

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI METALSEL MALZEMELERİN SÜRTÜNME
KAYNAĞINDA, KAYNAK PARAMETRELERİNİN
DİKİŞ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Makine Mühendisi Aykut GÜL

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 SÜRTÜNME KAYNAĞI.....	2
2.1 Tarihçesi	2
2.2 Yöntemin Tanımlanması	3
2.2.1 Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı	7
2.2.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	8
2.2.3 Kombine Sürtünme Kaynak Yöntemi	9
2.3 Kaynak Parametreleri	10
2.4 Malzemelerin Sürtünme Kaynağına Yatkınlıkları.....	12
2.5 Sürtünme Kaynağı ile Konstrüksiyon ve İmalatta Gözetilmesi Gereken Noktalar	14
2.5.1 Giriş	14
2.5.2 Sürtünme Kaynağı Bağlantılarının Özellikleri	14
2.5.2.1 Erime Bölgeleri	14
2.5.2.2 Isının Etkisi.....	14
2.5.2.3 Kaynak Süresi.....	15
2.5.2.4 Boyutların Muhafazası	15
2.5.3 Sürtünme Kaynağı Bağlantılarının Yapılması.....	15
2.5.3.1 Şartlar	15
2.5.3.1.1 Kaynak Kontrol Personeli	15
2.5.3.1.2 Operatörler.....	15
2.5.3.1.3 İşletme Şartları.....	16
2.5.3.1.4 Sürtünme Kaynağı Makinesi	16
2.5.3.2 Yarı Mamulün Durumu	16
2.5.3.2.1 Kimyasal Bileşim	16
2.5.3.2.2 İç Yapı Durumu	16
2.5.3.2.3 Mukavemet ve Sertlik.....	17
2.5.3.2.4 Boyut Sapmaları	17
2.5.3.3 Kaynak Yapılacak Parçaların Hazırlanması	17
2.5.3.3.1 Kaynak Ağzı	17
2.5.3.3.2 Kaynak Yüzeyinin Hazırlanması.....	18
2.5.3.3.3 Kaynak Yapılacak Parçaların Bağlanması	18
2.5.3.4 Boy Fazlalığı	18
2.5.4 Kaynak Karakteristikleri.....	19
2.5.4.1 Sürtünme Kaynağı Yönteminin Kaynak Karakteristiklerine Etkisi	19
2.5.4.1.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı.....	19
2.5.4.1.1.1 Yüzeğe Bağlı Sürtünme Kuvveti ve Yığılma Kuvveti	19

2.5.4.1.1.2	Sürtünme ve Yığılma Süresi.....	20
2.5.4.1.2	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	20
2.5.4.1.2.1	Kaynak Enerjisi, Sürtünme ve Yığılma Kuvveti.....	20
2.5.4.1.2.2	Kaynak Parametreleri	21
2.5.4.2	Malzemenin Kaynak Karakteristikleri Üzerine Etkisi.....	21
2.5.4.3	Kaynak Yüzeyinin Kaynak Parametreleri Üzerine Etkisi	22
2.5.5	Kaynak İşleminin Kontrolü	22
2.6	Avantaj ve Dezavantajları	22
2.6.1	Avantajları	22
2.6.2	Dezavantajları	23
2.7	Uygulama Alanları	24
2.7.1	Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Malzemeler	24
2.7.2	Endüstride Uygulama Alanları	25
2.8	Sürtünme Kaynağının Ülkemizdeki Durumu	28
3	DENEYSEL ÇALIŞMA	29
3.1	Deneyde Kullanılan Sürtünme Kaynağı Tezgahının Özellikleri.....	29
3.1.1	Sürtünme Kaynağı Tezgahının Çalışma Prensibi.....	31
3.1.2	Sürtünme Kaynağı Tezgahında Gerçekleştirilen İyileştirmeler	33
3.1.2.1	Piston Taşıyıcı Ayağının Değiştirilmesi.....	33
3.1.2.2	Kaynak Bölgesinde Sıcaklığın Ölçülmesi İçin Termokupl Bağlanması	36
3.2	Deneyde Kullanılan Malzeme Özellikleri	36
3.3	Deney Parametreleri	37
3.4	Uygulanan Mekanik Testler	39
3.4.1	Çekme Testi.....	39
3.4.2	Mikrosertlik Testi	39
3.4.3	Makroskopik İnceleme	40
3.4.4	Kaynak Bölgesinde Sıcaklık Ölçümü.....	40
4	DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	41
4.1	Çekme Deneyi Sonuçları	41
4.2	Mikrosertlik Testi Sonuçları.....	52
4.3	Makroskopik İnceleme Sonuçları.....	54
4.4	Sıcaklık Ölçümü Sonuçları.....	56
5	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	57
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGE LİSTESİ

P_1	Sürtünme basıncı
P_2	Yığıma basıncı
T_1	Sürtünme zamanı
T_2	Sürtünme zamanı
L_1	Kaynak işlemi öncesi toplam boy
L_2	Kaynak işlemi sonrası toplam boy
d_1	Bakır alaşımının çapı
d_2	Otomat çeliğinin çapı

KISALTIMA LİSTESİ

IEB Isıdan etkilenen bölge

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Sürtünme kaynağı işlemi.....	3
Şekil 2.2	Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri	4
Şekil 2.3	Bir sürtünme kaynağının enine kesiti.....	4
Şekil 2.4	Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı	5
Şekil 2.5	Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı.....	5
Şekil 2.6	Tipik bir sürtünme kaynağı makinesi.....	6
Şekil 2.7	Sürekli tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterilişi.....	7
Şekil 2.8	Sürtünme kaynağının prensibi.....	8
Şekil 2.9	Volan tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterilişi.....	8
Şekil 2.10	Atalet kaynağı esasları	9
Şekil 2.11	Kombine edilmiş sürtünme kaynağının şematik gösterilişi	10
Şekil 2.12	Kombine edilmiş sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri.....	10
Şekil 2.13	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş egzoz supapları.....	25
Şekil 2.14	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parça	26
Şekil 2.15	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parça	26
Şekil 2.16	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş dizel motor pistonu.....	27
Şekil 3.1	Sürtünme kaynağı makinesi	29
Şekil 3.2	Sürtünme kaynağı tezgahının şemasal gösterimi	30
Şekil 3.3	Sürtünme kaynağı tezgahının devre şeması	32
Şekil 3.4	Sürtünme kaynağı tezgahında karşılaşılan aksel kaçıklık problemi.....	33
Şekil 3.5	Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının ilk halinin teknik çizimi.....	34
Şekil 3.6	Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının son halinin teknik çizimi.....	34
Şekil 3.7	Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının ilk halinin fotoğrafı.....	35
Şekil 3.8	Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının son halinin fotoğrafı.....	35
Şekil 3.9	Sürtünme kaynağı tezgahına takılan termokuplun teknik özellikleri.....	36
Şekil 3.10	Deneyin şematik görünümü	37
Şekil 3.11	A parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi	37
Şekil 3.12	B parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi	38
Şekil 3.13	C parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi	28
Şekil 3.14	D parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi	38
Şekil 3.15	Çekme deneyi numunesinin teknik özellikleri.....	39
Şekil 3.16	Mikrosertlik ölçümünün yapıldığı yatay eksen.....	39
Şekil 4.1	Alüminyum ve Çelik arasındaki sürtünme kaynağı bağlantısının çekme dayanımının sürtünme zamanı ile değişimi.....	43
Şekil 4.2	A1 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi	44
Şekil 4.3	A2 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi	44
Şekil 4.4	A3 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi	45
Şekil 4.5	A4 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi	45
Şekil 4.6	B1 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi	46
Şekil 4.7	B2 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme	

	dayanımı eğrisi	46
Şekil 4.8	B3 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi	47
Şekil 4.9	B4 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi	47
Şekil 4.10	C1 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi	48
Şekil 4.11	C2 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi	48
Şekil 4.12	C3 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi	49
Şekil 4.13	C4 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi	49
Şekil 4.14	D1 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi	50
Şekil 4.15	D2 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi	50
Şekil 4.16	D3 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi	51
Şekil 4.17	D4 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi	51
Şekil 4.18	A parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği	52
Şekil 4.19	B parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği	52
Şekil 4.20	C parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği	53
Şekil 4.21	D parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği	53
Şekil 4.22	Tüm parametre grupları için mikrosertlik deneyi grafiği	54
Şekil 4.23	A parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s)	54
Şekil 4.24	B parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s)	55
Şekil 4.25	C parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s)	55
Şekil 4.26	D parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s)	55

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Malzeme ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğu 13
Çizelge 2.2	Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında aynı masif kesitli aynı malzemeden parçalar için tavsiye edilen değerler 19
Çizelge 2.3	Volan tahrikli sürtünme kaynağında aynı malzeme grubundaki et kalınlığı S = 6-10 mm olan boru kesitleri için tavsiye değerler..... 21
Çizelge 2.4	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parçalara örnekler 27
Çizelge 2.5	Türkiye’de sürtünme kaynağı kullanan işletmeler ve bu işletmelere ait veriler..... 28
Çizelge 3.1	Sürtünme kaynağı tezgahı elemanlarının listesi 30
Çizelge 3.2	Sembollerin açıklamaları 31
Çizelge 3.3	Deneyde kullanılan otomat çeliğinin kimyasal bileşimi..... 36
Çizelge 3.4	Deneyde kullanılan bakır alaşımının kimyasal bileşimi..... 36
Çizelge 3.5	Sürtünme kaynağında kullanılan parametreler 37
Çizelge 4.1	Deney sonrasında birleştirilmiş olan parçaların uzunlukları 41
Çizelge 4.2	Çekme deneyi sonuçları..... 42
Çizelge 4.3	Her parametre için ortalama çekme deneyi sonuçları 42
Çizelge 4.4	Parametre grupları için ölçülen sıcaklık değerleri 56

ÖNSÖZ

Kaynak teknolojisi, üretim sektöründe sağladığı faydalar ve elverişli koşullar ile üretimin her aşamasında kullanılmaktadır. Gelişen teknolojik koşullara paralel olarak kaynak tekniği de giderek önem kazanmakta ve daha çok ihtiyaç duyulur hale gelmektedir.

Mühendislik uygulamalarında farklı metal ve alaşımlarının kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak farklı metallerin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeniyle ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen, hemen imkansız gibidir. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi geliştirilmiştir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bakır alaşımı (CuCrZr) ve otomat çeliği (9SMn28) numuneleri, sürtünme kaynağı ile farklı parametre gruplarında kaynak edilmiş ve elde edilen kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri incelenmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübesi ile yol göstericiliğini esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI' ya, deneysel çalışmalarında Boğaziçi Üniversitesi laboratuvarında bulunan tertibattan faydalanmamı sağlayan Prof. Dr. Sabri ALTINTAŞ' a ve Mak. Y. Müh. Nazım MAHMUTYAZICIOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, demir ve demir dışı alaşımlarının sürtünme kaynağı ile kaynak edilmesi işleminde, kaynak parametrelerinin dikiş özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Deneysel çalışmada bakır alaşımı (CuCrZr) ve otomat çeliği (9SMn28) kullanılmıştır. Deneysel çalışmada devir sayısı sabit tutulup, sürtünme basıncı, sürtünme zamanı, yığılma basıncı ve yığılma zamanı değerleri değiştirilerek dört parametre grubu kullanılmıştır. Her parametre grubu için çekme dayanımı ve mikrosertlik değerleri araştırılmış olup, her grup için kaynak bölgesinin 3mm yakınındaki sıcaklık değerleri de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar neticesinde, kaynak parametrelerinin kaynak bağlantısının mekanik özellikleri üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme kaynağı, farklı metallerin kaynağı.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to investigate the welding parameters' effect in weld beam of ferrous and non ferrous metallic materials under friction welding. Copper alloy (CuCrZr) and free cutting steel (9SMn28) are used as experiment samples. During the experiments, Number of revolution is kept constant while four parameter groups are changed as friction pressure, friction time, forging pressure and forging time. For every parameter group tensile strength and micro-hardness values are investigated and temperature within 3 mm of weld bead is measured. In the light of gathered results, the effect of welding parameters on mechanical properties of welding joint is explained.

Key Words: Friction welding, the welding of different metals.

1. GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmeler tarih boyunca insanların ihtiyacı olan araç ve gereçleri elde etme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İhtiyaçların sınırsız olması teknolojideki gelişmenin başlıca sebeplerindendir. Kaynaklı birleştirmelerde, başlangıçta iki metal malzemenin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyacından doğmuştur. Ancak daha sonraları insanlar sadece birleştirmenin yeterli olmayacağı, birleştirmenin malzeme özelliklerini etkilemeden gerçekleştirilebilmesini araştırmışlardır.

Buradan hareketle kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz kaynak metotları olarak iki şekilde gruplandırılmışlardır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde birleştirilen metalik malzemelerin birleşme yüzeylerinin ergimesi ve ergiyik karışımın katılaşması sonucu metaller birleştirilirken, ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken birleşme sağlanmaktadır (Dede vd., 2002).

Mühendislik uygulamalarında farklı metal ve alaşımlarının kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak farklı metallerin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeniyle ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen, hemen imkansız gibidir. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Ark kaynak yönetimi, alın yakma veya direnç kaynak yöntemi gibi ergitme kaynak yöntemi ile kaynatılması güç olan metaller ile bu metallerin alaşımları kendi aralarında sürtünme kaynak yöntemi ile kolayca birleştirilebilirler. Bu yöntem bir katı hal kaynak yöntemidir. Kaynatma sırasında ergime olmadığından katılaşmada olmamaktadır. Dolayısıyla katılaşma sırasında oluşabilecek kristal yapı farklılaşması, ergimiş metal içerisinde yabancı madde kalma riski ve katılaşma hızına bağlı olarak meydana gelebilecek çatlama sürtünme kaynak yönteminde görülmez. O halde farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde, eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyorsa, ergitme kaynağına nazaran bir ergime olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve minimum kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir.

Günümüz talaşlı imalat endüstrisinde matkap uçları en çok kullanılan takım grubunu oluşturmaktadır ve bu takımlar işlevleri gereği esas itibarıyla HSS' ten (high speed steel- yüksek hız çeliği) imal edilmektedirler. HSS, normal karbonlu çelikler ile kıyaslandığında 15 misline varan bir fiyat farklılığı ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak takımın tamamen

HSS' ten yapılması takımın fiyatını aşırı arttırmakta, özellikle bilenme sonucu uç kafi miktarda kısaldığında hurdaya atılmakta ve bütün bunlar maliyeti yükseltmektedir. Bu nedenle matkap uçlarının sap kısmı karbonlu çelik, uç kısmı HSS olacak şekilde imal edilme yoluna gidilmektedir .

Örneğin aynı matkap uçlarında olduğu gibi bir pompa shaftı tamamen paslanmaz çelik yerine sadece gerekli kısmı paslanmaz çelik, diğer kısımları ise karbonlu çelik olarak tasarlanıp imal edildiğinde malzeme fiyatlarında %45'e varan bir ekonomi sağlanmaktadır (Yılmaz, 1993).

2. SÜRTÜNME KAYNAĞI

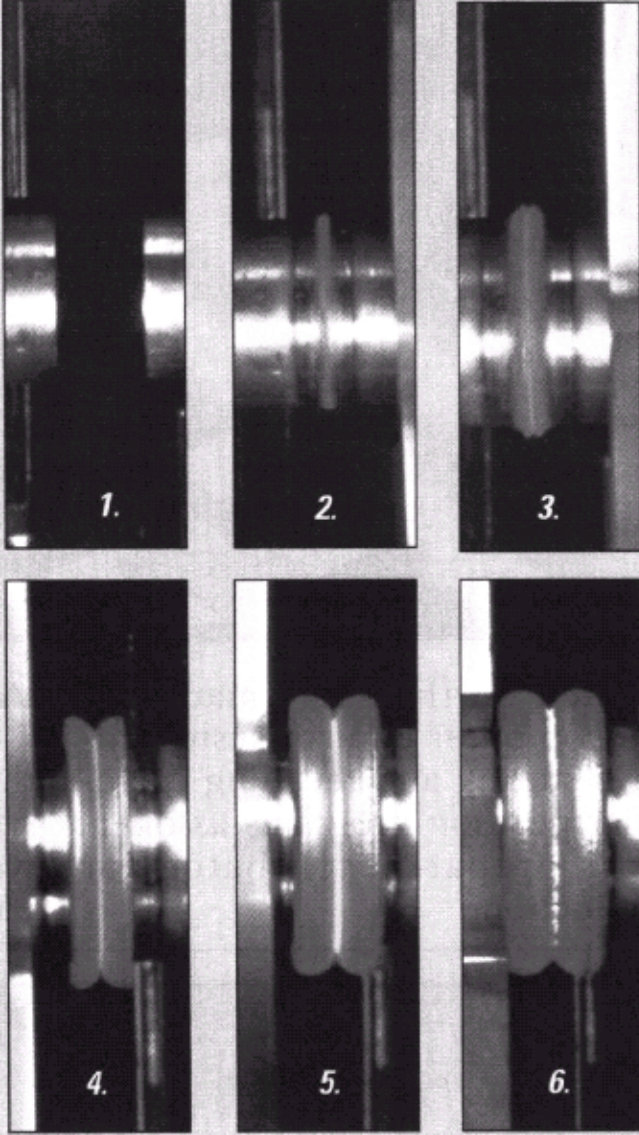
2.1 Tarihçesi

Sürtünme kaynağı, gelişen dünyamızda birçok ülkede ve endüstride geniş olarak uygulama alanı bulmuş, ticari bir prosestir. Malzemelerin kaynağı ve şekillendirilmesi için sürtünme ile ısı üretimi fikri yeni değildir, öncelikle bilinmelidir ki tarih öncesinde dahi insanlar ateş yakmak için sürtünme ısısından yararlanmışlardır. Sürtünme kaynağının başlangıcı 15. yy'la kadar gitmektedir, fakat konu ile ilgili ilk patent 19 yy da 1891 de Amerikalı makinist J.H. Bevington tarafından alınmıştır. Bevington sürtünme ısını kullanarak metal boruların kaynağını gerçekleştirmiştir. Daha sonraları konu ile ilgili W. Richter tarafından 1924 yılında İngiltere'de ve 1929 yılında Almanya'da, H. Klopstock tarafından 1924 yılında Sovyetler Birliği'nde birer patent alınmıştır. H. Klopstock ve A.R. Neelands silindirik parçaların sürtünme kaynağı için 1941 yılında bir patent almışlardır. Ayrıca 2. Dünya savaşı sırasında Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağı için sürtünme kaynağı kullanılmıştır. Bununla birlikte sürtünme kaynağının ticari bir proses olarak gelişimi ve konu ile ilgili bilimsel çalışmaların başlaması bir Rus makinist tarafından gerçekleştirilmiştir. Rus makinist AJ. Chdikov iki metal çubuk arasında başarılı bir kaynak gerçekleştirerek 1956 yılında Sovyetler Birliği'nde konu ile ilgili bir patent almıştır. Sovyetler Birliği'ndeki daha yoğun çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu proses ABD'ye 1960 yılında girmiştir. American Machine and Foundry Co. da Holland ve Cheng adlı araştırmacılar sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerine çalışmışlardır. İngiltere'de ilk sürtünme kaynağı kaynak enstitüsü tarafından 1961 yılında üretilmiştir. 1962 yılı itibariyle ise Sovyetler Birliği'nde, birçok fabrikada sürtünme kaynağı kullanılır hale gelmiştir (Kharkov ısıtma ve havalandırma fabrikası, Lysbensk metal fab., Vitebsk takım fab. K. Gotwald otomobil fab., Minsk traktör fab. v.b.). Yine 1962 yılınca ABD 'de Caterpillar Tractor Co. sürtünme kaynağını modifiye ederek atalet kaynağı olarak anılan yöntemi geliştirmiştir ve

bundan sonra konvansiyonel sürtünme kaynağı Rus tipi proses, atalet kaynağı ise Caterpillar tipi proses olarak adlandırılmıştır. Bu tarihten itibaren daha hızlı gelişme gösteren proses hızla bütün dünyaya yayılmış ve bir çok endüstride uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri arasında elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok uygulama alanı bulmuş olan yöntemdir (Yılmaz, 1993).

