}Ti_{14}Cu_{12}Ni_{10}$) birbirleriyle ve kombinasyonlarıyla, ayrıca kristal Ti alaşımı (Ti-6Al-4V), yumuşak çelik (SS41) ve Al alaşımları (2017, 7075 ve 5083) ile sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmesini denemişlerdir. Metal camların birbirleriyle ve $Pd_{40}Ni_{40}P_{20}$ ile $Pd_{40}Cu_{30}P_{20}Ni_{10}$ ve $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ ile $Zr_{41}Be_{23}Ti_{14}Cu_{12}Ni_{10}$ kombinasyonları ve $Zr_{41}Be_{23}Ti_{14}Cu_{12}Ni_{10}$ ile 2017 ve 5083 Al alaşımları başarıyla birleştirilmiştir. Kaynak yerlerinde kristalleşme ve görülebilir kusur görülmemiştir. Kaynaklı metal camların bağlantı mukavemetleri metal camların mukavemetleri ile aynı ya da fazla çıkmıştır. Metal cam ile 2017 ve 5083 Al alaşımının bağlantı mukavemetleri, Al alaşımının dayanımı ile aynı çıkmış ve kopma Al alaşımı tarafında olmuştur. Farklı metal camların sürtünme kaynağında başarılı olmak için iki malzemenin cama geçiş sıcaklıkları arasındaki fark 50 K' nin altında olması gerektiği saptanmıştır.

Wonk ve Shek[10], metal cam $Zr_{41}Ti_{14}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ ' nin sürtünme kaynağı bağlantısı daha önceki kaynaklarda yer alan basınçtan daha düşük 40 MPa' lık basınçla bir torna tezgahı kullanılarak yapmışlardır. Çalışmalarında, kaynak bağlantısı çeşitli tekniklerle tetkik edilmiştir. Scan elektron mikroskobu (SEM) incelemesinde kaynak bölgesinde çatlak, boşluk ve kalıntı (ara katkı) görülmemiştir. Aynı zamanda kaynak çizgisi ve ısıdan etkilenmiş bölge rastlanmamıştır. Kaynak yerinin X-ray kırınımı (XRD=X-ray diffraction) incelemesi yapının cam malzemesi

gibi olduğunu doğrulamıştır. Kaynak yerinin sertlik ve kimyasal analiz sonuçları ana malzemelerle aynı çıkmıştır. Bu durum metal camların sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilme özelliğinin yüksek olduğunu göstermiştir.

Şahin ve Akata[11], yaptıkları çalışmada plastik deforme edilmiş çeliklerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında, plastik deforme edilmiş çelik çubukların sürtünme kaynağını başarmak için bir deneysel düzenek tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme aşamasından yığıma aşamasına geçiş sistem üzerinde otomatik olarak yapılmıştır. Malzemeleri aynı olan, aynı ve farklı çaplara sahip plastik deforme edilmiş parçalar, farklı işlem parametreleri ile kaynatılmıştır. Gerilme testleri ile bağlantıların mukavemetleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinde çeşitli sertlik ve mikro yapı değişimi elde edilmiştir. Kaynak parametrelerinin kaynak bölgesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Plastik deforme edilmiş parçalarda genişlik arttıkça malzemelerin ısı kapasitesi artmış ve bu durum malzeme ısını azalttığı için bağlantıların gerilme mukavemetini düşürmüştür. Sertlik değeri, kaynak yerinden yatay doğrultuda artmış, ana malzemeye gidildikçe ana malzemenin sertlik değerinde çıkmıştır. Dikey doğrultuda (merkezden çevreye doğru) sertlik değeri her yerde eşit ve ana malzemenin sertlik değerinden yüksek çıkmıştır.

Sahin ve arkadaşları[12], çalışmalarında çelik ile bakırı sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirmişlerdir. Sonlu fark tekniğini kullanarak kaynak yerinin merkezinden çevreye doğru sıcaklık değişimini hesaplayan formül geliştirmişlerdir. Bu formülü kullanarak maksimum sıcaklığın kaynak işlemi esnasında merkezden uzakta yüzeye yakın, ama yüzeyde olmadığını tespit etmişlerdir. Normalde çevresel hızın yarı çapa bağlı olarak artmasından dolayı maksimum sıcaklığın yüzeyde olması gerekirken, dönme işlemi esnasında yüzeyde meydana gelen konveksiyonla soğumadan dolayı yüzey sıcaklığının azalmış olduğuna karar vermişlerdir. Kaynak işlemlerinin süresi çok kısa(5 – 10 s) ve ısı oluşumu ara yüzeyde dar bir bölgede gerçekleştiğinden, kaynak yerinin merkezine yakın düşük sürtünme (düşük aşınma) hareketinden dolayı sıcaklığın çok az olduğu görülmüştür.

Tjernberg[13], iki eksenel yüklü çubuklar arasındaki sürtünme kaynağında gömülü bir çatlak için hesaplanmış yorulma ömrü ile test edilmiş yorulma ömrünü kıyaslamıştır. Sabit genlikte işleve sokulan iki çubuk arasındaki sürtünme kaynağı birleşiminin yorulma testi yapıldığında, çok kısa yorulma ömürleri elde edilmiştir. Bu kısa ömre kaynak merkezindeki kaynaşma eksikliğinden ileri gelen çatlak sebep olmuştur. Çapı 115 mm olan çubukta dairesel çatlağın başlangıç yarıçapı 5-6 mm olarak merkeze yakın çıkmıştır. Kaynaşma eksikliği herhangi bir yerden çok merkezde olma ihtimali merkezdeki düşük dönel hıza bağlamıştır. Çatlak için gerilme şiddeti faktörleri standart matematik programıyla çözülebilen yük işlevi metodundaki integrallerle hesaplanmıştır. Çatlağın yeteri kadar hızlı büyümesi için oldukça yüksek eksenel çekme artık gerilmesinin merkezde var olması gerektiği bulunmuştur. Hesaplama artık gerilme dağılımı için bir tahmin kullanılmıştır. Hesaplamalar, yorulma testlerinden yaklaşık %30 daha uzun ortalama ömür değeri vermiştir. Bu duruma, merkezdeki gerilme kuvvetlerinin veya malzeme bilgisindeki belirsizliklerin beklenenden daha yüksek olması sebep olarak gösterilmiştir. Yorulma testlerinde kalıcı gerilme kuvvetinin de hesaba katılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Uzkut ve Özdemir[14], çalışmalarında düşük karbonlu Ç 1020 çeliği, orta karbonlu Ç 1040 çeliği ve düşük alaşımlı orta karbonlu Ç 4140 çeliğini çeşitli ısıtma hızlarında (sıcak fırında dakikada 7.5 °C ile yavaş, dakikada 90 °C ile orta ve tuz banyosunda dakikada 900 °C ile hızlı soğutma) 900 °C' ye kadar ısıtmışlar ve oda sıcaklığında soğutmuşlar. Bu malzemelerin (normalizasyon tavlama yapılmadan) sertlik değerlerini ve çekme mukavemetlerini ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçta, ısıtma hızı arttıkça Ç 4140 çeliğinin diğer çeliklere göre çekme mukavemetinin ve sertlik değerinin daha fazla arttığını görmüşlerdir. Isıtma hızı 900 °C/dk' da, Ç 1020 çeliği sertlik değeri 141 HV, çekme mukavemeti 45 N/mm², Ç 1040 çeliği sertlik değeri 216 HV, çekme mukavemeti 65 N/mm² ve Ç 4140 çeliği sertlik değeri 429 HV, çekme mukavemeti 115 N/mm² çıkmıştır.

Ateş ve Bayındır[15, 16], çalışmalarında laboratuvar boyutlu bir sürtünme kaynak cihazının programlanabilir lojik kontrolör (PLC) kullanılarak kumanda edilmesi araştırılmıştır. Sürtünme kaynak makinasının otomatik olarak

çalıştırılabilmesi için gerekli olan otomasyonu sağlayan programlama dili olarak Komut Satır Sıralaması ve Merdiven Diyagramı kullanılmıştır. Program bilgisayar ortamında test edildikten sonra PLC' ye yüklenmiştir. Laboratuvar boyutlarında geliştirilmiş olan sürtünme kaynak cihazı tahrik motoru, fren, dönen ve sabit parça aynaları ile hidrolik ünite gibi ana elamanlardan oluşmaktadır. Daha sonraki çalışmalarında aynı cihazı, PIC (Peripheral Interface Controller) kontrolünde sürücü devre kumandasıyla otomasyonunu tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistemin otomasyonu için gerekli olan PIC programı Assembler dilinde hazırlanmıştır.

Sahin[17], Mühendisler için aslına bakılırsa kaynağa etki eden faktörler gözden geçirildiğinde sürtünme kaynağı karmaşık ve zor olmuştur. Sürtünme kaynağı birleştirmelerinde etkili olan faktörler, sürtünme zamanı, sürtünme basıncı, yığılma basıncı, devir sayısı, kaynak yapılan malzemenin karakteristik özellikleri, atmosfer basıncı ve sıcaklığı, sürtünen yüzeydeki sürtünme katsayısı parametreleri olmuştur. Bu parametrelerin tümü kaynak kalitesi ve gerilme mukavemetini direkt olarak etkilemiştir. Bu durumda kaynak yerinin numune kadar gerilme mukavemetine sahip olması için sürtünme zamanı ve sürtünme basıncı yeterli olmamıştır. Hatta kaynak yeri, insan gücüyle bile kırılabilir. Kaynakta, en iyi sonucu alabilmek için en uygun kaynak parametrelerini tespit etmek lazımdır. Değişik çaplarda ve birbirine eşit çaplarda AISI 1040 kaynak parçasına göre alın kaynağı yakmasının nasıl oluştuğunu simüle eden bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu simülasyon programdan elde edilen kaynak parametreleri aynı çapta veya farklı çapta kaynak numuneleri için kullanılabilir sonucuna varılmıştır.

Lee ve arkadaşları[18], çalışmalarında TiAl ve AISI 4140 çeliği arasındaki sürtünme kaynağı karakteristikleri araştırmışlar. Çeşitli sürtünme kaynağı şartlarında TiAl ve AISI 4140 arasında çatlaksız sağlam kaynak bölgesine sahip direkt bağlantı elde etmek için bir çok deneme yapılmasına rağmen kırılma reaksiyon ürünler yüzünden ara yüzey boyunca bir mikro ve geniş çatlak oluşmuştur. Kaynak bölgesine yakın hacimsel büyümenin olduğu yerde martenzit dönüşüm meydana geldiği görülmüştür. Diğer kaynak teknikleriyle ilişkilendirildiğinde bağlantının gerilme mukavemeti çatlak oluşumundan dolayı düşük çıkmıştır. Bu yüzden ara yüzeyde çatlak oluşumunu engellemek için gerilme rahatlaması sağlayan tampon

tabaka olarak arada saf bakır kullanılmıştır. Gerilme mukavemeti açısından bakıldığında ara metal olarak saf bakır kullanımı ile TiAl ve AISI 4140 arasında en yüksek gerilme mukavemeti elde edilmiş. En uygun sürtünme kaynağı şartlarında kırılma TiAl metalinde oluşmuştur. Ara metal olarak saf bakırın kullanımı AISI 4140 çeliğinde ısıdan etkilenmiş bölge genişliğini minimuma indirmiştir.

Silva ve arkadaşları[19], sürtünme kaynağı edilmiş Titanyum Matrix Compozitin (TMC), yüksek sıcaklıklarda da (200 ve 375 °C) maksimum çekme gerilmesi ve akma gerilmesinin iyi çıkmasının yanında, yüksek bir dayanım/ağırlık oranı göstermiş olduğunu belirtmişlerdir. TMC' nin başarılı uygulamaları uygun birleştirme tekniğine bağlıdır. Döner sürtünme kaynağının ideal bir seçim olduğu görmüşlerdir. Çünkü, sürtünme kaynağı iyi mekanik özellikler elde edilmiş bir katı hal birleştirme işlemleridir. Çalışmalarının amacı, döner sürtünme kaynağı metodu ile parçacıkları kuvvetlendirilmiş (TiC= Titanyum karbür tozları ile tane kuvvetlendirmesi yapılmış) kompozitleri birleştirmenin yapılabirliğini araştırmak olmuştur. Birleştirmelerin doğruluğu optik ve elektron mikroskobu ile araştırılmış, mikro sertlik ve gerilme testlerini içeren mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirmesi sonucunda gerilme özellikleri üzerinde birleştirme yönteminin zararlı etkisinin olmadığını göstermiştir. Ana metal numunesi ile kaynaklı numunenin maksimum çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerleri en yüksek farka göre kıyaslandığında kaynaklı malzemenin ana malzemedan %5'den daha az dayanıklı olduğu görülmüştür.

Özdemir ve Orhan[20], çalışmalarında, termomekanik dönüşümlerle (850 °C' de dövme ve %94 kesit daralması) tane boyutu küçültülmüş ötektoid üstü son derece yüksek karbonlu çeliğin sürtünme kaynağı yöntemi ile birleşme özelliklerini araştırmışlardır. Son derece yüksek karbonlu çeliğin sürtünme kaynağı ek yerlerinin birleşme performansları üzerine çalışmışlar ve aynı zamanda kaynak parametrelerinin kaynak ek yerlerinin mekanik ve mikro yapı özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirmişlerdir. Isıdan etkilenmiş bölgenin mikro yapı özellikleri optik ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Mikro (Vickers) sertlik ara yüzeyde yatay ve dikey doğrultuda ölçülmüş ve gerilme testleri ile ek yerlerinin mukavemeti belirlenmiştir. Deneylerin sonucunda her bir parametrenin tek başına ek

yerinin kalitesi üzerinde çok az etkili olduğunu, ama dönme hızı, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanının birleşik olarak metalurjik ve mekanik özellikler üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle kaynak kalitesinin, dönme hızı, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanının esaslı bir şekilde seçilmesiyle mümkün olacağını belirtmişlerdir.

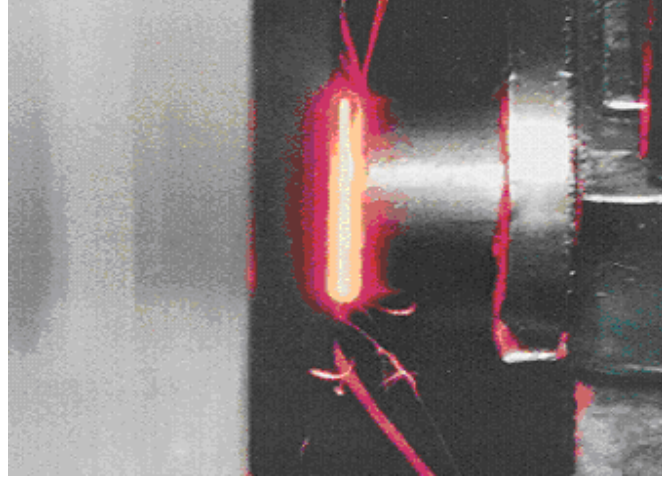
Bu çalışmada, sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinasının, hidrolik ünitesi ve elektrik-kumanda devresi yeniden dizayn edilerek, cihaz hem elle (manuel) kontrollü olarak hem de bilgisayar kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Ayrıca sürtünme kaynağı esnasında kaynak yerinin sıcaklığı kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile ölçülmüş, sıcaklık değerleri bilgisayara kaydedilmiştir. Cihazın bilgisayar kontrollü çalıştırılması, kumandasının ve kaynak parametrelerinin ayarlanmasının daha hassas ve kolay olmasını sağlamıştır.

Düzenlenen sürtünme kaynak makinası cihazı ile SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerinin sürtünme kaynağı uygulamaları yapılmıştır. Deneyler esnasında, dönme hızı, yığma basıncı ve yığma süresi sabit tutularak, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanı değiştirilmiştir. Sürtünme kaynağı uygulanmış olan numunelerin, sertlik değişimi, çekme dayanımı, makro ve mikro yapıları incelenerek uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir. Sürtünme kaynağı parametrelerinin birleştirme mukavemeti ve kaynak yeri sıcaklığı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

2. SÜRTÜNME KAYNAĞI

2.1 Giriş

Sürtünme kuvvetleri, daima hareketi önleyecek yönde etkilediğinden, mühendislikte çok defa bir enerji kaybı olarak görülür ve bunun da mümkün olduğu kadar küçültülmesi için çalışılır. Sürtünme enerjisinden doğan ısıdan faydalanabilmek ve bu ısyı kaynak yapmak için kullanma fikri, oldukça eskidir. Konu ile ilgili ilk patent 1891 yılında Amerikalı makinist I. H. Bevington tarafından alınmıştır. Daha sonra konu ile ilgili 1924 yılında İngiltere ve Rusya, 1929 yılında Almanya patent almıştır[1]. Sürtünme kaynağı, aslında 1930 yılından beri plastik malzemelere, 1956 yılından beri de metal ve özellikle benzer olmayan metallerin birleştirilmesi için sanayide kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 2.1).



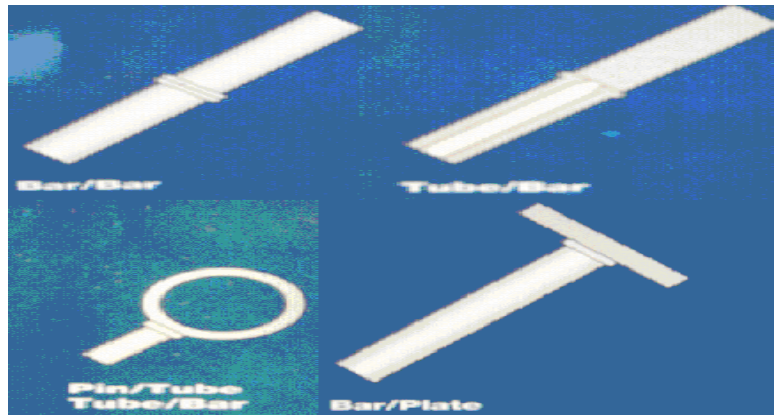
Şekil 2.1 Sürtünme Kaynağı Resmi

Sürtünme direncinin ısıya dönüşen kısmı, malzemeleri çok dar bir bölgede de olsa kaynak yapma, hatta ergitme sıcaklığına kadar yükseltebildiği için, bu enerjiden “sürtünme kaynağı” yapabilmek için faydalanılmaktadır.

İki iş parçasının birbirine teması ve basıncın birleştirme etkisi, malzemenin birleşme yeri ara yüzeyinin ısınması ve plastik şekil değiştirme oluşumu vasıtasıyla malzemelerin kaynaşması sağlanır. Normal şartlarda ara yüzeydeki maksimum sıcaklık erime sıcaklığının hemen altındadır. Sürtünme kaynağı bir katı-hal kaynak tekniğidir[1-4].

Sürtünme kaynağında; toz, dolgu malzemesi ve koruyucu atmosfere gerek olmayışı, toplam enerji giderlerinin diğer birleştirme yöntemlerine göre çok küçük oluşu, diğer yöntemlere nazaran daha temiz oluşu, ısı tesiri altında kalan bölgenin çok dar oluşu avantajlarından bazıları olarak sıralanabilir [3].

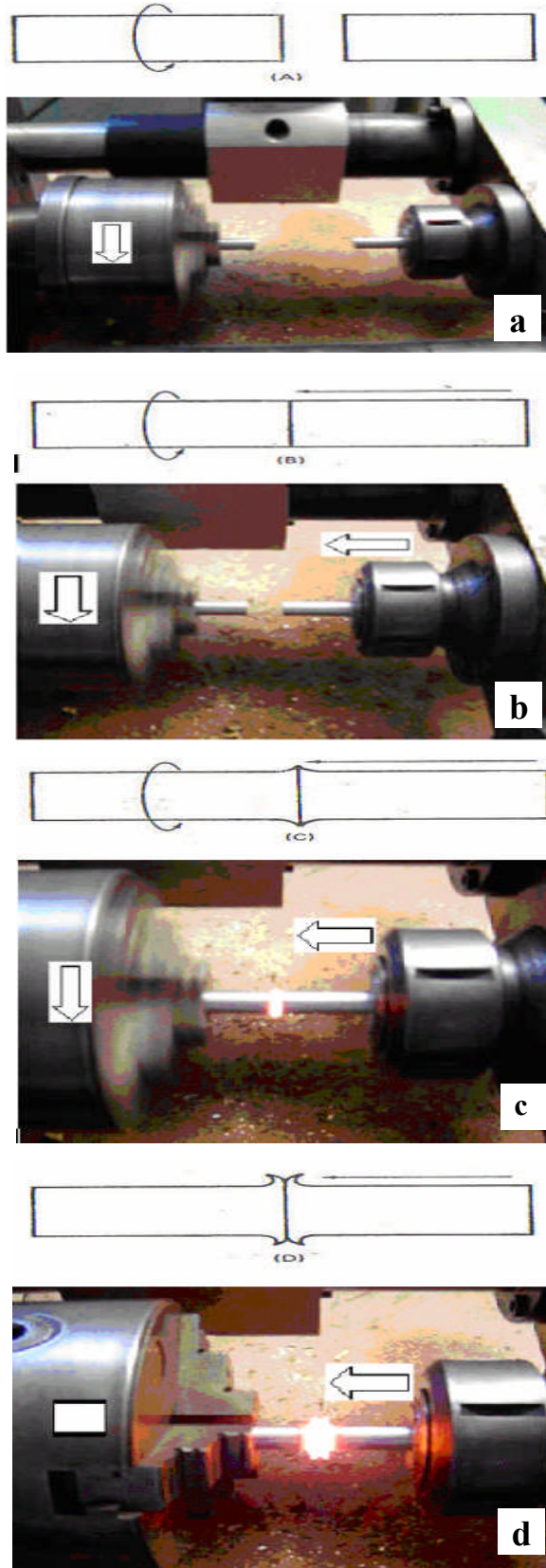
Sürtünme kaynağı çoğunlukla dairesel kesitli çubukların ya da boruların birleştirilmesinde kullanılmaktadır(Şekil 2.2). Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında, yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir[1].



Şekil 2.2 Birleştirme Şekilleri

2.2 Sürtünme Kaynağı Oluşması

Sürtünme kaynağı işlemi temel olarak üç basamakta tamamlanır. Birinci aşamada, biri dairesel hareket yapmayan ve basınç altında aksel hareket edebilen,



Şekil 2.3 Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar

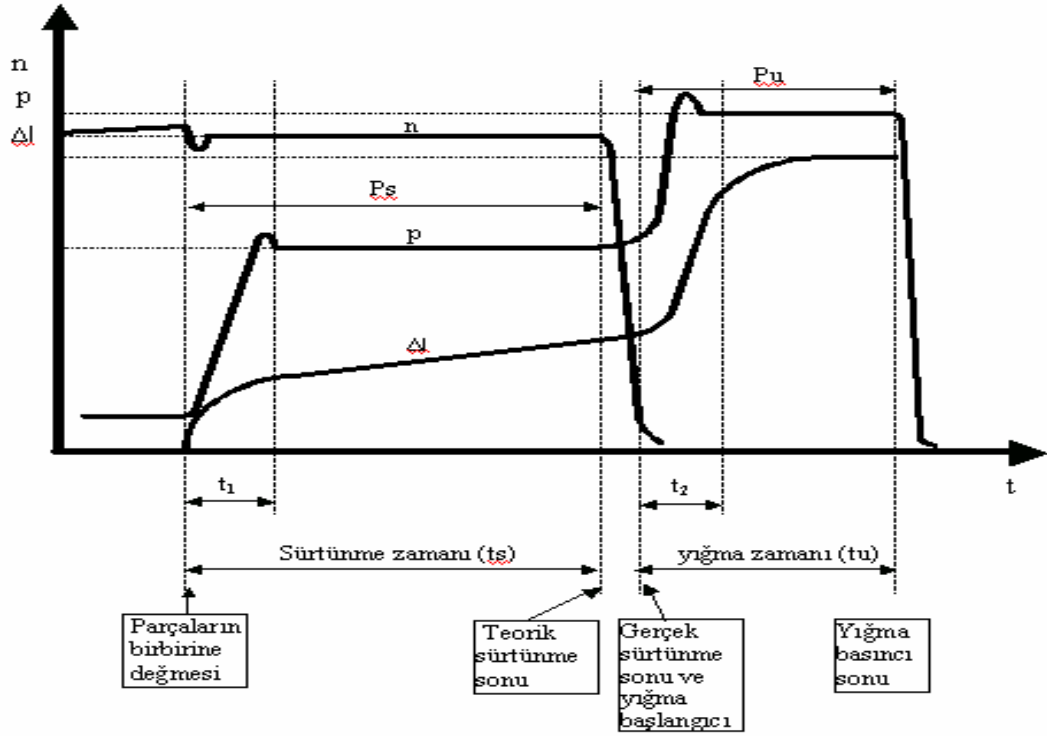
diğeri dairesel harekete sahip iki parçanın düşük aksel basıncı altında yüzey teması sağlanarak, sürtünme yoluyla plastik deformasyonu oluşturmak[Şekil 2.3 (a-c)], ikinci aşamada, sürtünme işlemini ani olarak durdurmak, üçüncü aşamada ise, aksel basıncı artırarak birleşme bölgesinde yığılma oluşturmaktır [Şekil 2.3 (d)] [1,2].

Sürtünme kaynağı yapılan kaynak yerinde malzemelerin birbirine geçiş yaptığı bir bölge ile bunun etrafında her iki ana malzemenin ısıdan etkilenen bölgeleri bulunmaktadır. Malzemelerin birbirine geçiş yaptığı bölgede, her iki malzeme atomlarının karşılıklı olarak birbiri içine difüzyona uğradıkları görülür. Eğer bu bölgede mekanik olarak bir karışma ve girdap olayı da varsa, difüzyon olayı daha geniş bir bölgede cereyan etmektedir. Isıdan etkilenen bölgeler, genellikle kaynak yapılırken oluşan sıcaklığın, yaklaşık olarak malzemelerin ergime sıcaklığının yarısına kadar yükseldiği ve bu sıcaklığın üzerine çıktığı yerlerdir.

Farklı cinsten malzemelerin sürtünme kaynağı esnasında intermetalik faz oluşumu, ergime sıcaklığı malzemelerin kendilerinden daha az olan ötektik alaşımların oluşumu, çeliklerin martenzitik iç yapı dönüşümü, yüksek alaşımlı çeliklerde karbon azalması olayları meydana gelebilir. İntermetalik fazın oluşmaması veya azaltılması için ara malzeme kullanımı da yapılmaktadır[1, 5]

2.3 Sürtünme Kaynağı Parametreleri

Konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, sürtünme kaynağı metodu üzerinde en önemli kazanç parametrelerin sürtünme zamanı, sürtünme basıncı, yığılma zamanı, yığılma basıncı ve dönme hızının olduğunu göstermiştir (Şekil 2.4). Bunların dışında durma süresi, numune geometrisi, malzemenin ısı kapasitesi, malzemenin şekil değiştirme yeteneği ve parça boyundaki kısalma miktarı gibi parametreler de birleştirmede etkilidir[1,6,21].



n = Sürtünme devir sayısı
 P_u = Yığıma basıncı
 t_1 = Sürtünme basıncı oluşum zamanı
 P_s = Sürtünme basıncı
 Δl = Boy kısalması
 t_2 = Yığıma basıncı oluşum zamanı

Şekil 2.4 Sürtünme Kaynağı Parametreleri

2.3.1 Dönme Hızı

Ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerinde en etkili parametrenin çevresel hız olduğu söylenmektedir. Yüksek çevresel hız, yüksek ara yüzey sıcaklığı üretirken, düşük çevresel hız, yetersiz ısıtma sonucu kaynak bağlantısını olumsuz etkiler. Yüksek çevresel hızına bağlı olarak deformasyon hızının değişimi kaynak hızını kısaltır. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve süresi çok dikkatli seçilmelidir.

2.3.2 Sürtünme Basıncı

Sürtünme basınç kuvveti, numune geometrisi ve birleştirilecek malzeme çiftinin plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlı olarak değişir. Bu kuvvet, temas

eden ara yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeyde üniform bir ısıtma sağlayabilecek düzeyde olmalıdır[1].

Aslında sürtünme basıncı, kaynak yerinin merkezinden radyal olarak çevreye doğru yeterli miktarda sürtünme momenti elde edilecek değerde olmalıdır. Aşağıdaki denklem sürtünme momenti için türetilmiştir[2].

$$M= 2/3(\pi p f R^3) \quad (1.1)$$

Burada; $M=$ kuvvetlerin toplam momenti, (Nmm)

$P=$ basınç, (N/mm²)

$f=$ sürtünme katsayısı (-----)

$R=$ Yarı çap (mm)

Bu denklemde yarı çap sıfır alınır (merkez) sürtünme momenti sıfır olur, yarı çap merkezden çevreye doğru artacağından çevrede sürtünme momenti maksimum olur. Sürtünme momenti merkezden çevreye doğru radyal olarak artar. Bu denklemde sürtünme kaynağı parametresi olarak bizim değiştirebileceğimiz tek değer basınçtır. Sürtünme basıncı malzeme yapısına göre iyi ayarlanmalıdır.

2.3.3 Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalıntı ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastik deformasyon için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır.