2.2 Yöntemin Tanımlanması

Sürtünme kaynağı elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmaksızın çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir.



1. Parçalardan biri sürtünme kaynağı mekanizması tarafından döndürülürken diğer parça sabittir. Dönen parça sabit duran parçaya temas edecek şekilde ilerletilir.

2. Dönme sonucu sürtünen yüzeylerde ısı açığa çıkar. Metallerde ortaya çıkan yüksek ısı, kaynak bölgesi sıcaklığının her zaman ergime sıcaklığının altında tutar.

3. Yumuşayan metal uygulanan basıncın etkisiyle dışarı doğru taşmaya başlar.

4. Dövülmüş sıcak bölge ara yüzeyden dışarı doğru yönlendirilir.

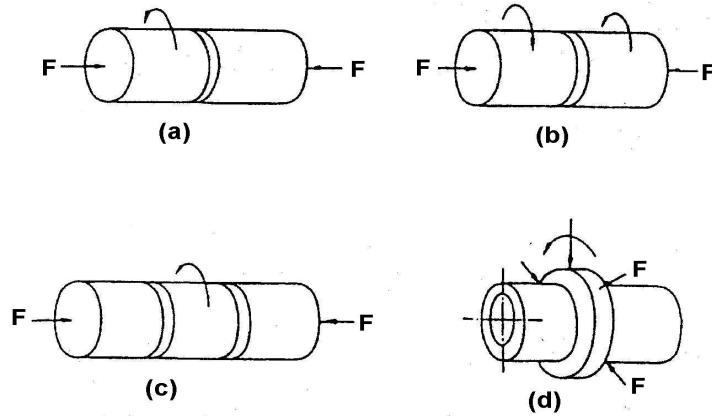
5. Makine döndürme işlemini durdurur ve dövme kuvveti ile kaynak tamamlanır.

6. Sıcak işlemeye maruz kalan birleşme bölgesi tüm yüzey ve çap boyunca homojen bir forma ve yüksek kalitede kaynağa sahiptir.

Şekil 2.1. Sürtünme kaynağı işlemi (Marr, 2001)

Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı yada sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar sürer. Çelikler için bağlantı bölgesinde oluşan sıcaklık 900-1300 °C arasındadır. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylece kaynak bölgesi bir tür termomekanik işleme tabii tutulmuş olur ve dolayısı ile bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bundan dolayıdır ki, diğer yöntemlerle kaynak edilemeyen metaller ve metal alaşımları rahatlıkla kaynak edilebilir. Bilindiği gibi parçalar arasında kaynak bağı oluşabilmesi için çıplak yüzeylerin temas haline gelmesi gerekir, sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile giderildiği için bu temas çok iyi gerçekleşir. Normal şartlar altında sürtünen yüzeylerde bir ergime olayı oluşmaz, şayet çok küçük miktarlarda bir ergime oluşmuşsa da kaynak sonu uygulanan yığıma işleminden dolayı ergimiş metale ait bir delil bulunmaz (Duffin vb.,1973; N.,1983).

Şekil 2.1' de sürtünme kaynağının yapılışı şematik olarak görülmektedir. Başlangıçta parçalardan biri dönerken diğeri sabittir. Dönme hızı belirli bir hıza eriştiğinde iki parça bir araya getirilip eksenel bir basınç uygulanır ve ara yüzeydeki parçalar bölgesel olarak ısınır. Dönme hareketi durdurulduğunda eksenel basınç artırılarak parçalara komple yığıma uygulanır (Marr, 2001).



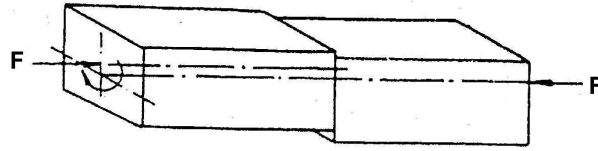
Şekil 2.2 Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri (Yılmaz, 1993)



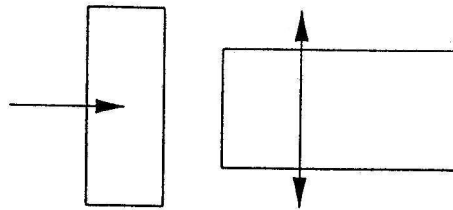
Şekil 2.3 Bir sürtünme kaynağının enine kesiti

Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağı oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalarda sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir ve proses Konvensiyonel sürtünme kaynağı olarak adlandırılır. Şekil 2.2' de alışlagelmiş sürtünme kaynağının uygulama şekilleri görülmektedir. Şekil 2.2-a en çok kullanılan ve en basit olan uygulama şeklidir. Şekil 2.2-b' deki durum yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı numuneler için uygun olmaktadır. Şekil 2.2-c çok uzun iki parçanın birleştirilebilmesi için uygun bir yöntemdir. Şekil 2.2-d ise boru kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altınca dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir (Anık, 1983).

Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında, yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Yörüngesel hareket silindirik olmayan parçaların kaynağı içindir. Bu uygulamada sabit duran parça üzerinde diğer parça bir köşesi dairesel bir yörünge çizicek şekilde hareket eder (Şekil 2.4). Lineer titreşim hareketinde parçalardan biri uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yapar. Bu yöntem ilk defa Vill tarafından önerilmiştir (Şekil 2.5). Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belirli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder (Yılmaz, 1993).



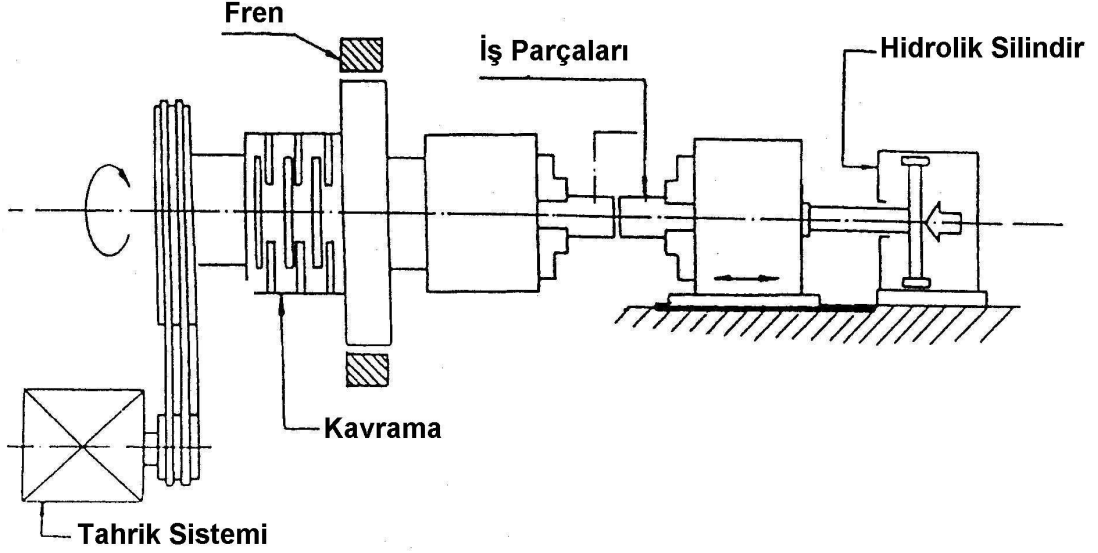
Şekil 2.4 Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı (Yılmaz, 1993)



Şekil 2.5 Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı (Yılmaz, 1993)

Sürtünme hareketi sırasında, yüzeyleri kaplayan oksit ve yabancı tabaka kendiliğinden yırtılarak, sürtünme yüzeyleri arasından uzaklaşırken, yüzeylerin aşırı ısınan bölgesinde sıcaklık, hemen hemen malzeme ergime sıcaklığına kadar yükselir. Isı iletme kabiliyeti az

olan malzeme çiftlerinde, birleştirme için gerekli olmasa bile, kısa surede sınırlı dar bir bölgede, ergime olabilmektedir. Sürtünme ısı ile yumuşayan malzeme, gerek sürtünme ve gerekse durma sırasındaki basınç etkisi ile, kaynak yerinde arzu edilmeyen bir şişkinlik (çapak) meydana getirmektedir. Bu çapak, arzu edildiği kadar küçük tutulabileceği gibi, kaynak yapma sırasında zararsız bir şekilde deforme edilebilir veya daha sonra, herhangi bir talaş kaldırma işlemi ile ortadan kaldırılabilir.



Şekil 2.6 Tipik bir sürtünme kaynağı makinesi (Yılmaz, 1993)

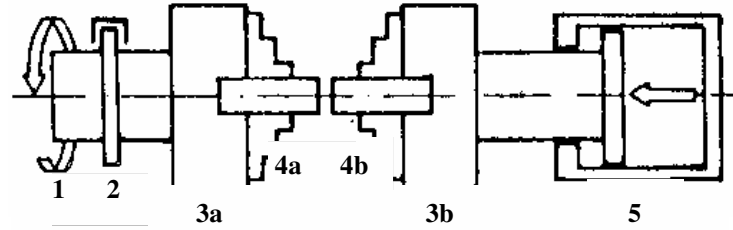
Dizayn olarak sürtünme kaynağı makineleri torna, matkap gibi metal işleme makinelerini andırmaktadır ve ilk sürtünme kaynağı makineleri bu tezgahların modifiye edilmiş şekilleridir. Şekil 2.6' da tipik bir sürtünme kaynağı makinesi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere bir sürtünme kaynağı makinesi, ana gövde bağlama tertibatları, dönme ve yığma mekanizmaları, fren sistemi, güç ünitesi, kontrol üniteleri ve kumanda tablosu kısımlarından oluşmaktadır. Sürtünme kaynağı makineleri tam mekanize makinelerdir. Parçaların bağlanması, boşaltılması ve oluşan çapakların alınması otomatize edilebilir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağının ana fonksiyonları parçaların bağlanması ve sıkıştırılması, basınç altında dönme ve sürtünme, frenleme, yığma ve gerekli sürelerin hassas olarak ayarlanmasıdır. Numune bağlama aparatları gerekli rijitliğe sahip olmalı, üzerine gelecek momentleri karşılamalı, radyal kaçıklıkları ve titreşimleri elimine edilebilmelidir. Özellikle kaynak süreci boyunca oluşacak titreşimler, gerekli incelemeler ve araştırmalar yapılarak sönmülenebilecek şekilde makine dizaynı yapılmalıdır. Titreşimler yanında oluşacak radyal ve eksenel kuvvetlerden dolayı parçaların sabitlemesi ve eksenel kaçıklıkların önlenmesi zordur. Bu nedenle, bağlama tertibatı parçaları gereken miktarda sıkıştırarak dizayna sahip olmalıdır (Anık, 1983; N.,1983).

Kaynak ekipmanlarını tutmak için kullanılan bütün durdurma tertibatları güvenilir olmalıdır. Bağlantısı yapılacak parçalarda oluşabilecek küçük bir kayma, hem kötü bir kaynak bağlantısına ve hem de frenleme sisteminin zarar görmesine neden olur. Uygulamaların çoğunda otomatik olarak merkezleyen frenleme tertibatları kullanılır.

Daha önce de belirtildiği gibi sürtünme kaynağı, gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre iki ayrı yöntemle uygulanabilir. Günümüzde bu iki yöntemin bileşimi olan kombine kaynak yöntemleri de geliştirilmiştir (Yılmaz, 1993).

2.2.1 Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı

Bu yöntem literatürde direkt sürtünme kaynağı olarak geçmektedir. Bu yöntemde parçalardan biri bir motor hareket ünitesine bağlıdır ve sabit bir hız altında döner, bu sırada da sabit bir eksenel kuvvet uygulanır. Çalışma parçaları önceden belirlenen bir kaynak süresince veya belirlenen bir eksenel kısılma (yanma) oluşuncaya kadar sürtünür ve sonrasında frenlenerek durdurulur. Kaynak kuvveti yığılma amacıyla artırılır ve kaynak soğuyana kadar tutulur (Nikolaev vb., 1977; Anık, 1983; N.,1983).

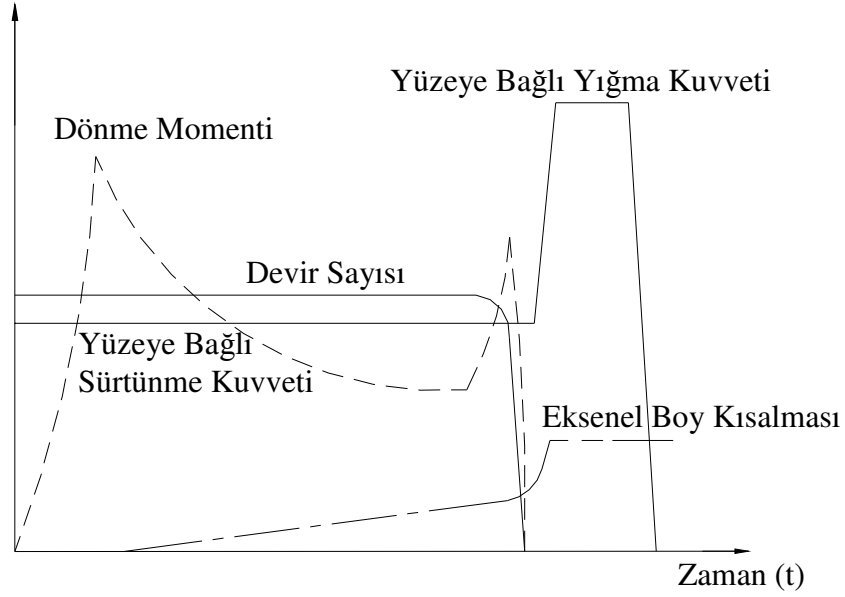


Şekil. 2.7 Sürekli tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterilişi;

- 1.- Tahrik motoru, 2.- Fren, 3.a.- Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
3.b.- Sabit iş parçasının bağlandığı ayna, 4.a.- Dönen iş parçası,
4.b.- Sabit iş parçası, 5.- Yığılma silindiri

Temel kaynak parametreleri:

- a.- Devir sayısı,
b.- Yüzeğe bağlı sürtünme kuvveti ve sürtünme süresi/sürtünme mesafesi,
c.- Yüzeğe bağlı yığılma kuvveti ve yığılma süresi/yığılma mesafesidir.



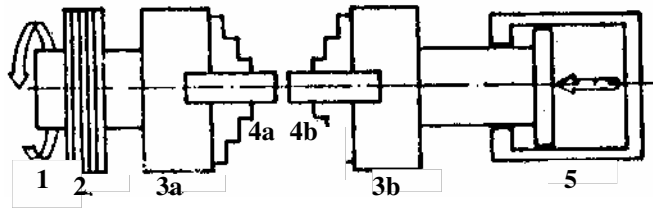
Şekil 2.8 Sürtünme kaynağının prensibi

2.2.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Bu yöntem literatürde atalet kaynağı olarak geçmektedir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10' da tipik bir atalet kaynağı prosesinin şematik şekli ve esasları görülmektedir. Bu yöntemde parçalardan biri bir volana bağlıdır. Volan belirlenen bir hıza ivmelendirilir, böylelikle mekanik enerji bir volanda depolanmış olur. Daha sonra iki parça temas ettirilir ve bir kaynak basıncı uygulanır. Parçalar bu basınç altında sürtünür ve volan enerjisi ara yüzeydeki sürtünmeye harcanır. Volanın hızı azalırken kaynak bölgesi ısınır. Volan tamamen durmadan bazı durumlarda basınç artırılır ve volan durduktan sonra da bir müddet etki ettirilir (Nikolaev vb., 1977; Anık, 1983; N.,1983).

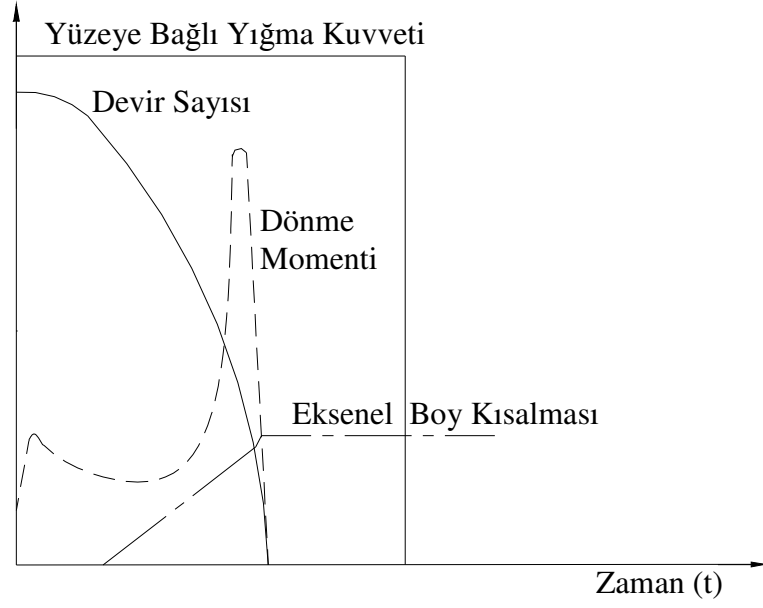
Temel kaynak parametreleri:

- a- Kaynak işleminin başındaki devir sayısı,
- b- Volanın kütlesi,
- c- Yığılma basıncı ve yığılma süresi (Anık vb., 1982; Anık, 1983).



Şekil 2.9 Volan tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterilişi;

- 1 - Tahrik motoru, 2- Değiştirilebilir volan,
- 3a.- Dönen iş parçasının bağlandığı ayna 3b.- Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
- 4a.- Dönen iş parçası, 4b.- Sabit iş parçası, 5- Yığılma silindiri



Şekil 2.10 Atalet kaynağı esasları

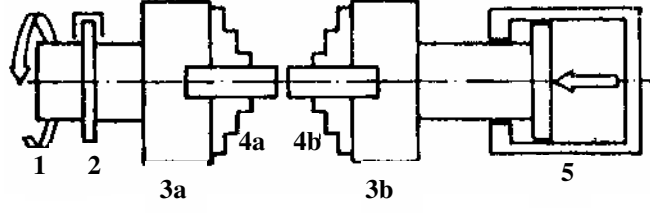
2.2.3 Kombine Sürtünme Kaynak Yöntemi

Bu yöntem literatürde sürtünme kaynağı ile atalet kaynağının birleşimi olarak bilinir. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde avantajlı olmaktadır.

Kaynak safhası sürtünme ve yığılma safhalarını içermektedir. Hem atalet ve hem de sürtünme kaynağı için moment eğrilerinin değişimi prosesin izahı için önemli değer taşımaktadır. Prosesin başlangıcında kuru sürtünme hakimdir ve bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi bir zirve yaptıktan sonra dengeye gelir. Süreç içerisinde oksit tabakalarının parçalanması sonucu çıplak yüzey temasları artar ve bu temaslar sırasında kuvvetli atomsal bağlar kurulmaya başlanır. Sürtünme hareketi ile bu bağlar koparılmaya çalışılır. Sonuçta bu temas noktalarında kuvvetli adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık istenilen düzeye ulaşır. Frenleme sonrası hız hızla azalırken moment de sıfıra düşer (Duffin vb., 1973; Nikolaev vb., 1977).

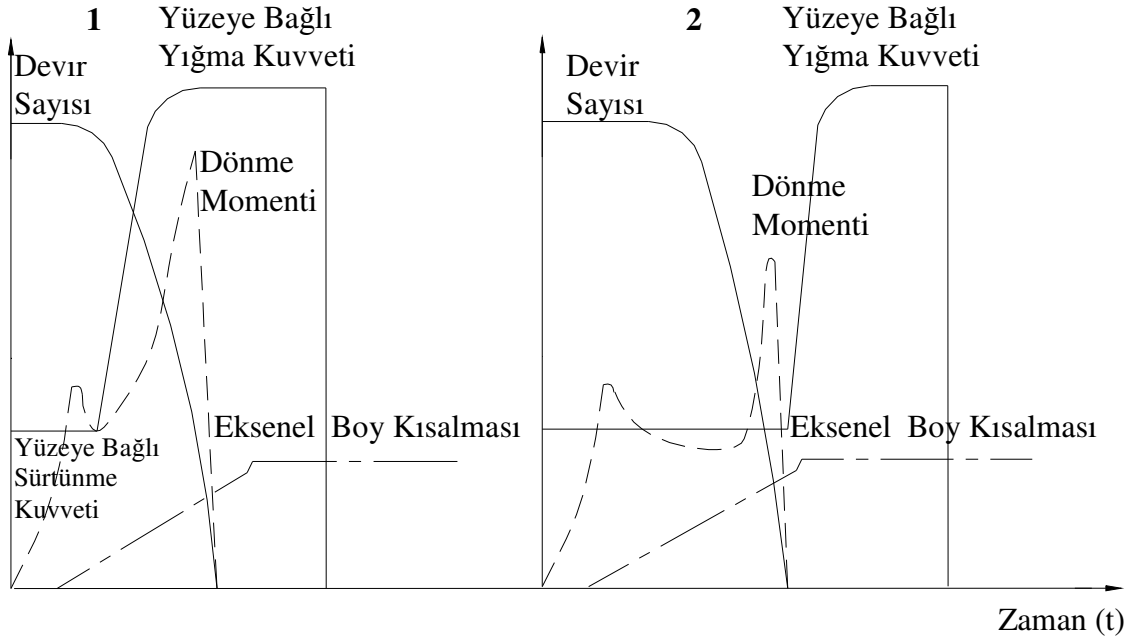
Temel kaynak parametreleri:

- a.- Devir sayısı,
- b.- Yüzeğe bağlı sürtünme kuvveti ve sürtünme süresi/sürtünme mesafesi,
- c.- Frenlemeye başlama anı; yığılmaya başlama anı,
- d.- Yüzeğe bağlı yığılma kuvveti ve yığılma süresi.



Şekil 2.11 Kombine edilmiş sürtünme kaynağının şematik gösterilişi;

- 1- Tahrik motoru, 2- Fren, 3a- Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
3b- Sabit iş parçasının bağlandığı ayna, 4a- Dönen iş parçası
4b- Sabit iş parçası, 5- Yığıma silindiri



Şekil 2.12 Kombine edilmiş sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

- 1- Dönen iş parçasındaki yığıma, 2- Frenlenmiş iş parçasındaki yığıma

2.3 Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gereken oldukça fazla sayıda parametre içermektedir. Bu yöntemle ilgili değişkenler dönme hızı, sürtünme basıncı, yığıma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi, yığıma geciktirmesi süresi ve yığıma süresidir. Bunun dışında numune geometrisi ve numunenin yapıldığı malzemeden kaynaklanan diğer parametreler de söz konusudur. Ancak yapılan çalışmalar yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığıma basıncı ve yığıma süresi olduğunu göstermiştir. Konu ile ilgili temel eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkartılabilir;

Çevresel Hız

Literatürde ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerinde en etkili parametrenin çevresel hız olduğunu görülmüştür. 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 süresini kısaltır. Çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilirken 1.2 m/s altındaki hızlar çok yüksek momentler, dolayısıyla üniform olmayan bir yığılma üretir. Bununla birlikte, farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik fazın oluşumunu sınırlayabilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir (Yılmaz, 1993).

Sürtünme Basınç Kuvveti

Sürtünme basınç kuvveti, numune geometrisi ve birleştirilecek malzeme çiftinin plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlı olarak değişir. Sürtünme basıncı kuvveti, temas eden ara yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeyde üniform bir ısıtma sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Sürtünme basıncı, dar bir aralıkta değişmez. Basınç değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma ile kontrol edilebilir (Anık, 1983).

Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalıntı ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Buna karşın sürtünme süresinin aşırı uzun olması IEB' nin genişlemesine ve aşırı yığılmaya sebep olacaktır (Yılmaz, 1993; Ziyal, 1997).

Yığılma Süresi

Yığılma süresi, malzeme çifti ara yüzeyinde gerekli plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandırmak için yığılma basınç kuvvetinin uygulandığı süredir (Yılmaz, 1993; Ziyal, 1997).

Yığılma Basınç Kuvveti

Sürtünme periyodu sonrasında özellikle çelikler için bir yığılma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığılma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, elverişsiz şekillendirmeye dolayısıyla yetersiz kaynaklanmaya sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Yığılma basınç kuvveti, sürtünme

periyodu sonrasında malzeme çifti arasında difüzyon mekanizmasını hızlandırmak amacıyla uygulanır. Yığma basıncı, malzemelerin birleştirilebilmeleri için malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında olmamalıdır. Buna karşın yığma basıncı çok yüksek alınırsa aşırı metal deformasyonu oluşur ve bu aşırı yığılma sırasında kaynak bölgesinde metalik olmayan inklüzyonlar arzu edilmeyen enine bir akış göstererek yeniden şekillenirler (Yılmaz, 1993).

2.4 Malzemelerin Sürtünme Kaynağına Yatkınlıkları

Sürtünme kaynağına uygunluk için şartlar:

a- Malzemenin mukavemeti: Malzemenin mukavemeti, sürtünme kaynağı sırasında, aksenal basınç ve dönme momentiyle aşırı bir deformasyonun oluşumunu önleyecek kadar yüksek olmalıdır.

b- Sıcak şekil değiştirme kabiliyeti: Birleştirilecek parçaların malzemeleri, eğer bağlantıların yeterli kalitede olmaları gerekiyorsa yeterli düzeyde sıcak şekil değiştirilebilir olmalıdır.

Malzeme karakteristikleri hakkındaki bilgiler, metalik malzemenin ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygun olup olmadığı konusunda kesin bilgi vermez. Metalik malzemenin veya kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğu hakkındaki bilgiler pratikten ve deneylerden ortaya çıkmaktadır. Her yeni malzeme ve malzeme kombinasyonlarında sürtünme kaynağına uygunluk, birleştirilecek parçalar için optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ön deneylerle ortaya çıkarılabilmektedir. Başka yöntemlerle kaynağına uygun olmayan birçok malzeme ve kombinasyonları sürtünme kaynağı yapılabildiğinden, diğer kaynak yöntemleri için söz konusu olan kaynağına uygunluğun belirlenmesindeki kriterler sürtünme kaynağında kullanılamazlar (Anık, 1983).

Ayrıca sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılır ki bu malzemeler ekseriya diğer kaynak yöntemleriyle kaynaklanamaz. Erime sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda çalışılması ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu imkanı vermektedir (Yılmaz, 1993).

Sürtünme kaynağında dövülebilen iyi kuru sürtünme özellikleri olmayan bütün malzemeler kolaylıkla kaynak edilebilir. Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri bağlantı bölgesinin kaynak sıcaklığına erişmesini engeller (N., 1983).

Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten, yüksek alaşımlı çeliklere kadar uzanan çok geniş bir aralıkta sorunsuz olarak kaynak edilebilmektedirler. Yumuşak çelikler yüksek alaşımlı çeliklere göre daha kolay kaynak edilebilmektedirler. HSS türü yüksek alaşımlı

çelikler ise daha dar bir parametre aralığında ve daha yüksek eksenel kuvvetlerde kaynaklanabilir. Bunların tokluğu ve çatlak hassasiyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur, parçalarda oluşan çapaklar kesinlikle alınmalıdır. Çünkü bu çapaklar çatlak başlangıcı için uygun yerlerdir (Yılmaz, 1993).

	Ticari Saf Alüminyum	Alüminyum Alaşımları	Bakır	Bakır Alaşımları	Yumuşak Çelik	Orta Karbonlu Çelik	Düşük Alaşımlı Çelik	Sertleştirilmiş Çelik	Yüksek Hız Çeliği	Östenitik Paslanmaz Çelik	Ferritik Paslanmaz Çelik	Duplex paslanmaz Çelik	PH Paslanmaz Çelik	Martenzitik Paslanmaz Çelik	Nikel	Nikel Alaşımları	Niobyum	Titanyum Alaşımları	Tungsten	Zirkonyum
Ticari Saf Alüminyum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Alüminyum Alaşımları	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bakır	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bakır Alaşımları	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yumuşak Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Orta Karbonlu Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Düşük Alaşımlı Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sertleştirilmiş Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yüksek Hız Çeliği	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Östenitik Paslanmaz Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ferritik Paslanmaz Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duplex Paslanmaz Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PH Paslanmaz Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Martenzitik Paslanmaz Çelik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nikel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nikel Alaşımları	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Niobyum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Titanyum Alaşımları	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tungsten	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zirkonyum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1 Kaynak Edilebilir

4 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır

2 Kaynak Edilebilir
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Olmalı

5 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Olmalı

3 Kaynak Edilebilir
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Tavsiye Edilir

6 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Tavsiye Edilir

Çizelge 2.1 Malzeme ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğu

(<http://www.thompson-friction-welding.co.uk/about.html>)

Paslanmaz çelikler ve sinterlenmiş çelikler kolaylıkla kaynaklanabilirler. Isıl işlemlerle paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımlı çelikler gibi kaynak değişkenlerine çok hassastır ve IEB' de arzu edilen özellikler için kaynak sonu prosesler gerektirir. Bunların dışında sinterlenmiş malzemeler, Al ve alaşımları, Cu ve alaşımları, Ti alaşımları, Zr alaşımları, Mg alaşımları, ısıl dirençli alaşımlar olan Ni ve Co alaşımları, refrakter metaller olan T, Mo, Ni ve Ta alaşımları da sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler. Bazı metal ve alaşımlarında aşağıda belirtilen metalürjik içeriklerinden dolayı başarılı bir kaynak yapılamaz. Bu sınırlamalar genelde sürtünme ısı ve dövmeye yöneliktir.

- Bütün dökme demirler, serbest grafitin sürtünme sıcaklığını sınırlamasından dolayı,
- %0.3'ün üzerinde kurşun içeren bronz ve pirinçler sürtünme sıcaklığının sınırlanmasından dolayı (Yılmaz, 1993)

2.5 Sürtünme Kaynağı ile Konstrüksiyon ve İmalatta Gözetilmesi Gereken Noktalar

2.5.1 Giriş

Bu bölümün amacı, konstrüktör ve atölye mühendis ve teknisyenlerine sürtünme kaynağının teknik özellikleri hakkında bilgi vermek ve onlara bu kaynak yönteminin uygulanmasında karar vermek bakımından yardımcı olmaktır (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.5.2 Sürtünme Kaynağı Bağlantılarının Özellikleri

Sürtünme kaynağı ile yapılmış bağlantılar, diğer kaynak metotlarıyla yapılmış olanlara göre aşağıdaki özellikleri gösterir;

2.5.2.1 Erime Bölgeleri

Erime bölgeleri sadece kısa süreli ve yerel olarak sınırlı şekilde meydana gelir.

2.5.2.2 Isının Etkisi

Kaynak yapılan parçaların az miktarda ısı tesiri altında kalması da hiç mevcut olmayan erime bölgeleriyle yakından bağlantılıdır. Frenleme ve yığılma anında bağlantıda meydana gelen sıcak torsiyon tane küçülmesine yardımcı olur Bir dizi bozucu metalürjik olay, örneğin iri tane oluşumu bu arada önlenir. Kaynak dikişi bölgesindeki yüksek soğuma hızı dönüşme sertleşmesi yapan çeliklerde martenzit oluşumuna neden olabilir, fakat bu durum uygun ısı girişiyle önlenir.

2.5.2.3 Kaynak Süresi

Tüm kaynak yüzeylerinin aynı andaki ısınmasıyla kısa süreli kaynak periyotları elde edilir. Boru kesitleri, aynı kaynak yüzeyli masif parça kesitlerine göre daha kısa sürede kaynak yapılabilir.

2.5.2.4 Boyutların Muhafazası

Isının tesiri altında kalan dar bölgeler, kaynak işleminin kumandası gibi yöntemin şimdiye kadar belirtilen özellikleri sürtünme kaynağı yapılmış parçalarda boyutların büyük ölçüde korunmasını sağlar. Eğer parçalar aynı durumda yani aynı kimyasal bileşimdeki malzmeden, aynı mukavemet, ısı işlem ve yüzey hazırlama şartlarında hazırlandıysa, sonradan önemli bir işlem olmaksızın hassas boyut toleransları tutturulabilir (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.5.3 Sürtünme Kaynağı Bağlantılarının Yapılması

2.5.3.1 Şartlar

Alın sürtünme kaynağı ağız formlarının hazırlanması bakımından özel şartlar gerektirmez. Yüksek kaliteli veya önemli bağlantılarda özel şartlara dikkat etmek gerekir.

2.5.3.1.1 Kaynak Kontrol Personeli

Önemli makine elemanlarının sürtünme kaynağı için sorumlu kaynak kontrol elemanları işletme tarafından seçilmelidir. Sürtünme kaynağı için kontrol personeli olarak teknik elemanlar yani özel şekilde yetiştirilmiş ve sınava tabi tutulmuş kaynak mühendisleri, kaynak tekniker ve teknisyenleri görevlendirilir. Bu personel, sürtünme kaynağı konusunda tecrübe ve kullanılan malzemeler hakkında da geniş bilgi sahibi olmalıdır.

Kaynak kontrol personeli, kaynak sırasında karşılaşılan problemlerin tartışmasında konstrüksiyon, imâlat ve kalite kontrol bakımından söz sahibi olabilmelidir. Kullanılan malzeme, konstrüksiyonda, çalışma sistemindeki her değişiklik ve makinedeki her yeni durum bu personele bildirilmelidir.

2.5.3.1.2 Operatörler

Sürtünme kaynağı makinelerinin operatörleri bu konuda etraflı bilgiye haiz olmalıdır. Üretimde sadece güvenilir operatörler görevlendirilmelidir.

2.5.3.1.3 İşletme Şartları

Sürtünme kaynağı makinesi, kaynak işleminin veya makinenin iş akışı diğer üretim makinelerinden veya çevre şartlarından etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Makine, gerilim dalgalanmaları % 10'nu geçmeyen bir şebekeden beslenmelidir.

2.5.3.1.4 Sürtünme Kaynağı Makinesi

Devir sayısı, eksenel kuvvet, kaynak süresi gibi makinenin karakteristikleri makinenin özelliklerine ve yapacağı işe göre denenmiş olmalıdır. Bu karakteristikler, yani her bir makine tipine göre sürtünme anında atalet momenti, yığılma anı, mesafesi uygun şekilde çoğaltılabilir. Makinenin işletme sıcaklığındaki karakteristikleri verimliliği bakımından denenmelidir. Her parametre ortalama değerinden $\pm\%5$ sapabilir. Belli bazı uygulama alanları kaynak parametresinin verimliliği bakımından dar (sınırlı) toleranslar gerektirirler.

2.5.3.2 Yarı Mamulün Durumu

Birçok malzeme ve malzeme kombinasyonları sürtünme kaynağına uygundur. Sürtünme kaynağı birleştirmeleri özelliklerinin ve yüksek verimlilik avantajlarının sağlanması amacıyla aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir:

2.5.3.2.1 Kimyasal Bileşim

Normlara uygun malzemeler kullanılmalıdır. Özel durumlarda tavsiye edilen değerlere uyulmalıdır.

2.5.3.2.2 İç Yapı Durumu

Malzemenin iç yapısı bir sürtünme kaynağı partisi içinde aynı olmalı ve değişmemelidir. Malzemenin sürtünme kaynağına uygunluğu, yapı içindeki düzensizlikler ne kadar az olursa ve bunlar iç yapıda ne kadar homojen dağılırsa o kadar iyidir.

Sürtünme kaynağı yapılan kaynak dikişinde de, ergitme ve difüzyon kaynağı metotlarında olduğu gibi parçaların malzemelerinin birbirine karıştığı bir bölge ile, bunun etrafında her iki ana malzemenin ısıdan etkilenen bölgeleri bulunmaktadır. Malzemelerin birbirine karıştığı bölgede, her iki malzeme atomlarının karşılıklı olarak birbiri içinde 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 sırasında; İntermetalik faz oluşumu, ergime sıcaklığı malzemelerin kendilerinden daha az olan ötektik alaşımların oluşumu, çeliklerin martenzitik içyapı dönüşümü, yüksek karbonlu alaşımsız çeliklerde karbon azalması, içyapıda rekristalizasyon ve tane irileşmesi olayları meydana gelebilir Bu malzeme dönüşümlerinin hepsi de kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini, fena yönde etkilerler. Örneğin intermetalik fazlar sert ve gevrek olduklarından, kalınlıkları belirli genişliği aşınca buldukları tabaka boyunca, aşırı bir gevrekleşme gösterirler. Ergitme sıcaklığı küçük olan ötektikumlar ise, bazı hallerde kaynak yapma sırasında bile çatlakların meydana gelmesine neden olurlar. Martenzit dönüşüm yapan bölgeler de, belirli bir büyüklük ve sertliği aşınca, intermetalik fazlarda görüldüğü gibi gevrekleşmeye neden olurlar. Alaşımsız çeliklerde karbon azalması, lokal olarak mukavemet değerlerinin azalması demektir. Yumuşak bölgelerin oluşumu ise kaynak bağlantılarının mukavemetini azaltır. İç yapıda rekristalizasyon veya tanelerin irileşmesi de, yumuşak bölgelerin oluşumuna neden olur. Sürtünme kaynağının oldukça kısa surede yapılması ve bu sırada hem sıcaklık yükselirken hem de daha sonraki şişirme sırasında aşırı derecede plastik deformasyonların meydana gelmesi, diğer kaynak metotlarına göre malzeme içyapı dönüşümünü azaltıcı yönde bir avantaj sağlar.

2.5.3.2.3 Mukavemet ve Sertlik

Mukavemet ve sertlik değerlerinin değişimleri kaynak yapılan parçaların boy toleranslarını önemli şekilde etkiler.