2.3.4 Yığılma Süresi

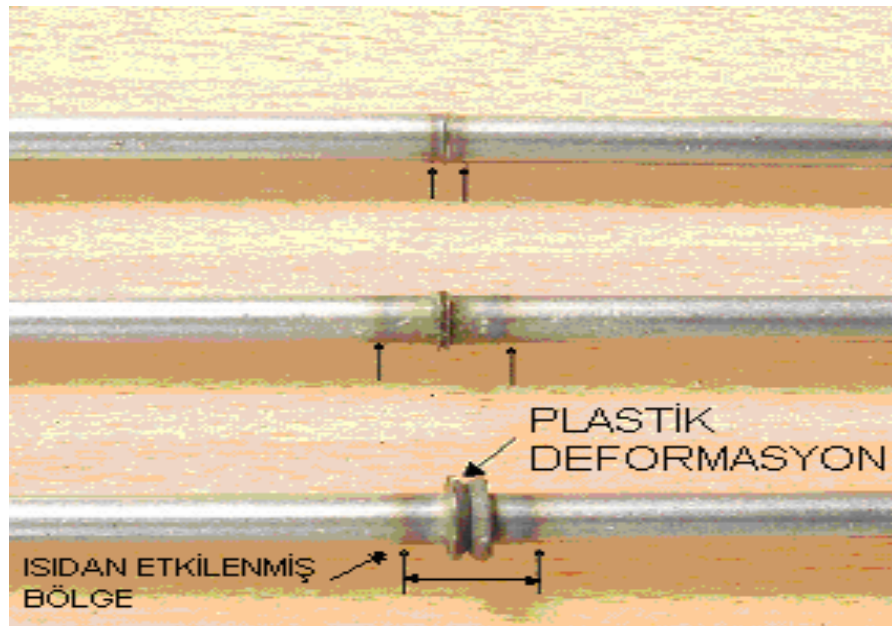
Yığılma süresi, malzeme çifti ara yüzeyinde gerekli plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandıracak düzeyde olmalıdır[1].

2.3.5 Yığma Basıncı

Yığma basıncı, malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Yığma basıncı, malzemelerin birleştirebilmeleri için bu malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında olmamalıdır.

Durdurma safhası içinde kaynak yerindeki sıcaklık, hemen hemen sabit değerdedir. Fakat durdurma zaman aralığının bitiminden itibaren radyasyon ve kondüksiyon yoluyla olan ısı kayıpları nedeniyle bu sıcaklık düşmeye başlar. Bu nedenle dönme hareketi durdurulduğu anda hemen bir yığma basıncı uygulanmalıdır ki kaynaklanacak numuneler daha fazla soğumadan önce, sıcak işleme kaynak bağı tam olarak gerçekleştirilmiş olsun. Malzemede soğuma basıncı altında gerçekleşmelidir[1,2].

Kaynak parametrelerinin kombinasyonu kaynak kalitesini belirler. Değişik kaynak parametreleri ile aynı malzeme çiftine yapılmış sürtünme kaynağında, ısıdan etkilenmiş bölge ve kaynak deformasyonu farklı olmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Değişik Kaynak Parametreleriyle Aynı Malzeme Çiftine Yapılmış Sürtünme Kaynağı

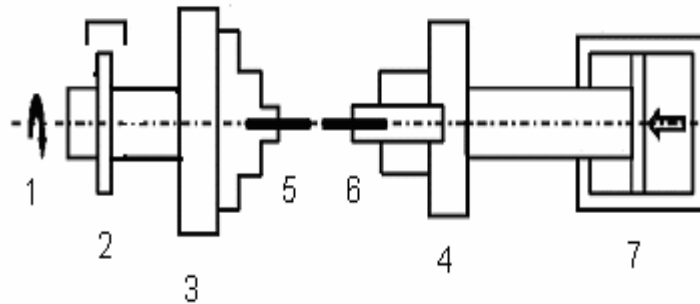
Durdurma zaman aralığı, kaynak ekinin büyüklüğüne ve şekline bağlı olarak çok büyük önem arz eder. Örneğin, ince cidarlı boruların sürtünme kaynağının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için dönme hareketinin çok hızlı bir şekilde durdurulması, diğer bir deyişle durdurma zaman aralığının çok kısa olması gerekmektedir. Buna karşılık büyük çaplı dolu millerin sürtünme kaynağında, daha fazla kütle nedeniyle ısıyı daha fazla tuttuklarından ya da daha yavaş soğudukları için durma zaman aralığı daha geniş olabilir[2].

2.4 Sürtünme Kaynağı Metotları

Sürtünme kaynağıyla parçaları birleştirmenin üç metodu vardır:

2.4.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

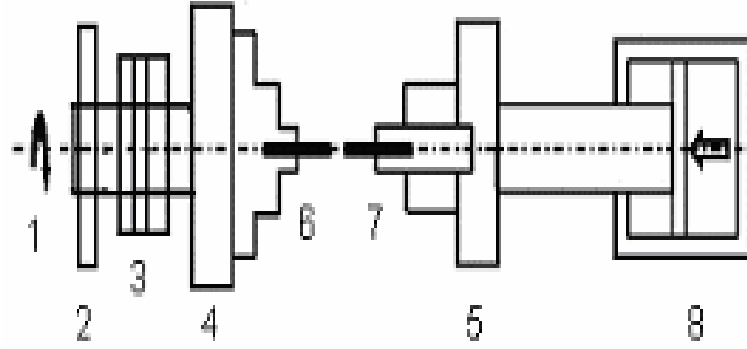
Bir iş parçası döndürülerek, diğerini döndürmeden öbürüne doğru bastırmak suretiyle aradaki sürtünme ile mekanik enerji, ısı enerjisine çevrilir. Belli bir süre sonra dönme birden durdurulur ve basınç artırılır. Bir süre bu konumda tutularak kaynak yapılmış olur (Şekil 2.6).



- | | |
|--|----------------------|
| 1. Tahrik motoru | 5. Dönen iş parçası |
| 2. Fren | 6. Sabit iş parçası |
| 3. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna | 7. Hidrolik silindir |
| 4. Sabit iş parçasını bağlandığı ayna | |

Şekil 2.6 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

sistemine sahip olan ayna-volan fren yapmaksızın kendiliğinden hızlı bir şekilde durur ve kaynak tamamlanır[2].



- | | |
|---|--|
| 1. Tahrik motoru | 5. Sabit iş parçasını bağılandığı ayna |
| 2. Kavrama | 6. Dönen iş parçası |
| 3. Değiştirilebilir volan | 7. Sabit iş parçası |
| 4. Dönen iş parçasının bağılandığı ayna | 8. Hidrolik silindir |

Şekil 2.8 Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı

2.5 Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları

Çizelge 2.1' de sürtünme kaynağı ile birleştirilebilen malzemelerin listesi görülmektedir. Bu çizelgede çeşitli malzemelerin kaynağının sürtünme kaynak yöntemiyle yapıldığı ve uygun neticelerin alındığı, pek çok malzeme ve malzeme eşleniği için sonuçlar, belirli boyutlar için uygundur[22].

Sürtünme kaynağı, son zamanlarda metalik cam ile metalik camların, metalik cam ile Al alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmaktadır[7-10]. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş parçalar için imalat yöntemi olarak endüstriyel uygulamalar da gittikçe artan yaygınlık göstermektedir[11]. Bugün bu metodun hala yeni yeni uygulama alanları araştırılmaktadır.

Çizelge 2.1 Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları

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 Alaşımli Çelik (Östenitik)	Yüksek Alaşımli Çelik (Ferritik)	Düşük Alaşımli Çelik	Alaşımsız Çelik	Niobyum	Nikel Alaşımları Toz Metalurji	Nikel, Nikel Alaşımları	Molibden	Magnezyum, Magnezyum	Bakır, Bakır Alaşımları	Sert Metal	Dökme Demir (GG-GT)	Alüminyum Toz Metalurji	Alüminyum, Alüminyum Alaşımları
Alüminyum, Alüminyum Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆					◆	◆		◆	◆	◆
Alüminyum Toz Metalurji							◆	◆	◆	◆									◆	
Dökme Demir (GG-GT)					◆	◆	◆	◆	◆	◆								◆		
Sert Metal							◆	◆	◆	◆							◆			
Bakır, Bakır Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆						◆				
Magnezyum, Magnezyum Alaşımları										◆					◆					
Molibden														◆						
Nikel, Nikel Alaşımları			◆				◆	◆	◆	◆		◆	◆							
Nikel Alaşımları Toz Metalurji			◆						◆	◆		◆								
Niobyum			◆				◆	◆			◆									
Alaşımsız Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆										
Düşük Alaşımli Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆											
Yüksek Alaşımli Çelik (Ferritik)				◆	◆	◆	◆	◆												
Yüksek Alaşımli Çelik (Östenitik)		◆	◆	◆	◆	◆	◆													
Dökme Çelik				◆	◆	◆														
Çelik Toz Metalurji				◆	◆															
Çelik (Kesilebilir)				◆																
Titanyum, Titanyum Alaşımları			◆																	
Tungsten Toz Metalurji	◆	◆																		
Tungsten-Bakır Toz Metalurji	◆																			

2.6 Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

2.6.1 Otomotiv Endüstrisinde

Supaplar, bendiks dişlileri, aks milleri, dişli-mil parçaları, turboşarj pervane milleri, çatal-mil bağlantıları, vb. parçaların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır.

2.7 Sürtünme Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Sürtünme kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre yararlarını şöyle sıralayabiliriz[23,24]:

1. İşçilik değeri en az durumdadır.
2. Parçalar çok kısa zamanda birleştirilebilmektedir.
3. Aynı özellikteki parçalar kaynak yapılabilmektedir.
4. Parçalar aynı eksen doğrultusunda tam olarak kaynatılır.
5. Çenelere bağlanmış olarak kaynatılan ve bir süre kaynak sonrası bağlı olarak beklediği için parçalarda çarpılma veya şekil değiştirme durumu yok denecek kadar azdır.
6. Birleşme yüzeylerinde % 100 oranında kaynama olmaktadır.
7. Kaynak için yardımcı eleman (elektrot gibi), temizleme maddesi, koruyucu gaz, kaynak tozu (çevre dostudur) ve benzeri herhangi bir eleman kullanmaya gerek yoktur.
8. Çok küçük kesitli parçalar kaynak yapılabilir.
9. Birleşme yüzeylerinde bulunan oksit ve diğer yabancı maddeler kaynak sırasında dışarı atılır.
10. Sürtünme kaynağı ile kaynatılan parçaların kaynak maliyeti, aynı parçaların diğer bir kaynak yöntemi ile kaynak yapılması sonucu ortaya çıkan kaynak maliyetinden daha düşüktür.

11. İşlem temiz olup, zorunlu bir durum yoksa ayrıca kaynak yeri temizliğine gerek yoktur.

12. Sıcaktan etkilenmiş bölge dardır (ensizdir).

13. Kararlı ve tekrarlanabilir işlemdir.

14. Ham maddenin her bir bölgesi için uygun malzeme seçimi dizayn esnekliğinin çok artmasını sağlar.

15. Deneme modelinden fabrikasyon üretimine kadar sayısal miktar aralığı için uygundur.

16. Aletle işleme maliyeti yüksek olmaması ve çok az miktarda donanım ile gerçekleştirilmesi ile döküm ve dövme yöntemi ile üretilmiş ham maddelerden yeni malzemeler oluşturulmasını sağlar.

17. Bi-metal uygulamalarıyla ham madde maliyetini düşürür, sadece işlenmemiş malzemelerin gerekli olan yerlerinde pahalı malzemeler kullanılır.

Sürtünme kaynağı uygulamalarında görülen bazı sınırlamalarda aşağıdaki gibidir[2]:

1. İş parçalarından birinin kaynak yüzeyi yuvarlak veya silindire yakın olmalı, tutulabilir ve döndürülebilir büyüklükte olmalıdır.

2. İş parçaları torka, ısınmaya ve birleştirme esnasındaki aksiyal basınca dayanıklı olmalıdır.

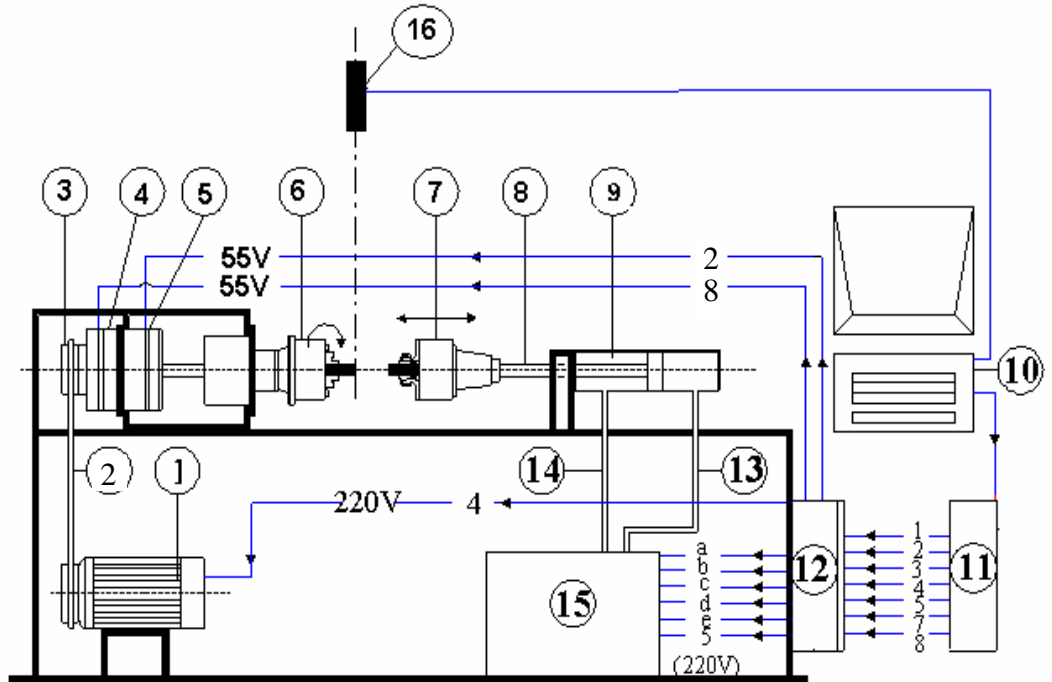
3. İş parçalarını tutan cihazlar ağır şok ve tork yüklerine dayanacak güçte olmalıdır.

4. Açısal birleşimler için pahalı değişikliklerin yapılmasını gerektirir.

3. CİHAZIN DÜZENLENMESİ

3.1 Tezgahın Kısımları ve Çalışması

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Laboratuvarında bulunan sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinasının[22], hidrolik ünitesi ve elektrik-kumanda devresi yeniden dizayn edilerek, cihaz hem elle (manuel) kontrollü olarak hem de bilgisayar kontrollü olarak çalıştırılmıştır(Şekil 3.1).



- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. Ana tahrik motoru | 9. Çift etkili hidrolik silindir |
| 2. “V” Kayış | 10. Bilgisayar |
| 3. Kasnak | 11. Elektronik kontrol ünitesi |
| 4. Elektromanyetik kavrama | 12. Elektrik-Kumanda devresi |
| 5. Elektromanyetik fren | 13. Basınç hattı |
| 6. Ayna | 14. Dönüş hattı |
| 7. Pens | 15. Hidrolik ünite |
| 8. Piston kolu | 16. Kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı |

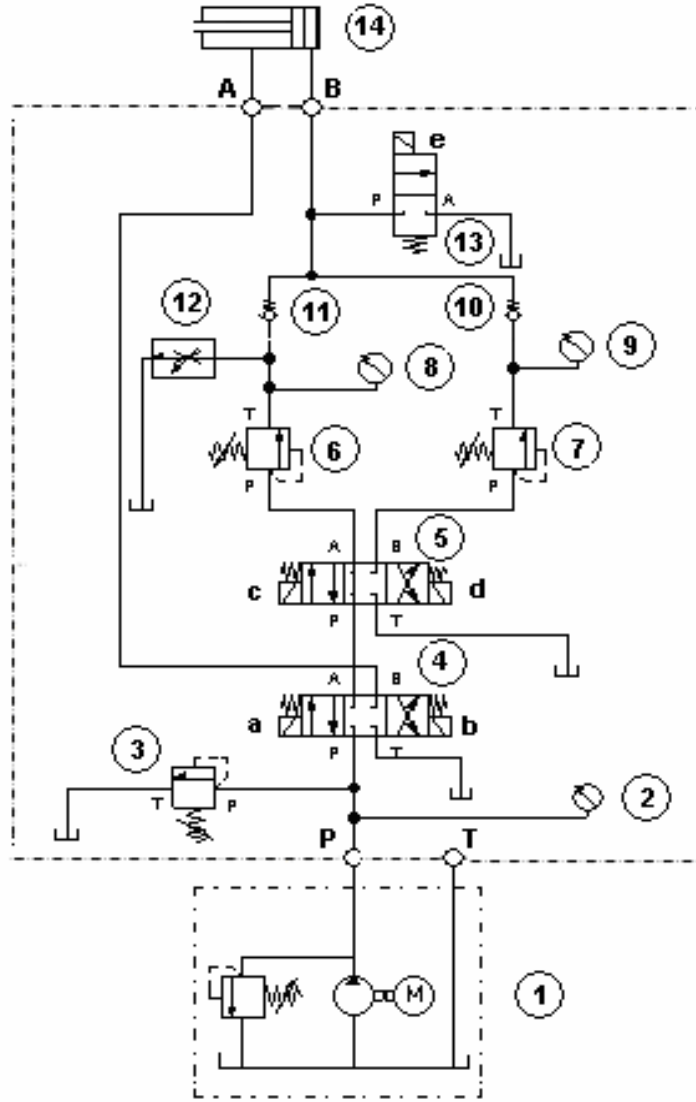
Şekil 3.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinasının Şematik Şekli

Bilgisayar programı ile sürtünme kaynak makinasının; ana tahrik motoru, kavrama sistemi, fren sistemi, ve hidrolik devrenin pompa motoru, sürtünme basıncı devresi, yığma basıncı devresi, geri dönüş devresi kontrol edilmektedir. Ayrıca sürtünme kaynağı esnasında kaynak yerinin sıcaklığı kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile ölçülmüş, sıcaklık değerleri bilgisayara kaydedilmiştir.

3.1.1 Hidrolik Devre ve Çalışması

Şekil 3.2' de şematik şekli görülen hidrolik devre; pompa motor ünitesi, valf bloğu ve hidrolik silindir olmak üzere üç temel ünitelerden oluşur. Pompa motor ünitesi 160 daN/cm² basıncında sabit bir sıvı basıncı üretmektedir. Bu basınç, valf bloğu tarafından ayarlanarak hidrolik silindiri iki farklı ileri hareket basıncı ile çalıştırmaktadır. 14 No' lu hidrolik silindir pistonunun geri dönüşü 3 No' lu basınç ayar valfi ile ayarlanmış hidrolik pompa motor ünitesinin basıncıyla serbest olarak gerçekleşmektedir.

14 No' lu hidrolik silindir, sürtünme ve yığma basıncı olmak üzere iki temel görevi gerçekleştirmektedir. Sürtünme basıncı, 5 No'lu yön kontrol valfi hattındaki 6 No' lu basınç ayar valfi üzerinden ayarlanır. Hattaki 12 No'lu akış ayar valfinin görevi, sürtünme basıncının oluşturulması esnasında 14 No'lu hidrolik pistonun ilerleme hızını ayarlamaktır. 4 ve 5 No' lu yön kontrol valflerinin a + c bobinleri enerjilendirildiği zaman hidrolik pompa motor ünitesinin oluşturduğu basınç, 5 No'lu yön kontrol valfi ve 6 No' lu basınç ayar valfi tarafından düzenlenerek ayarladığımız değerde 14 No'lu hidrolik silindire gönderilir(Hidrolik silindirin pistonu Şekil 3.1'deki 7 No'lu pense bağlı kaynak edilecek parçayı sürtünme basıncıyla 6 No'lu aynaya bağlı parçaya doğru iter). Sürtünme basıncı esnasında 10 No' lu çek valf vasıtasıyla yığma basıncını oluşturan 7 No' lu basınç ayar valfi devre dışı kalır. 4 ve 5 No' lu yön kontrol valflerinin a + c bobinlerinin enerjileri kesilip a + d bobinleri enerjilendirildiği zaman hidrolik pompa motor ünitesinin oluşturduğu basınç, 7 No' lu basınç ayar valfi tarafından düzenlenerek ayarladığımız değerde yığma basıncı olarak silindire gönderilir(Hidrolik silindirin pistonu Şekil 3.1'deki 7 No'lu pense bağlı parçayı sürtünme basıncıyla 6 No'lu aynaya bağlı parçaya doğru



- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Hidrolik pompa motor ünitesi | 8. Manometre |
| 2. Manometre | 9. Manometre |
| 3. Basınç ayar valfi | 10. Çek valf |
| 4. Selenoid kumandalı yön kontrol valfi | 11. Çek valf |
| 5. Selenoid kumandalı yön kontrol valfi | 12. Akış ayar valfi |
| 6. Basınç ayar valfi | 13. Yön kontrol valfi |
| 7. Basınç ayar valfi | 14. Hidrolik silindir |

Şekil 3.2 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Tezgahının Hidrolik Devresi

iter). Yığma basıncı esnasında 11 No' lu çek valf vasıtasıyla sürtünme basıncını oluşturan 6 No'lu basınç ayar valfi ve 12 No'lu akış ayar valfi devre dışı kalır.

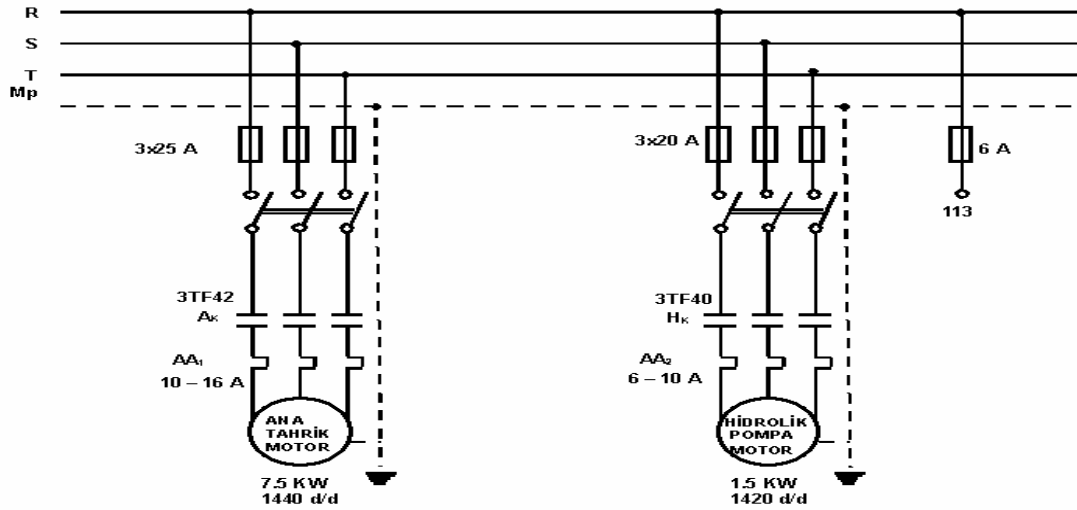
4 ve 5 No' lu yön kontrol valflerinin a + d bobinlerinin enerjileri kesilip, 4 No' lu ve 13 No' lu yön kontrol valflerinin b + e bobinleri enerjilendirildiğinde hidrolik silindirin pistonu geri hareketini gerçekleştirir[25].

3.1.2 Elektrik-Kumanda Devresi Ve Çalışması

Tezgahın elektrik-kumanda devresi; güç devresi (Şekil 3.3) ile elektrik panosu ve kumanda devresinden (Şekil 3.4) oluşmaktadır. Elektrik panosu ve kumanda devresinde elektronik kontrol ünitesinin kumanda giriş uçları ve numaraları (PIC 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8) görülmektedir.

3.1.2.1 Sistemin Elle (Manuel) Kontrollü Olarak Çalışması

Şekil 3.1' de şematik şekli görülen sürtünme kaynak makinasının, çalışması için Şekil 3.4' deki A_K start butonuna basıldığında, A_K kontaktörü güç kontaklarını kapatarak ana tahrik motorunu çalıştırır. A_K start butonundan elimizi çektiğimizde A_K start butonuna paralel bağlı A_K kumanda kontağı kapanarak ana tahrik motoru



A_K : Ana tahrik motoru güç kontaktörü
güç kontakları

H_K : Hidrolik pompa motoru güç kontaktörü
kontakları

3TF40: Hidrolik pompa motoru
kontaktörü

3TF42: Ana tahrik motoru güç
kontaktörü

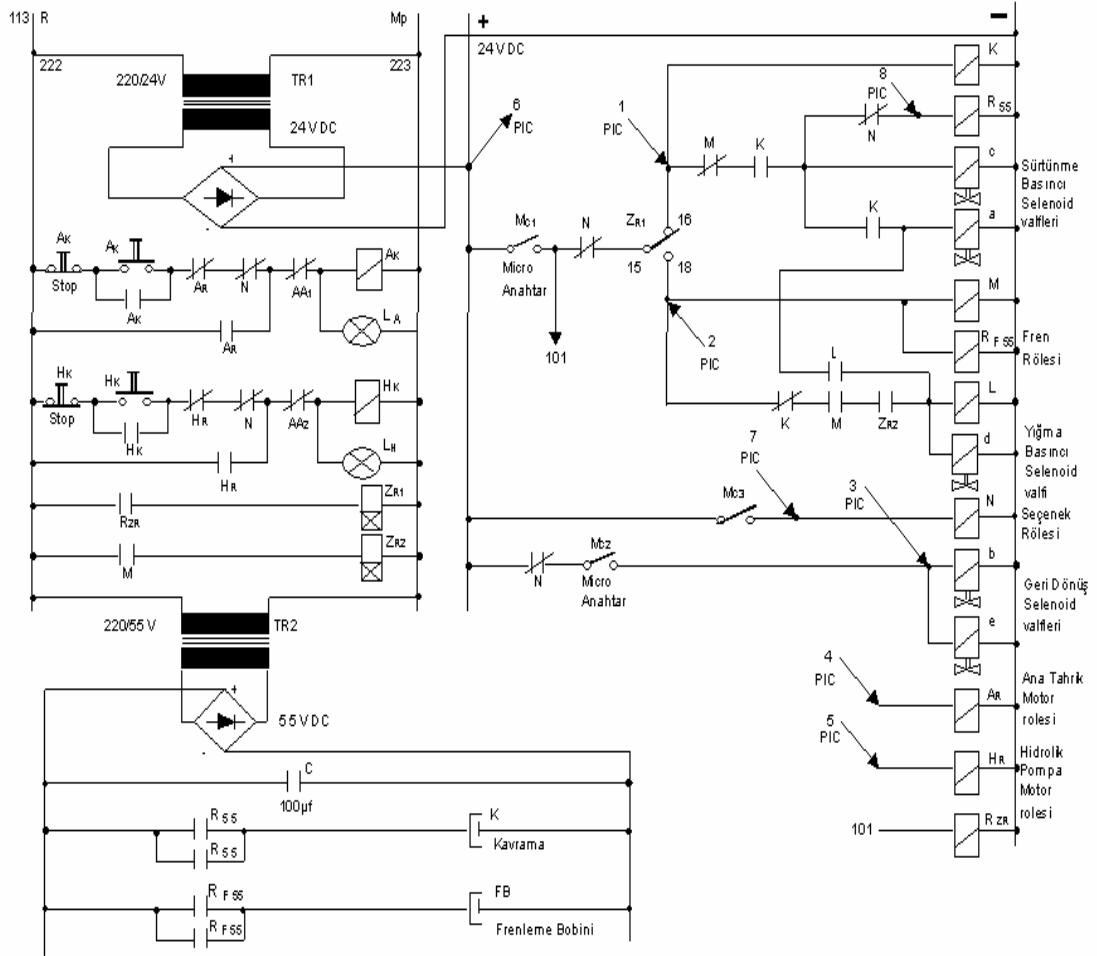
Şekil 3.3 Sürtünme Kaynak Makinası Güç Devresi

A_K stop butonuna basıncaya kadar çalışmasını sağlar. Aynı anda L_A ikaz lambası yanarak ana tahrik motorunun çalıştığını gösterir. A_K stop butonuna bastığımızda ana tahrik motoru durur.

H_K start butonuna basıldığında, H_K kontaktörü güç kontaklarını kapatarak hidrolik pompa motorunu çalıştırır. H_K start butonundan elimizi çektiğimizde H_K start butonuna paralel bağlı H_K kumanda kontağı kapanarak hidrolik pompa motoru H_K stop butonuna basıncaya kadar çalışmasını sağlar. Aynı anda L_H ikaz lambası yanarak hidrolik pompa motorunun çalıştığını gösterir. H_K stop butonuna bastığımızda hidrolik pompa motoru durur.

M_{C1} mikro anahtarını kapattığımızda R_{ZR} rölesi çalışarak ZR_1 zaman rölesini çalıştırır. ZR_1 zaman rölesi ayarlanan süre kadar 15-16 No' lu kontağını kapalı tutar. Bu süre içerisinde; K rölesi çalışarak, R_{55} kavrama bobini rölesini çalıştırarak kavrama bobini enerjilendirilir ve kavrama devreye girerek ana tahrik motorundan kayış kasnak mekanizmasıyla alınan dönme hareketi bir mil vasıtasıyla aynaya iletir. Aynı zamanda sürtünme basıncı selenoid yön kontrol valflerinin a ve c bobinleri enerjilendirilir (Şekil 3.2) ve yön kontrol valfleri çalıştırılarak hidrolik silindirin pistonu ve ona bağlı olan pensi sürtünme basıncıyla aynaya doğru ittirilir.