2.5.3.2.4 Boyut Sapmaları

Yarı mamulün boyutları daha sonraki üretim toleranslarına uymalıdır. Özellikle ince cidarlı boruların sürtünme alın kaynağında eğriliğe, cidar kalınlığı toleransına, tesviye işlemine ve eksen sapmalarına dikkat edilmelidir.

2.5.3.3 Kaynak Yapılacak Parçaların Hazırlanması

2.5.3.3.1 Kaynak Ağızı

Konstrüktör, iş parçasının şekli ve üretim şartlarının seçimi vasıtasıyla sürtünme kaynağının avantajlarından yararlanabilir. Sürtünme kaynağı bağlantısı genel olarak anma yüzeyini* kapsadığından aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmek gerekir:

* Makine elemanının mukavemetini belirleyen tam kesiti.

- a- Dönel simetrik alın kaynağı öncelik taşımalıdır,
- b- Parçaların bağlanmasında yeterli uzunluk ve rijitliğe dikkat edilmelidir,
- c- Büyük çaplı parçalarda küresel veya kesik koni şeklinde bir ağız sürtünmeye yardımcı olabilir,
- d- Büyük masif kesitlerde, sürtünme kaynağı sırasında malzeme transferini kolaylaştırmak amacıyla yeterli çap ve derinlikte aksenal girinti yapılabilir,
- e- İnce cidarlı borularda tesviye işlemi mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır.

2.5.3.3.2 Kaynak Yüzeyinin Hazırlanması

- a- Sürtünmeyi önleyecek veya azaltacak hadde ve döküm tabakaları, kalın oksit tabakaları, çekme veya dövme işlemi tozları, yağlama maddeleri, kaplama tabakaları gibi yabancı maddeler kaynak yüzeylerinden uzaklaştırılmalıdır. Kaynaklı parçada az bir kısalma söz konusu ise yağ, gres, boya, ince pas tabakası da giderilmelidir.
- b- Ağız bölgesindeki su verilmiş sert tabakalar da yumuşatma tavlamaıyla giderilmelidir veya bu tabaka kaynak işlemi sırasında ortadan kalkabilecek şekilde ince olmalıdır.
- c- Malzeme kombinasyonlarında kaynağın cinsi malzemenin özel şartlarına uygun olmalıdır.
- d- Malzeme kombinasyonlarında farklı deformasyon kabiliyetinin dengelenmesi amacıyla sıcakta yüksek mukavemetli parçalar bir ön tavlamaya tâbi tutulmalıdır.

2.5.3.3.3 Kaynak Yapılacak Parçaların Bağlanması

Kaynak işleminde söz konusu olan dönme momentleri ve aksenal kuvvetler iletilebilmelidir. Kuvvet ve momentlerin alınabilmesi için, sürtünme (kuvvet) bağlı veya şekil bağlı bağlama tiplerinde yeterli bağlama boyu ve mümkünse bir destek öngörülmelidir. Sınırlı bağlama boyu için ve yüzeyleri işlenmiş parçalarda şekil bağlı tip gereklidir. Bağlama yüzeylerinin kirlenmesi önlenmelidir.

Serbest boy, salınımların ve sapmaların önlenmesi için mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Bu boy, teorik olarak meydana gelecek çapakları engellemeyecek kadar uzun olmalıdır (Serbest boy = 1,5 x çap).

2.5.3.4. Boy Fazlalığı

Boy fazlalığı malzemeye, kaynak ağızı hazırlığına ve kaynak karakteristiklerine kuvvetle bağlıdır. Bu miktar her kaynak dikişi için 1-10 mm' dir. Boru kesitlerinde ise aynı kesitli masif parçaya göre daha fazladır (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.5.4 Kaynak Karakteristikleri

Kaynak karakteristikleri, sürtünme kaynağı yöntemine, malzemeye ve kaynak yapılacak parçanın boyutlarına bağlıdır.

2.5.4.1 Sürtünme Kaynağı Yönteminin Kaynak Karakteristikleri Üzerine Etkisi

2.5.4.1.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Esas olarak sürtünme değerini ve IEB' nin genişliğini devir sayısı belirler. Devir sayısı, birçok uygulama alanlarında sürtünme kaynağı bağlantısının kalitesini önemli olarak etkilemez. Devir sayısı, aynı malzeme veya malzeme kombinasyonları için farklı dış çaplar söz konusu olursa aynı çevre hızı sağlanacak şekilde seçilmelidir.

2.5.4.1.1.1 Yüzeğe Bağlı Sürtünme Kuvveti ve Yığılma Kuvveti

Yüzeğe bağlı sürtünme kuvveti, ısınma ve sürtünme periyodunda şekil değişimini belirler, Artan sürtünme kuvvetiyle gerekli deformasyon daha kısa sürede sağlanır.

Yüzeğe bağlı yığılma kuvveti, kaynağa ve kaynak bağlantısının mukavemetine tesir eder. Yığılma kuvveti, malzemenin akma sınırına bağlı olarak belirlenir. Malzeme kombinasyonlarında ise daha düşük mukavemetli malzeme parametreyi belirler.

Malzeme	Çap mm	Yüzeğe Bağlı		Sürtünme Süresi s	Yığılma süresi s	Çevre Hızı m/sn
		Sürtünme Kuvveti MPa	Yığılma Kuvveti MPa			
Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler C 60 42 CrMo 4		20-80	80-200	1-100	2-10	0,5-5,0
	20	50-80	150-250	3-6	2-3	1,5-3,0
	20	50-80	150-250	3-6	2-3	1,5-3,0
Yüksek alaşımlı çelikler X 5 Cr Ni 18 8 S 6-5-3		40-100	120-400	3-120	2-10	0,5-5,0
	20	60-80	250-300	6-10	2-3	1,5-3,0
	20	60-100	190-250	10-15	2-3	1,5-3,0
Yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar Nimonic 80 Inconel 7 13 C		60-180	180-600	5-150	2-15	0,5-5,0
	20	60-100	180-400	5-10	2-5	2,0-3,0
	20	60-100	400-500	5-10	2-5	1,5-3,0
Hafif ve ağır metaller E-Cu TiAl 6 V 4 Al 99,5 Al Mg Si 0,5 Pb		10-80	20-150	1-8	2-5	0,5-4,0
	20	10	20-60	1-6	2-5	4,0
	20	20-30	60-80	2-8	2-5	1,0-4,0
	20	10-30	30-80	0,1-4	2-5	2,0-4,0
	20	30-80	50-150	0,1-6	2-5	0,5-2,0
	20	50-70	70-100	2-4	2-3	1,5-2,0

Çizelge 2.2 Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında aynı masif kesitli aynı malzemeden parçalar için tavsiye edilen değerler

2.5.4.1.1.2 Sürtünme ve Yığılma Süresi

Sürtünme süresi esas olarak malzemeye, kaynak ağzının hazırlanmasına ve kaynak yapılacak parçalardaki gerekli sıcaklık dağıtımına bağlıdır. Sürtünme süresi yeterli deformasyonu sağlayabilmelidir.

Küçük boy toleranslarında zaman kontrolü yerine mesafe kontrolü, genellikle yığılma süresi değiştirilmeden kullanılabilir.

Söz konusu edilen yüzeye bağlı kuvvetlerin, sürtünme sürelerinin ve çevre hızlarının geniş toleransları kaynak yapılacak parçanın kesitine bağlıdır.

Malzeme kombinasyonlarında kaynak karakteristikleri sıcak mukavemeti daha düşük malzeme tarafından belirlenir.

2.5.4.1.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

2.5.4.1.2.1 Kaynak Enerjisi, Sürtünme ve Yığılma Kuvveti

Makine imalâtçıları tarafından kaynak ağzının boyut ve şekli çeşitli malzeme veya malzeme grupları için aşağıdaki sabit ve değişken faktörler verilmiştir:

Sabit faktörler;

- a.- Kesit-enerji-faktörü
- b.- Kesit-basınç-faktörü
- c.- Geometri-enerji-faktörü
- d.-Geometri-basınç-faktörü

Değişken faktörler:

- a - Malzeme-enerji-faktörü
- b.- Malzeme-basınç-faktörü
- c.- Çevre hızı

Bu değerler, kaynak enerjisinin ve yüzeye bağlı sürtünme ve yığılma kuvvetinin ön hesabında kullanılır. Daha sonra hesaplanan değerler kaynak parametreleri olan volan atalet momenti, başlangıç devir sayısı ve yüzeye bağlı sürtünme ve yığılma kuvvetine dönüştürülür ve ilk kaynakta optimizasyon amacıyla kullanılır. Esasen malzemenin sürtünme, deformasyon ve termik davranışlarından dolayı hesaplanan kaynak parametrelerinin, değişken faktörlerin düzeltilmesiyle değiştirilmesi gereklidir.

2.5.4.1.2.2 Kaynak Parametreleri

Optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi, malzeme veya malzeme kombinasyonlarına, kaynak yüzeyinin boyutlarına ve bağlantının olması gereken dayanıma bağlıdır. Kaynak parametrelerinin, yığılma mesafesi, IEB' nin genişliği, sertlik dağılımı ve bağlantının mukavemeti üzerine önemli bir etkisi vardır (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

Malzeme	Yüzeğe Bağlı		Çevre hızı m/sn
	Kaynak enerjisi J/mm ²	Eksenel kuvvet MPa	
Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikler	50...180	100...200	2,5...15,0
Yüksek alaşımlı çelikler	70-220	150-300	2,5...15,0
Yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlar	100...300	200...700	1,5...7,5
Demir olmayan metaller veya	2,5...300	40...100	1,0...15,0
Demir olmayan Cu	150...350	50...70	3,0...5,0
Demir olmayan Al	100...180	10...70	2,0...3,5
Kaynak süresi 0,5-10 s arasındadır.			

Çizelge 2.3 Volan tahrikli sürtünme kaynağında aynı malzeme grubundaki et kalınlığı S = 6-10 mm olan boru kesitleri için tavsiye değerler

2.5.4.2 Malzemenin Kaynak Karakteristikleri Üzerine Etkisi

Malzeme etkisi, esasen mukavemet, sıcak mukavemet, deformasyon kabiliyeti, ısı iletkenliği ile belirlenir. Kaynak parametreleri, kaynak yüzeyinin değişmesi halinde aynı enerji dönüşümünü ve deformasyonu sağlamak üzere malzemeye uygun olmalıdır. Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikler için artan sıcak mukavemetlerinden dolayı yüzeğe bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süreleri gerekir. Ortaya çıkan sertlik dağılımı uçları uzun sürtünme süreleriyle giderilir (Isının tesiri altında kalan geniş bölgeler).

Yüksek alaşımlı çelikler için, düşük deformasyon kabiliyetlerinden dolayı yüzeğe bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süreleri gerekir. Özellikle "havada su alan çelikler" de kaynak bölgesinin soğuma hızını mümkün olduğu kadar küçük tutmak amacıyla yeter genişlikte bir ısının tesiri altında kalan bölge temin edilmelidir. Östenitik çelikler, yüksek bir süneklik, büyük sürtünme değerleri ve üstün sıcak deformasyon kabiliyeti gösterir, bu nedenle küçük sürtünme süreleri ve yüzeğe bağlı kuvvetler seçilebilir.

Yüksek sıcaklıkta mukavemetli alaşımlar, uygun olmayan ısı iletkenlik ve yüksek sıcak mukavemetlerinden dolayı yüzeye bağı büyük kuvvetler ve uzun kaynak süreleri gerektirir. Bakır ve bakır alaşımları yüzeye bağı küçük kuvvetler ve yüksek çevre hızlarıyla kaynak yapılır. Alüminyum ve Alüminyum alaşımları da yüksek çevre hızları gerektirir. Artan mukavemetle birlikte yüzeye bağı kuvvetler de büyür.

Titanyum ve Titanyum alaşımları yüzeye bağı küçük kuvvetlerle kaynak yapılabilir. Küçük mertebede boy kısalmalarında bir koruyucu gaz, örneğin saf Argon atmosferi tavsiye edilir. Gaz atmosferi 400°C' ye soğuyuncaya kadar muhafaza edilmelidir (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.5.4.3 Kaynak Yüzeyinin Kaynak Parametreleri Üzerine Etkisi

Aynı kesitli iki masif parça yerine boru kaynağı söz konusu olduğunda deformasyona karşı direnç azaldığından yüzeye bağı kuvvetler küçük olabilir. Farklı kesitli masif parçalarda yüzeye bağı kuvvetler yüksek tutulmalıdır. Çok büyük kesit farklılıkları (örneğin boru/masif parça gibi) halinde ısı büyük kesitlere geçmeden önce kaynak işlemi sona erecek şekilde çok kısa sürtünme süreleri ön görülmelidir (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.5.5. Kaynak İşleminin Kontrolü

Yüzeylerin kontrolü amacıyla parametrelerin seçimi gerekli olan dayanım kalitesine göre yapılmalıdır. Kaynak yapılacak parçaların boyutlarına uygun deneme kaynaklarıyla tolerans bölgeleri belirlenir. Kaynak yapılan parçaların sürtünme ve yığılma sırasında boy kısalması, kaynak dikişi kalitesinin değerlendirilmesi bakımından işlemin davranışı hakkında kesin bir hüküm verme imkânı sağlar.

Dönme momenti süreci, dönme hareketinin sonuna kadar kaynak işlemini belirtir. Kaynak işlemi, tahrik motorunun durdurulduğu ana kadar söz konusudur (Anık vb., 1982; Anık, 1983).

2.6 Avantaj ve Dezavantajları

2.6.1 Avantajları

- Sürtünme kaynağı metoduyla birleştirilen malzemelerde sarf edilen enerji diğer metotlara göre daha azdır. Daha düşük güç ihtiyacı ve tüketimi ile yakma alın kaynağının kullanımının imkansız olduğu durumlarda kullanılabilir. Bazı

uygulamalarda diğ er kaynak yöntemlerine göre %70-80 daha düşük güç tüketimi olmaktadır (Sunay, 2005).

- Sürtünme kaynağında malzeme kaybının az olması ve diğ er yöntemler ile kaynak edebilme imkanının olmadığı malzemeleri kaynak edebilmeyi sağ laması nedeniyle ciddi şekilde malzeme maliyetinde tasarruf sağ lamaktadır (Sunay, 2005).
- Diğ er kaynak yöntemleri ile, gevrek faz oluş umu nedeniyle yetersiz mekanik özellikler elde edildiğ i için birleşt irilemeyen pek çok alaş ım çoğ u kez sürtünme kaynağ ı ile kaynak edilebilir (Ş ahin vb.,1997)
- Kaynak sırasında bölgesel ısıtma ve ergime derecelerinin altında bir sıcaklıkta kaynak yapıldığ ı için farklı metallerin kaynağ ını yapmak mümkündür (Gürleyik, 1989; Yılmaz, 1993).
- Sürtünme kaynağında kaynaklanan bölgenin dayanımı, birleşt irilen malzemelerin dayanımına denk, bazı durumlarda da yüksek olabilmektedir. Sürtünme kaynağ ı bir katı hal kaynak yöntemi olduğ u için kaynak bölgesi cüruf v.s. iç ermez (Gürleyik, 1989; Yılmaz, 1993).
- Sürtünmenin etkisiyle bütün oksit ve diğ er yabancı maddeler yüzeyden uzaklaşt ırılır (Gürleyik, 1989; Yılmaz, 1993).
- Sürtünme sonucunda meydana gelen ısı bölgesel olduğ u için kaynak dikiş inin her iki tarafında ısıdan etkilenen bölge çok dardır ve herhangi bir dönüş üm meydana gelmez (Gürleyik, 1989; Yılmaz, 1993).
- Kaynak süreci iç erindeki yığ ılma kaynak dikiş ini havanın zararlı etkilerinden korur. (Gürleyik, 1989; Yılmaz, 1993).
- Yöntemin pek çok uygulamasında otomatik olarak parça yük lenmesi, boş altılması ve bunun yanında kaynak edilmiş parçaların diğ er operasyonlara transferi sağ lanabilir (Sunay, 2005).
- Sürtünme kaynağ ı sırasında kıvılcım çı kmadığ ı için makineler operatörlerin bulunduğ u alanların yakınına kurulabilir ve alan tasarrufu sağ lanır (Sunay, 2005).

2.6.2 Dezavantajları

Sürtünme kaynağ ına sınırlandırılan en büyük etken parçanın geometrik biçimidir. Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmiş se de bağlantısı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik olması ve çoğ u kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir.

Sürtünme kaynağını sınırlandırılan diğer önemli bir etken ise kesit alanıdır. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığma basıncı değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur. (Gürleyik, 1977).

Bu yöntemin genel olarak dezavantajları ise;

- Genelde kaynatılan parçalar silindirik ve eksenî etrafında dönebilen parçalardan oluşmaktadır.
- Kaynak sonunda birleştirilen ebatlar aksenel kısalmaya uğradıkları için malzeme sarfiyatına sebep olmaktadır.
- Büyük parçalarda kaynak edilebilme zordur. Kesit alanının artması motor gücü basıncı değerlerinin artmasına neden olur.
- Sürtünme kaynağı makine ve donanımlarının maliyeti yüksektir(Ertuğ, 1977; Dede vb., 2002).

2.7 Uygulama Alanları

2.7.1 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Malzemeler

Sürtünme kaynağı ile birleştirilecek gereçlerin ikisinin veya birisinin dairesel kesitli olması gerekmektedir. Aynı özellikte veya farklı özellikte olan gereçler sürtünme kaynağı ile birbirlerine kaynak edilebilmektedir Ancak aynı özellikteki gereçlerin sürtünme kaynağı daha kaliteli olduğundan tercih edilmelidir. Sürtünme kaynağı ile birbirine kaynak yapılabilen malzemeler şunlardır;

- Bakırın, alüminyum ve alaşımlarına,
- Düşük karbonlu çeliklerin, alaşımlı çeliklere, paslanmaz çeliklere, alüminyum ve alaşımlarına,
- Pirincin, alüminyum ve alaşımlarına,
- Bronzun, alüminyum ve alaşımlarına,
- Bakırın, çeliğe,
- Pirincin, çeliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının çeliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının, alüminyum ve alaşımlarına,
- Paslanmaz çeliğin, zirkonyum gibi metallere (Yılmaz, 1993; Dede vb., 2002).

2.7.2 Endüstride Uygulama Alanları

Sürtünme kaynağı yıllardır, hızlı, çevreye zararlı olmayan ve güvenilir bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir. Sürtünme kaynağı, takım üretiminde ve otomotiv sanayiinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağından hafif yapıların elde edilmesinde de yararlanılır. Diğer uygulama alanları; elektroteknik, yapı endüstrisi ve tesisat yapımıdır.

Sürtünme kaynağı öncelikle kütle ve seri imalatta aynı veya farklı malzemelerden makine parçalarının birleştirilmesinde uygulanır. Bir çok hallerde bu yöntem küçük parça sayılarında da ekonomik olabilmektedir, özellikle diğer yöntemlerle kaynak yapılmayan veya kötü kaynak edilebilen malzeme kombinasyonları söz konusu ise bu yöntem uygulanır. Halen mevcut olan sürtünme kaynağı makineleriyle 0,6-200 mm çaplı makine parçaları kaynak yapılabilir. Günümüzde çelik borular için maksimum çap 900 mm, kalınlığı da $S = 6$ mm' dir (Dede vb., 2002).