ZR_1 zaman rölesi ayarlanan süre sonunda 15-16 No' lu kontağını açar ve 15-18 No' lu kontağını kapatır. 15-16 No' lu kontak açıldığında kavrama ve sürtünme basıncı selenoid yön kontrol valfleri devreden çıkar ve sürtünme basıncıyla ileri itilen hidrolik silindirin pistonu konumunu korur. ZR_1 zaman rölesinin 15-18 No' lu kontağı kapandığında R_{F55} rölesini enerjilendirerek fren bobinini enerjilendirir ve fren bobini aynayı aniden durdurur ve M_{C1} mikro anahtarı kapalı olduğu sürece fren çalışır. Aynı zamanda M rölesi enerjilendirilerek ZR_2 zaman rölesi enerjilenir. ZR_2 zaman rölesinin ayarlanan süre sonunda ZR_2 kontağı kapatılarak L rölesini enerjilendirir. L rölesinin enerjilenmesiyle yağma basıncı selenoid yön kontrol valflerinin a ve d bobinleri enerjilenir ve hidrolik silindirin pistonunu yağma basıncıyla ileri doğru iter ve M_{C1} mikro anahtarı kapalı olduğu sürece yağma basıncı çalışır. M_{C1} mikro anahtarı açıldığında fren bobini ve yağma basıncı rölelerinin enerjisi kesilir. Hidrolik silindirin pistonu, bu durumda konumunu korur.



a: 1nci Yön kontrol valfinin sol bobini
c: 2nci Yön kontrol valfinin sol bobini
e: Geri dönüş yön kontrol valfinin bobini
K, L, M: Röle
L_A, L_H: İkaz lambası
TR1, TR2: Transformatör
A_K: Ana tahrik motoru start, stop butonu
H_K: Hidrolik pompa motoru start, stop butonu

b: 1nci Yön kontrol valfinin sağ bobini
d: 2nci Yön kontrol valfinin sağ bobini
M_{C1}, M_{C2}, M_{C3}: Mikro anahtar
R_{F55}: Fren bobini rölesi
R₅₅: Kavrama bobini rölesi
R_{ZR}: Röle
Z_{R1}: 1nci Zaman rölesi
Z_{R2}: 2nci Zaman rölesi

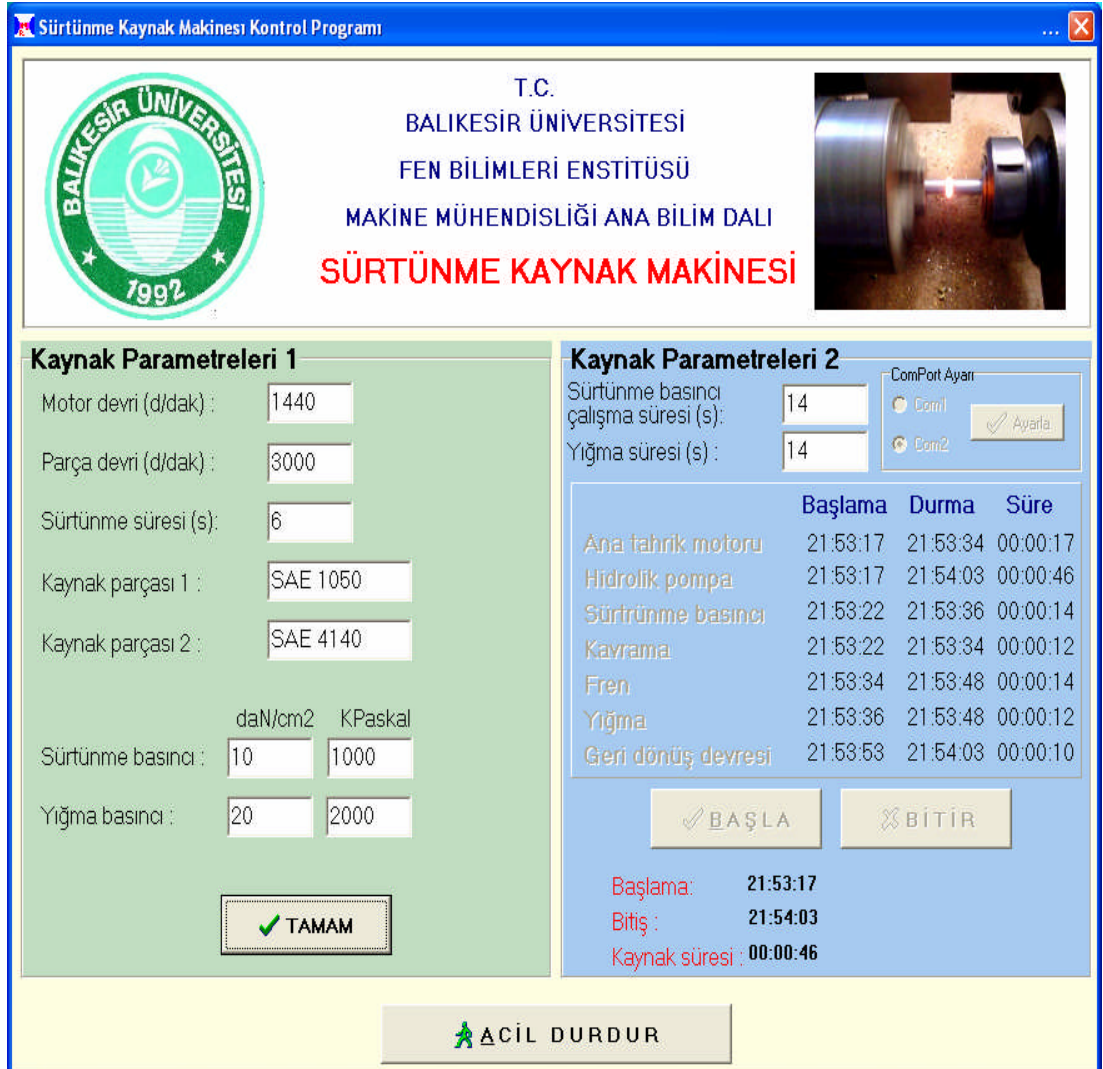
Şekil 3.4 Sürtünme Kaynak Makinası Elektrik - Kumanda Devresi

Kaynak olmuş iş parçası ayna tarafından serbest bırakıldıktan sonra, M_{C2} mikro anahtarını kapattığımızda selenoid kumandalı yön kontrol valflerinin b ve e bobinleri enerjilendirilerek hidrolik silindirin pistonu geriye itilerek ilk konumuna gelir. A_K ve H_K stop butonuna basılarak ana tahrik motoru ve hidrolik pompa motoru durdurulur(Şekil 3.3 ve Şekil 3.4)[26].

3.1.3 Sistemin Bilgisayar Kontrollü Olarak Çalışması

3.1.3.1 Bilgisayar Kontrol Ünitesi

Sürtünme kaynağı cihazının bilgisayar kontrollü çalışması için Delphi 6 programlama dili[27] ile bir bilgisayar programı ve elektronik kontrol ünitesi hazırlanmıştır. Programın ekran görüntüsü Şekil 3.5’ de verilmiştir. Ekran, kaynak parametreleri 1 ve kaynak parametreleri 2 olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır:



Şekil 3.5 Bilgisayar Programı Ekran Görüntüsü

Birinci kısımda sürtünme kaynağı makinasının kumandasına etkisi olmayan, kullanıcı tarafından değerleri girilen ve kaynak işlemine başlamadan önce kaynak parametreleri değerlerini kontrol etmemize veya daha sonra bu bilgileri hatırlamamıza olanak tanıyan motor devri, parça devri, sürtünme süresi, numunelerin adlarının yazıldığı kaynak parçası 1 ve kaynak parçası 2 penceresi, sürtünme basıncı ve yığma basıncının girildiği (değerler daN/cm² penceresine yazılıp tamam butonuna basıldığı zaman KPascal karşılığı pencereye yazılır) pencerelerden oluşmaktadır.

İkinci kısımda ise bilgisayar çıkışı hangi seri porttan gerçekleştirilecek ise o portun ayarlanmasına imkan tanıyan com1 veya com2 penceresi ve ayarla butonu, sürtünme basıncının çalışma süresi ve yığma süresi değerlerinin saniye olarak girildiği pencere, kaynağa başlandığında cihazın çalıştığı kısımlarının çalışma sırasının ve süresinin gösterildiği pencere, kaynak işleminin başlatılması ve bitirilmesini sağlayan başla ve bitir butonu ve kaynağın başlama, bitiş saati ve süresini gösteren kısımlardan oluşmaktadır. Ekranda ayrıca işlem esnasında gerektiğinde kaynağın acil durdurulmasını sağlayan “ACİL DURDUR” butonu vardır.

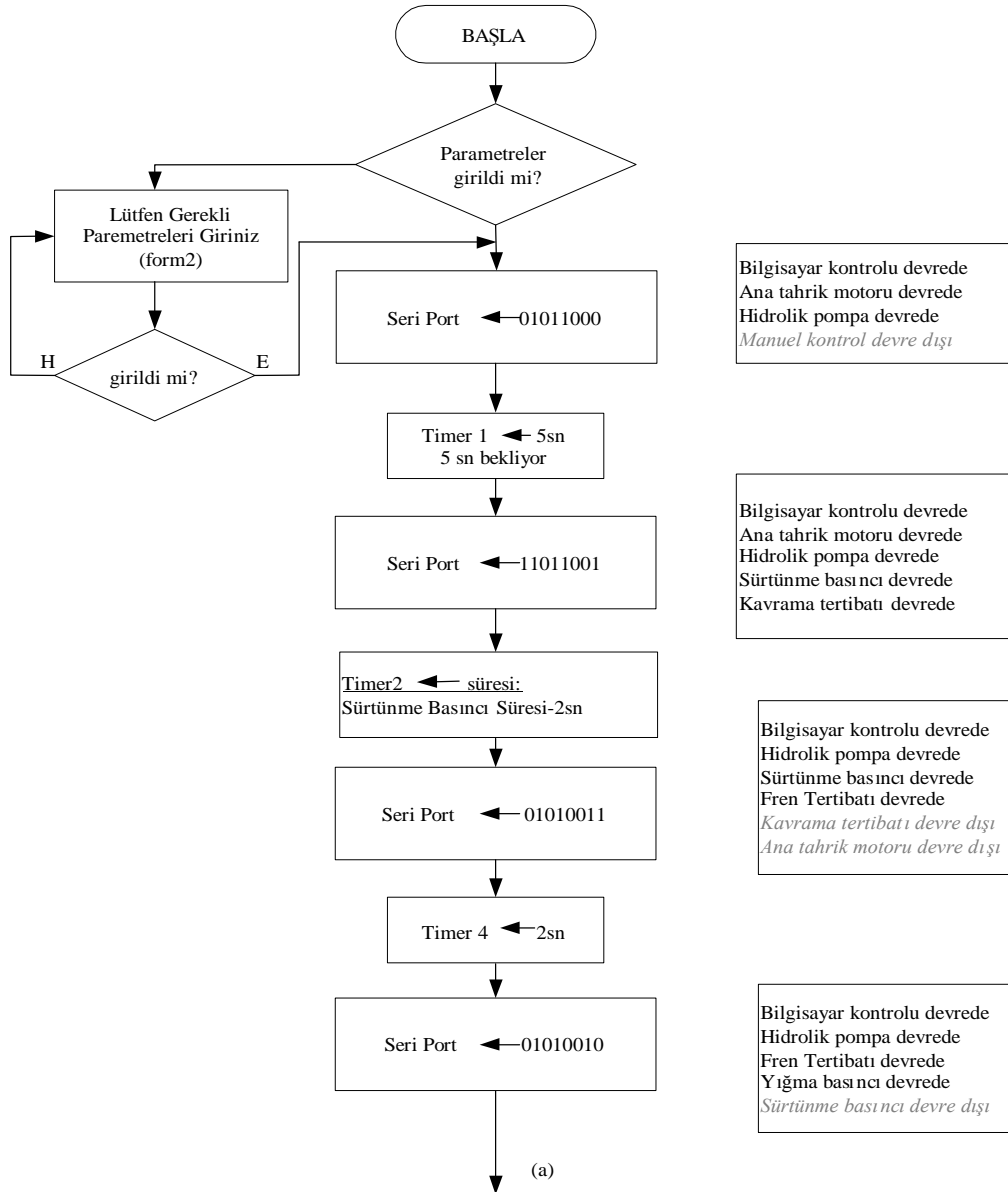
Sürtünme basıncı çalışma süresi ve yığma süresi penceresine değerler girilip “BAŞLA” butonuna basıldığı zaman bilgisayar programı RS 232 seri port bağlantısı ile Şekil 3.6’ da görülen akış şemasına göre elektronik kontrol ünitesine gerekli komutları gönderir.

Kaynak parametreleri 2 penceresinde yer alan sürtünme basıncı çalışma süresi ve yığma süresi penceresine yazılan değerler kaynak makinasının ve kaynak parametrelerinin çalışma süresini aşağıda açıklandığı şekilde belirler:

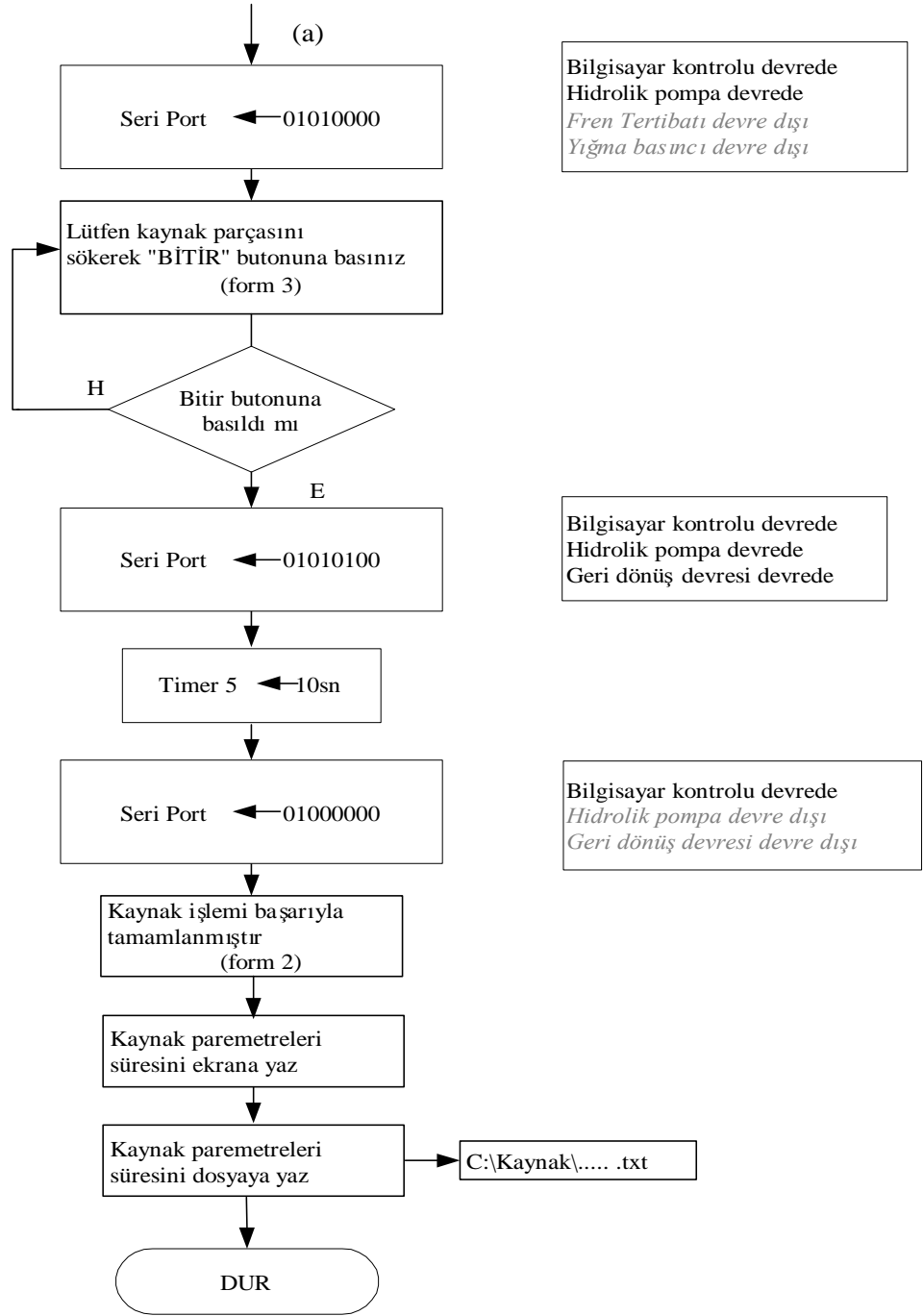
Sürtünme basıncı çalışma süresi iki unsuru içerir, hidrolik pistonun ilerleme zamanı ve sürtünme zamanını içerir. İlerleme zamanı iki kaynak parçanın bir birine temas ettiği ana kadar geçen süreyi ihtiva eder. Kaynak parçalarının birbirine temasının yavaş olması için 8 saniye olarak akış ayar valfinden (Şekil 3.2) ayarlanmıştır. Deneysel çalışma esnasında ilerleme zamanı sabit kalmıştır. Örneğin;

sürtünme zamanının 6 saniye olmasını istiyorsak bu pencereye $8+6=14$ saniye yazmamız gerekmektedir.

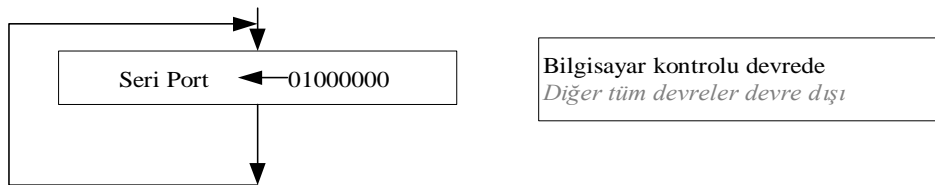
Yığma süresi penceresine yazdığımız değer, fren sisteminin çalışma süresi ve yığma basıncının çalışma süresini belirler. Fren sistemi devreye girdikten 2 saniye sonra 2nci zaman rölesi yığma basıncı rölesini enerjilendirerek yığma basıncının kaynak parçalarına etki etmesini sağlar. Sistemde yığma basıncı uygulama süresi boyunca fren sistemi çalışarak kaynak parçasının dönmesi engeller.



Şekil 3.6 Akış şemasının devamı



NOT: Herhangi bir anda "ACİL DURDUR" butonuna basılırsa

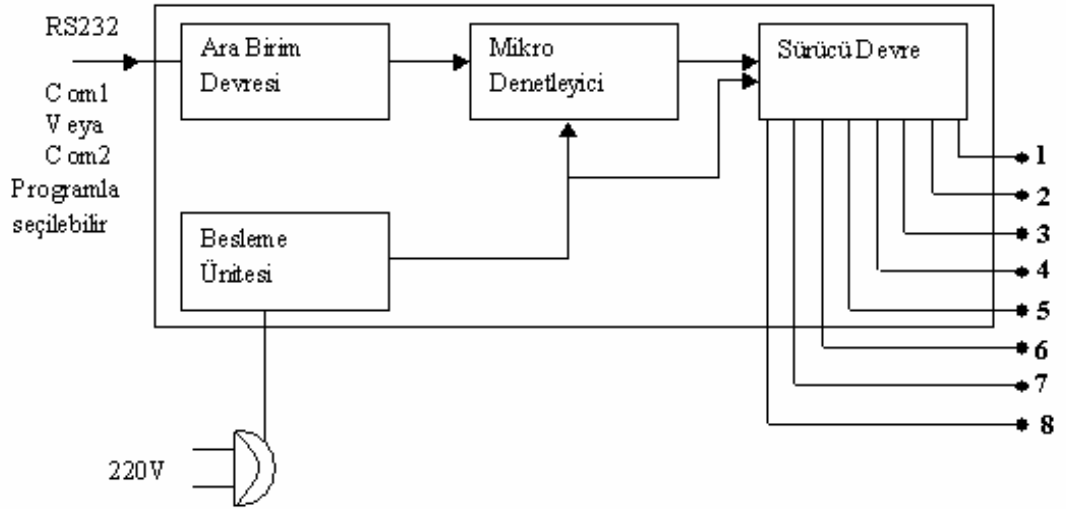


Şekil 3.6 Bilgisayar Programı Akış Şeması

Bilgisayar programı ile sistemin; ana tahrik motorunun çalıştırılması, çalışma süresi ve durdurulması, hidrolik pompa motorunun çalışması, çalışma süresi ve durdurulması, kavrama sisteminin çalışması, çalışma süresi ve durdurulması, fren sisteminin çalışması, çalışma süresi ve durdurulması, sürtünme basıncının çalışması, çalışma süresi ve durdurulması, yağma basıncının çalışması, çalışma süresi ve durdurulması ve geri dönüş devresinin çalışması, çalışma süresi ve durdurulması kontrol edilmektedir.

3.1.3.2 Elektronik Kontrol Ünitesi

Elektronik kontrol ünitesi; ara birim devresi, mikro denetleyici, sürücü devre ve besleme ünitesi olmak üzere dört kısımdan oluşur(Şekil 3.7). Bilgisayar programının göndermiş olduğu sinyal gerilimleri RS 232 portu ve kablosu aracılığı ile elektronik kontrol ünitesine gelir.



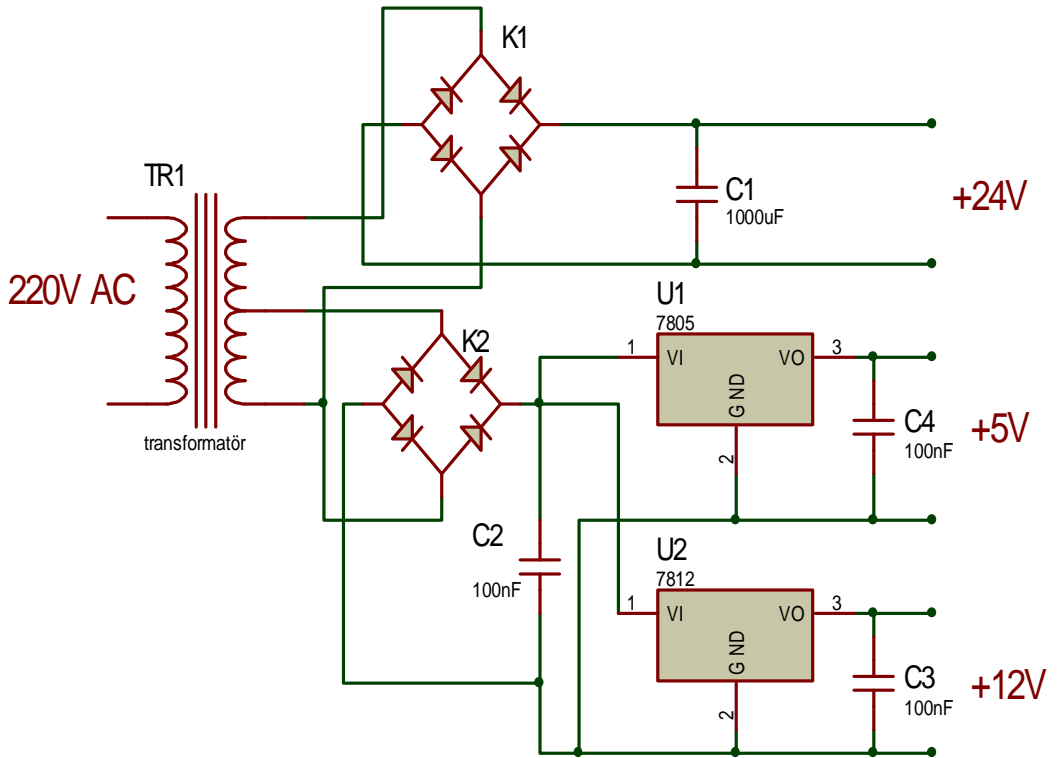
- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Sürtünme devresi | 6. Boş |
| 2. Fren devresi | 7. Bilgisayar Kontrolü
(Seçenek rölesi) |
| 3. Geri dönüş devresi | 8. Kavrama devresi |
| 4. Ana tahrik motoru | |
| 5. Hidrolik pompa | |

Şekil 3.7 Elektronik Kontrol Ünitesi

3.1.3.2.1 Besleme Ünitesi

Besleme ünitesi, mikro denetleyici ve sürücü devresini beslemektedir. 220V alternatif şebeke geriliminden 24V, 12V'luk ve 5V'luk üç ayrı doğru gerilim değeri elde edilmektedir(Şekil 3.8).

5V Elektronik devrenin beslenmesi için kullanılırken 24V kumanda röleleri için , 12V sürücü rölelerinin enerjilendirilmesi için kullanılır. Alternatif gerilimi doğru gerilime çevirmek için iki adet köprü diyot kullanılmıştır. Köprü diyotun birisinden (K1) direkt 24V elde edilmektedir. Diğerinden (K2) ise 12V elde edilmektedir. Elde edilen bu 12V daha sonra 7812 (12V) ve 7805(5V) regüle entegreleri ile düzenlenerek 12V ve 5V olarak kullanılmaktadır. Kondansatörler burada voltaj düzenlemektedirler.