Sürtünme kaynağı günümüzde değişik endüstrilerde uygulama alanı bulmuştur. Sürtünme kaynağının uygulanmasına dair örnekler şu şekilde sıralanabilir;

- **Otomotiv endüstrisi:** Supaplar, kadran milleri, fren milleri, akslar, vites kolları, turbo dondurucular, ön yıkama odaları, şanzıman parçaları, ön ısıtma odaları, boru milleri, taşıyıcı aks boruları gibi.

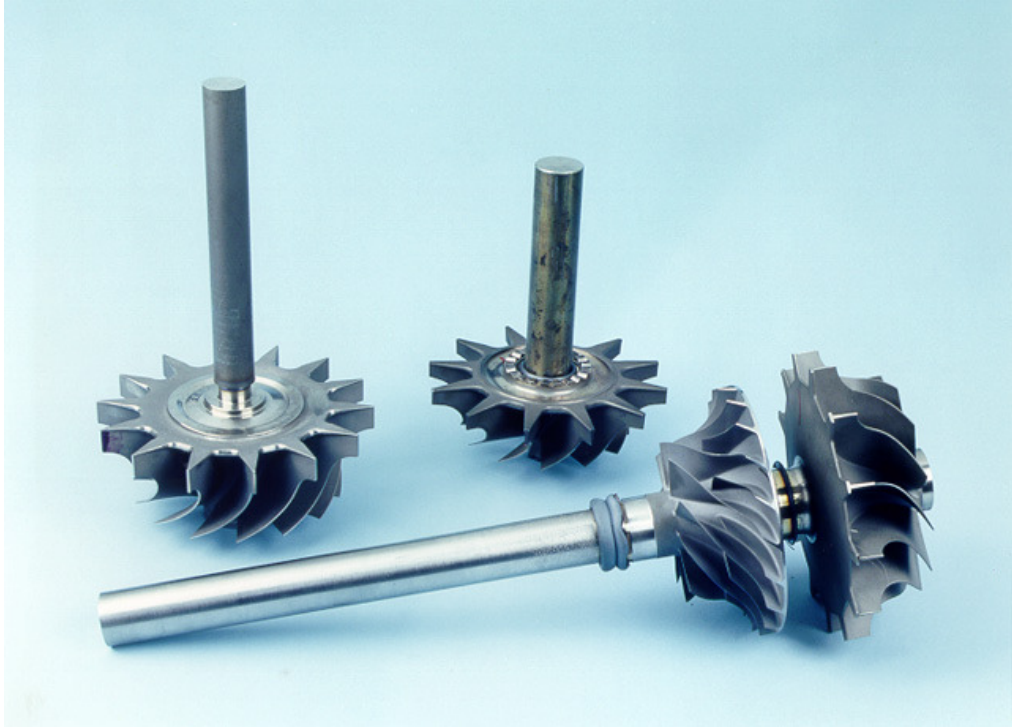


Şekil 2.13 Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş egzoz supapları (www.mtiwelding.com)



Şekil 2.14 Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parça (www.mtiwelding.com)

- **Takım endüstrisi:** Helisel matkaplar, freze çakıları, raybalar, çelik kalemler, delik zımbaları.
- **Havacılık ve uzay endüstrisi:** Rotorlar, türbinler, miller, itme jetleri (memeler), yanma odaları, borular, franşlar, fittingler.



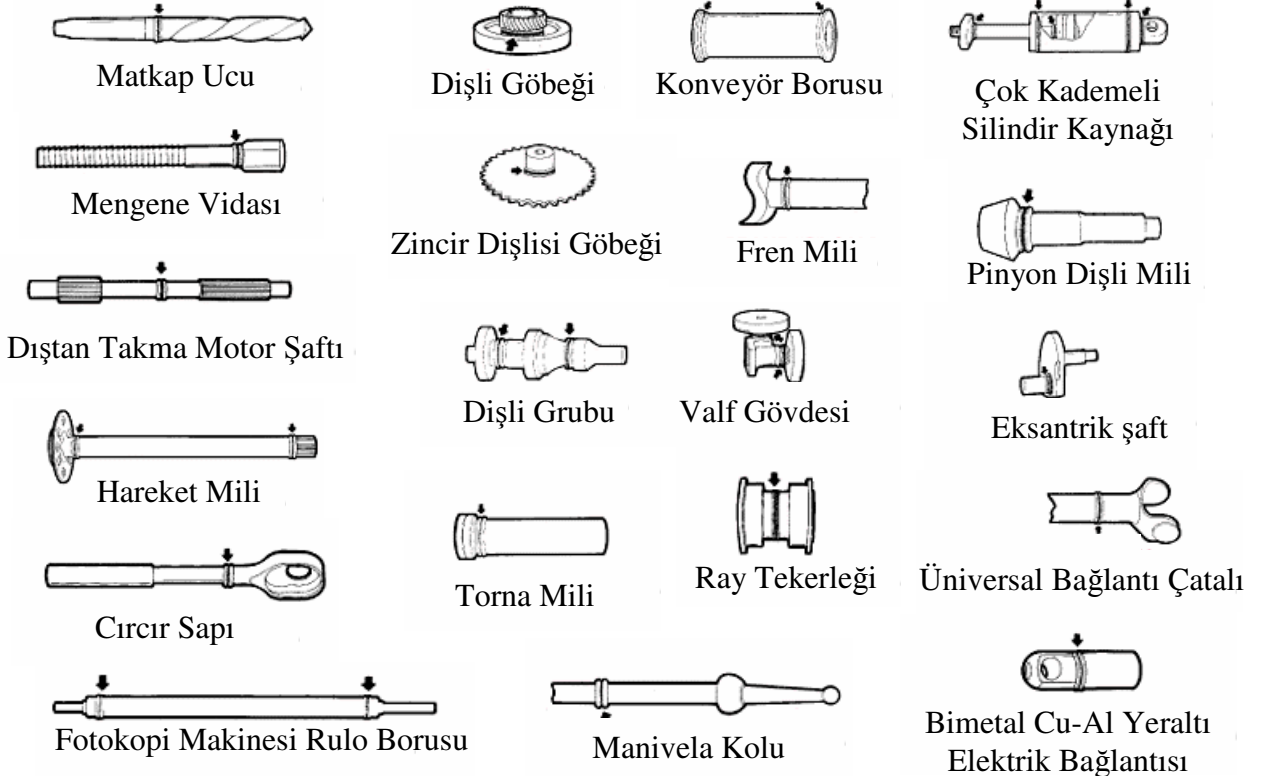
Şekil 2.15 Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parça (www.mtiwelding.com)

- **Makine imalatı ve endüstrisi:** Miller, borular, flanşlar, fittingler, dişli çarklar, hidrolik silindirler, piston kolları, iğler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, valflar, matkap uçları.



Şekil 2.16 Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş dizel motor pistonu (www.mtiwelding.com)

- **Elektronik ve elektroteknik:** Gaz analizleri alıcı kameralar, kromatografiler için ayırma sütunları, röntgen cihaz tüpleri için döner anod miller, sürekli lehim uçları, devre kontaktları, geçiş parçaları (Anık vb., 1982; Dede vb., 2002).



Çizelge 2.4 Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parçalara örnekler (<http://www.teamafw.com>)

2.8 Sürtünme Kaynağının Ülkemizdeki Durumu

Ülkemizde de sürtünme kaynağı endüstride geniş uygulama alanı bulmuştur. Bunlar arasında İzmir’de Ege Endüstri A.Ş., İstanbul’ da Supsan A.Ş. ve Konya’ da Supar A.Ş. sürtünme kaynağını, büyük miktarlardaki üretimler için ülkemizde kullanan işletmelerdir.

		TÜRKİYEDE SÜRTÜNME KAYNAĞINI KULLANAN İŞLETMELER		
		EGE ENDÜSTRİ A.Ş.	SUPSAN A.Ş.	SUPAR A.Ş.
Sürtünme kaynağıyla birleştirilen malzemeler (isim veya DIN numaraları)		5035 1035	X45CrSi93 NiCr20TiAl X55CrMnNiN208 X33CrNiMnN238 X53CrMnNiN214 X53CrMnNiNbN219 X50CrMnNiNbN219	X45CrSi93 X53CrMnNiN219
İmalatta kullanılan sürtünme kaynak makineleri	Adet	2	3	2
	Cinsi (marka)	Thompson	Blacks, Gatwick, Kuka	Kuka, Gatwick
	Tipi	Klasik	Hidrolik	PLC Kontrollü, Hidrolik
Sürtünme kaynağıyla imal edilen parça isimlerinden örnekler		Diferansiyel kovanı, İlave dingil	Motor supapları	Motor supapları
Üretim hacmi (Adet, Kg....)	Günlük	78/1 vardiya 168/2 vardiya 258/3 vardiya Kovan üretimi	-	6500 Adet
	Yıllık	Yaklaşık 130.000 Adet kovan ve ilave dingil üretimi	3.000.000 adet	2.000.000 adet
Yaklaşık olarak	Yurtiçi / Toplam satışlar oranı	16.7 milyon dolar (oran değil)	-	%55
	Yurtdışı / Toplam satışlar oranı	7.5 milyon dolar (oran değil)	-	%45
Birleştirme sonrası parçalara uygulanan testler (Mekanik, mikroyapı, korozyon, v.s.) ve ısıl işlemler		Her muyluya 80 ton baskı kuvveti uygulanmaktadır.	Mikroyapı kontrolü Eğme testi Kırma testi Gerilim alma	Kırılma testi Eğme testi Ultrasonik muayene Isıl işlem (gerilme giderme)

Çizelge 2.5 Türkiye’de sürtünme kaynağı kullanan işletmeler ve bu işletmelere ait veriler

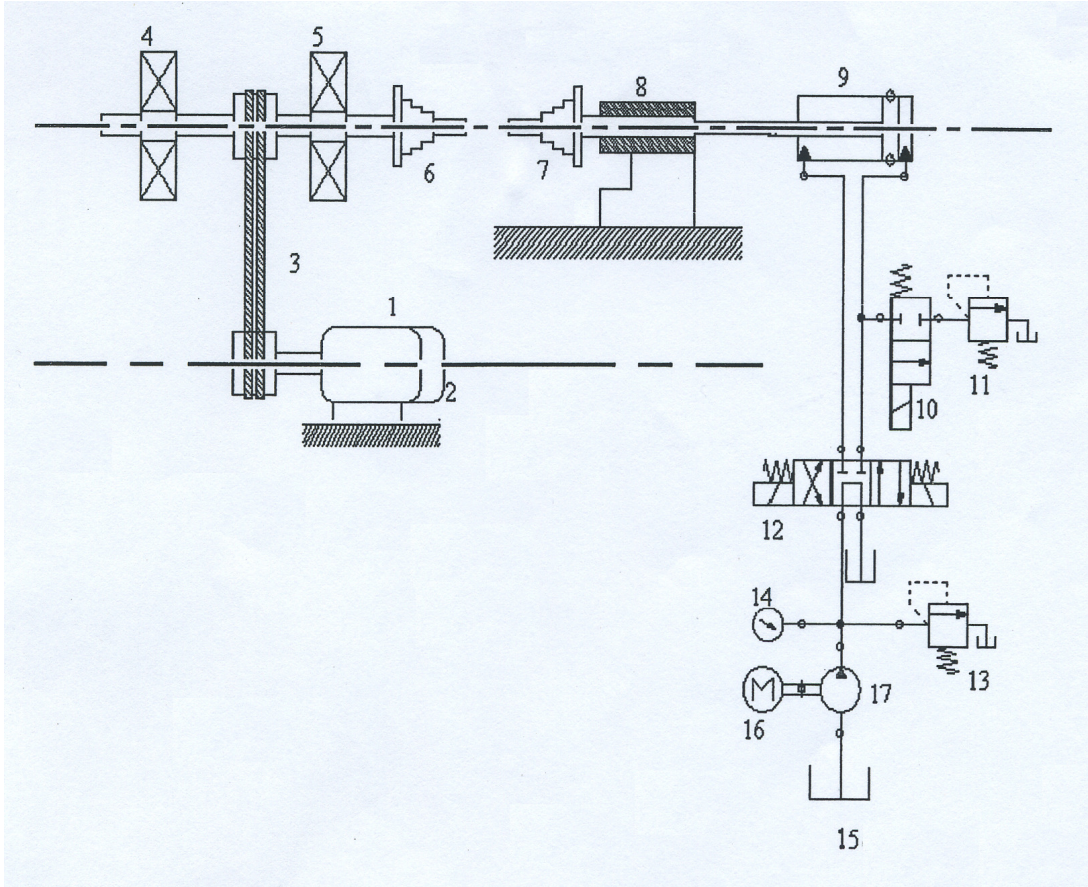
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deneyde Kullanılan Sürtünme Kaynağı Tezgahının Özellikleri

Deneyel çalışmalarda Boğaziçi Üniversitesi Malzeme Bilimi ve İmalat Teknolojileri Laboratuvarı'nda bulunan sürtünme kaynağı tezgahı kullanılmıştır. Mevcut tezgah tam kapasiteli bir sürtünme kaynağı tezgahı olmayıp, bir yüksek lisans öğrencisinin tez çalışması içerisinde tasarlanmış ve imal edilmiş olan deneyel bir sürtünme kaynağı tezgahıdır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi sürekli tahrikli ve volan tahrikli olmak üzere temel iki çeşit sürtünme kaynağı makinesi düzeneği mevcuttur. Deneyde kullanmış olduğumuz bu tezgah bir sürekli tahrikle sürtünme kaynağı tezgahıdır.



Şekil 3.1 Sürtünme kaynağı makinesi



Şekil 3.2 Sürtünme kaynağı tezgahının şemasal gösterimi (Sunay, 2005)

Eleman	Özellikler
1. Elektrik Motoru	7,5 kW, 1500 devir/dk
2. Elektromanyetik Fren Sistemi	
3. Motor Kayışı	
4,5. Yatak	
6. Döner Ayna	
7. Sabit Ayna	
8. Punta (Hidroliğin bulunduğu kısım)	
9. Çift Yönlü Silindir	Dp = 250 bar
10. 2/2 NC Elektrik kontrol Valfi	
11. Basınç Rölevesi Valfi	
12,13. 4/3 Tandem Tip İki Elektrik Kontrol Valfi	
14. Basınç Göstergesi	
15. Atmosferik (Hidrolik) Haznesi	
16. Elektrik Motoru	2,2 kW, 1500 devir/dk
17. Sabit Geri Çekme Pompası	Max. 250 bar

Çizelge 3.1 Sürtünme kaynağı tezgahı elemanlarının listesi (Sunay, 2005)

3.1.1 Sürtünme Kaynağı Tezgahının Çalışma Prensibi

Kontrol devresinde kullanılan gerekli semboller 3.2 numaralı tabloda gösterilmiştir. Bu tablonun yardımıyla, kontrol devresinin temel çalışma prensipleri 3.3 numaralı şekilden kolaylıkla anlaşılabilir. Çalışma b1 tuşuna basarak başlar. VI' nın temasını kapatarak ve ana motorun dönmesine imkan vererek CO kontaktörü devreye sokuluyor. Bundan sonra, b2 tuşuna basılarak ve III' ün teması kesilip C1'i aktif hale getirerek hidrolik ünitesi harekete geçirilir. Bu durumda hidrolik ünitesi çalışır durumdadır fakat pistonu hareket ettiremez. B3 tuşuna basılınca Z1 ve Z2 zamanlar aynı anda çalışmaya başlar. Z1 zaman rölesi ana motoru, 2/2 selenoid valfi ve 4/3 hareket valfini harekete geçirir. Bu süre içinde, Z1 sürtünme aşaması için bekler ve geriye doğru sayar. Sürtünme zamanı dolduğunda, tüm açık kontakları kapatır ve Z1 ile doğrudan bağlantılı olan tüm kapalı kontakları açar. Bu sayede elektrik motorunu durdurmak için I' in bağlantısını keser ve V' in bağlantısını açıp elektromanyetik frenleri çalıştırır. Z1 zamanının sonunda açık olan devreyi kapatarak sadece motoru değil, aynı zamanda 2/2 selenoidini de etkiler. Bu sayede sürtünme zamanı ve sürtünme basıncı doğru şekilde kontrol edilmiş olur. Ama yağma zamanı yada kaynak zamanı başlatılır ve Z2 halen geri saymaya devam ediyordur. Yağma zamanının sonunda, Z2 kapalı kontak IV' ü açar ve konumunu A' dan B' ye getirerek 4/3'ü harekete geçirir. Bu sayede kaynak süreci tamamlanmış olur. Sonunda b4'e basılarak 4/3 hareket valfinin konumu B' den C' ye getirilir ve piston geri çekilir. Burada önemli olan nokta devrede Z1'in sürtünme zamanından; Z2'nin ise hem sürtünme hem de yağma zamanında sorumlu olmasıdır (Sunay, 2005).

C0	Dönme kontaktörü
C1	Hidrolik kontaktörü
C2	Destek Kontaktörü

b0	Acil durum durdurma
b1	Donme başlatma
b2	Hidrolik başlatma
b3	Kaynak başlatma
b4	Bitirme

Y1	2/2 selenoid valfi bağlantısı
Y2	4/3 piston ileri hareket valfi bağlantısı
Y3	4/3 piston geri hareket valfi bağlantısı

Çizelge 3.2 Sembollerin açıklamaları (Sunay, 2005)

3.1.2 Sürtünme Kaynağı Tezgahında Gerçekleştirilen İyileştirmeler

3.1.2.1 Piston Taşıyıcı Ayağının Değiştirilmesi

Mevcut tezgah üzerinde yapılan çalışmaların yaklaşık olarak %25 oranında, kaynak bağlantılarında aksenal kaçıklık meydana gelmektedir. Bu oran uygulanan kaynak parametrelerine bağlı olarak daha düşük olabildiği gibi oldukça yüksek oranlara da çıkabilmektedir. Tezgah üzerinde gerçekleştirilmiş olan bir kaynak işleminde karşılaşılan aksenal kaçıklık, aşağıdaki resimde görülmektedir.