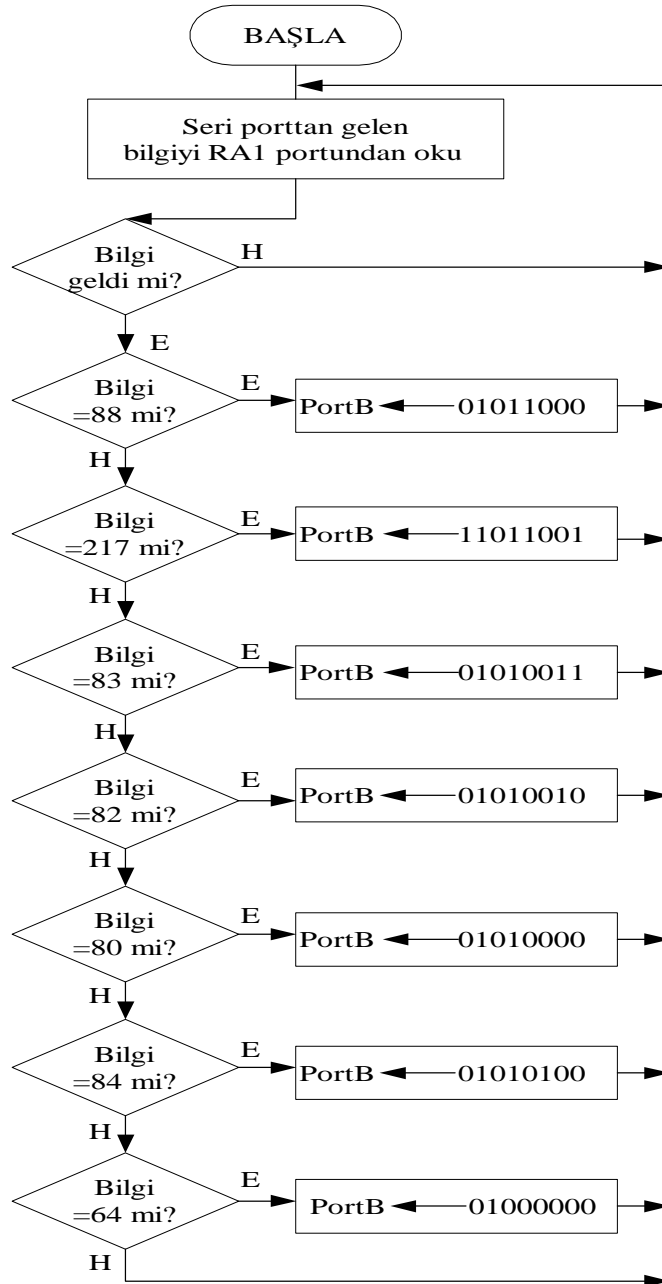
TR1= Transformatör
C1, C2, C3, C4= Kondansatör

K1 ve K2= Köprü diyotlar
U1, U2= Regüle entegreleri

Şekil 3.8 Besleme Ünitesi Devre Şeması

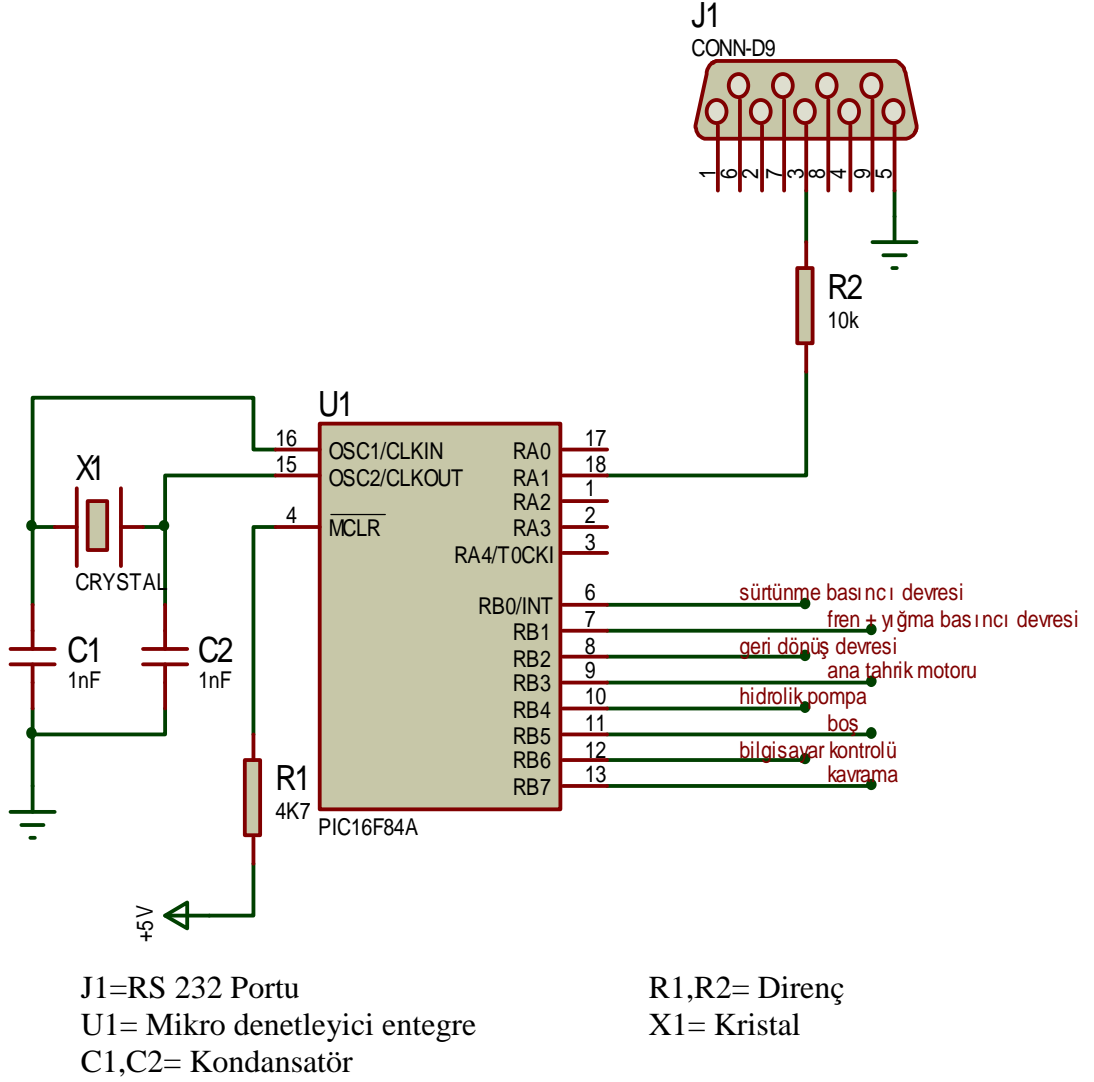
3.1.3.2.1 Ara Birim ve Mikro Denetleyici Devresi

Ara birim bilgisayar seri portundan gelen sinyal voltajını R2 direnci vasıtasıyla mikro denetleyici (PIC16F84) entegresi ile uygun hale getirmektedir(5V). Bilgisayardan gelen veriler mikro denetleyicinin A portunun 1 nolu ucundan (RA1) alınarak, PIC Basic program dilinde hazırlanmış Şekil 3.9' da verilen akış şemasına



Şekil 3.9 Mikro Denetleyici Akış Şeması

göre değerlendirilir ve değerlendirilen bilgiye uygun olarak B portuna +5V gönderir veya göndermez(Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Ara Birim ve Mikro Denetleyici Devre Şeması

Mikro denetleyicinin çalışması için 4MHz' lik kare dalga sinyal üreten kristal kullanılmıştır. Mikro denetleyicinin resetlenmesi istenmediği için mikro denetleyicinin MCLR ucuna program çalıştığı sürece +5V gönderilmektedir. Mikro denetleyicinin kısımları Çizelge 3.1' de görülmektedir[28].

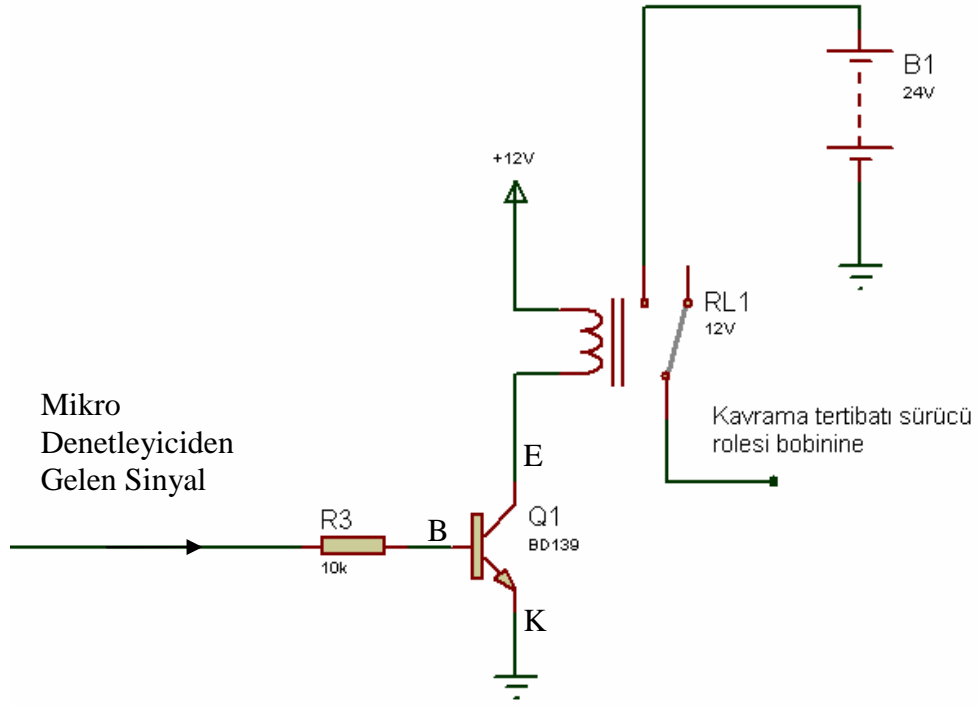
Çizelge 3.1 Mikro Denetleyicinin Kısımları

Osc1	Çalışma frekansını belirler. Devremize 4MHz'lik bir kristal bu pinlere bağlanarak kullanılmıştır.
Osc2	
MCLR	Mikro denetleyici reset girişi. Devremizde +5V'a bağlanmıştır.
RA1	Bilgisayar seri portundan gönderilen bilgi mikro denetleyiciye bu pinden alınmaktadır.
RB0	1 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (sürtünme basıncı devresine)
RB1	2 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (fren tertibatı + yağma basıncı devresi)
RB2	3 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (geri dönüş devresi)
RB3	4 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (ana tahrik motoru)
RB4	5 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (hidrolik pompa motoru)
RB5	6 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (boş bırakıldı – opsiyonel)
RB6	7 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (bilgisayar kontrolü – seçenek rölesi)
RB7	8 nolu sürücü transistörü kontrol eder. (kavrama tertibatı)

3.1.3.2.2 Sürücü Devresi

Mikro denetleyicinin A portundan lojik-1 bilgisi B portuna gelirse mikro denetleyicinin RB ucundan ilgili transistörün beyzine +5V' luk sinyal gerilimi gönderilir ve transistör iletime geçer. Transistörün kolektör-emiter arası kısa devre ve röle kontaklarından besleme ünitesinin 24V geriliminin geçmesi sağlanarak kumanda devresinin (Şekil 3.4) ilgili devre sürücü röle bobini enerjilendirerek (Örneğin; kavrama tertibatı sürücü bobini rölesi gibi) ilgili devre çalıştırılır(Şekil 3.11).

Mikro deneytleyici A portundan lojik-0 bilgisi B portuna geldiği zaman transistör kesime geçer ve kumanda rölesi bobininden akım geçmez ve kumanda devresi (Şekil 3.4) ilgili devre sürücü röle bobini 24V ile enerjilendirilmemiş olur ve ilgili devre çalışmaz[26, 29].



B = Transistörün beyz ucu
 B1= Besleme ünitesi (24V)
 E = Transistörün emiter ucu
 K = Transistörün kollektör ucu

Q1 = NPN Transistörü
 RL1= Kumanda rölesi
 R3 = Drenç

Şekil 3.11 Sürücü Devre Şeması

4. DENEYLERDE KULLANILAN SAE 4140-1050 MALZEMELERİ

4.1 Numunelere Ait Teknik Özellikler

Deney numunesi olarak MKE Çelik Fabrikasında üretilen SAE 4140-1050 çelikleri kullanılmıştır. Malzemelere ait MKE normu mekanik ve kimyasal özellikler Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Literatürdeki MKE’ nin Tablolarında Görülen SAE 4140- 1050 Çeliklerine Ait Mekanik ve Kimyasal Özellikler[30]

	Mekanik Özellikler		% Kimyasal Özellikler	
	SAE 4140	SAE 1050	SAE 4140	SAE 1050
Çekme Dayanımı (daN/mm ²)	80-130	60-90	C=0,35-0,44	C=0,45-0,54
Akma Sınırı (daN /mm ²)	55-90	36-48	Mn=0,60-0,90	Mn=0,60-0,90
Kopma Uzaması (% 5d ₁)	10-14	14-18	Si=0,15-,035 P= max 0,040 S= max 0,040	Si=0,10-0,30 P=max 0,040 S=max 0,050
Sertlik (HB 30) (Yumuşak tavlama durumunda)	Max 217	Max 260	Cr=0,80-1,10 Mo=0,15-0,25	
Sıcak Şekil Verme Sıcaklığı	1050-850°C	1100-850°C		

Krom; çeliğin dayanım özelliğini arttıran fakat buna karşılık, sünekliğini çok az bir dereceye kadar ters etkileyen bir alaşım elementidir. Çeliğin sıcağa karşı dayanımını arttırır. Kabuk-tufal yapmayı önler. İçinde yüksek oranda krom bulunması, çeliğin paslanmaya karşı dayanımını arttırır.

Krom, dengesi çabuk bozulmayan karbürü meydana getirir. Krom karbür çeliğe sertlik verir. Çelikte her % 1 oranındaki krom yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-10 daN/mm² lik bir artış görülür.

Molibden; çeliğin çekme dayanımını özellikle ısıya dayanımıyla kaynak edilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibden, çeliklerin dövülmesini güçleştirir. Molibden, kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzer. Molibden kuvvetli karbür meydana getirir. Alaşımli çeliklerde krom nikel ile birlikte kullanıldığında akma ve çekme dayanımını artırır[30,31,32].

Kaynak işlemlerinde kullanılacak olan numunelerin literatürde verilen mekanik özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin bilinmesine rağmen numunelerin mevcut durumunu belirlemek için çekme, sertlik ve kimyasal analiz testleri yapılarak mikro yapıları incelenmiştir.

SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerine ait kopma dayanımı, kopma uzaması ve sertlik değerleri Çizelge 4.2' de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Kullandığımız SAE 4140 ve SAE 1050 Çeliklerinin Kopma Dayanımı, Kopma Uzaması ve Sertlik Değerleri

	Mekanik Özellikler	
	SAE 4140	SAE 1050
Çekme Dayanımı (daN/mm ²)	105,97	101,31
Kopma Uzaması (% 5d ₁)	9,25	9,63
Sertlik (HV 30)	258	261

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' den anlaşıldığı gibi SAE 1050 çeliğinin kopma dayanımı MKE normlarında belirtilen değerden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi SAE 1050 çeliğinin soğuk çekme yöntemi ile imal edilmiş olmasıdır.

Numunelerin Balıkesir 1012 Ana Tamir Fabrikası Laboratuvarında bulunan BAIRD marka spektrum analiz cihazı ile kimyasal analizleri yapılmıştır (Şekil 4.1). SAE 4140 çeliğine ait kimyasal değerler Çizelge 4.3' de, SAE 1050 çeliğine ait kimyasal değerler Çizelge 4.4' de görülmektedir.



Şekil 4.1 Spektrum Analiz Cihazı

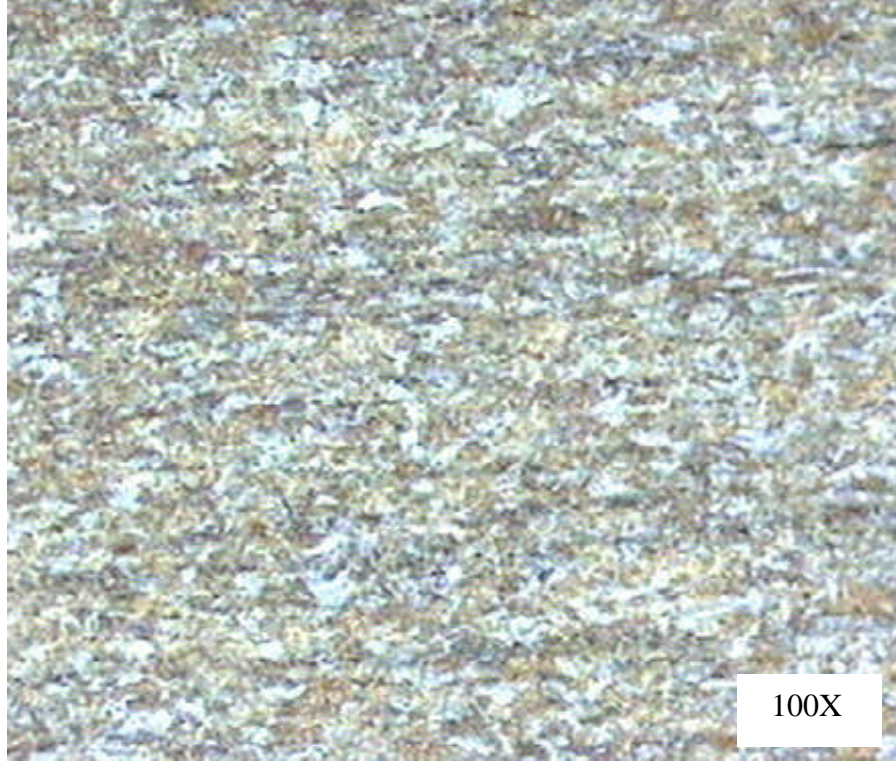
Çizelge 4.3 SAE 4140 Çeliğinin Spektrum Analiz Değerleri

Element	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
%Ağırlık	97,318	0,417	0,772	0,260	0,008	0,005	0,923	0,157
Element	Co	Nb<	Ni	Ti	Al	Cu	V	W<
%Ağırlık	0,006	0,002	0,051	0,002	0,029	0,05	0,003	0,002

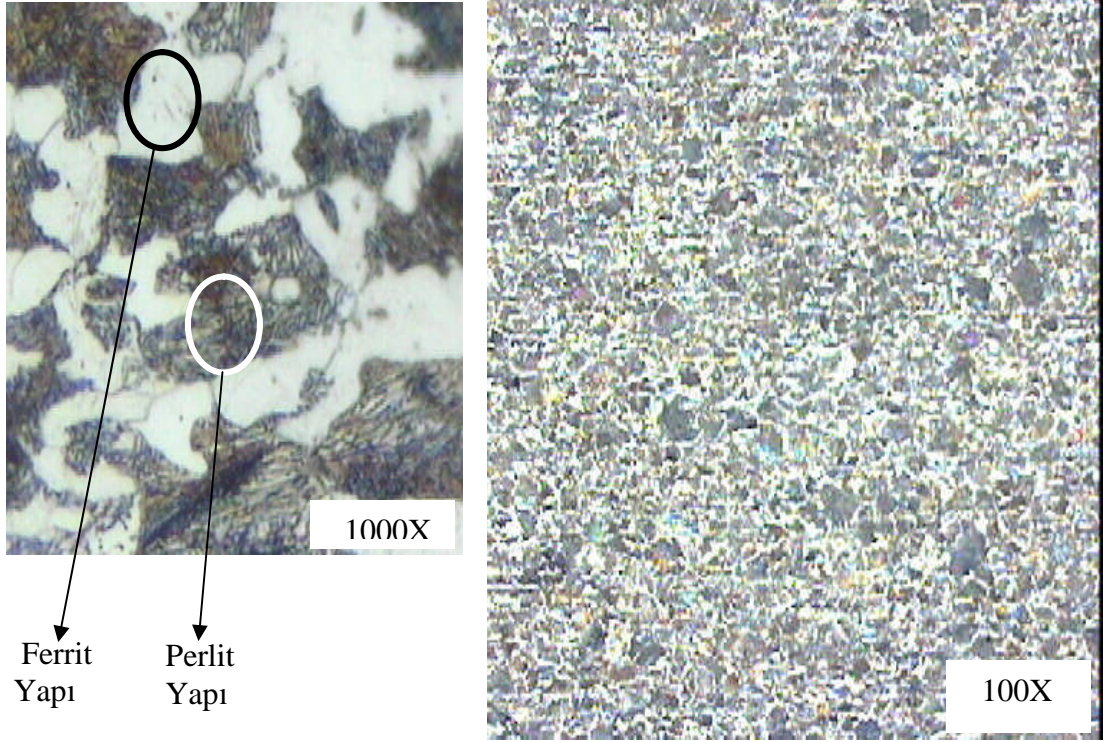
Çizelge 4.4 SAE 1050 Çeliğinin Spektrum Analiz Değerleri

Element	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Pb>
%Ağırlık	97,839	0,481	0,675	0,221	0,008	0,037	0,220	0,015	0,03
Element	Co	Nb	Ni	Ti	Al	Cu	V	W	
%Ağırlık	0,004	0,004	0,042	0,001	0,018	0,09	0,004	0,004	

SAE 4140 çeliğine ait mikro yapı resmi Şekil 4.2' de, SAE 1050 çeliğine ait mikro yapı resmi Şekil 4.3' de görülmektedir. Mikro yapı resimleri ile numunelerin kaynak öncesi doku yapısı belirlenmiştir.



Şekil 4.2 SAE 4140 Çeliği Mikro Yapı Resmi



Şekil 4.3 SAE 1050 Çeliği Mikro Yapı Resmi

4.2 Numune Malzemelerinin Kullanıldığı Yerler

4.2.1 SAE 1050 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler

SAE 1050 Çeliği cer (vagon çeki kancası) kancaları, dişliler, kazmalar, krom kaplı miller, piston pimi, zincir pimleri, dişli miller, sonsuz dişliler, tırtıllı merdane, kam milleri, lift milleri, frezeli miller, otomobil ve motor aksamı [30, 33, 34].

4.2.3 SAE 4140 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler

SAE 4140 Çeliği yüksek dayanım gerektiren makine parçaları ve araçları, yapı araç ve gereçleri, miller, dişli çarklar, pinyonlar, bağlantı çubukları, civatalar, pimler, akslar, kaplinler, tahrik şaftları, kafes çatı sistemlerinin küre şeklinde olan düğüm noktaları, iş makinaları paletlerinde kullanılmaktadır. Talaşlı imalat endüstrisinde yaklaşık % 10 oranında kullanılmaktadır [14, 30, 34, 35, 36].

4.2.3 Alaşımli ve Alaşımşız Çeliklerin Birlikte Kullanıldığı Yerler

1. Motorlarda dıştan kullanılan farklı metalden yapılmış frezeli iki milin birleştirilmesinde.
2. Fren “S” kamı ve milinin birleştirilmesinde.
3. Baladör pinyonunda.
4. Aks milinde mil ile frezeli göbeğin ve flanşın birleştirilmesinde.
5. Fotokopi makinası makarasında.
6. Poyra-dişli birleştirmelerinde.

7. Mengene sürme vidası başının birleştirilmesinde.
8. Taşıyıcı band makaralarında.
9. Torna milinde.
10. Dişli çark mil birleştirmelerinde.
11. Cer makaralarının birleştirilmesinde.
12. Vites kolu millerinde.
13. Hidrolik silindir-kapak, piston ve milinin birleştirilmesinde.
14. Eksantrik mili, kam-mil birleştirmelerinde.
15. Matkap ucu ve sapının birleştirilmesinde.
16. Direksiyon mili ve sonsuz vidası birleştirilmelerinde.
17. Üniversal mafsallı çatalının milledir birleştirilmesinde.
18. Cırcır kolunun kabzesi ile kilit tertibatının birleştirilmesinde.
19. Supap tablası ile sapının birleştirilmesinde,
20. Mahruti dişli ile milinin birleştirilmesinde.
21. Piston ile milinin birleştirilmesinde.
22. Piston mili ile bağlantı deliğinin birleştirilmesinde.
23. Ara kolu mili ile anahtar yuvasının birleştirilmesinde.

24. Baskı makinası makaralarında alaşımli ve alaşimsız çelikler sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilerek birlikte kullanılmaktadır.

Çizelge 4.5' de Sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmeleri yapılan farklı özellikteki çeliklerin listesi görülmektedir[24].

Çizelge 4.5 Farklı Çeliklerin Sürtünme Kaynağı Uygulamaları

ÇELİK	KAYNAKLANDIĞI MALZEME	ALAŞIMLI ÇELİK	KAYNAKLANDIĞI MALZEME
SAE 1008	SAE 1037, 1052	SAE 3140	SAE 2112
SAE 1010	SAE 1010, 8620	SAE 4032	SAE 4032
SAE 1013	SAE 1018, 1117	SAE 4115	SAE 4115
SAE 1018	SAE 1018, 1141, 5130, 1052	SAE 4130	SAE 4130, 1020, 4140
SAE 1020	SAE 1020, 1037, 1140, 1095	SAE 4140	SAE 4140, 1020, 1035
SAE 1040	SAE 1040, 1045	SAE 4340	SAE 4340
SAE 1041	SAE 1141	SAE 5120L	SAE 5120L, 1026
SAE 1045	SAE 1141, 8620, 4150	SAE 5130	SAE 1018
SAE 1049	SAE 1049	SAE 8620	SAE 8620, 1018
SAE 1085	SAE 1085	SAE 8625	SAE 8625
SAE 1117	SAE 1117	SAE 9650	SAE 6150
SAE 1141	SAE 1141	SAE 52100	SAE 52100, 1040, 8620, 89630
T-11	T-11	SAE 9310	SAE 9310
T-12	T-12	SAE 98BY40	SAE 98BY40
SAE ISB37	SAE ISB37		
SAE 14B36	SAE 14B36		

5. KAYNAKLI NUMUNELERİN MEKANİK VE METALURJİK İNCELENMESİ

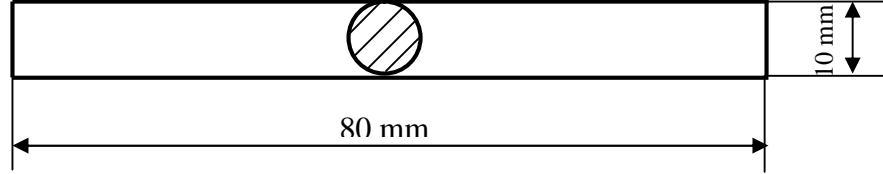
5.1 Kaynak Parametreleri ve Deney Numune Boyutu

Deneyssel çalışmalarımız için seçilmiş SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerinin sürtünme kaynağı parametreleri literatür ve ön çalışma sonucu tespit edilmiştir. Belirlenen kaynak parametreleri aşağıda verilen Çizelge 5.1' de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.1 Kaynak Parametreleri

Numune No	Kaynak Parametreleri				
	Devir Sayısı Dev/dak	Sürtünme Zamanı(s)	Sürtünme Basıncı (daN/cm ²)	Yığıma Zamanı(s)	Yığıma Basıncı (daN/cm ²)
Kaynak 1	3000	6	10	14	20
Kaynak 2	3000	6	15	14	20
Kaynak 3	3000	6	20	14	20
Kaynak 4	3000	4	15	14	20
Kaynak 5	3000	4	20	14	20
Kaynak 6	3000	4	25	14	20
Kaynak 7	3000	8	10	14	20
Kaynak 8	3000	8	15	14	20

Deney numune çiftleri universal torna tezgahlarında silindirik çubuklar şeklinde aynı uzunlukta (sürtünme kaynak makinesinin ayna ve pensinin, kaynak bölgesi ısısından etkilenmemesi için numune boyu 80 mm alınmıştır) ve çapta imal edilmiştir. Numune boyutları Şekil 5.1’ de verilmiştir.

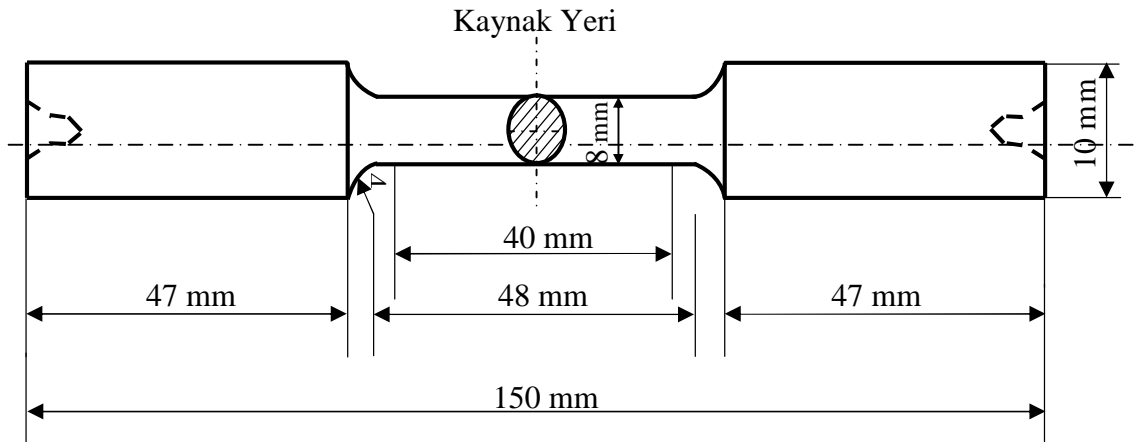


Şekil 5.1 Deney Numune Boyutları

Sürtünme kaynağı deneylerinden elde edilen numunelere; çekme deneyi, sertlik ölçme deneyleri, makro ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca deneyler esnasında uzaktan sıcaklık ölçüm cihazı ile kaynak bölgesindeki sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

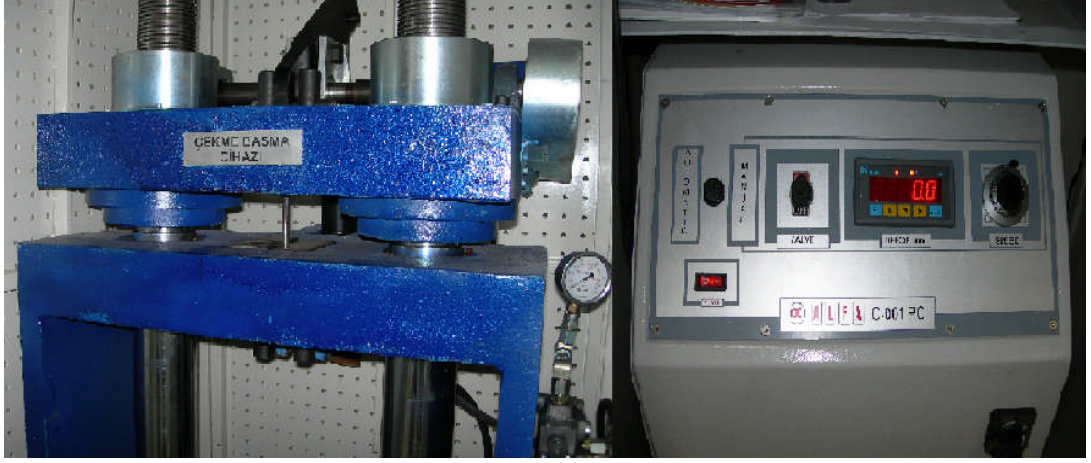
5.2 Çekme Testi

Kaynaklı numuneler TSE 138’ e göre universal torna tezgahında Şekil 5.2’deki boyutta çekme testi için hazırlanmıştır.