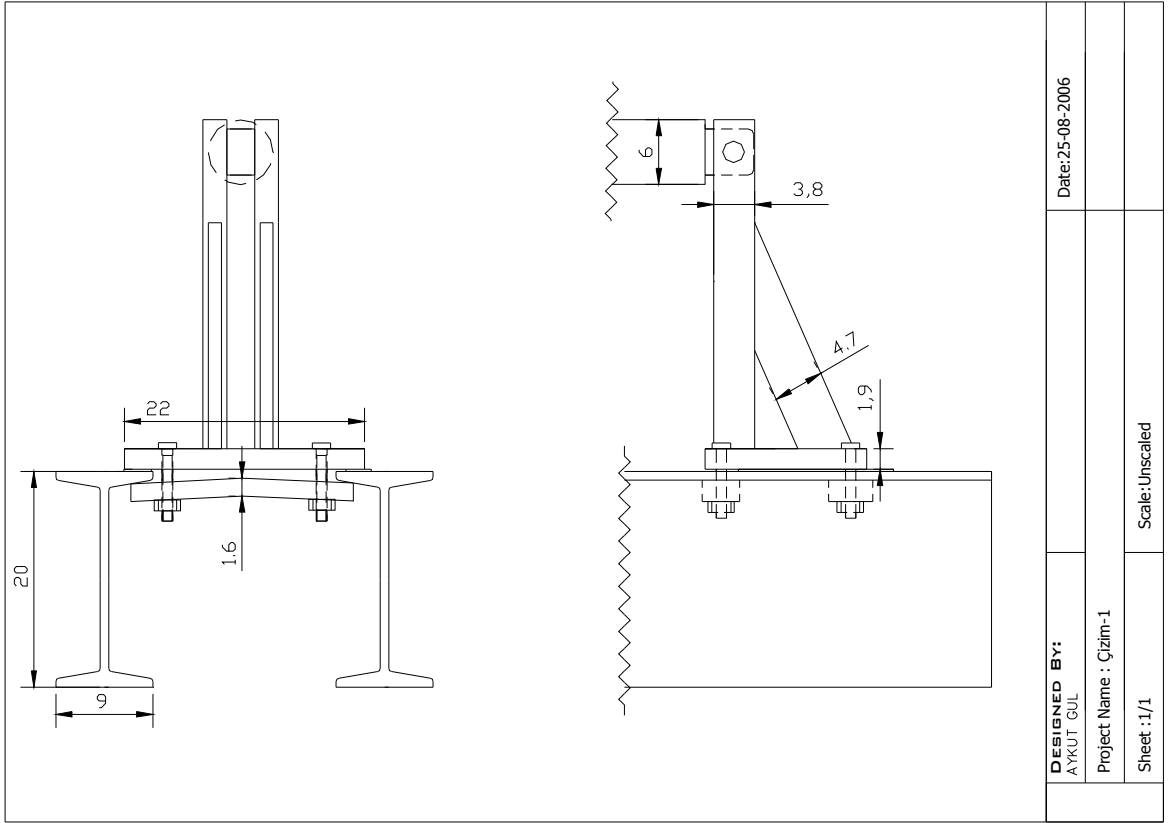
Şekil 3.4 Sürtünme kaynağı tezgahında karşılaşılan aksenal kaçıklık problemi

Bu sorunun kaynağı olan piston taşıyıcı ayağı sökülerek yerine konstrüksiyonu güçlendirilmiş daha rijit bir ayak takılmıştır.

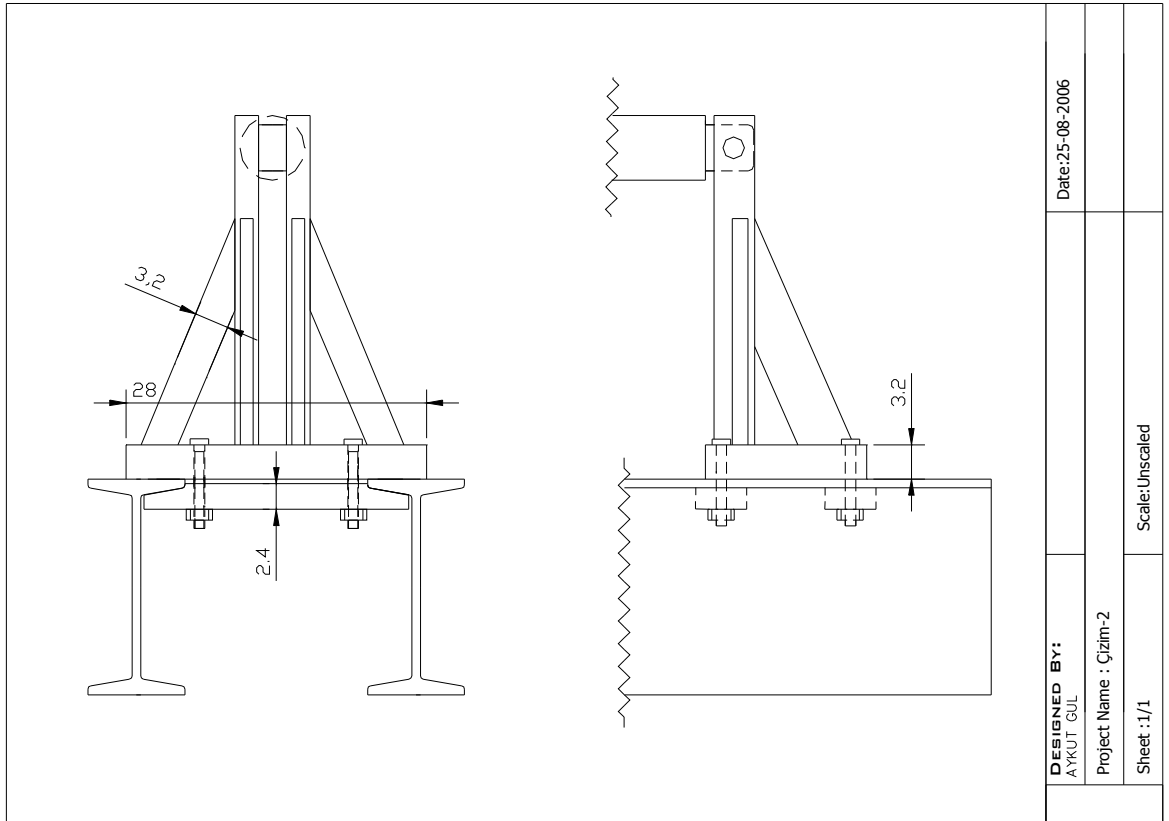
Taşıyıcı ayağın konstrüksiyonunda gözlenen ve düzeltilen eksiklikler:

- Konstrüksiyonda sağa ve sola esnemeleri önlemek için yapılması gereken destekler atılmıştır.
- Taşıyıcı ayağın profillerin üzerine oturan kısmı, mevcut ölçüsünden daha uzun ve daha kalın kesitli olarak yapılmıştır.
- Taşıyıcı ayağın profillere bağlanması için kullanılan alt parça daha kalın yapılmış ve kenarları profile tam olarak oturacak şekilde açılı işlenmiştir.

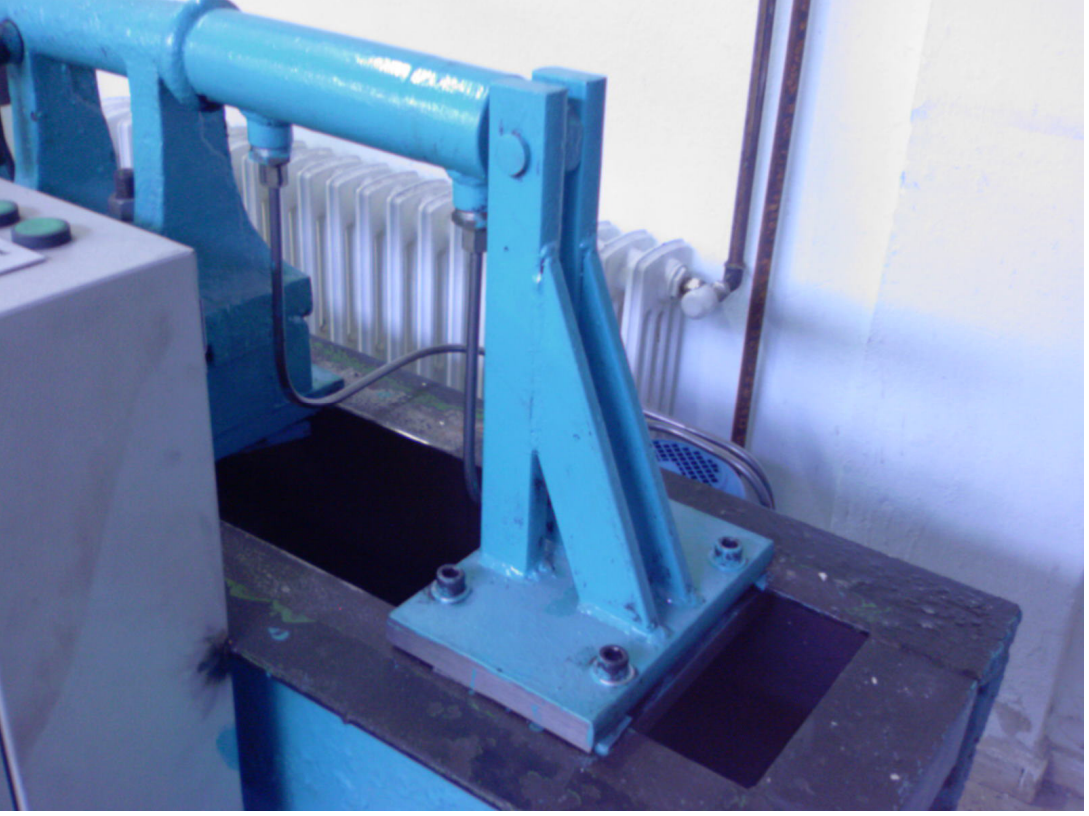
Taşıyıcı ayağın sökülen ve yeni takılan parçalarının fotoğraf ve teknik resimleri aşağıda görülmektedir.



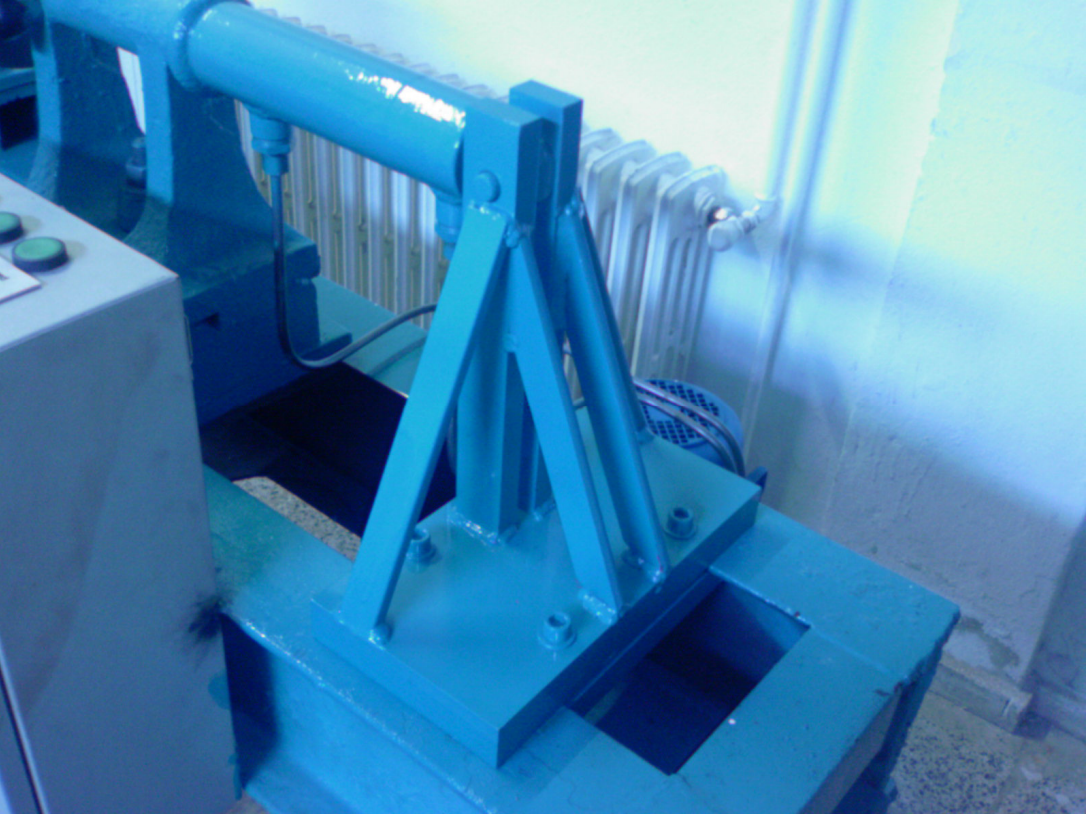
Şekil 3.5 Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının ilk halinin teknik resmi



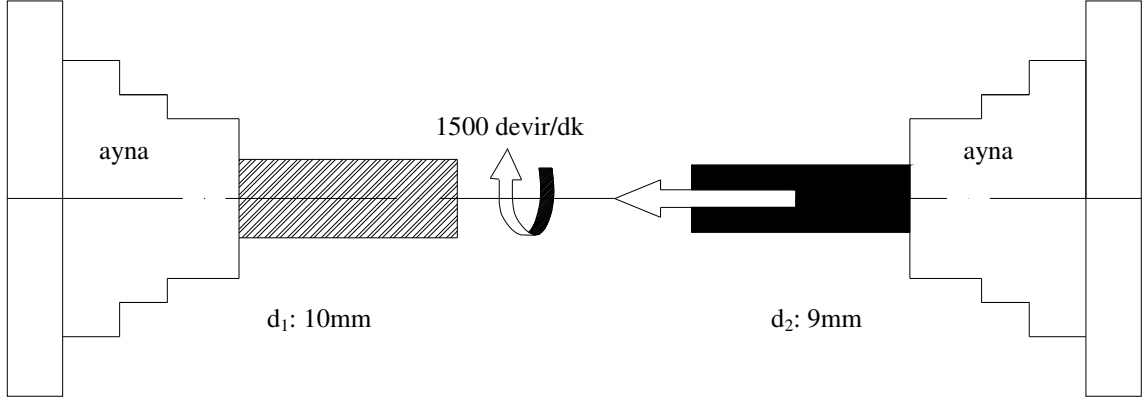
Şekil 3.6 Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının son halinin teknik resmi



Şekil 3.7 Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının ilk halinin fotoğrafı



Şekil 3.8 Sürtünme kaynağı tezgahında piston taşıyıcı ayağının son halinin fotoğrafı



Şekil 3.10 Deneyin şematik görünümü

3.3 Deney Parametreleri

Çalışmada tezgah koşullarının el verdiği imkanlar dahilinde dönme hızı sabit kalmak kaydı ile sürtünme basıncı (P_1), yığma basıncı (P_2), sürtünme süresi (t_1) ve yığma süresi (t_2) değiştirilerek, 4 parametre grubu için testler yapılmıştır.

Sembol	Sürtünme parametreleri				
	Dönme hızı (devir/dk)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (s)	Yığma Süresi (s)
A	1500	50	62	10,5	16
B	1500	56	68	8,5	14
C	1500	62	74	7,5	12
D	1500	68	82	5,5	10

Çizelge 3.5 Sürtünme kaynağında kullanılan parametreler



Şekil 3.11 A parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi



Şekil 3.12 B parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi



Şekil 3.13 C parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi



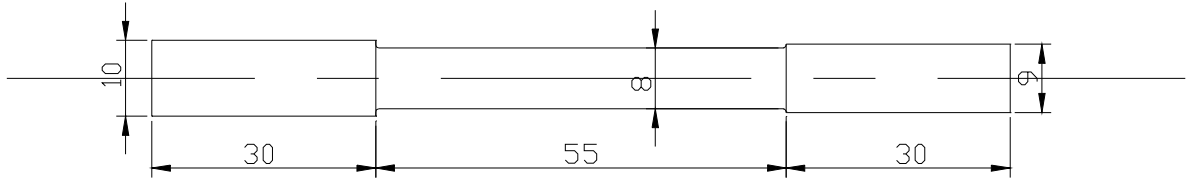
Şekil 3.14 D parametre grubu ile elde edilen sürtünme kaynağı numunesi

3.4 Uygulanan Mekanik Testler

3.4.1 Çekme Testi

Deney sonrası elde edilen parçalar tornada Şekil 3.15' te görüldüğü gibi işlendikten sonra parçalara çekme deneyleri uygulanmıştır ve maksimum yükler ölçülmüştür. Gerilmeler, ölçülen maksimum yüklerin birleşme bölgesindeki kesite bölünmesi ile hesaplanmıştır (Akata, H. E. vb., 2001).

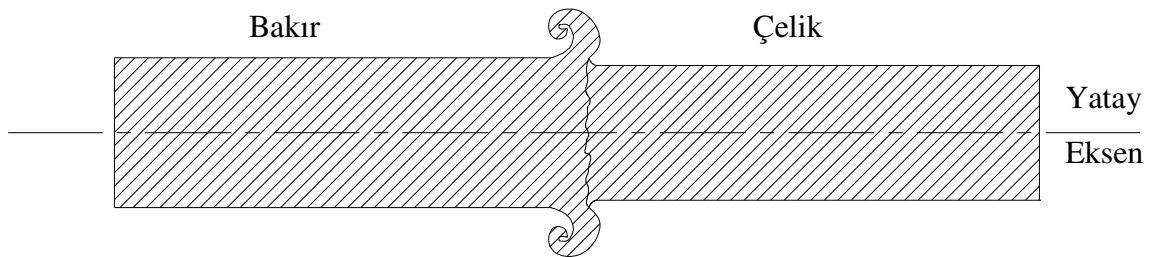
Çekme deneyleri 3 ton kapasiteli 0,001 hassasiyetindeki Tesometric marka çekme deneyi tezgahında yapılmıştır.



Şekil 3.15 Çekme deneyi numunesinin teknik özellikleri

3.4.2 Mikrosertlik Testi

Deneyle 10-1000gr yükleme kapasiteli 400 kat büyütme yapabilen ve elmas granit uç kullanılan deney düzeneğinde yapılmıştır. Deneyde 200gr' lık yük 5 saniye süre ile uygulanmış ve elde edilen batma izinin ölçüsü mikroskoptan okunduktan sonra tablodan elde edilen izin ölçüsüne denk gelen HV (vickers) cinsinden sertliği okunmuştur. Sertlik ölçümleri numunenin yatay ekseninde yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Mikrosertlik ölçümünün yapıldığı yatay eksen

3.4.3 Makroskopik İnceleme

Kaynak işlemi sonrası gözle inceleme yapılmış ve mikrosertlik testi için kesilmiş ve bakalit içine alınıp parlatılmış olan numunelerin fotoğrafları çekilmiştir.

3.4.4 Kaynak Bölgesinde Sıcaklık Ölçümü

Çelik numunelerin arka taraflarından, yatay ekseninde 4 mm çapında matkap ucu ile 57 mm' lik kanal açılmıştır. Böylece kaynak bölgesinin 3 mm yakınına ulaşılmıştır (Şekil 3.9). Açılmış olan kanal içine yerleştirilen termokupl yardımı ile kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesinin 3mm uzağındaki sıcaklık değerleri ölçülmüş ve böylece kaynak parametrelerinin kaynak bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Deney sırasında çevre koşulları, numune bileşim sorunları, tezgahtan kaynaklanabilecek sorunlar v.b. nedenlerden dolayı meydana gelmiş olabilecek olan kusurların deney sonuçları üzerindeki olumsuz etkisini minimuma indirmek için, her parametre için 4 adet numune hazırlanmış ve bu numunelere çekme testi uygulanarak malzemelerin çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen çekme dayanımı değerlerinin her parametre grubu için ortalaması alınarak ortalama çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır.

Numune parçaların kaynak işleminden önceki toplam uzunluğu $L_1=120\text{mm}$ olup kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesinde meydana gelen deformasyon neticesinde boyda bir kısalma meydana gelmiştir.