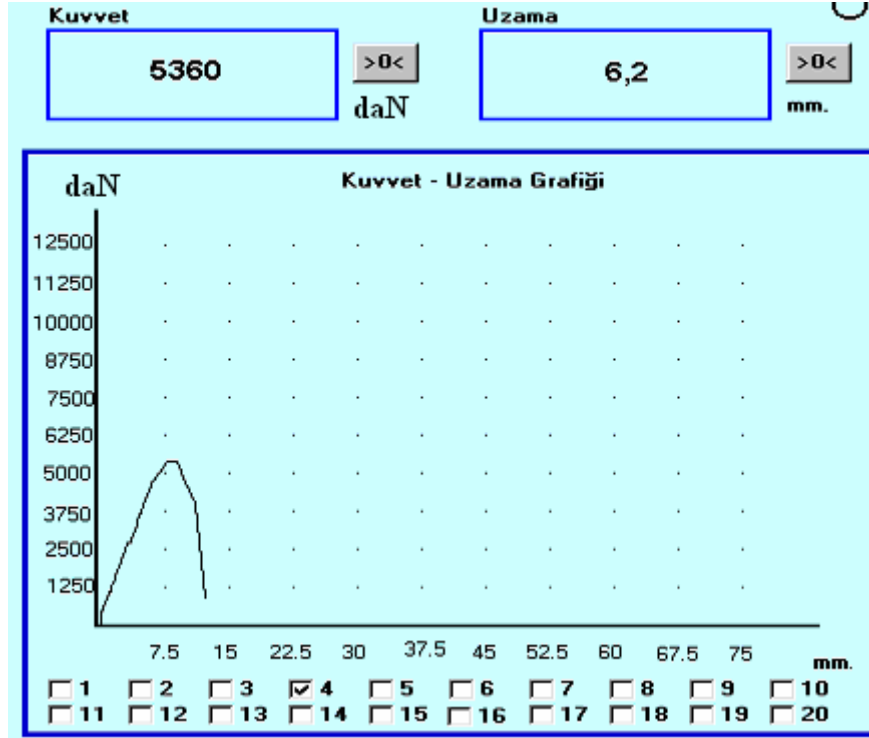


Şekil 5.2 Çekme Numune Boyutları

Çekme testi 60 tonluk bilgisayar kontrollü Balıkesir İDO-Test Firmasında bulunan ALFA C-001.PC çekme-basma cihazında 2 mm/dak çekme hızında yapılmıştır (Şekil 5.3). Kaynaklı numuneye ait gerilme-uzama diyagramı Şekil 5.4’ de görülmektedir.



Şekil 5.3 Çekme Cihazı Resmi



Şekil 5.4 Kaynaklı Numune Gerilme-Uzama Diyagramı

Cihaz, uzama-gerilme diyagramını grafik olarak vermekte ve grafiğin dikey sütunu çekme kuvvetini (daN), yatay sütunu da uzama miktarını (mm) göstermesine rağmen uzama miktarlarını daha sonra ölçebilmek için numunelerde kaynak yerini ortalayarak aynı ekseninde olmak üzere 40 mm boyunda işaret konulmuştur. Çekme deneyinden sonra kopma yüzeyleri dikkatlice birleştirilerek bu işaretler ölçülmüş ve değerler grafiğin üst kısmında bulunan uzama penceresine yazılmıştır. Hesaplamalarda ölçülen uzama miktarı dikkate alınmıştır.

Kaynak numunelerine ait çekme testi değerleri L_1 (mm) boyu, çekme kuvveti (daN), ortalama çekme kuvveti (daN), çekme gerilmesi (daN/mm²), %uzama ve kopma şekli ve yeri Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çekme Testi Değerleri

NUMUNE	L_0 (mm)	L_1 (mm)	ÇEKME KUVVETİ (daN)	ORTALAMA ÇEKME KUVVETİ (daN)	ÇEKME GERİLMESİ (daN/mm ²)	%UZAMA	KOPMA YERİ
4140	40	43,70	5279		105,07	9,25	Sünek
1050	40	43,85	5090		101,31	9,63	Sünek
1	40	43,25	5360	5401	106,68	8,13	4140 Sünek (kaynak bölgesinden 23mm mesafede)
1	40	45,10	5442		108,32	12,75	4140 Sünek (kaynak bölgesinden 21mm mesafede)
2	40	42,20	5178	5117	103,06	5,50	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
2	40	41,60	5056		100,63	4,00	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
3	40	41,00	5056		100,63	2,50	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
4	40	41,60	5092	5118	101,35	4,00	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
4	40	41,85	5143		102,37	4,62	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
5	40	41,95	5001	5174	99,54	4,88	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)

Çizelge 5.2' nin devamı

5	40	42,10	5348		106,44	5,25	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
6	40	40,10	4997		99,46	0,25	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
7	40	41,95	5358	5090	106,64	4,88	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
7	40	41,85	4822		95,97	4,63	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
8	40	41,80	5195	5172	103,40	4,50	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)
8	40	41,70	5150		102,50	4,25	1050 Gevrek (ısıdan etkilenmiş bölgede)

Çizelgedeki kopma yerleri ve şekli incelendiğinde kaynak 1 numunesinde kopma, sünek ve kaynak yerinden 21 ile 23 mm uzaklıkta ve SAE 4140 çeliğinde gerçekleşmiş olduğu görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Kaynak 1 Numunesi Kopma Resmi

Diğer kaynak numuneleri 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 incelendiğinde kopma, ısıdan etkilenmiş bölgede, gevrek ve SAE 1050 çeliğinde olduğu görülmektedir (Şekil 5.6).

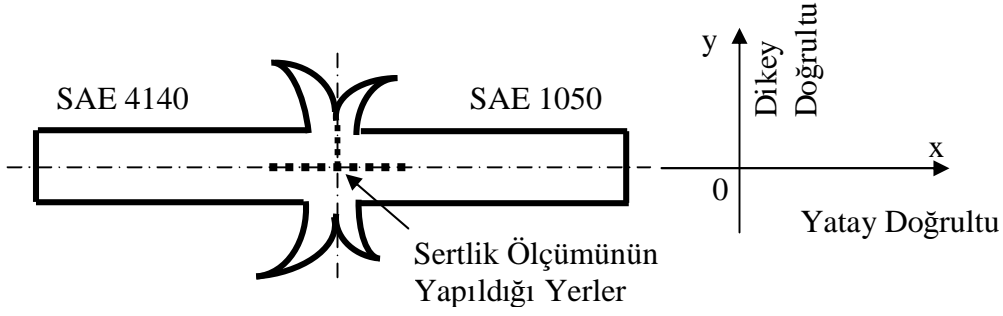


Şekil 5.6 Kaynak 7 Numunesi Kopma Resmi

Kaynaklı numunelerin kopma gerilmeleri, kaynaklı numunelerin kopma gerilmelerine çok yakın çıkmıştır. Çekme deneyleri sonunda en düşük çekme gerilmesi 95,97 daN/mm² ile kaynak 7 numunesinde, en yüksek çekme gerilmesi 108,32 daN/mm² ile kaynak 1 numunesinde görülmüştür. En düşük çekme dayanımı değerine göre bakıldığında ana malzemeden (SAE 1050) % 5.27 daha az çekme dayanımı, en yüksek çekme gerilmesi değerine göre bakıldığında % 6.91 daha fazla çekme dayanımı görülmüştür.

5.3 Sertlik Ölçme Deneyi

Numunelerin 1012 Ana Tamir Fabrikası Laboratuvarındaki Heckert marka sertlik ölçme cihazı ile sertlik ölçümü yapılmıştır. Kaynak numunelerinin sertlikleri dikey ve yatay doğrultuda Vickers skalasında 30 kg'lık yük uygulanarak yapılmıştır(Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Sertlik Ölçümünün Yapıldığı Yerler ve Doğrultular

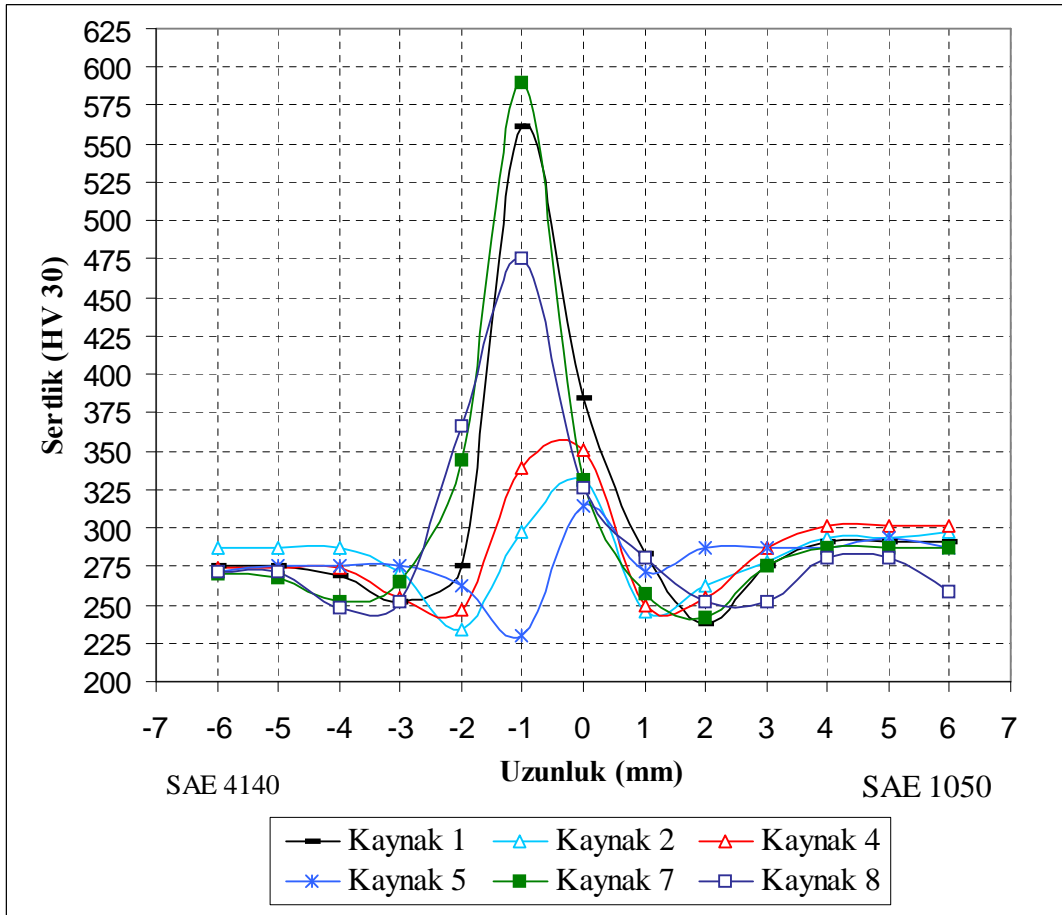
5.3.1 Yatay Doğrultuda Sertlik Dağılımı

Kaynak yerinin merkezinden yatay doğrultuda elde edilen sertlik değerleri Çizelge 5.3’ de tablo olarak ve Şekil 5.8’ de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3 Yatay Eksende Sertlik Dağılımı (HV)

Kaynaklı Numune	Kaynak Parametrelerine Göre Yatay Eksende Sertlik Değişimi(HV)												
	Kaynak 1	275	275	269	252	275	561	385	283	238	275	291	291
Kaynak 2	287	287	287	271	234	297	331	245	263	278	294	294	298
Kaynak 4	274	274	274	255	247	339	351	249	255	287	301	301	301
Kaynak 5	272	275	275	275	263	230	315	272	287	287	287	294	287
Kaynak 7	270	268	252	265	344	590	331	257	242	275	287	287	287
Kaynak 8	271	271	248	252	366	476	326	281	252	252	280	280	258
Uzunluk(mm)	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

Kaynak yerindeki sertlik değeri malzemelerin sertlik değerlerinden yüksek çıkmıştır. Kaynak yerinden ana malzemelere doğru gidildikçe sertlik değişimi kaynak parametrelerine göre değişmektedir. SAE 4140 Çeliğinde; genel olarak alaşım elementleri(Krom ve Molibten), kaynak esnasında oluşan yüksek sıcaklık etkisiyle karbür meydana getirerek sertlik değerini arttırmış olduğu ve kaynak 1, 7 ve 8' de kaynak yerinden 1 mm mesafede martenzit iç yapı dönüşümü oluşumunun meydana gelmiş olabileceği düşünülmüştür.



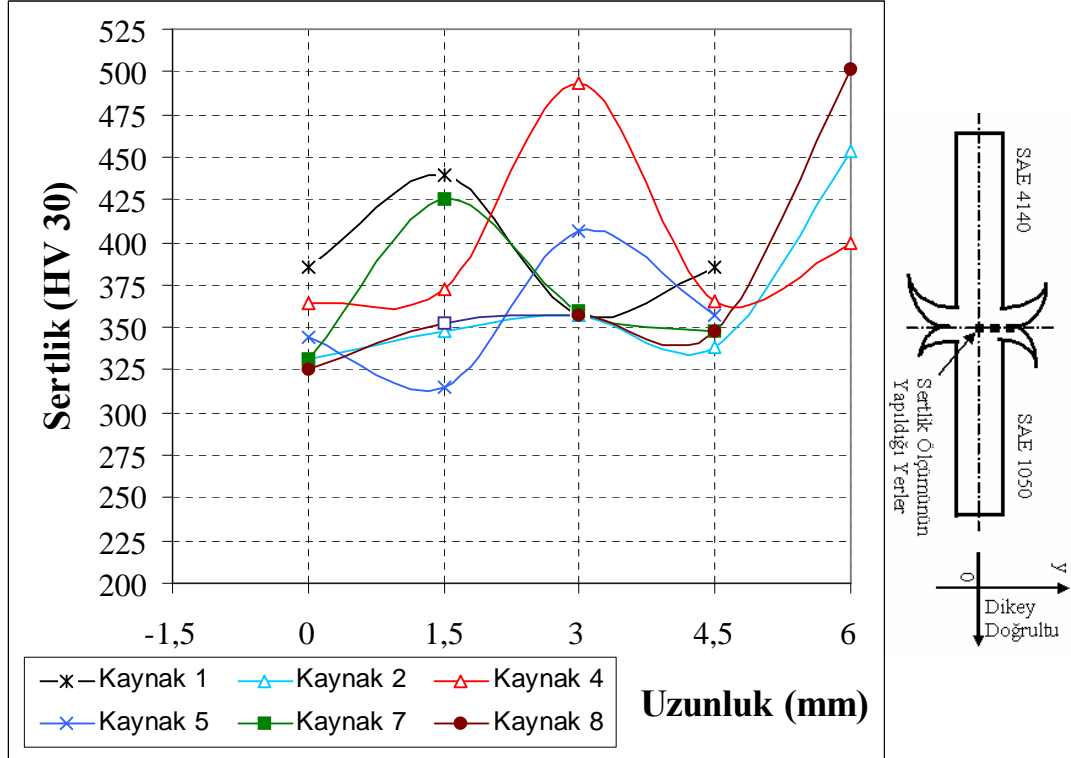
Şekil 5.8 Yatay Eksende Sertlik Dağılımı

5.3.2 Dikey Doğrultuda Sertlik Dağılımı

Kaynak yerlerinin dikey doğrultuda elde edilen sertlik değeri Çizelge 5.4' de tablo ve Şekil 5.9' da grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 5.4 Dikey Eksende Sertlik Dağılımı (HV)

Kaynak Yeri Merkezinden (0 mm) Dikey Doğrultuda Uzunluk(mm)	Kaynak Parametrelerine Göre Dikey Eksende Sertlik Değişimi (HV)					
	Kaynak 1	Kaynak 2	Kaynak 4	Kaynak 5	Kaynak 7	Kaynak 8
6		454	400			502
4,5	385	339	366	357	348	348
3	357	357	493	406	360	357
1,5	439	348	373	315	425	353
0	385	331	364	344	331	326

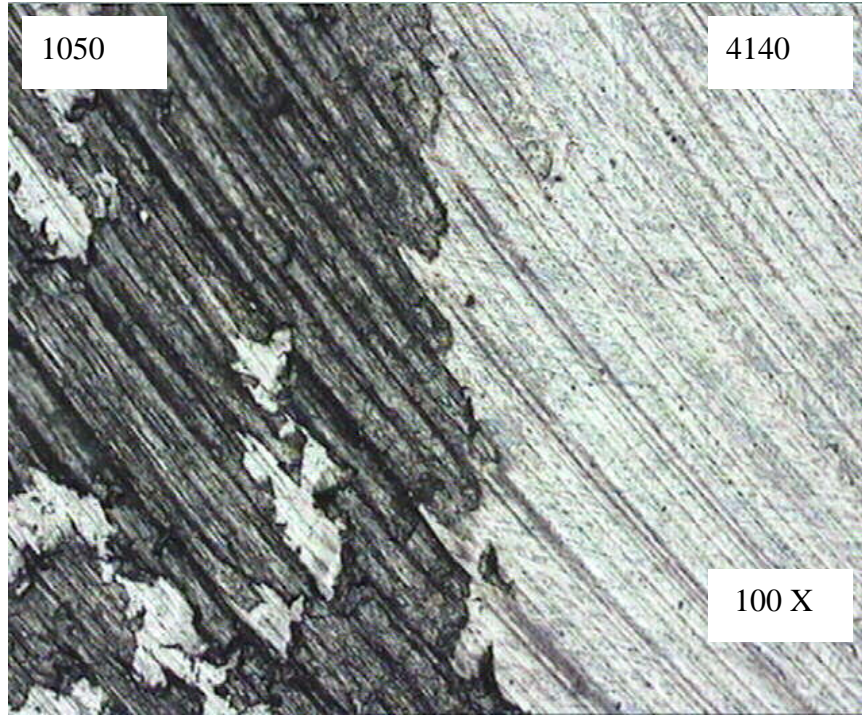


Şekil 5.9 Dikey Doğrultuda Sertlik Dağılımı

Çizelge ve grafik incelendiğinde dikey doğrultuda, kaynak 1, 2, 4, 7 ve 8' de merkezden itibaren ilk 1,5 mm' lik mesafede sertlik değerleri artmış, kaynak 5' de bu mesafede sertlik değeri azalmış olmasına rağmen ana malzemelerin sertlik değerinden yüksektir. Kaynak 1, ve 7' de merkezden itibaren 3 mm' lik mesafede sertlik değeri düşerken, kaynak 2, 4, 5 ve 8' de bu mesafedeki sertlik değeri artmıştır. Kaynak 1'

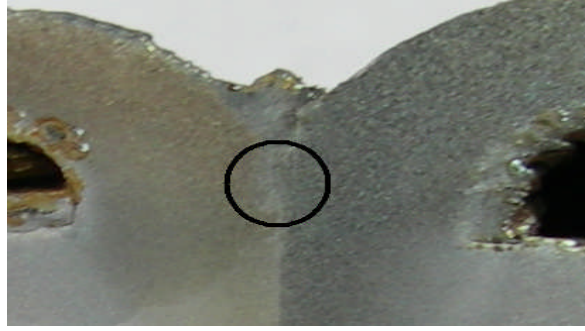
de 4,5 mm' lik mesafede sertlik deęeri tekrar artarken, kaynak 2, 4, 5, 7 ve 8' de bu mesafede sertlik deęeri tekrar dūřmūřtūr.

Kaynak yerinin merkezinden çevreye doğru çıkıldıkça sertlik değerinin artması beklenir. Çünkü merkezde, çevresel hız sıfır ve çevreye doğru yarı çap arttıkça çevresel hız artmaktadır[2]. Çevresel hız artışına bağlı sūrtünme miktarı da artacağından sıcaklık merkezden çevreye doğru artacaktır. Bu nedenle dikey doğrultudaki sertlik değerlerinin tamamı ana malzemelerin sertlik değerlerinden yüksek çıkmıştır. Dūřey eksenindeki sertlik değerlerinin yūkselip dūřmesine, numunelerin kaynak yerinde bir birlerine yapmış olduğu geçişlerin sebep olduğu değerlendirilmektedir. Kaynak yerinde oluşan bu geçişlerden dolayı, sertlik ölçümünün dikey ekseninde farklı ana malzemelere gelmiş olması sertlik değerlerinin yūkselip dūřmesine sebep olmuştur. Bu geçişler, numuneleri frezeyle yarıya kadar işledikten sonra, kaynak yerlerinin optik mikroskopla çekilen resminde(şekil 5.10).ve şekil 5.23' deki kaynak yerinin mikro yapı incelemesinde gör÷lmektedir.



şekil 5.10 Kaynak Yerinin Dağlanmamış Fotoğrafı

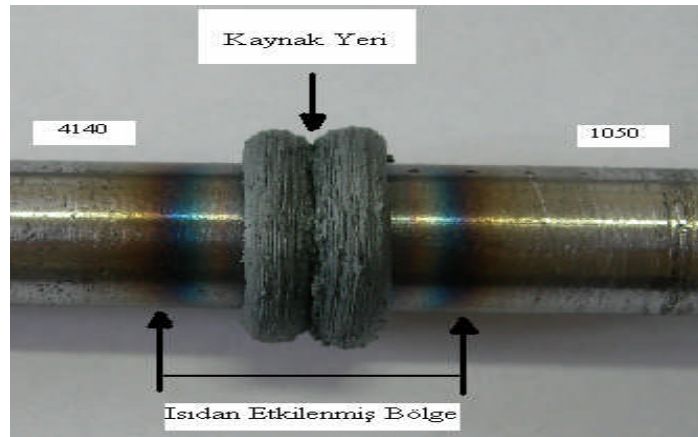
Dikey doğrultuda numune çapından daha kalın olan bölgede (merkezde 6 mm mesafede) Şekil 5.11’ de daire içerisine alınmış olan yerde kaynak 2, 4 ve 8’ numunelerinde (sertlik ölçümü için yeterince et kalınlığı olan üç numune) sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu bölgede hava ile direkt temasın gerçekleşmesinden dolayı hızlı soğuma sebebiyle sertlik değerleri (Kaynak 2 numunesinde 454 HV, Kaynak 4 numunesinde 400 HV ve Kaynak 8 numunesinde 502 HV) yüksek çıkmıştır(Çizelge 5.3’ de 6 mm için verilmiş sertlik değerleri bu bölgelerden ölçülmüş olan sertlik değerleridir).



Şekil 5.11 Numune Çapının Dışında Oluşan Yığılma Bölgesi

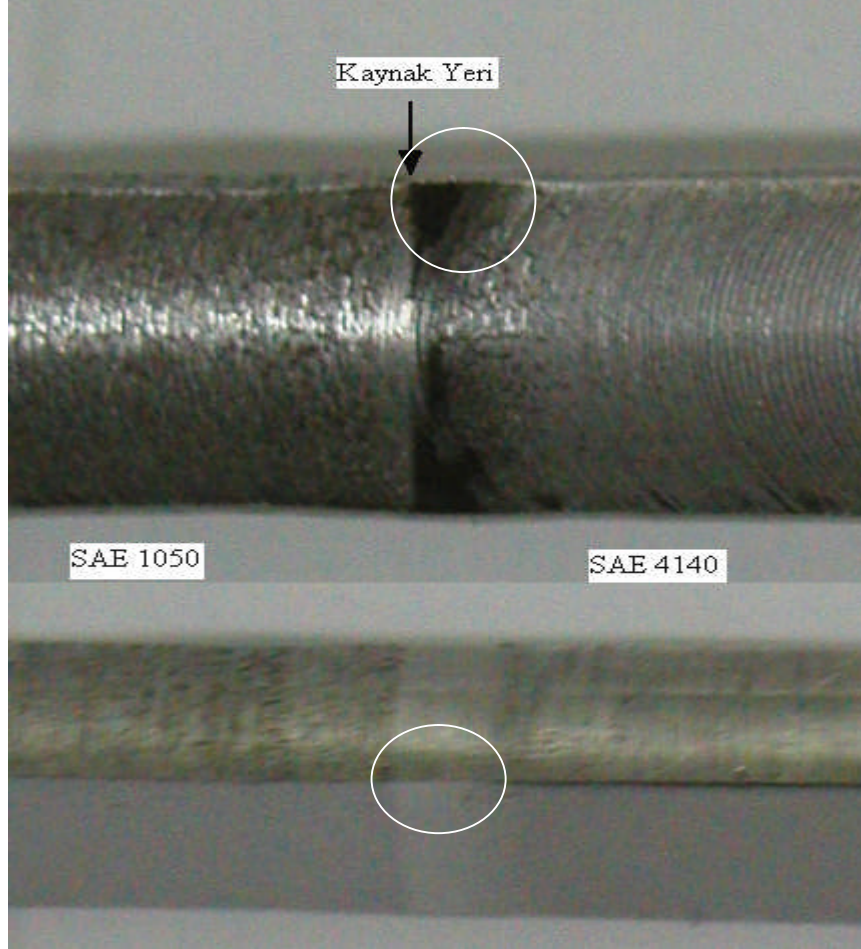
5.4 Makro İnceleme

Kaynaklı numunelerinin makro yapılarını dıştan incelediğimizde plastik deformasyona uğramış ve ısıdan etkilenmiş bölgeyi görmekteyiz (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Kaynaklı Numunenin Dıştan Resmi

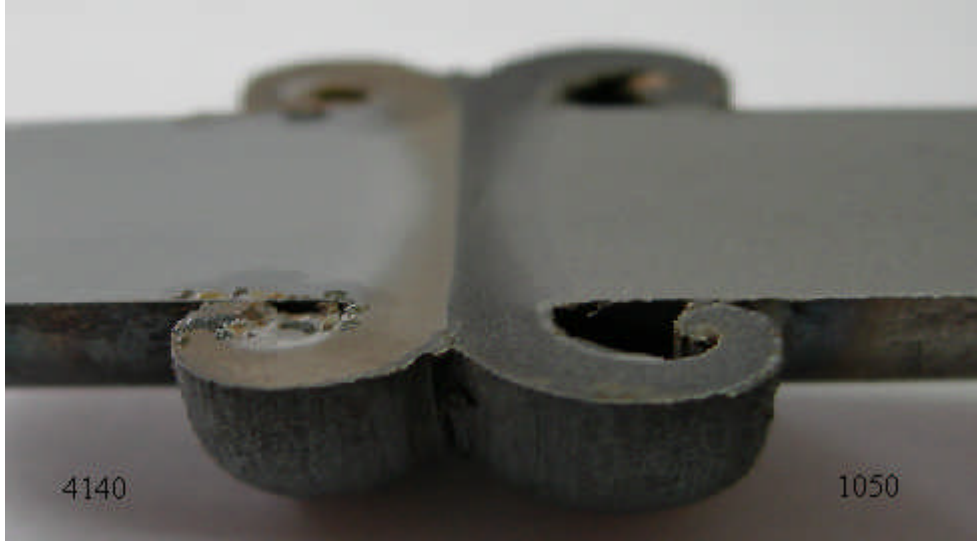
Kaynak yerini ortaya kadar freze ile işlediğimizde oluşan yapıyı incelediğimizde, SAE 4140 çeliğinde daha geniş boyutta yapı değişikliği olduğu görülmektedir(Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Freze İle Yarıya Kadar İşlenmiş Yüzeyin Resmi

5.5 Mikro Yapı İnceleme

Numuneler ve Kaynaklı parçalar yarı çapa kadar yatay olarak freze ile işlendikten sonra sırasıyla P220, P500, P800 ve P1000 numaralı zımpara ile sulu zımpara yapıldıktan sonra 3µm ve 1µm' lik elmas pasta ile parlatılmış ve % 4 nitrik asit (HNO₃) katılmış etil alkol ile dağlanarak mikro yapıları incelenecek hale getirilmiştir (Şekil 5.14).



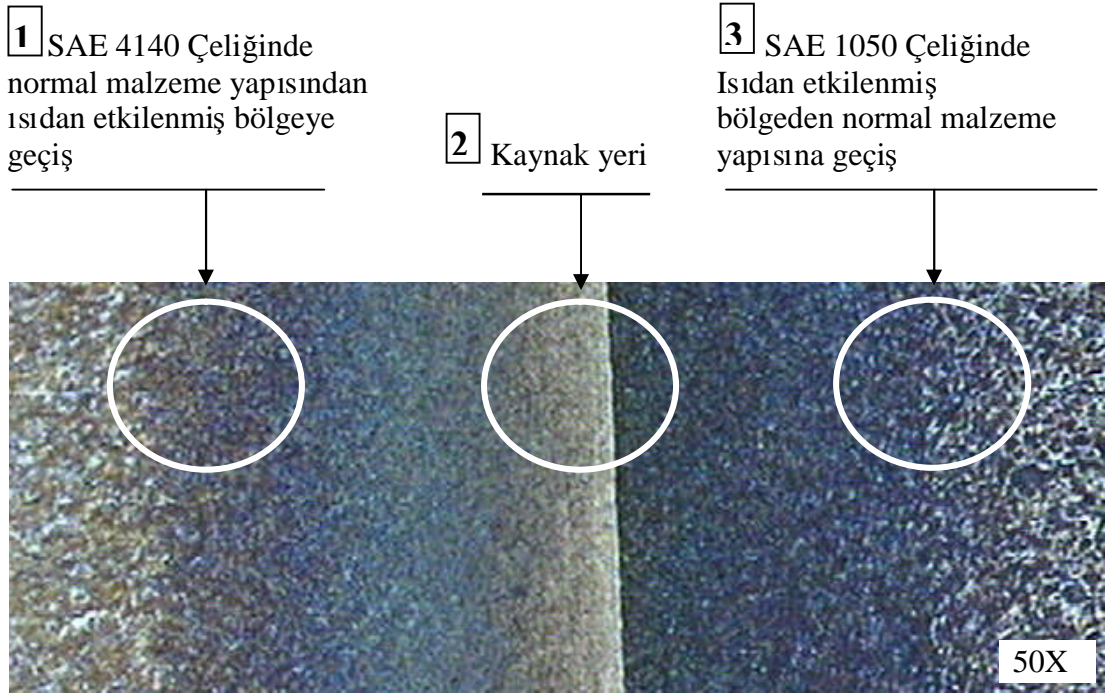
Şekil 5.14 Mikro Yapı İncelenmesi İçin Hazırlanmış Numunenin Resmi

Numunelerin B.Ü. Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü Materyal Geliştirme Laboratuvarında bulunan Şekil 5.15’ de resmi görülen OLYMPUS BX60 marka optik mikro yapı cihazında mikro yapıları incelenmiştir.



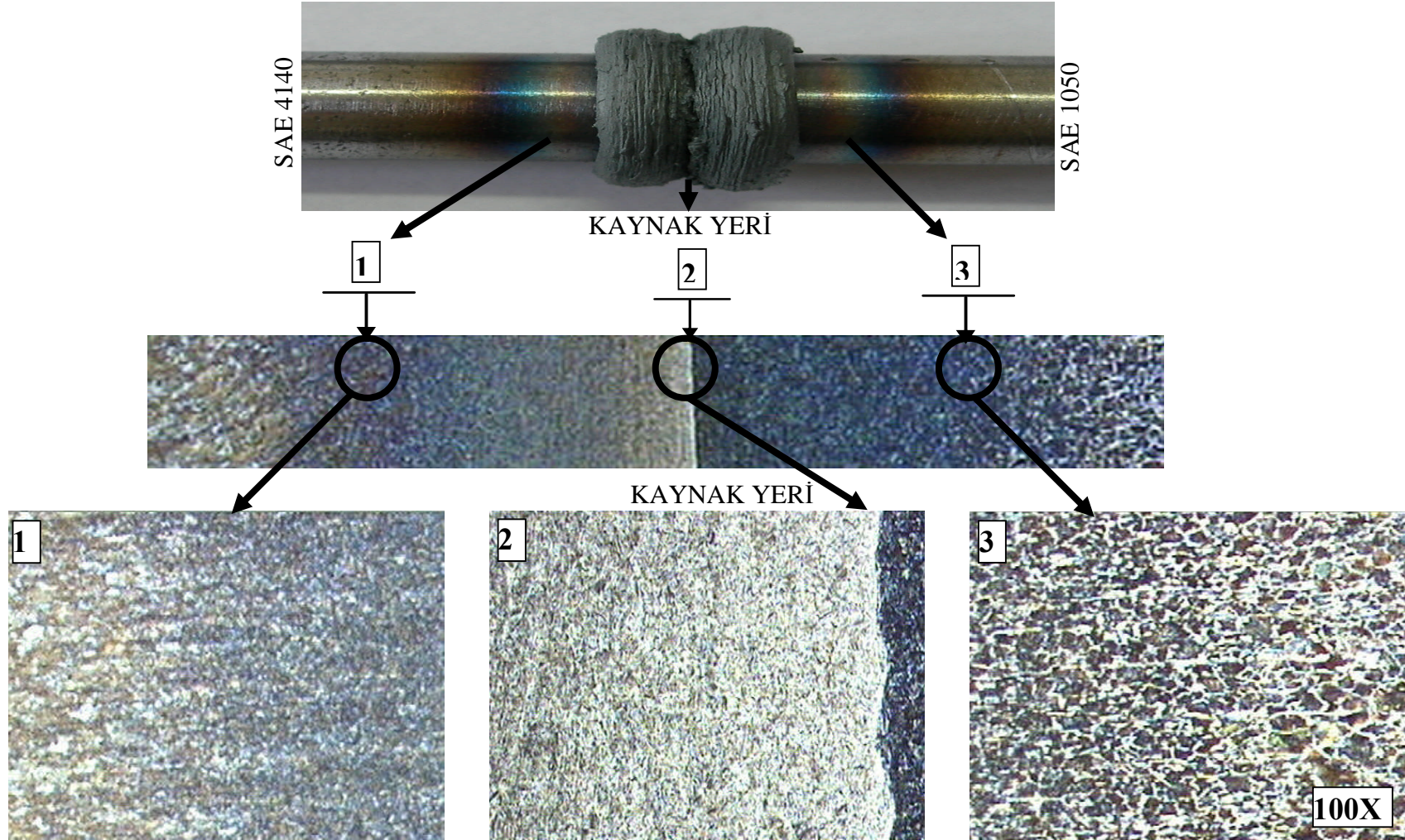
Şekil 5.15 Mikro Yapı Cihazı

Kaynaklı numunelere yapılan mikro yapı incelemesinde, her iki malzemede kaynak yerinden itibaren ısı ve basınçtan etkilenmiş bölgede doku değişiminin gerçekleşmiş olduğu görülmüştür(Şekil 5.16). Numunelerdeki bu değişimi daha iyi görebilmek için Şekil 5.16' da gösterilen 3 ayrı yerden 100X büyüklüğünde optik mikro yapı incelemesi yapılmıştır(Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22); birincisi SAE 4140 çeliğinde normal malzeme yapısından ısıdan etkilenmiş bölge yapısına geçiş bölgesi(1), ikincisi kaynak yeri(2) ve üçüncüsü ise SAE 1050 çeliğinde ısıdan etkilenmiş bölge yapısından normal malzeme yapısına geçiş bölgesi(3).

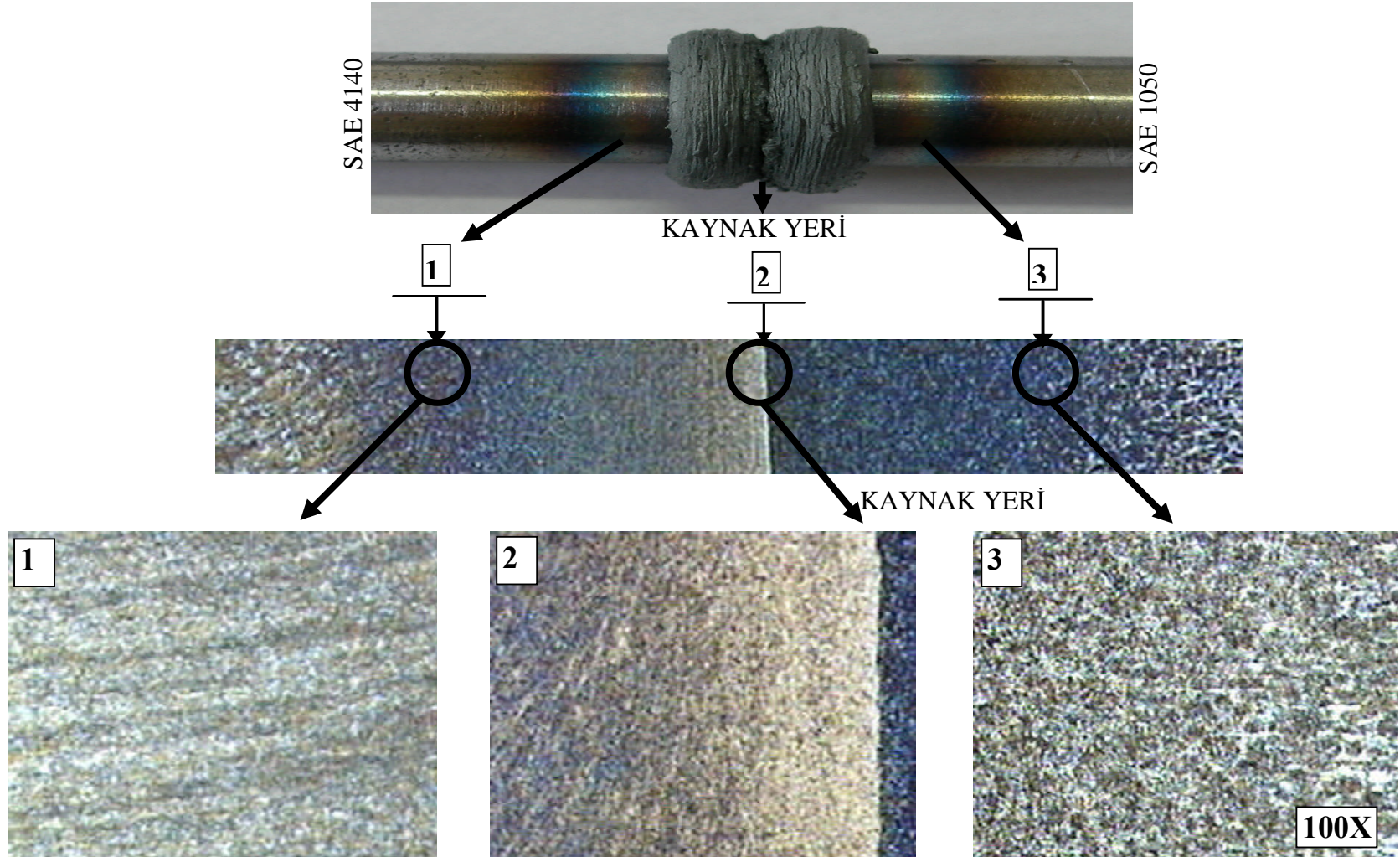


Şekil 5.16 Mikro Yapı İncelemesi Yapılan Yerler

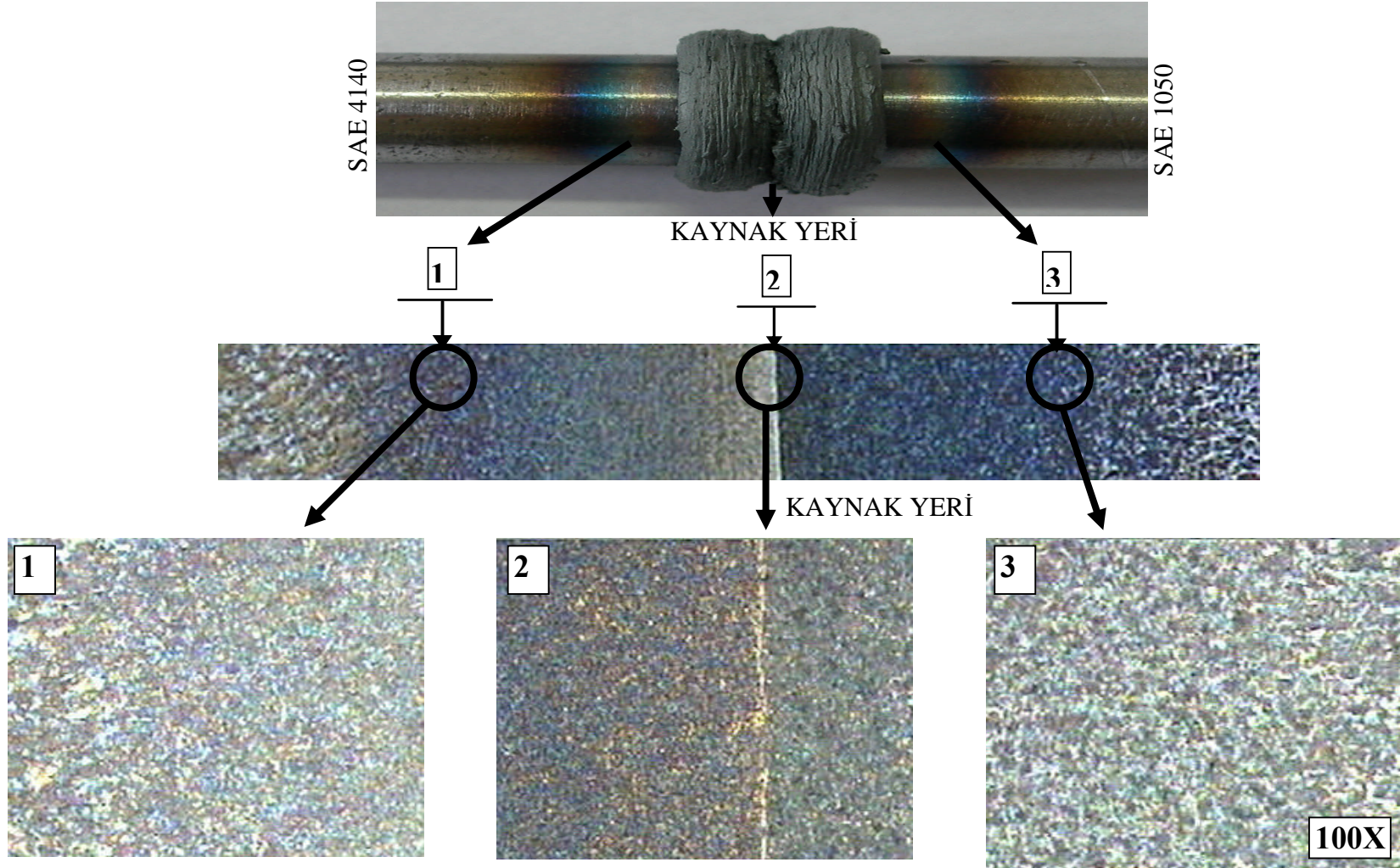
Mikro yapılar incelendiğinde basınç altında ısıdan etkilenmiş bölgelerde tane küçülmesi meydana gelmiş olduğu görülür. Kaynak yerinden yatay doğrultuda ana malzemelere doğru tane büyüklüğünün giderek arttığını ve belli bir mesafeden sonra ana malzemelerin mikro yapılarına dönüştüğü görülmektedir(Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22).



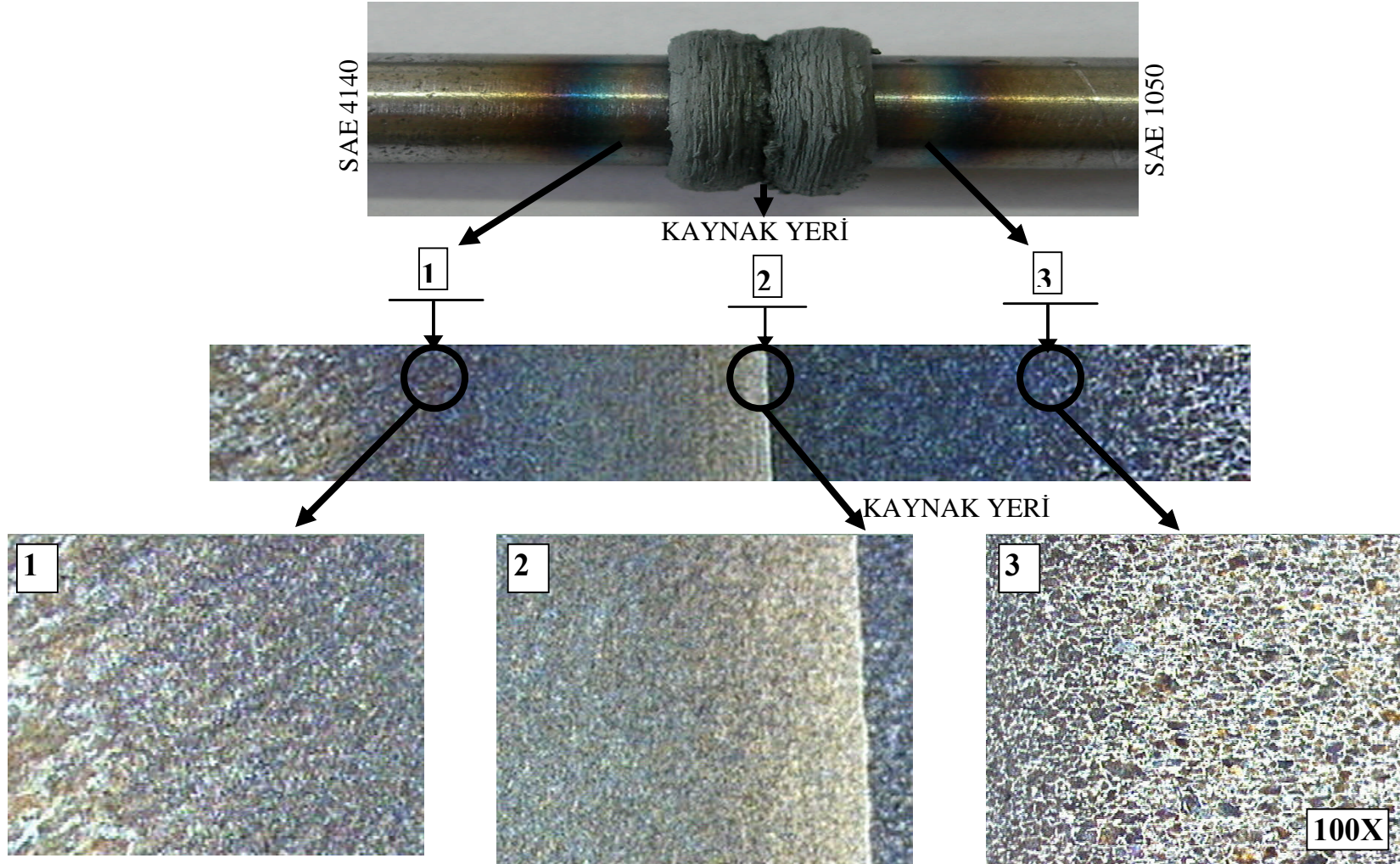
Şekil 5.17 Kaynak 1 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)



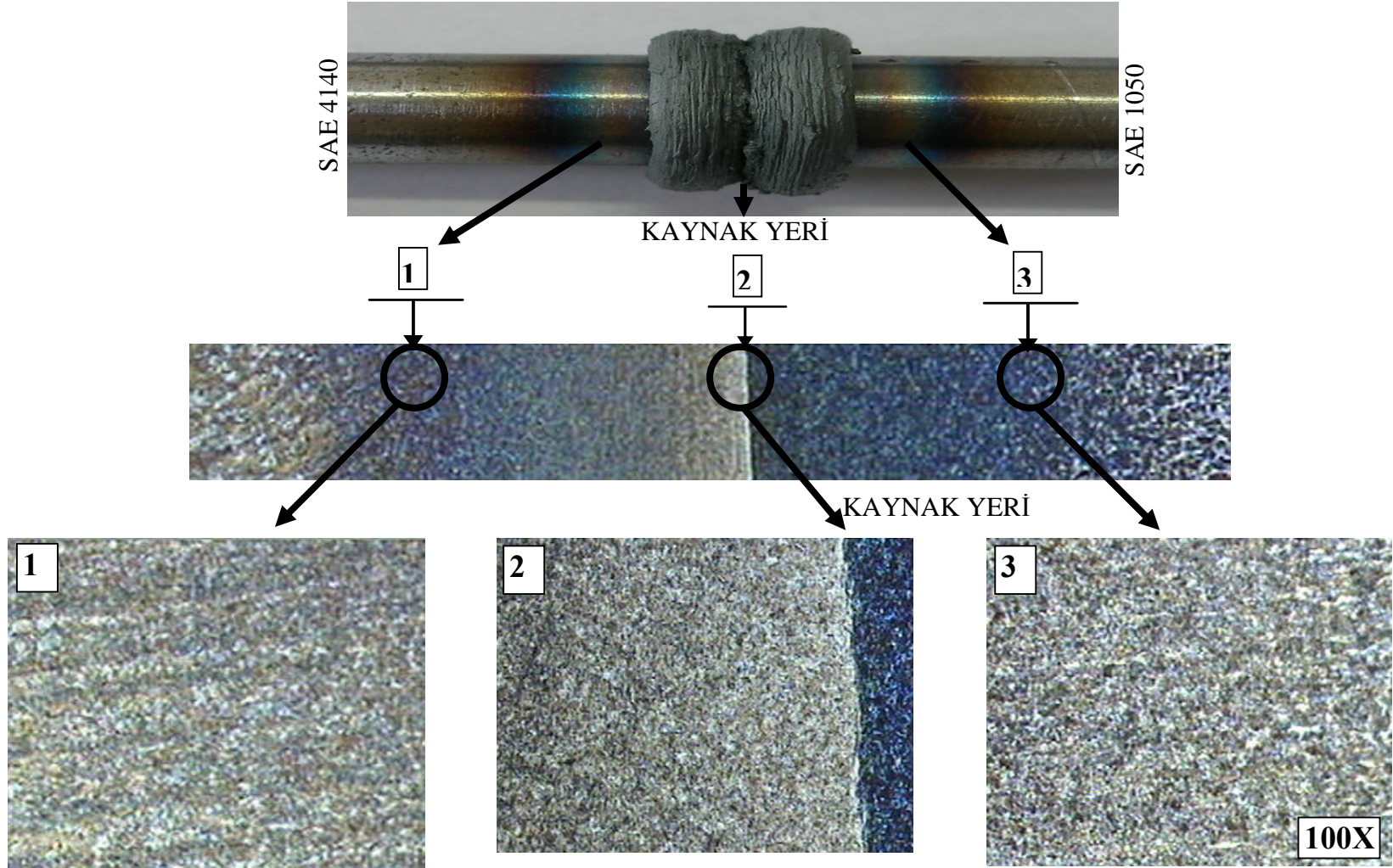
Şekil 5.18 Kaynak 2 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)



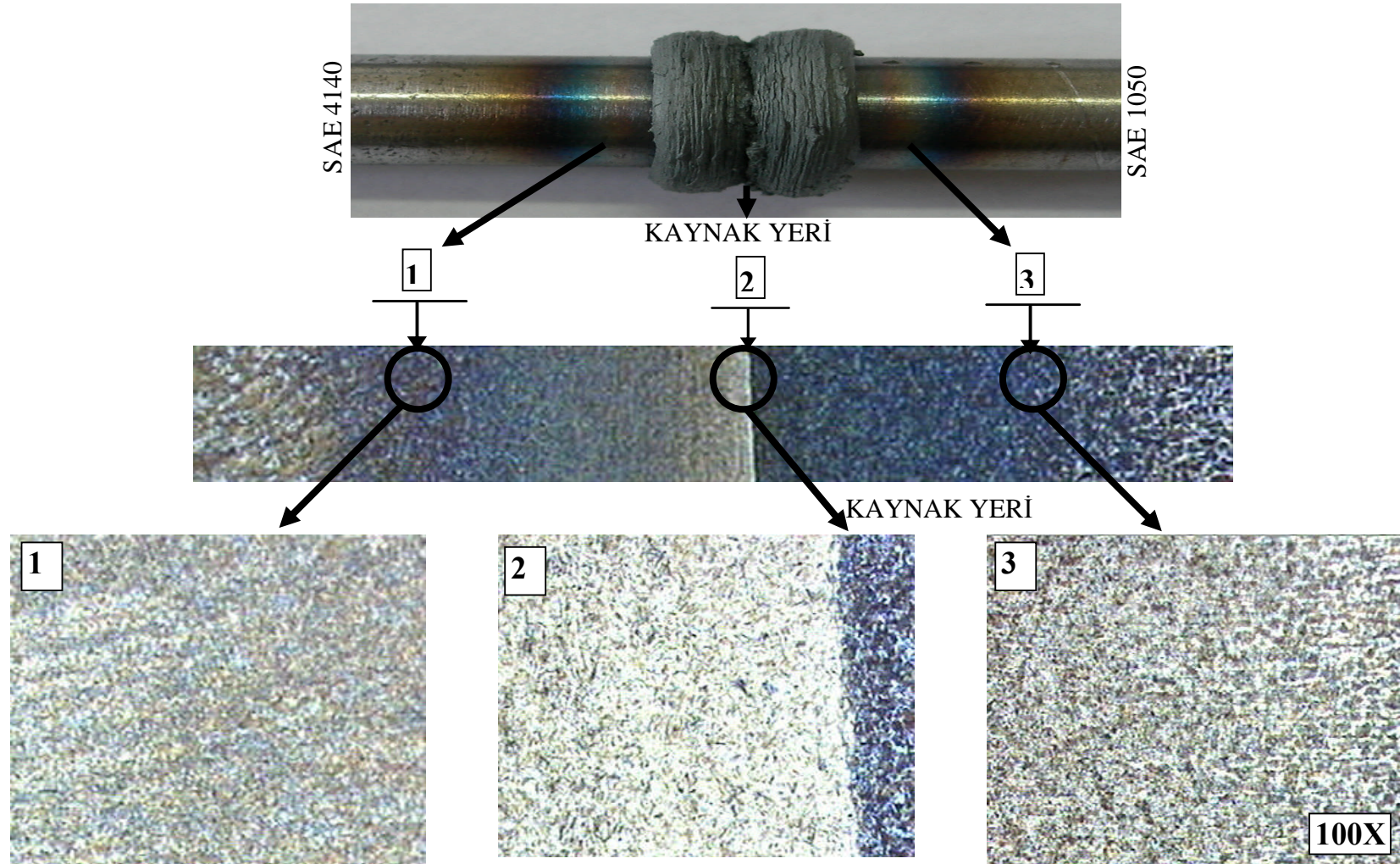
Şekil 5.19 Kaynak 4 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)



Şekil 5.20 Kaynak 5 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)



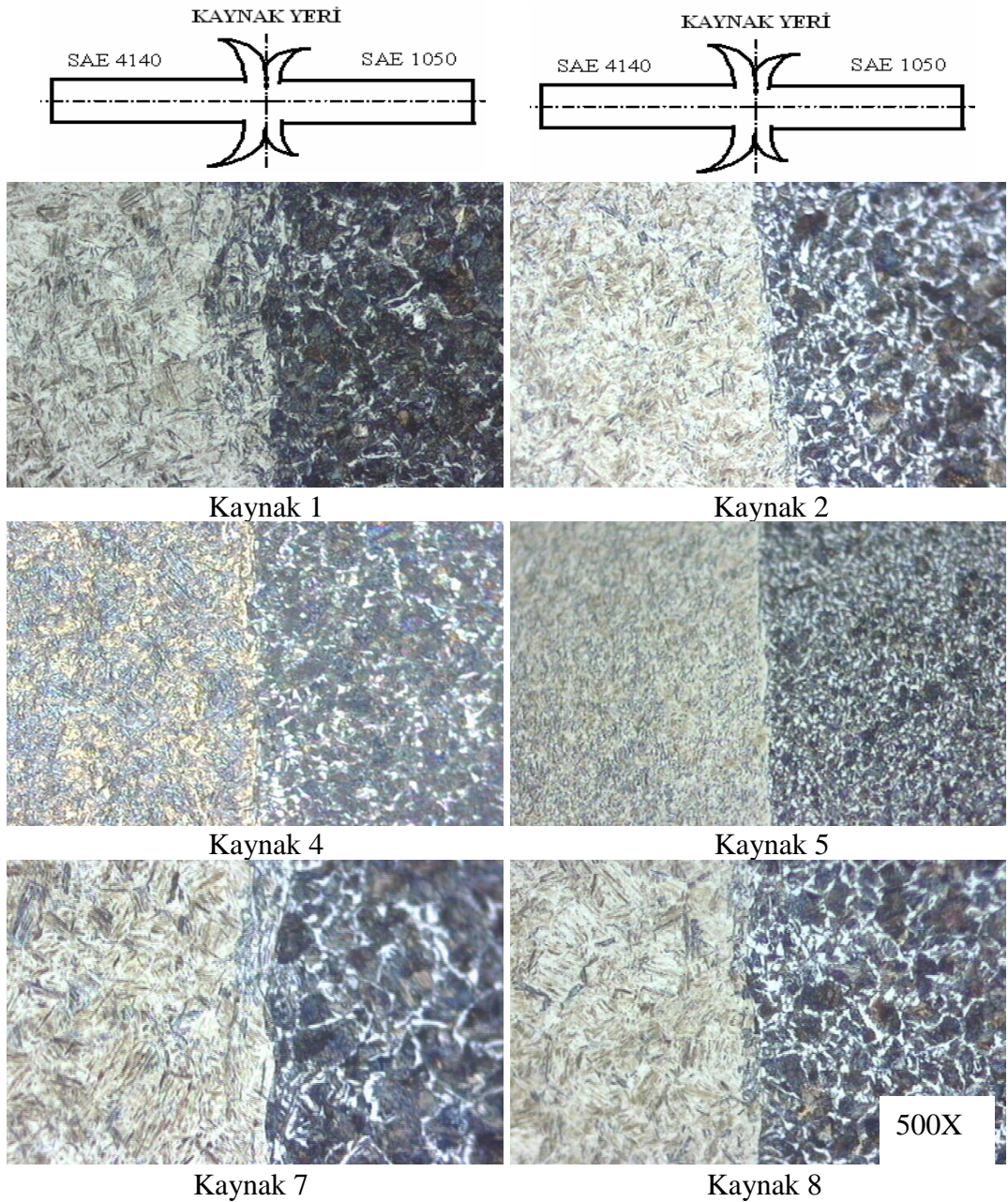
Şekil 5.21 Kaynak 7 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)



Şekil 5.22 Kaynak 8 Numunesinin Mikro Yapı Resmi (1. SAE 4140 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge, 2. Kaynak Yeri, 3. SAE 1050 Çeliğinde Isıdan Etkilenmiş Bölge)

Şekil 5.8’ de görülen sertlik dağılımı ile tane yapısı değişimi incelendiğinde SAE 4140 Çeliğinde yapısal değişimin fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun alaşım elamanlarının etkisinden kaynaklanmış olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynak yerlerinde oluşan yapıyı daha net belirlemek için bu bölgelerin mikro yapıları 500X büyüklüğünde incelenmesi yapılmıştır(Şekil 5.23). Optik mikro yapı resimlerinde iki malzemenin bir birlerine geçiş durumları net olarak görülmektedir. Kaynak 1 numunesinde geçişin çok iyi olduğu görülmüştür.