Parça No	Kaynak sonrasında ölçülen boy L_2 (mm)
A1	110
A2	117
A3	114
A4	112
B1	113
B2	112
B3	109
B4	111
C1	115
C2	115
C3	113
C4	117
D1	114
D2	113
D3	108
D4	112

Çizelge 4.1 Deney sonrasında birleştirilmiş olan parçaların uzunlukları

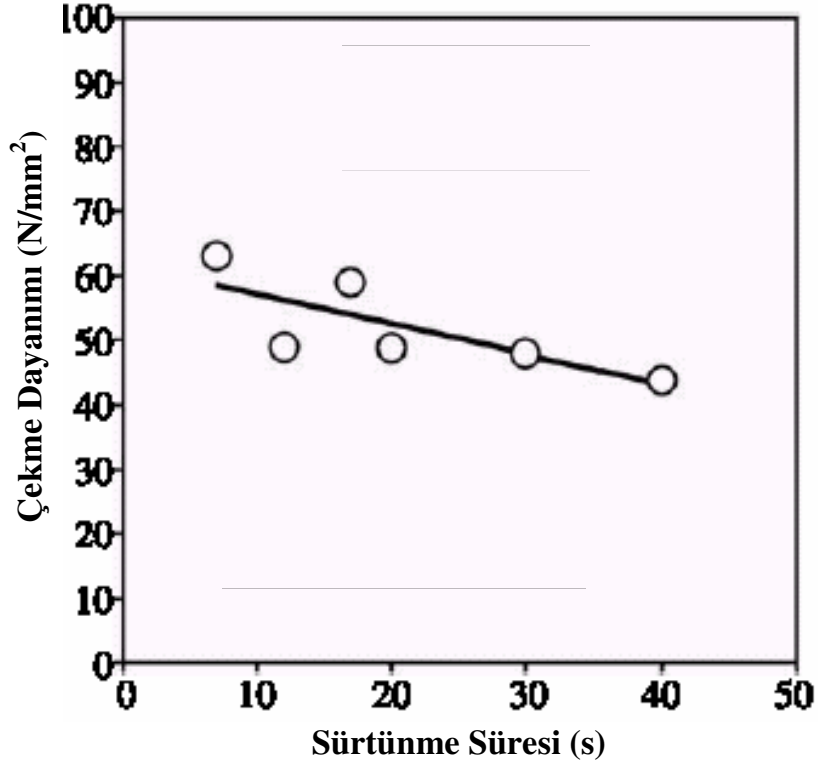
Parça No	Çekme Dayanımı N/mm²
A1	230,73
A2	169,16
A3	209,87
A4	201,63
B1	277,11
B2	230,15
B3	297,08
B4	279,91
C1	344,35
C2	300,01
C3	273,58
C4	256,82
D1	309,89
D2	314,19
D3	296,33
D4	318,73

Çizelge 4.2 Çekme deneyi sonuçları

Parça No	Ort. Çekme Dayanımı (N/mm²)
A	202,84
B	271,06
C	293,69
D	309,78

Çizelge 4.3 Her parametre için ortalama çekme deneyi sonuçları

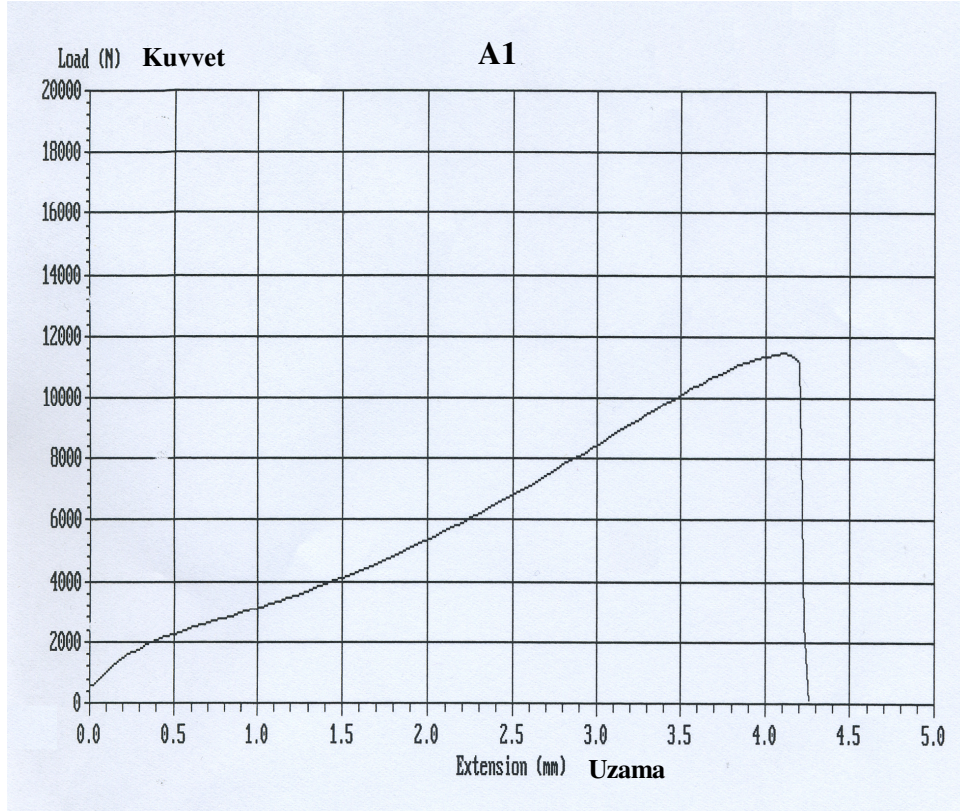
Yılmaz. vb. (2000) tarafından yapılan çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır; Mikroyapı üzerinde etkili parametreler, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığılma basıncı ve yığılma süresidir. Çok uzun sürtünme sürelerinde gevrek intermetalik bileşen içeren difüzyon zonu oluşmaktadır. Çok kısa sürtünme süreleri ile düşük sürtünme ve yığılma basınçlarında ise bağlantı gerçekleşmemektedir. Bu parametrelerde bağlantı bölgesinde por ve lunke oluşumları da görülebilir. Yüksek mukavemet eldesi için kaynak parametrelerinden sürtünme süresi olabildiğince düşük, sürtünme ve yığılma basınçları ise olabildiğince yüksek seçilmelidir. Kısa sürelerde çok küçük bir difüzyon bölgesi oluşur ve bu bölge yığılma basıncının uygulandığı süreçte bağlantı ara yüzeyinden basınç etkisi ile uzaklaştırılır.



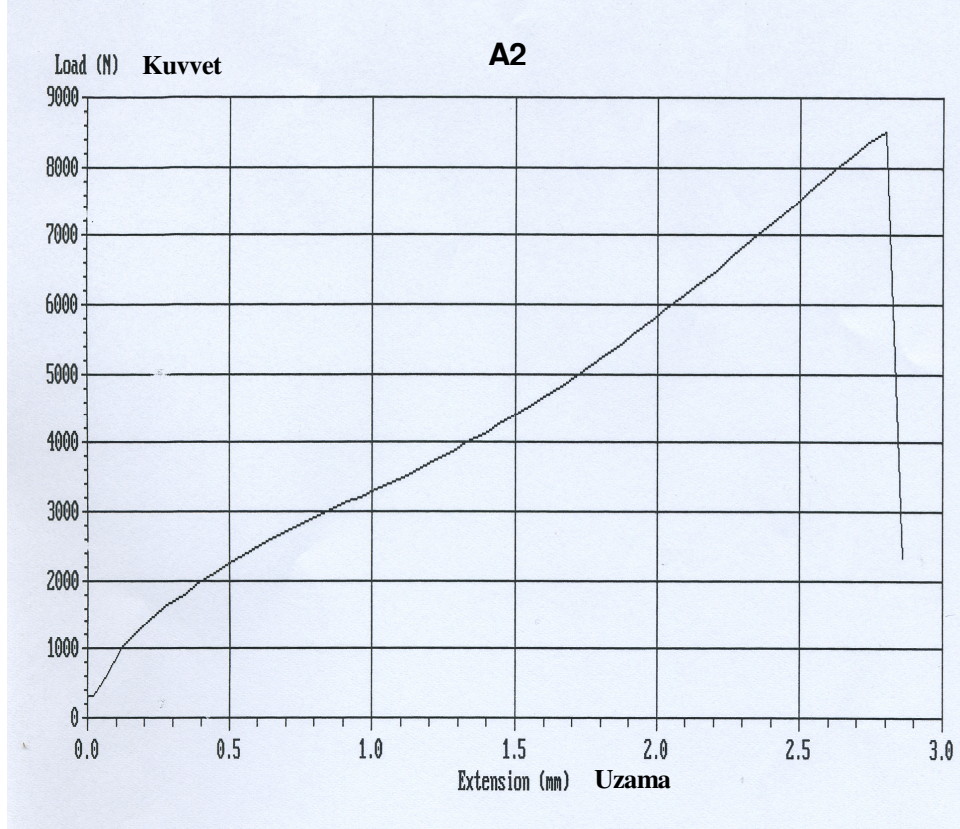
Şekil 4.1 Alüminyum ve Çelik arasındaki sürtünme kaynağı bağlantısının çekme dayanımının sürtünme zamanı ile değişimi (Yılmaz vb., 2003)

Yılmaz vd. (2003) Al-Fe malzeme çifti ile yapmış oldukları çalışmada sürtünme basıncı sabit olduğunda sürtünme süresinin çekme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişler ve sürtünme zamanı arttıkça çekme dayanımının düştüğünü görmüşlerdir (Şekil 4.1).

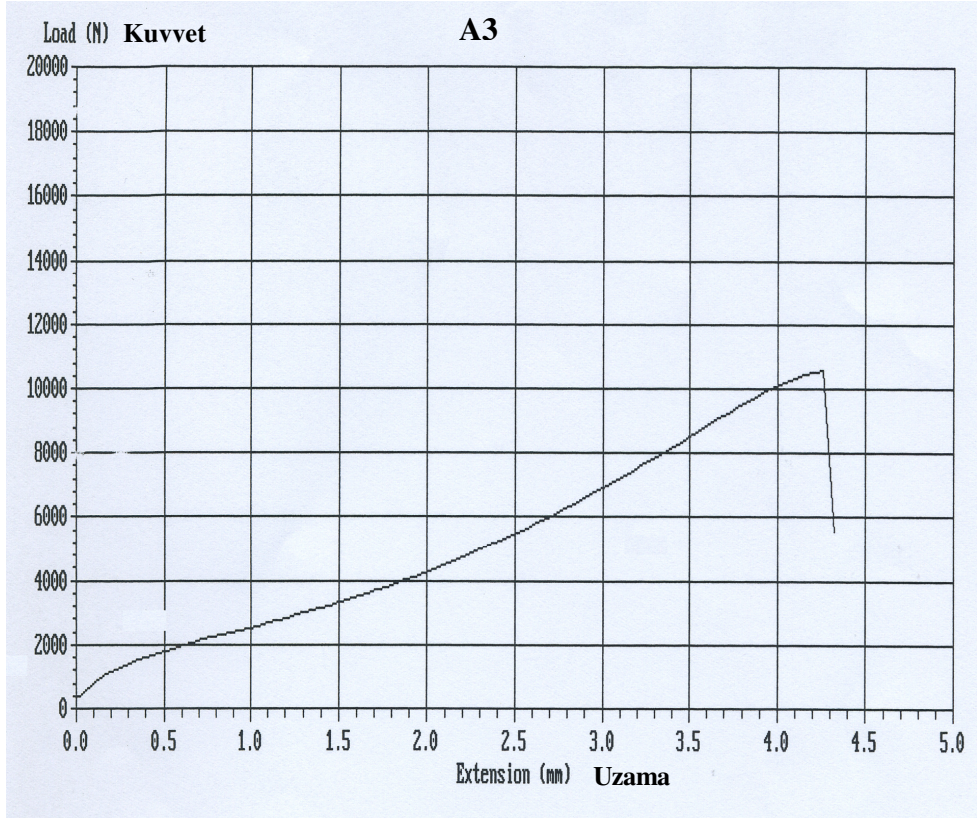
Bu çalışmada yapmış olduğumuz deneyler sonucunda elde ettiğimiz değerler daha önce yapılmış olan ve yukarıda bahsedilen çalışmaları destekler niteliktedir. Çalışmamızda sürtünme süresi ve sürtünme basıncı değiştirilerek gözle kontrolde aynı yığılma görüntüsüne sahip olan kaynak bağlantıları yapılmış ve yapılan testlerle bu bağlantıların çekme dayanımı değerleri ölçülmüştür (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3). Elde edilen çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, sürtünme basıncı azaltılıp sürtünme zamanı arttırıldıkça çekme dayanımının düştüğü, diğer bir deyişle, düşük sürtünme süresi ve yüksek sürtünme basıncı ile yapılan numunenin çekme dayanımının, yüksek sürtünme süresi ve düşük sürtünme basıncı ile yapılan numuneden daha fazla olduğu görülmüştür.



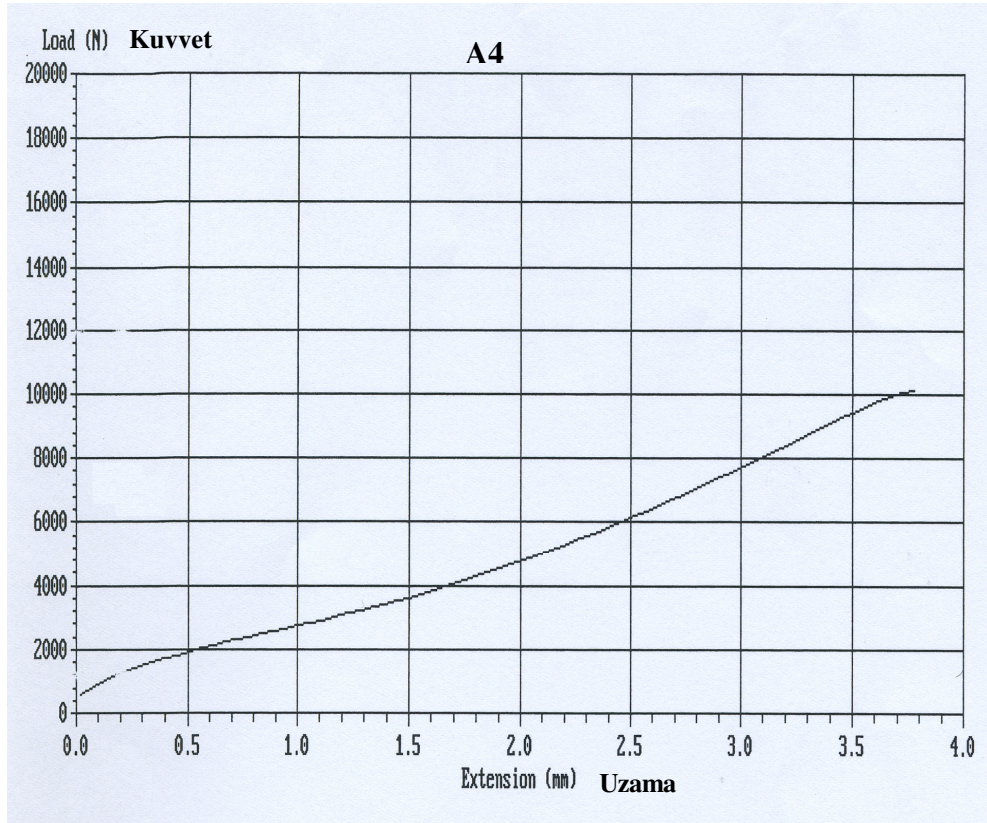
Şekil 4.2 A1 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi



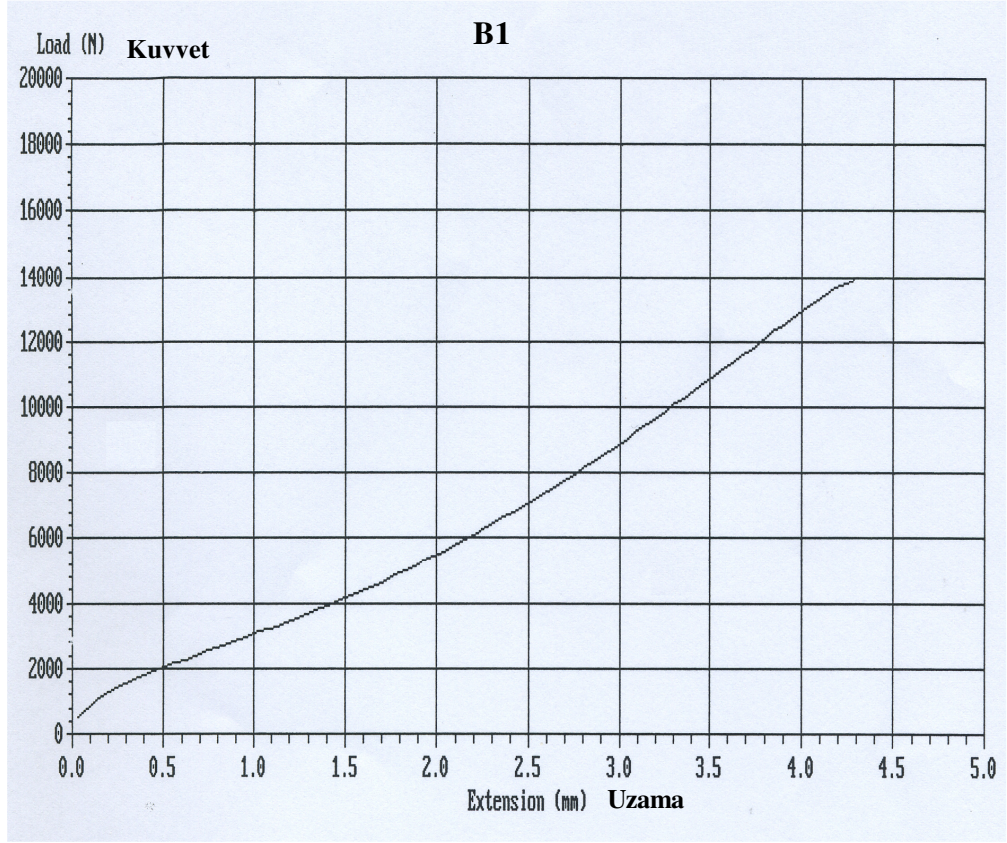
Şekil 4.3 A2 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi



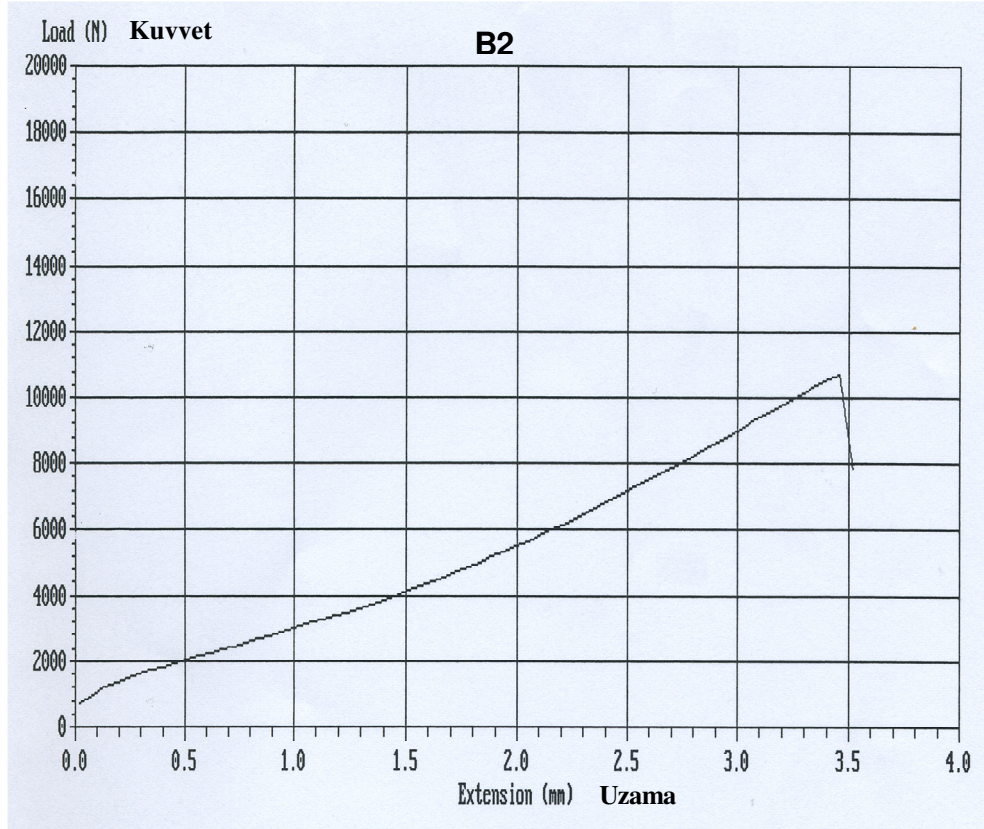
Şekil 4.4 A3 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi