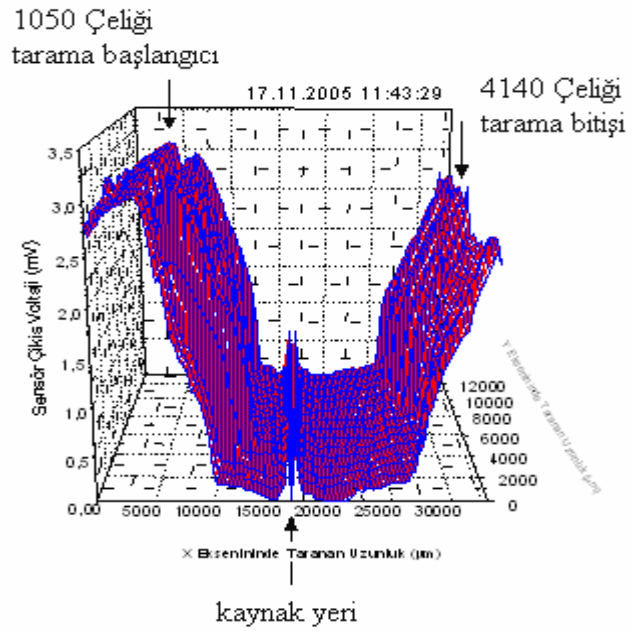
Şekil 5.23 Kaynak Yerleri Mikro Yapı Resmi

5.6 Manyetik Alan Geçirgenliği İncelemesi

Numunelerin B.Ü. Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü Materyal Geliştirme Laboratuvarında bulunan Şekil 5.24’ da resmi görülen Manyetik Akı Kaçakları Cihazıyla kaynaklı numunelere manyetik alan geçirgenliği üç boyutlu olarak incelenmiştir(Şekil 5.25).



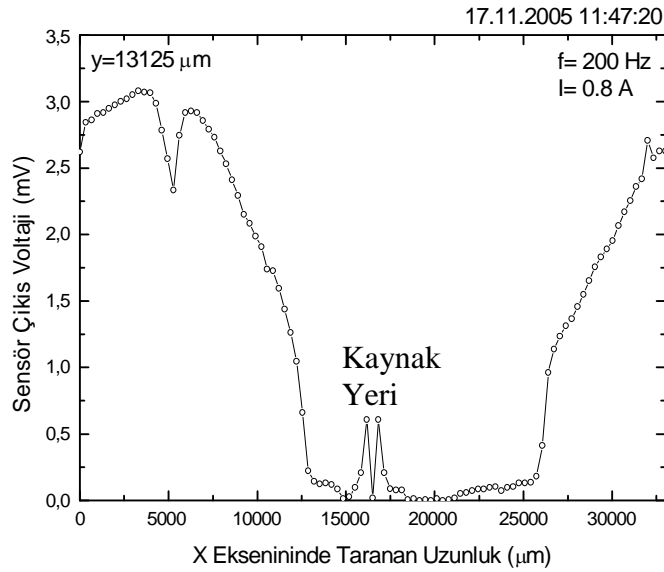
Şekil 5.24 Manyetik Akı Kaçakları Cihazı



Şekil 5.25 Manyetik Alan Geçirgenliği Diyagramı

Manyetik Akı Kaçakları Cihazıyla malzemeye akım verilerek malzeme yüzeyindeki manyetik alan şiddeti ölçülmektedir. Malzemenin mikro dokusunda farklılaşma var ise malzemenin yüzeyinde oluşan manyetik alanın şiddeti, doku değişimine paralel olarak değişmektedir. Malzemede çatlak, ek yeri veya malzeme değişimi (bir birine kaynaklanmış iki farklı malzeme gibi) var ise, bu bölgelerden manyetik alan atlayarak geçer ve manyetik alan şiddetinin birden bire yükselip düştüğü görülür.

Şekil 5.25' de görülen üç boyutlu diyagram iki boyutlu grafiğe dönüştürüldüğünde Şekil 5.26' da görülen grafik ortaya çıkmıştır. Grafiği incelediğimizde, kaynak yerinden ana malzemelere doğru manyetik alan geçirgenliğinin değişmiş olduğu görülmektedir. Bu durum, kaynaklı numunede ısı ve

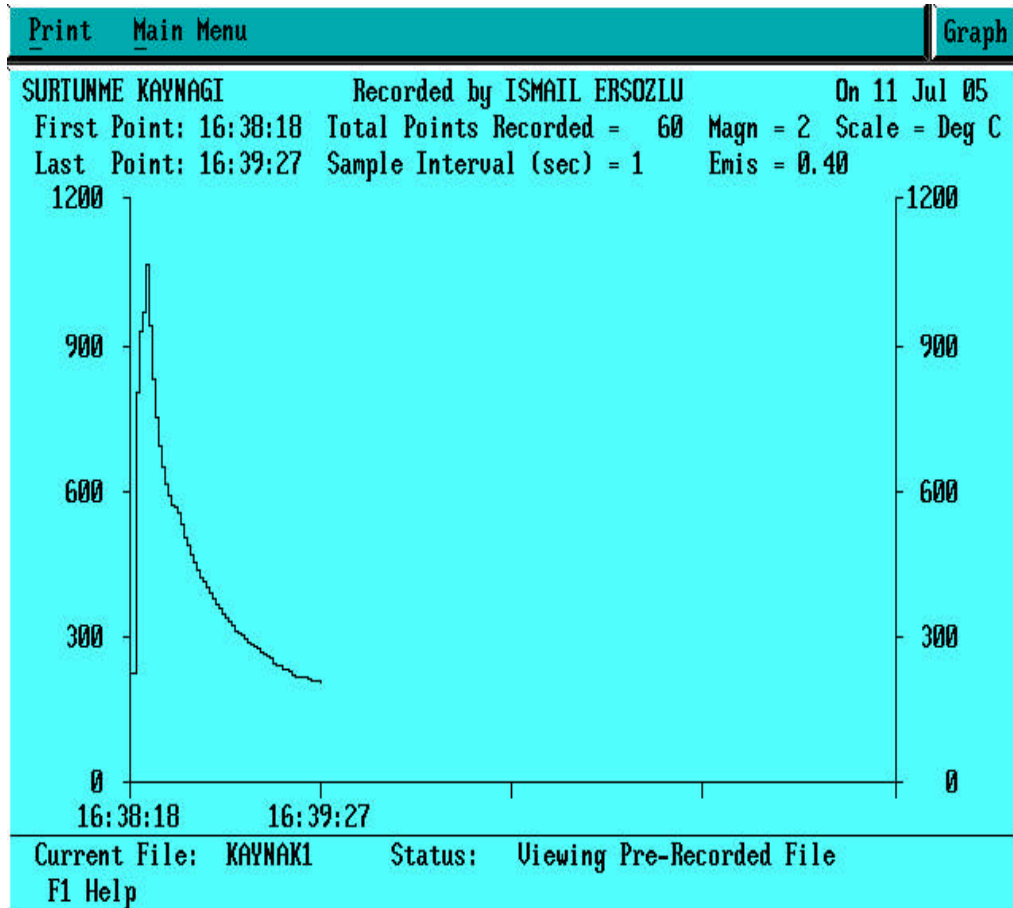


Şekil 5.26 Manyetik Alan Geçirgenliği Grafiği

basınç etkisiyle malzeme dokusunun değiştiğini göstermektedir[37]. Ayrıca grafikte kaynak yeri çok açık olarak tespit edilmiştir. Manyetik akı kaçakları cihazı ile tespit edilen malzeme yapısı değişimi ile mikro yapı değişimi paralellik göstermiştir(Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22)

5.7 Kaynak Bölgesinin Sıcaklığının Ölçülmesi

Kaynak bölgesi sıcaklığının ölçülmesinde B.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği laboratuvarında kullanılan taşınabilir kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı “Raynger 3i” kullanılmıştır. Cihaz 200 - 1800 °C arası sıcaklık ölçümü uzaktan yapabilmektedir. Cihaz, kaynak bölgesine 50 cm uzaklıkta ve kızıl ötesi ışığı kaynak parçasının merkezinden geçecek şekilde tripot ayak yardımıyla ayarlanmış ve kaynak parçasına dik gelmesi sağlanmıştır. Cihazın ölçüm esnasında yayım kapasitesi değeri (emissivity, ϵ) 0,40 seçilmiştir. Yayım kapasitesi değeri cihazın kullanma talimatında yer alan metaller için yayım değeri tablosundan seçilmiştir[38].



Şekil 5.27 Kaynak Sırasındaki Sıcaklık-Zaman Grafiği

Sıcaklık ölçümü bilgisayar programı ile doğrudan kayıt altına alınmıştır. Program saniyede 1 ölçüm yapacak şekilde ayarlanmış[39] ve ölçüm süresi toplam 50 saniye tutulmuştur. Program, zamana bağlı sıcaklık değişimlerini grafik (Şekil 5.27) ve tablo (Şekil 5.28) olarak göstermektedir.

Print		Main Menu		Filtered Table	
SURTUNME KAYNAĞI		Recorded by ISMAIL ERSOZLU		On 11 Jul 05	
First Point: 17:56:58		Total Points Recorded = 50			
Last Point: 17:57:53		Sample Interval (sec) = 1			
Rec#	Time	Temp(C)	Min	Max	Ems
1	17:56:58	224	224	224	0.40
2	17:56:59	867	224	867	0.40
3	17:57:00	979	224	979	0.40
4	17:57:02	1039	224	1039	0.40
5	17:57:03	1119	224	1119	0.40
6	17:57:04	1087	224	1119	0.40
7	17:57:05	977	224	1119	0.40
8	17:57:06	890	224	1119	0.40
9	17:57:08	822	224	1119	0.40
10	17:57:09	777	224	1119	0.40
11	17:57:10	733	224	1119	0.40
12	17:57:11	695	224	1119	0.40
13	17:57:12	667	224	1119	0.40
14	17:57:13	649	224	1119	0.40
15	17:57:15	645	224	1119	0.40
16	17:57:16	640	224	1119	0.40
17	17:57:17	628	224	1119	0.40
Current File: KAYNAK3		Status: Viewing Pre-Recorded File			
F1 Help					

Şekil 5.28 Bilgisayar Programı Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri Kaydı

Deney çalışmaları esnasında sıcaklık ölçümü iki bölgede yapılmıştır: Birinci ölçüm kaynak yerinin sıcaklığını tespit etmek için iki malzemenin bir birine temas ettiği birleşme yerinden, ikincisi ise yatay doğrultuda ana malzemelerdeki sıcaklık değişimini tespit etmek için kaynak yerinden enine yapılmıştır.

5.7.1 Kaynak Yeri Sıcaklığının Ölçümü

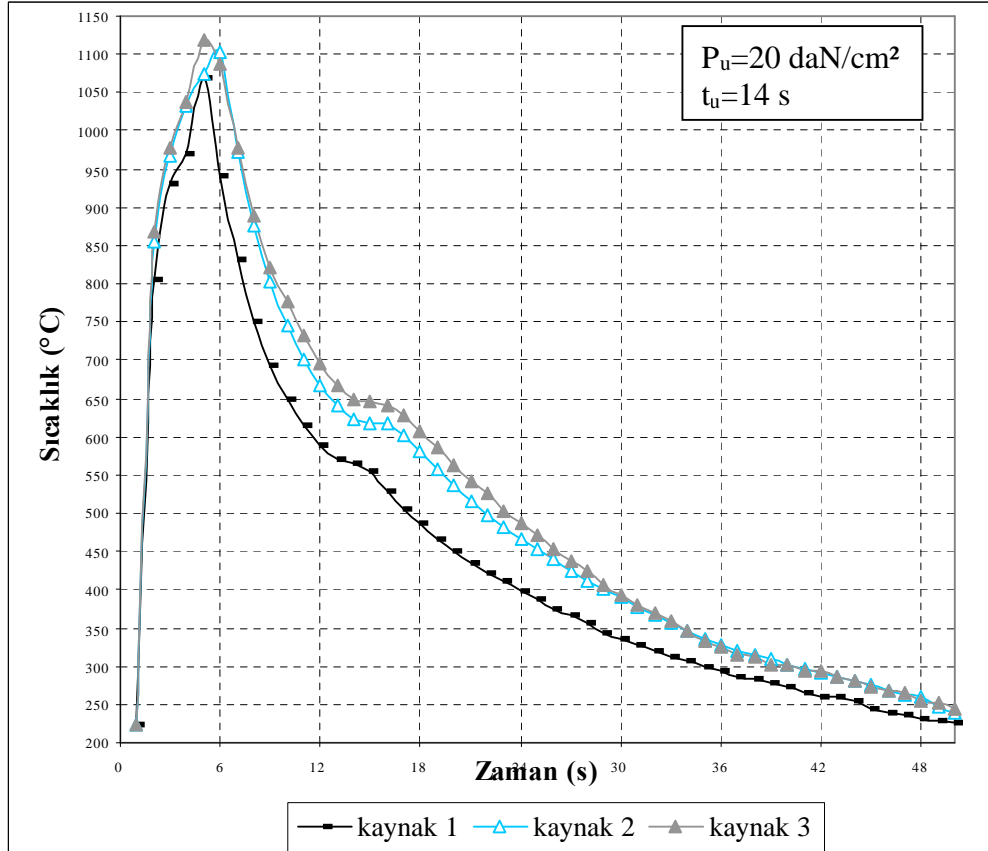
Her kaynak numunesi için bilgisayardan elde edilen zamana bağlı sıcaklık değerleri çizelge haline getirilmiştir(Çizelge 5.5). Kaynak 6 numunesinde 1nci saniyede sıcaklık değeri görülmemektedir. Bunun nedeni, cihazın sıcaklık ölçüm

Çizelge 5.5 Kaynak Numuneleri Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri

Parametreler	Kaynak Numuneleri							
	Kaynak 1	Kaynak 2	Kaynak 3	Kaynak 4	Kaynak 5	Kaynak 6	Kaynak 7	Kaynak 8
Sürtünme Zamanı(s)	6	6	6	4	4	4	8	8
Sürtünme Basıncı(daN/cm ²)	10	15	20	15	20	25	10	15
Sıcaklık Ölçüm Zamanı(s)	Sıcaklık(°C)							
1	224	224	224	237	246		232	214
2	805	856	867	819	904	846	667	845
3	930	968	979	944	1002	1004	878	947
4	970	1032	1039	1062	993	1030	944	1030
5	1068	1074	1119	932	844	880	1001	1081
6	942	1102	1087	804	741	782	1049	1113
7	831	972	977	716	674	698	1088	1137
8	751	876	890	656	627	649	1115	1089
9	692	802	822	611	600	615	1015	1009
10	650	745	777	582	596	609	933	937
11	614	701	733	567	589	605	866	879
12	589	667	695	562	566	584	811	830
13	571	640	667	540	537	553	767	791
14	565	624	649	511	513	527	730	754
15	554	617	645	486	491	502	697	719
16	529	617	640	464	471	479	670	691
17	505	601	628	445	452	456	645	667
18	488	581	607	427	436	435	621	649
19	466	558	586	411	420	415	606	631
20	451	537	563	396	408	397	595	620
21	435	517	542	385	392	382	593	614
22	422	498	525	370	381	369	591	608
23	411	481	504	360	369	356	578	599
24	399	467	486	349	358	344	555	582
25	388	452	471	338	347	333	534	567
26	376	439	452	328	335	322	515	541
27	366	424	437	320	328	315	496	532
28	356	412	425	312	320	306	484	509
29	344	401	407	304	312	301	467	491
30	336	390	394	299	306	292	450	475
31	329	378	381	294	299	282	437	460
32	320	367	369	285	294	275	425	445
33	311	356	359	280	290	268	415	435
34	306	347	347	273	284	260	403	422
35	300	335	334	269	277	252	389	410
36	295	327	324	264	272	247	379	397
37	287	320	316	256	267	238	368	384
38	284	314	311	252	265	232	360	374
39	279	309	302	247	260	224	348	362
40	274	302	301	246	256	217	340	353
41	266	297	295	240	250	209	332	342
42	261	292	293	238	249	201	322	332
43	259	287	286	234	246		317	328
44	254	280	281	231	242		310	320
45	244	275	274	229	240		305	315
46	239	268	269	226	239		297	307
47	237	263	264	224	235		291	301
48	232	259	255	224	233		289	297
49	229	247	252	223	232		284	293
50	226	240	244	221	231		279	289

Sürtünme zamanı değiştirmeyip, sürtünme basınçlarını değiştirdiğimizde;

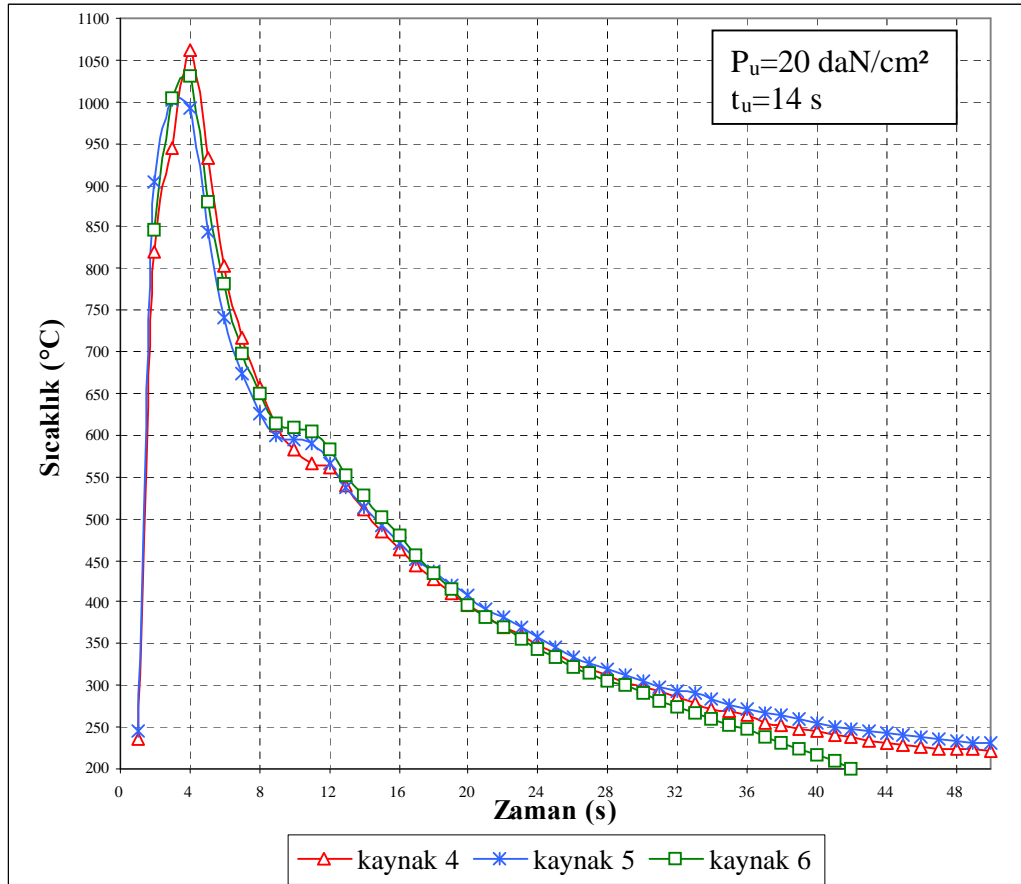
Sürtünme zamanını 6 saniyede sabit tuttuğumuzda, sürtünme basıncını (10, 15 ve 20 daN/cm²) arttırdığımızda maksimum sıcaklık sürtünme basıncı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Maksimum sıcaklık kaynak 1’de 1068 °C, kaynak 2’de 1102 °C ve kaynak 3’de 1119 °C olmuştur. Sürtünme basıncı değişimi belirli sıcaklıklara ulaşım zamanını etkilemiştir. Örneğin, 3ncü saniyede, P_s=10 daN/cm² iken sıcaklık 930 °C, P_s=15 daN/cm² iken sıcaklık 968 °C ve P_s=20 daN/cm² iken sıcaklık 979 °C olmuştur(şekil 5.30).



şekil 5.30 Sürtünme Zamanı 6 s’de (P_{s1}=10 daN/cm², P_{s2}=15 daN/cm² ve P_{s3}=20 daN/cm²) Sıcaklık - Zaman Grafiği

Sürtünme zamanını 4 saniyede sabit tuttuğumuzda, sürtünme basıncını (15, 20 ve 25 daN/cm²) arttırdığımızda maksimum sıcaklık sürtünme basıncıyla doğru

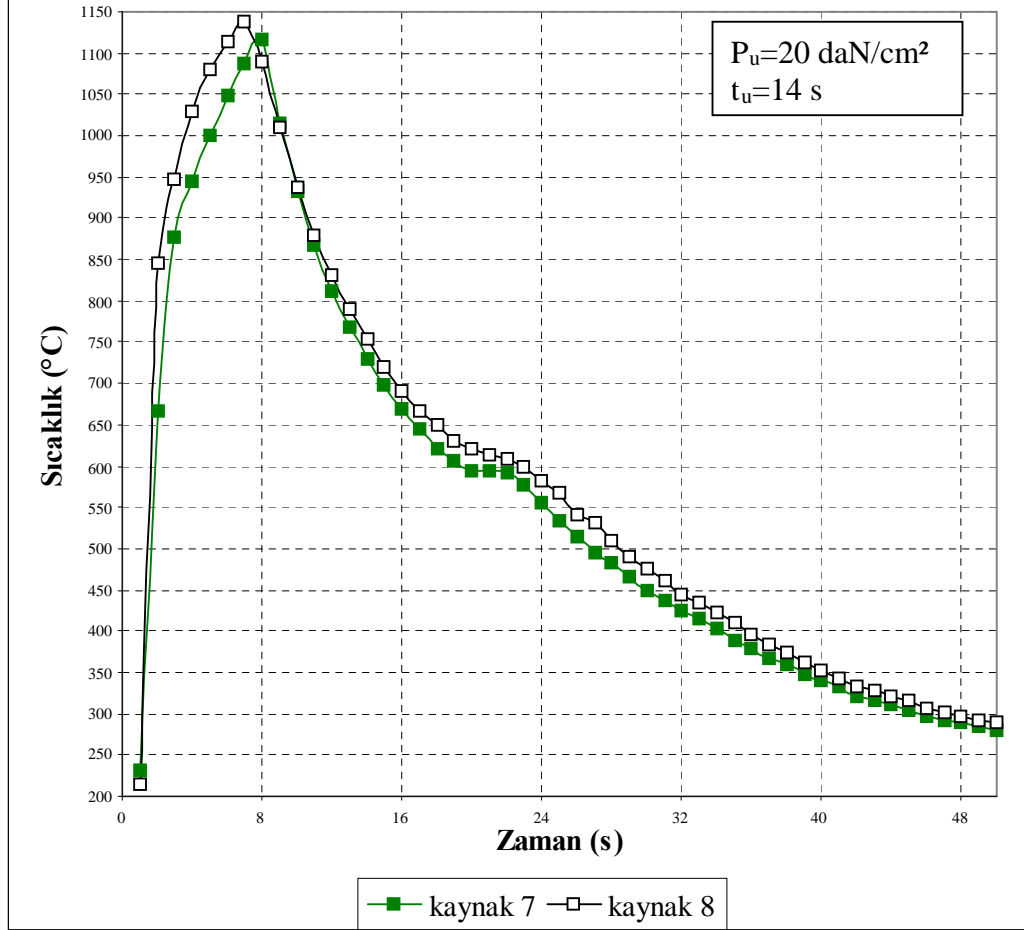
orantılı olarak artmamıştır. Maksimum sıcaklık kaynak 4’de 1062 °C, kaynak 5’de 1002 °C ve kaynak 6’da 1030 °C olmuştur. Sürtünme basıncı değişimi belirli sıcaklıklara ulaşım zamanını etkilemiştir. Örneğin, 3ncü saniyede, $P_s=15 \text{ daN/cm}^2$ iken sıcaklık 944 °C, $P_s=20 \text{ daN/cm}^2$ iken sıcaklık 1002 °C ve $P_s=25 \text{ daN/cm}^2$ iken sıcaklık 1004 °C olmuştur (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 Sürtünme Zamanı 4 s’ de ($P_{s4}= 15 \text{ daN/cm}^2$, $P_{s5}=20 \text{ daN/cm}^2$ ve $P_{s6}=25 \text{ daN/cm}^2$) Sıcaklık - Zaman Grafiği

Sürtünme zamanını 8 saniyede sabit tuttuğumuzda, sürtünme basıncını (10 ve 15 daN/cm^2) arttırdığımızda maksimum sıcaklık sürtünme basıncı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Maksimum sıcaklık kaynak 7’de 1115 °C, kaynak 8’de 1137 °C olmuştur. Sürtünme basıncı değişimi belirli sıcaklıklara ulaşım zamanını etkilemiştir.

Örneğin, 3ncü saniyede, $P_s=10$ daN/cm² iken sıcaklık 878 °C ve $P_s=15$ daN/cm² iken sıcaklık 947 °C olmuştur(Şekil 5.32).



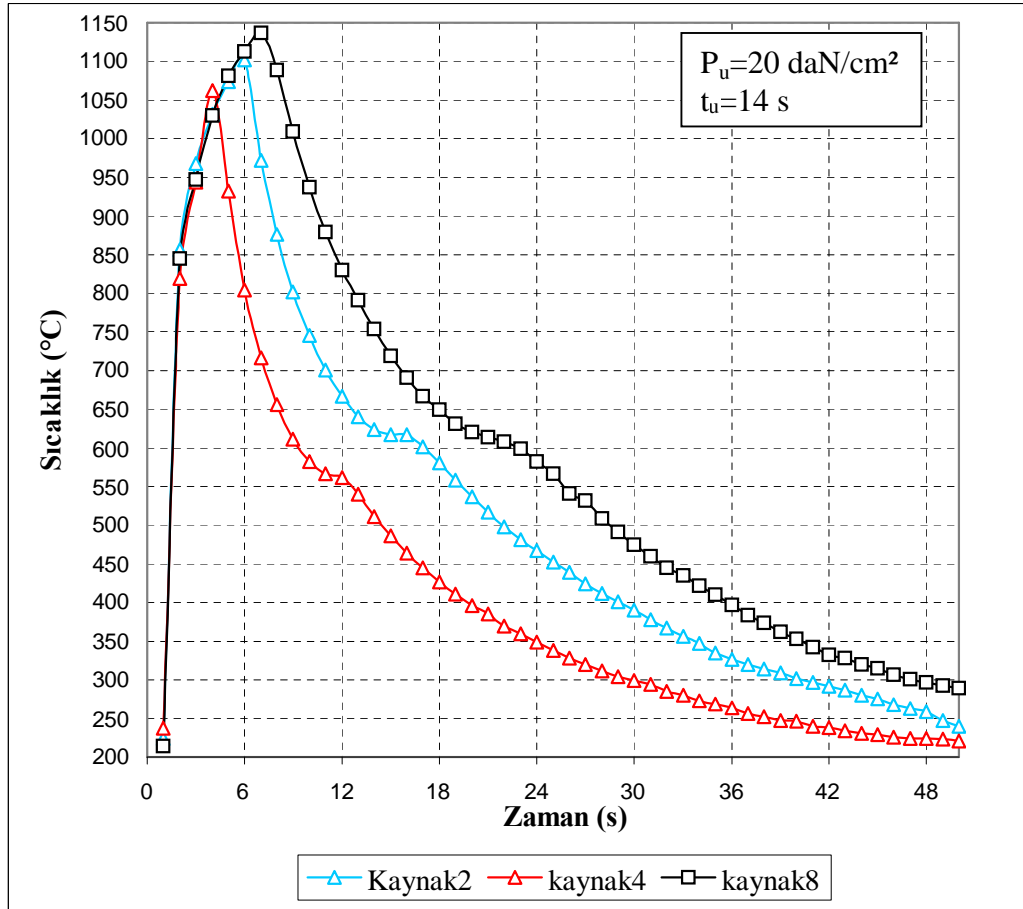
Şekil 5.32 Sürtünme Zamanı 8 s' der ($P_{s7}=10$ daN/cm² ve $P_{s8}=15$ daN/cm²) Sıcaklık - Zaman Grafiği

Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 incelendiğinde, belirli sıcaklık derecesine kadar sürtünme basıncı arttıkça kaynak yerinin sıcaklığının doğru orantılı olarak arttırdığını, daha sonra sürtünme basıncı uygulama süresini yeterince arttırmazsak kaynak bölgesi sıcaklığının artmadığını görüyoruz. Ana malzemelerin sıcak şekil verme sıcaklığına (SAE 4140 çeliği 850-1050 °C ve SAE 1050 çeliği 850-1100 °C) kaynak bölgesinin sıcaklığı ulaştığında, basıncının etkisiyle ana malzeme plastik deformasyona uğrayarak kaynak yerinin dışına sürüklenmektedir. Bu durumda, ana malzemenin sürtünmeye devam eden kısmı, kaynak yerinin dışına sürüklenen kısmı

kadar sıcak olmadığından kaynak yerinin sıcaklığı artmamaktadır. Sürtünme basıncının bir kısmı malzemeyi dövme harcandığından, dönme hareketi devam ettiği halde basıncın sürtünme etkisi azalmaktadır. Bu safhadan sonra, sürtünme basıncının etki süresi yeterince devam ettirildiğinde kaynak yerinin sıcaklığının arttığı görülmektedir.

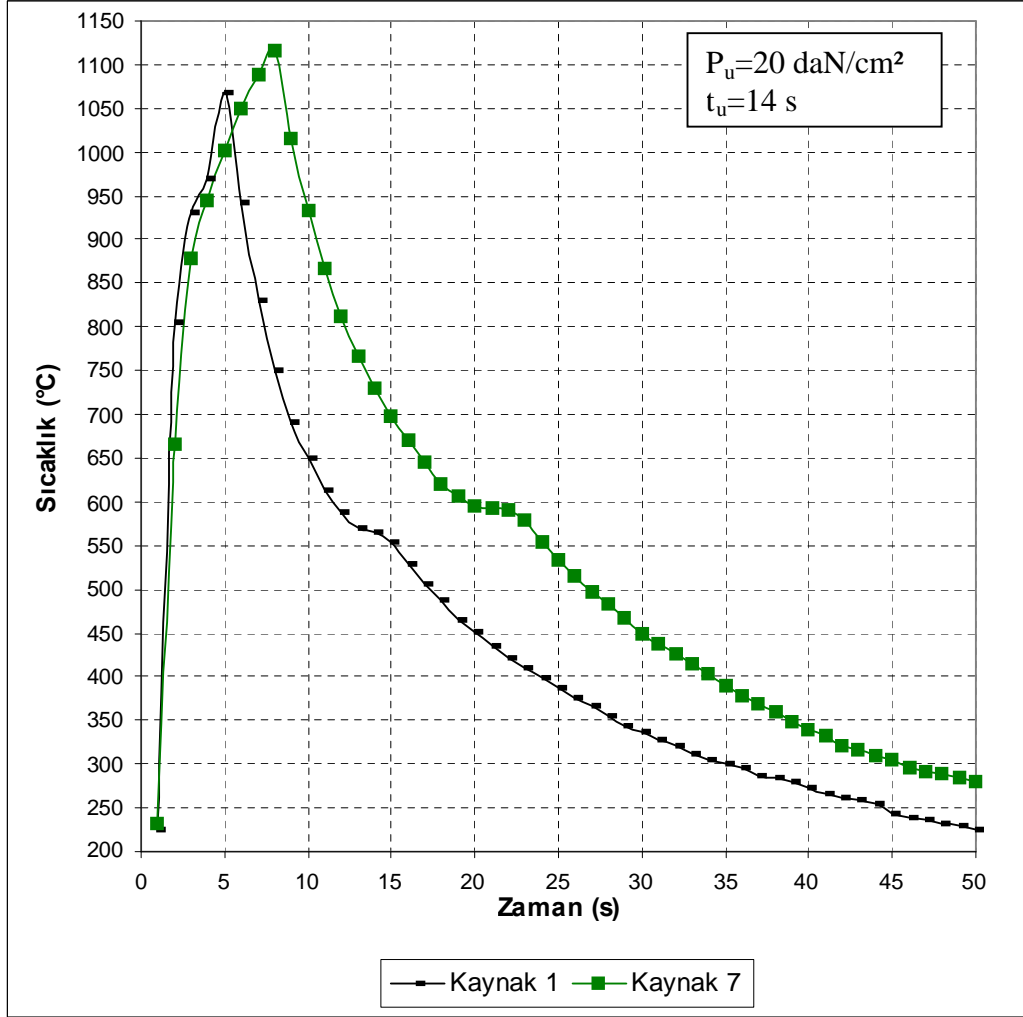
Sürtünme basıncını değiştirmeyip, sürtünme sürelerini değiştirdiğimizde;

Sürtünme basıncını 15 daN/cm²' de sabit tuttuğumuzda, sürtünme sürelerini (4, 6 ve 8 s) değiştirdiğimizde maksimum sıcaklık sürtünme zamanı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Maksimum sıcaklık, kaynak 4' de 1062 °C, kaynak 2' de 1102 °C ve kaynak 8' de 1137 °C olmuştur(Şekil 5.33).



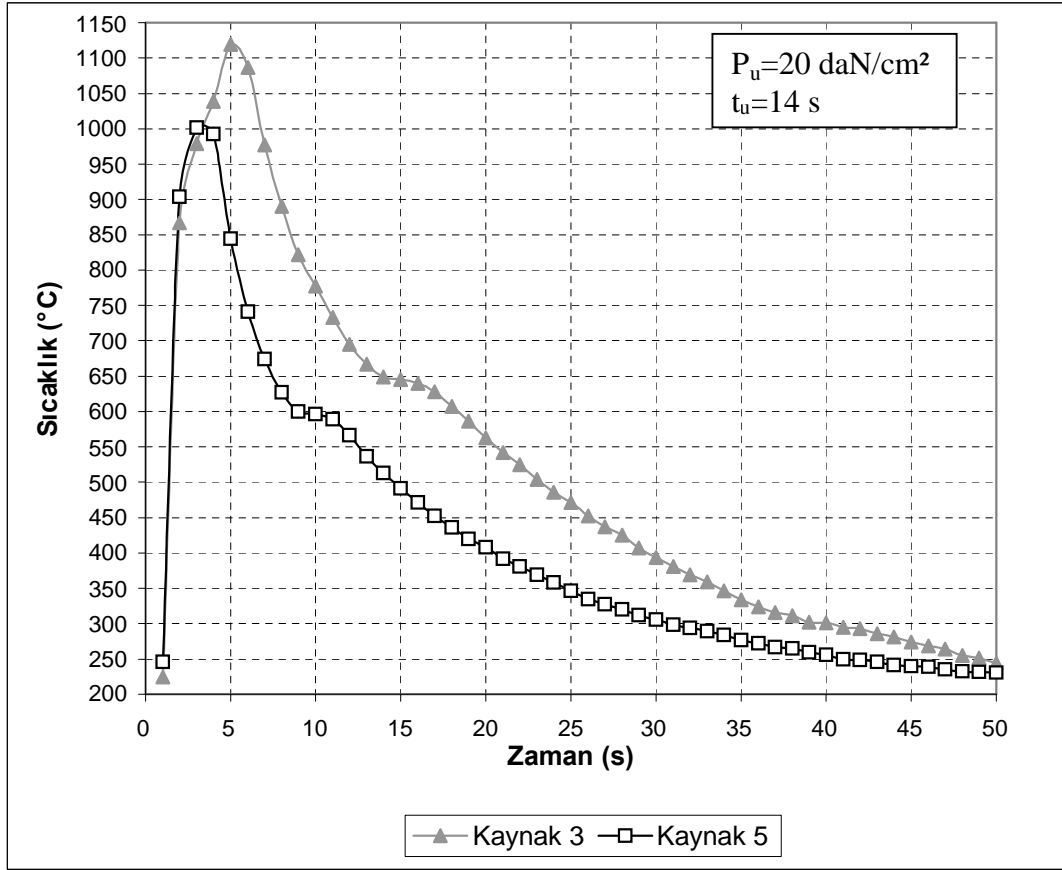
Şekil 5.33 Sürtünme Basıncı 15 daN/cm²' de ($t_{s2}=6s$, $t_{s4}=4s$ ve $t_{s8}=8s$) Sıcaklık – Zaman Grafiği

Sürtünme basıncını 10 daN/cm²' de sabit tuttuğumuzda, sürtünme sürelerini (6 ve 8 s) değiştirdiğimizde maksimum sıcaklık sürtünme zamanı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Maksimum sıcaklık kaynak 1'de 1068 °C ve kaynak 7'de 1115 °C olmuştur(Şekil 5.34).



Şekil 5.34 Sürtünme Basıncı 10 daN/cm² de ($t_{s1}=6s$ ve $t_{s7}=8s$) Sıcaklık - Zaman Grafiği

Sürtünme basıncını 20 daN/cm²' de sabit tuttuğumuzda, sürtünme sürelerini (4 ve 6 s) değiştirdiğimizde maksimum sıcaklık sürtünme zamanı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Maksimum sıcaklık, kaynak 5'de 1002 °C ve kaynak 3'de 1119 °C olmuştur(Şekil 5.35).



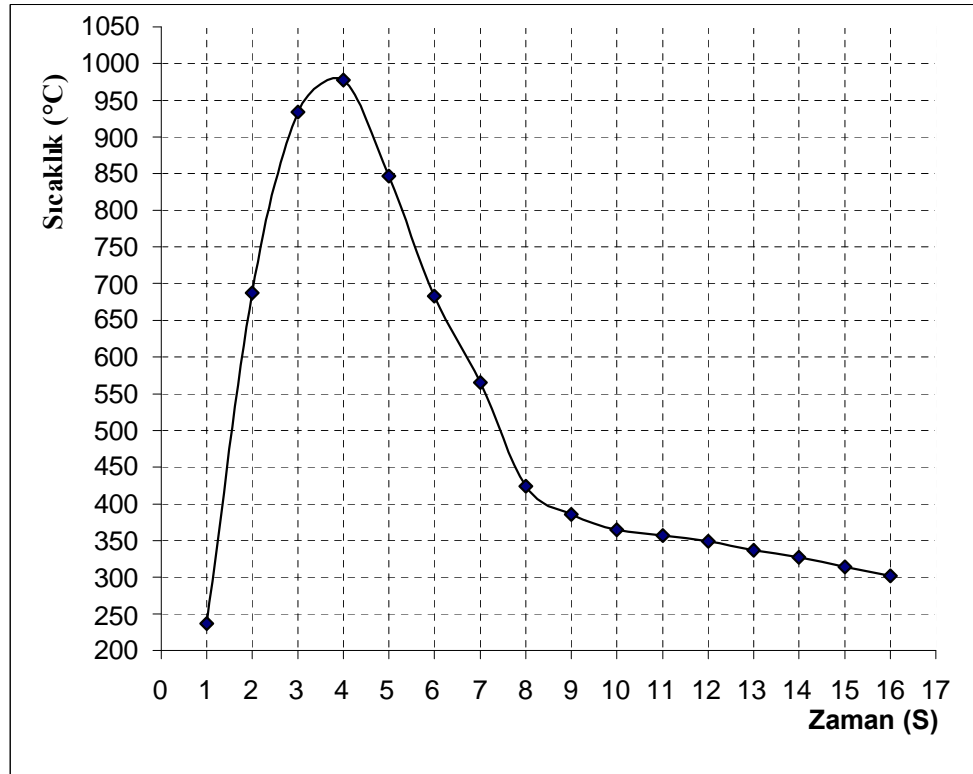
Şekil 5.35 Sürtünme Basıncı 20 daN/cm²' de ($t_{s3}=6s$ ve $t_{s5}=4s$) Sıcaklık Zaman Grafiği

5.7.2 Kaynak Yerinden Enine Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçümü

Kaynak işlemi esnasında ısıdan etkilenmiş bölgenin sıcaklığını belirlemek için ısı ölçümü kaynak yerinden yatay doğrultuda 15 mm mesafe boyunca enine yapılmıştır. Yatay doğrultuda sıcaklık ölçümü esnasında sıcaklık ölçüm cihazının (prometre) ilerlemesi iki aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşamada, prometrenin kızıl ötesi ışığı kaynak yerine yönlendirildikten sonra ilerleme sürtünme kaynak makinasını pensine bağlı kaynak parçası ile (yatay doğrultuda) birlikte (sürtünme zamanı süresince plastik deformasyona bağlı olarak pens ilerlemiştir) gerçekleşmiştir. İkinci aşamada prometre elle yatay doğrultuda hareket ettirilerek (frenleme ve yığma zamanı süresince pens ilerlemeye devam etmediği için) sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerleri tablo olarak bilgisayara kayıt edilmiş (Şekil 5.36) ve bu tablo değerleri grafik haline dönüştürülmüştür (Şekil 5.37).

Print		Main Menu		Filtered Table	
SURTUNME KAYNAGI		Recorded by ISMAIL ERSOZLU		On 13 Jul 05	
First Point: 15:59:30		Total Points Recorded = 16			
Last Point: 15:59:47		Sample Interval (sec) = 1			
Rec#	Time	Temp(C)	Min	Max	Ems
1	15:59:30	237	237	237	0.40
2	15:59:31	687	237	687	0.40
3	15:59:32	934	237	934	0.40
4	15:59:34	978	237	978	0.40
5	15:59:35	847	237	978	0.40
6	15:59:36	683	237	978	0.40
7	15:59:37	565	237	978	0.40
8	15:59:38	424	237	978	0.40
9	15:59:39	386	237	978	0.40
10	15:59:41	365	237	978	0.40
11	15:59:42	357	237	978	0.40
12	15:59:43	349	237	978	0.40
13	15:59:44	337	237	978	0.40
14	15:59:45	327	237	978	0.40
15	15:59:46	314	237	978	0.40
16	15:59:47	302	237	978	0.40
Current File: KAYNAK4E		Status: Viewing Pre-Recorded File			
F1 Help					

Şekil 5.36 Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değerleri



Şekil 5.37 Yatay Doğrultuda Sıcaklık Ölçüm Zamanı ve Değeri Grafiği

Kaynak yerinden itibaren yatay doğrultudaki sıcaklık değişimi Şekil 5.37' de görüldüğü gibi dar bir bölgede aniden yükselmiş ve aniden düşmüştür. Burada meydana gelen sıcaklık yükselmesinin (maksimum 978 °C) ana malzemelerin sıcak şekil verme sıcaklık değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki sıcaklık yükselmesi ve düşüşü, malzemenin ısı iletim kapasitesine bağlıdır. Sıcaklık yükselmesinin ve düşüşünün ani olduğu bu bölgelerde, sertlik değerlerinin yüksek çıktığı, mikro yapının küçüldüğü ve manyetik akı geçirgenliğinin değiştii görülmektedir(Şekil 5.8, Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22).

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

1. Sürtünme kaynak makinasının hidrolik devresinin yeniden dizayn edilip montajının yapılması: sürtünme basıncı ve yığma basıncının selenoid kumandalı yön kontrol valfi ile yönlendirilmesi, basınç ayar valfi ile sürtünme ve yığma basıncının ayarlanması, bu basınç değerlerinin ayrı ayrı manometrelerden takibinin yapılması, sistemin elle ve bilgisayar kumandalı çalıştırılmasında büyük kolaylık sağlamıştır.

2. Sürtünme kaynak makinasının elektrik-kumanda devresinin yeniden dizayn edilip montajının yapılması, cihazın elle ve bilgisayar kumandalı çalıştırılmasına olanak sağlamıştır.

3. Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kontrollü çalışması için elektronik kontrol ünitesi ve Delphi 6 programlama dili ile bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu bilgisayar programına sürtünme kaynağı parametre bilgileri girilip program çalıştırıldığı zaman programın akış şemasına (Şekil 3.6) göre bilgiler değerlendirir ve sinyal gerilimi olarak RS 232 portu ve kablosu aracılığı ile elektronik kontrol ünitesine gönderilir. Elektronik kontrol ünitesinin mikro denetleyici (PIC16F84) entegresinde bu veriler, PIC Basic program dilinde yazılan akış şemasına (Şekil 3.9) göre değerlendirilir. Elektronik kontrol ünitesi bu değerlendirmeye uygun olarak sürtünme kaynak makinasının elektrik-kumanda devresini kontrol eder ve cihazın bilgisayar kontrolü çalıştırılması sağlanmış olur.

4. Sürtünme kaynak makinasının manyetik fren sisteminin çalışma voltajının 48 V' dan 55 V' a yükseltilmesi, manyetik alan şiddetini arttırdığından dönen kaynak parçasının durdurulma süresini kısaltmıştır.

5. Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kumandalı çalıştırılması, sürtünme ve yığma basınçlarının uygulanma sürelerinin daha hassas ve kolay ayarlanmasını sağlamıştır.

6. Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kumandalı olarak çalıştırılması, tüm devre ve sistemlerin (ana tahrik motoru, hidrolik pompa motoru, selenoid kumandalı yön kontrol valfleri, kavrama ve fren sistemi) en verimli şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bu durum, cihazın çalışma ömrünü artırmış ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

7. SAE 4140 alaşımlı çelik ile SAE 1050 orta karbonlu çeliğin sürtünme kaynağı için en uygun kaynak parametreleri kaynak sonrası numunelere yapılan, çekme deneyi, sertlik deneyi, makro ve mikro yapı incelemesi ve kaynak esnasında yapılan sıcaklık ölçümüyle tespit edilmeye çalışılmıştır.

8. Kaynaklı numunelerde yapılan çekme deneyinde; elde edilen en yüksek çekme gerilmesi, kaynaklı SAE 1050 çeliğinin çekme gerilmesinden % 6,91 daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen en düşük çekme gerilmesi ise, kaynaklı SAE 1050 çeliğinin çekme gerilmesinden % 5,27 daha düşük çıkmıştır.

9. Kaynaklı numunelere yatay doğrultuda yapılan sertlik deneyinde ölçülen sertlik değerleri; kaynak yeri merkezinde, ana malzemelerin sertlik değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak yerindeki bu sertlik artışına, alaşımlı çelik ile normal karbonlu çeliğin 1002°C-1137°C' deki yüksek ısı (Çizelge 5.5) altında yapmış olduğu birleştirme esnasında alaşım elemanları Krom ve Molibden' in karbür yaparak bu bölgenin sertlik değerini arttırmış olduğu değerlendirilmektedir. Kaynak yerinden itibaren ısıdan etkilenmiş bölgelere doğru gidildikçe ölçülen sertlik değerleri kaynak parametrelerine göre değişim göstermiştir. Bazı kaynaklı numunelerde SAE 4140 çeliğinde kaynak yerine 1 mm' lik mesafede ölçülen sertlik değeri yüksek çıkmıştır. Bu bölgede martenzit oluşumunun olabileceği değerlendirilmektedir.

10. Kaynaklı numunelerin kaynak yerinde dikey doğrultuda yapılan sertlik deneyinde ölçülen sertlik değerleri, ana malzemelerin sertlik değerinden yüksek çıkmıştır. Ölçülen en yüksek sertlik değeri(493 HV), SAE 1050 çeliğinin sertlik değerinden(261 HV) % 190 daha yüksek, ölçülen en düşük sertlik değeri(315 HV), SAE 1050 çeliğinin sertlik değerinden % 121 daha yüksek çıkmıştır.

Kaynak yerinin merkezinden çevreye doğru çıkıldıkça sertlik değerinin artması beklenir. Çünkü merkezde, çevresel hız sıfır ve çevreye doğru yarı çap arttıkça çevresel hız artmaktadır. Çevresel hız artışına bağlı sürtünme miktarı da artacağından sıcaklık merkezden çevreye doğru artacaktır. Bu sıcaklık artışına bağlı olarak alaşım elementlerinin (Krom ve Molibden) karbür yapma oranının da artacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle dikey doğrultudaki sertlik değerlerinin tamamı ana malzemelerin sertlik değerlerinden yüksek çıkmıştır.

11. Kaynaklı numunelere yapılan makro yapı incelemesinde, Şekil 5.14' de görüldüğü üzere kaynak yerinin merkezinden çevreye doğru her iki malzemedede, ısı artışına paralel olarak (merkezden çevreye doğru yarı çap arttıkça sürtünme momenti arttığından sıcaklık da artmaktadır) yapısal değişimin gerçekleşmiş olduğu görülmektedir.

12. Kaynaklı numunelere yapılan mikro yapı incelemesinde, basınç altında ısıdan etkilenmiş bölgede tane yapısının küçülerek malzemedede mikro yapı değişikliğinin gerçekleşmiş olduğu görülmüştür. Ayrıca mikro yapı incelenmesinde kaynak yerinde SAE 4140 çeliği ile SAE 1050 çeliği birbirlerinin içlerine nüfuz etmek suretiyle malzeme geçişlerinin olduğu görülmüştür. Sürtünme kaynağı parametrelerinden sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresinin bu malzeme geçişlerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir.

13. Kaynaklı numuneler, Manyetik Akı Kaçakları Cihazıyla üç boyutlu olarak taranmış ve tarama sonunda ısı değişimine paralel olarak malzemelerde doku değişiminin gerçekleşmiş olduğu görülmüştür. Bu doku değişimi, kaynaklı numunelere uygulanan sertlik ölçümü, makro ve mikro yapı incelemesi ile paralellik göstermiştir. SAE 4140 çeliğinde ısıdan etkilenmiş bölgede doku değişiminin daha geniş olduğu görülmüştür.

14. Kaynak uygulamaları esnasında, kaynak yeri ve ısıdan etkilenmiş bölgenin sıcaklığı kızıl ötesi sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Sürtünme kaynağı parametrelerinden dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi değerlerinin

kaynak yeri ve ısıdan etkilenen bölgenin sıcaklığı üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmüştür. Isıdan etkilenen bölgede sıcaklık değişimi, kısa sürede ani olarak 978 °C' ye kadar yükselmiş ve kısa sürede ani olarak 400 °C civarlarına düşmüş ve bu sıcaklık değerinden sonra sıcaklık düşüşünün yavaş olduğu görülmüştür.

15. SAE 4140 ile SAE 1050 çeliğinin sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinde yapılan incelemeler sonucunda, en uygun sürtünme kaynağı parametreleri dönme hızı 3000 dev/dak' da, sürtünme basıncı 10 daN/cm², sürtünme süresi 6s, yığma basıncı 20 daN/cm² ve yığma süresi 14s olarak tespit edilmiştir.

16. Bundan sonraki çalışmalarda, sürtünme kaynak makinasının ana tahrik motorunun değişken devirli olması, kaynak parametrelerinin belirlenmesinde ve malzeme seçiminde daha fazla esneklik sağlayacaktır.

6.1 Genel Sonuçlar

1. Sürtünme kaynak makinasının elektrik devresi ve hidrolik ünitesi yeniden dizayn edilmiştir.

2. Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kontrollü çalışması için programlanabilir mikro işlemci entegreli elektronik kontrol ünitesi ve Delphi 6 programlama dili ile bilgisayar programı hazırlanmıştır.

3. Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kumandalı olarak çalıştırılması, tüm devre ve sistemlerin en verimli şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bu durum, cihazın çalışma ömrünü artırmış ve enerji tasarrufu sağlamıştır.

4. Çekme deneyi, sertlik deneyi, makro ve mikro yapı incelemesi ve kaynak esnasında yapılan sıcaklık ölçümleri sürtünme kaynağı için parametre oluşturmuştur.

5. Sürtünme kaynağı yapılan numunelerin çekme dayanımı kaynak parametrelerine göre değişiklik göstermiştir.

6. Kaynaklı numunelere yapılan sertlik deneyinde kaynak yerinde ölçülen sertlik değerleri; ana malzemelerin sertlik değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak yerinden itibaren enine ısıdan etkilenmiş bölgelere doğru gidildikçe ölçülen sertlik değerleri kaynak parametrelerine göre değişim göstermiştir.

7. Sürtünme kaynağı esnasında basınç altında oluşan ısı artışı, kaynak yerinde ve ısıdan etkilenmiş bölgede mikro yapı küçülmesine sebep olmuştur.

8. Kaynak yerinin mikro yapı incelemesinde, malzeme geçişlerinin olduğu tespit edilmiştir.

9. Kaynaklı numunelerde manyetik alan geçirgenliğinin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

10. Sürtünme kaynağı parametrelerinden dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi değerlerinin kaynak yeri ve ısıdan etkilenen bölgelerin sıcaklığında etkili olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Özdemir, N., Orhan, N., “Yeni Tasarlanmış Bir Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinasının İmalatı” *Mühendis ve Makina*, Sayı: 508 Mayıs (2002), S. 31-35
- [2] Çelik, İ., Alüminyum ve Bakır Çubukların Sürtünme Kaynağı Üzerine Bir Araştırma, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran (1997)
- [3] Ateş, H., Türker, M., “Laboratuar Boyutlu Sürtünme Kaynak Makinesi Tasarımı ve İmalatı”, 3ncü Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ağustos (2003), S. 146-153
- [4] Gürleyik, M. Y., “Sürtünme Kaynağı”, 1nci Ulusal Kaynak Sempozyumu Tebliği Özetleri, İstanbul, Kasım (1984), S.13-15
- [5] Yılmaz, M., Çöl, M., “Sürtünme Kaynaklı Alüminyum Çelik Bağlantıları” *Mühendis ve Makina*, Sayı: 488, Eylül (2000), S. 15-22
- [6] Otmanbölük, A. N., “Sürtünme Kaynağı Prosesleri Üzerine Bir Araştırma”, 7nci Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan (1997), S. 507-511
- [7] Kawamura, Y., Shoji, T., Ohno, Y., “Welding technologies of bulk metallic glasses”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 317 (2003) 152-157
- [8] Kawamura, Y., “Liquid phase and super cooled liquid phase welding of bulk metallic glasses”, *Materials Science and Engineering, A* 375-377 (2004) 112-119
- [9] Shoji, T., Kawamura, Y., Ohno, Y., “Friction welding of bulk metallic glasses to different ones”, *Materials Science and Engineering, A* 375-377 (2004) 394-398
- [10] Wong, C. H., Shek, C. H., “Friction welding of $Zr_{41}Ti_{14}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ bulk metallic glass”, *Scripta Materialia*, 49 (2003) 393-397
- [11] Şahin, M., Akata, H. E., “Joining with friction welding of plastically deformed steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142 (2003) 239-246

- [12] Sahin, A. Z., Yibaş, B . S., Ahmed, M., Nickel, J., “Analysis of the friction welding process in relation to the welding of copper and stell bars”, *Journal of Materials Processing Technology*, 82 (1998) 127 – 136
- [13] Tjernberg, A., “Fatigue life of a friction welded joint with a circular crack in the centre”, *Engineering Failure Analysis*, 7 (2000) 221-227
- [14] Uzku, M., Özdemir, İ., “Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 3, Sayı: 3, (2001) 65-73
- [15] Ateş, H., Bayındır, R., “PLC Kontrollü sürtünme kaynak cihazı tasarımı ve uygulaması”, *Teknoloji*, Sayı 3-4, Yıl 5, (2002), 97-104
- [16] Ateş, H., Bayındır, “PIC Kontrollü sürtünme kaynak makinası kontrol devresi tasarımı ve geliştirilmesi”, *Teknoloji*, Sayı 3-4, Yıl 6, (2003), 107-114
- [17] Sahin, M., “Simulation of friction welding using a developed computer program”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154 (2004) 1011-1018
- [18] Lee, W. B., Kim, Y. J., Jung, S. B., “Effects of copper insert layer on the properties of friction welded joints between TiAl and AISI 4140 structural steel”, *Intermetallics*, 12 (2004) 671-678
- [19] Silva, A. A. M., Meyer, A., Dos Santos, J. F., “Mechanical and metallurgical properties of friction-welded TiC particulate reinforced Ti-Al-4V”, *Composites Science and Technology*, 64 (2004) 1495-1501
- [20] Özdemir, N, Orhan, N., “Microstructure and mechanical properties of friction welded joints of a fine-grained hypereutectoid steel with 4% Al”, *Journal of Materials Technology*, (2004)
- [21] Alvise, L. D., Masoni, E., Wallve, S. J., “Finite Element Modelling Of The İnertia Friction Welding Process Between Dissimilar Materials”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 125-126 (2002) 387-391
- [22] Dabak, S., Sürtünme Kaynak Tezgahı İmalı SAE 8620-1040 Malzemelerin Kaynağı İle Metalik ve Metalografik İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran (1995)
- [23] San, K., Temel, M., “Otomatik (İleri) Kaynak Teknolojisi” Milli Eğitim Basım Evi, Eylül (1984), S. 133-134

- [24] www.teamafw.com, (American Friction Welding Inc.)
- [25] Karacam, İ., Hidrolik ve Pnömatik, Bizim Büro Basımevi, KARABÜK, 2003, S. 16-79
- [26] Çolak, İ., Bayındır, R., Elektrik Kumanda Devreleri, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, 2004, S. 35-77
- [27] Yağımlı, M., Akar, F., Delphi 6 Görsel Program Tasarımı, Beta Basım A. Ş., İstanbul, 2002, S. 3-35, 81-116, 154-166, 191-193, 207-210, 236, 383-387, 825, 856
- [28] Altınbaşak, O., PicBasic Pro ile PIC Programlama, Atlas Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 2002, S. 21-32, 37, 49-86, 114-120, 185-188
- [29] Şensoy, R., Ercan, Ö., Cangir, A. O., Elektronik, Koparal Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 2001, S. 69-70
- [30] Kurumu, M.K.E., MKE Normu Özel Nitelikte Çelik Türleri Kataloğu, MKE Basımevi, 1978, S. 27, 38, 95-97
- [31] Baydur, G., Malzeme, Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir, 1998, S. 260-266
- [32] Serfiçeli, Y. S., Malzeme Bilgisi Temel Ders Kitabı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000, S.146-151
- [33] www.hid-tek.com.tr (Hidrolik+Pnömatik Makina Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.)
- [34] www.aydinlarmakmet.com.tr (Aydınlar Makina – Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.)
- [35] www.samancelik.com.tr (Şaman Çelik Konstrüksiyon ve Makina Sanayi A_Ş.)
- [36] www.ostimyatirim.com.tr (Ostim Endüstriyel Yatırımlar ve İşletme A_Ş.)
- [37] Ege, Y., Ferromanyetik Malzemelerin Yüzey Manyetik Profilinin Dedeksiyonu ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Bölümü, Ocak (2005)
- [38] Raytek, Inc., Raytek Raynger 3i series operator's manual, Copyright Raytek Corporation, Santa Cruz, California USA, 2001, S. 1-29, 46-48

[39] Raytek, Inc., Datatemp 2 Data Retrieval, Recording and Graphing Software for Portable and Online Infrared Thermometers Operator's manual, Copyright Raytek Corporation, Santa Cruz, California USA, 1995, S. 6-30

[40] www.labthink.cn "Material Friction Coefficient and Temperature"