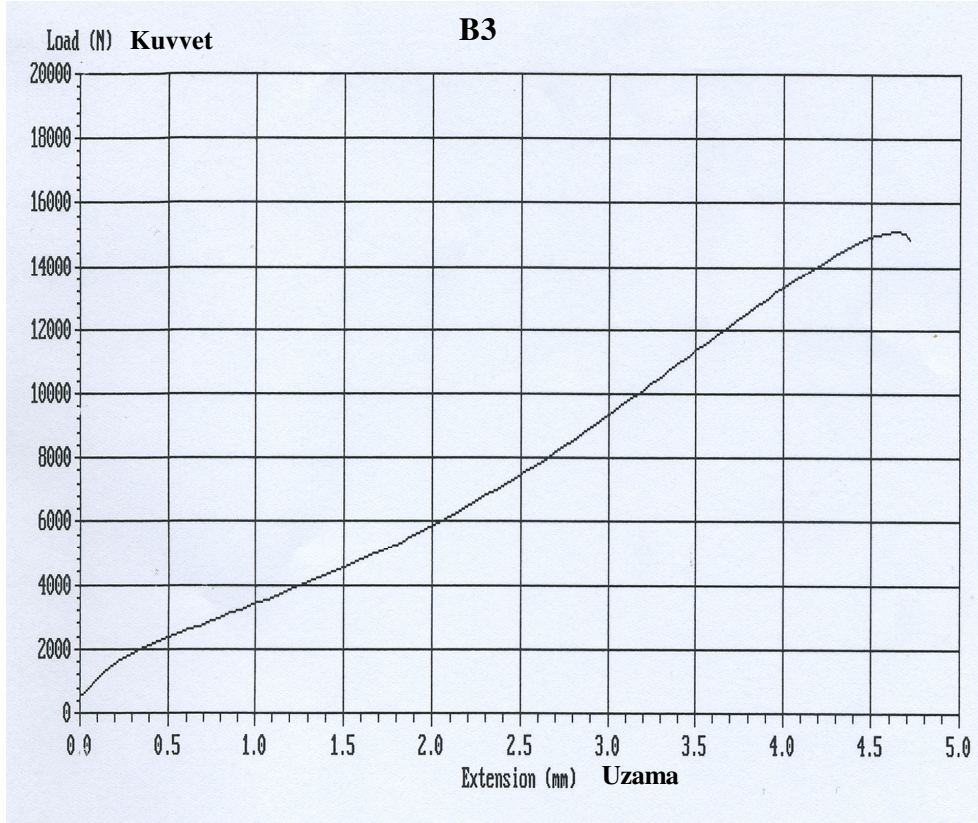
Şekil 4.5 A4 numunesinin ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s) çekme dayanımı eğrisi



Şekil 4.6 B1 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi



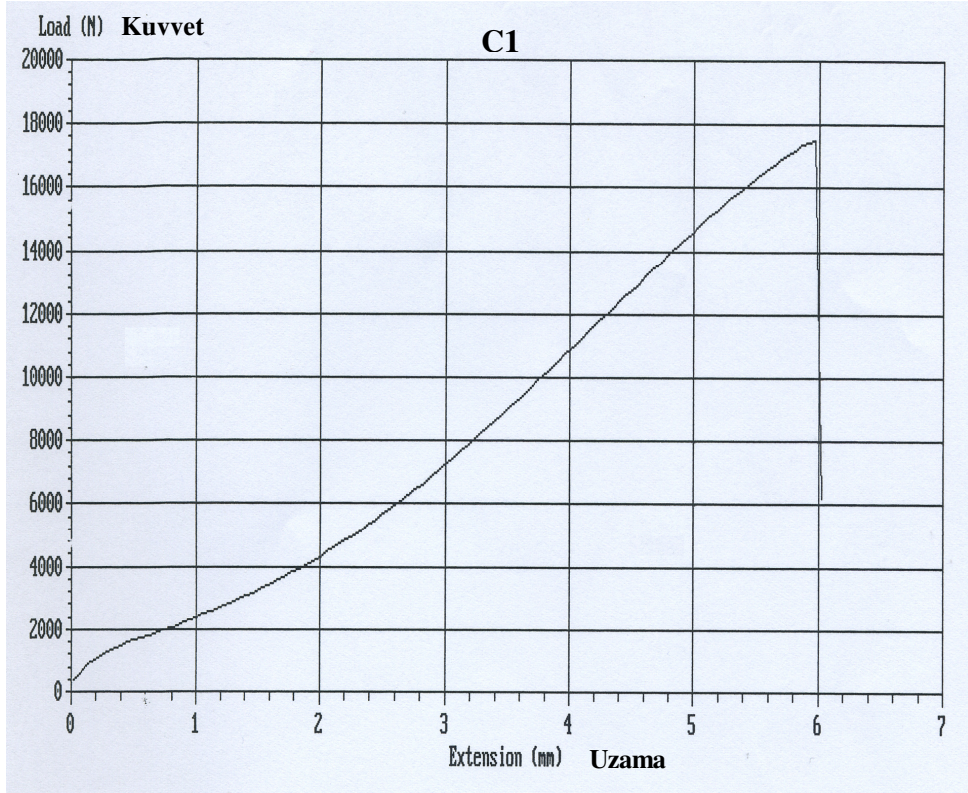
Şekil 4.7 B2 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi



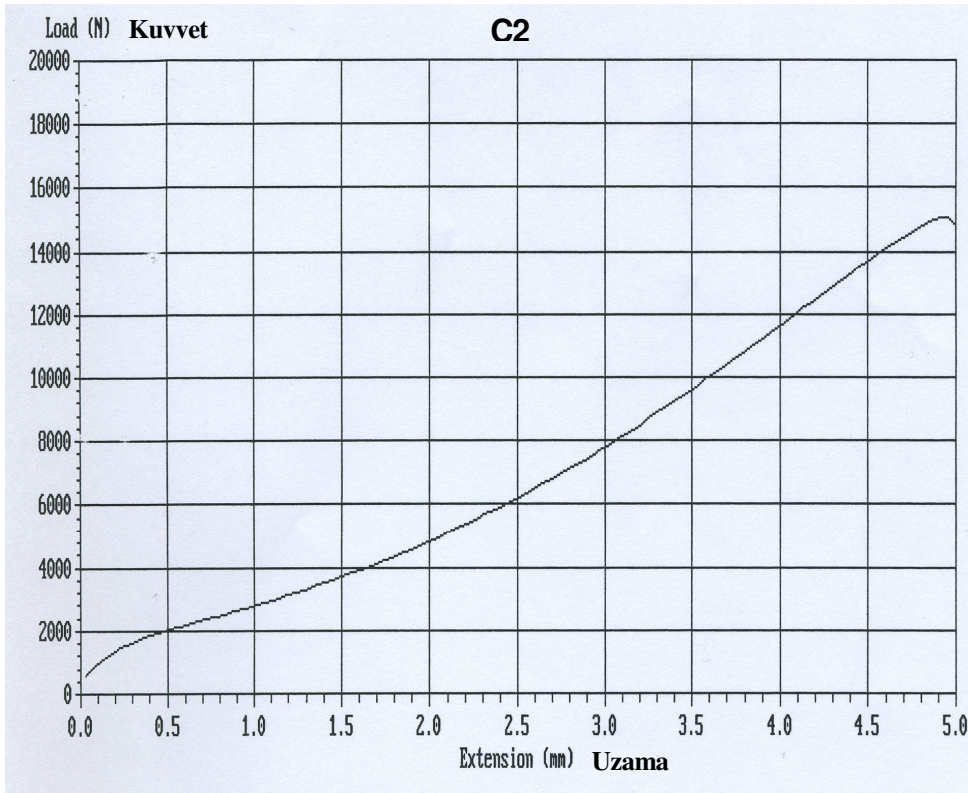
Şekil 4.8 B3 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi



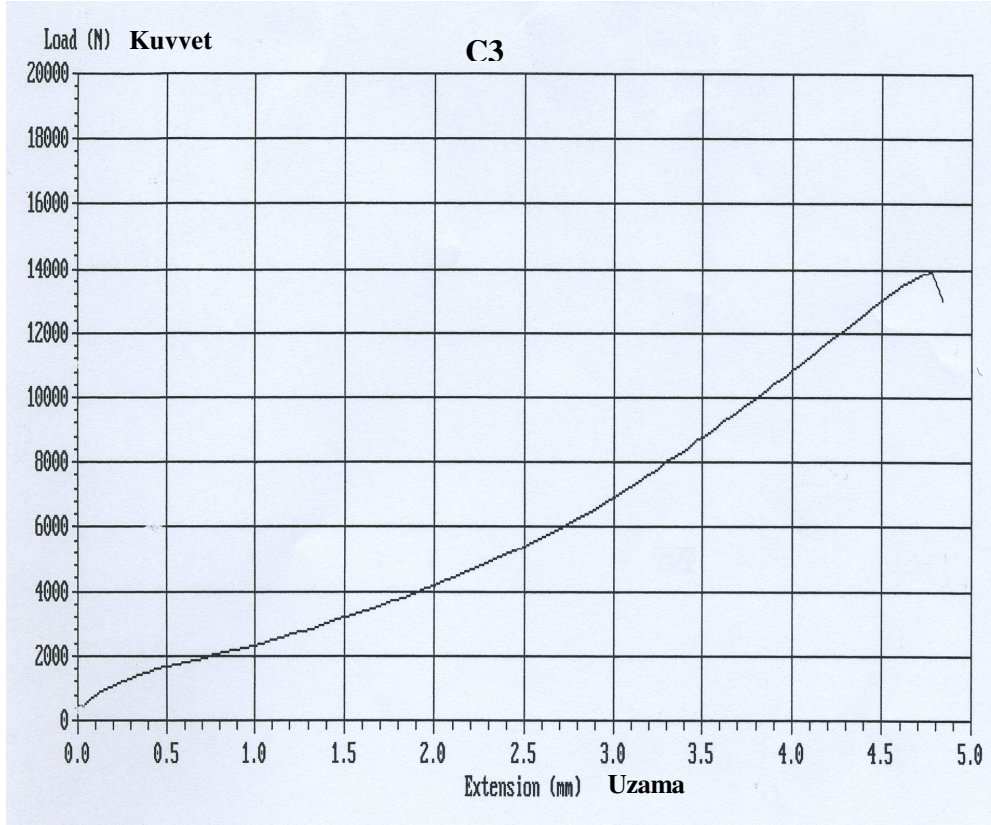
Şekil 4.9 B4 numunesinin ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s) çekme dayanımı eğrisi



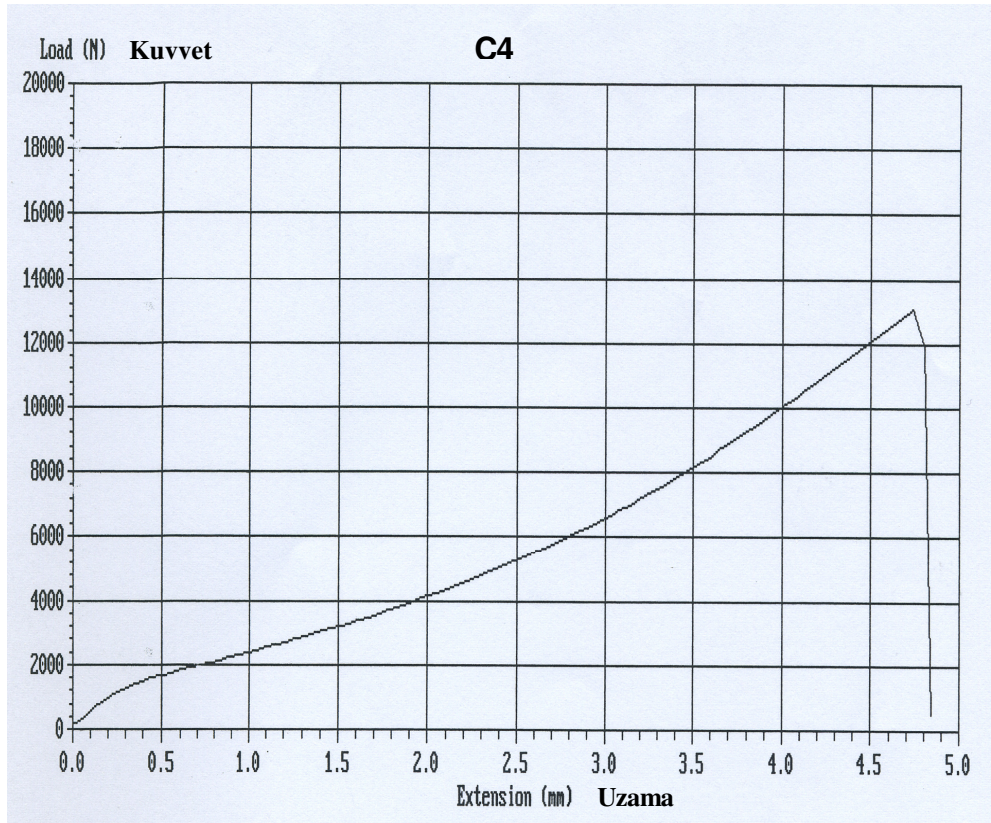
Şekil 4.10 C1 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi



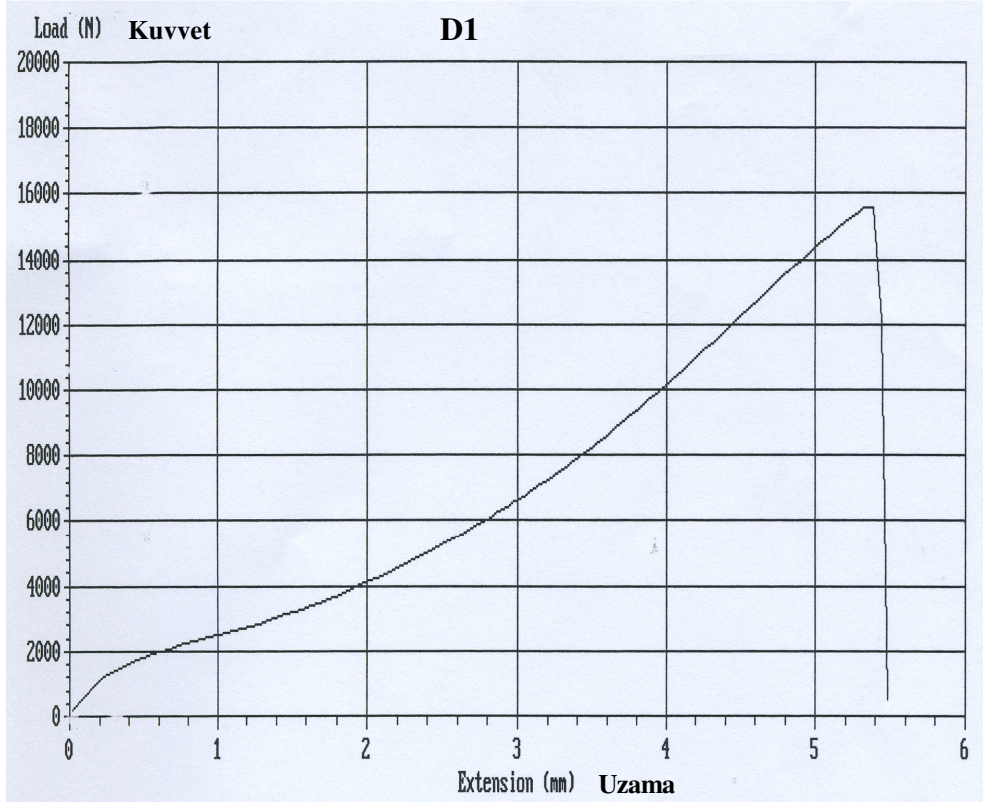
Şekil 4.11 C2 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi



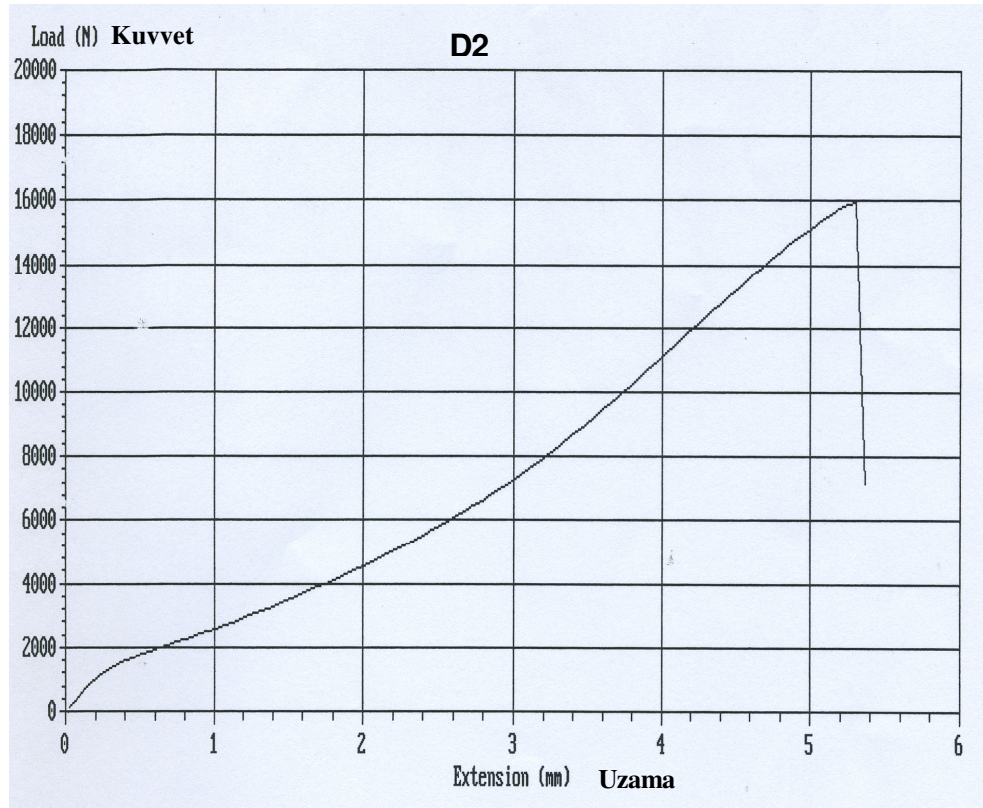
Şekil 4.12 C3 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi



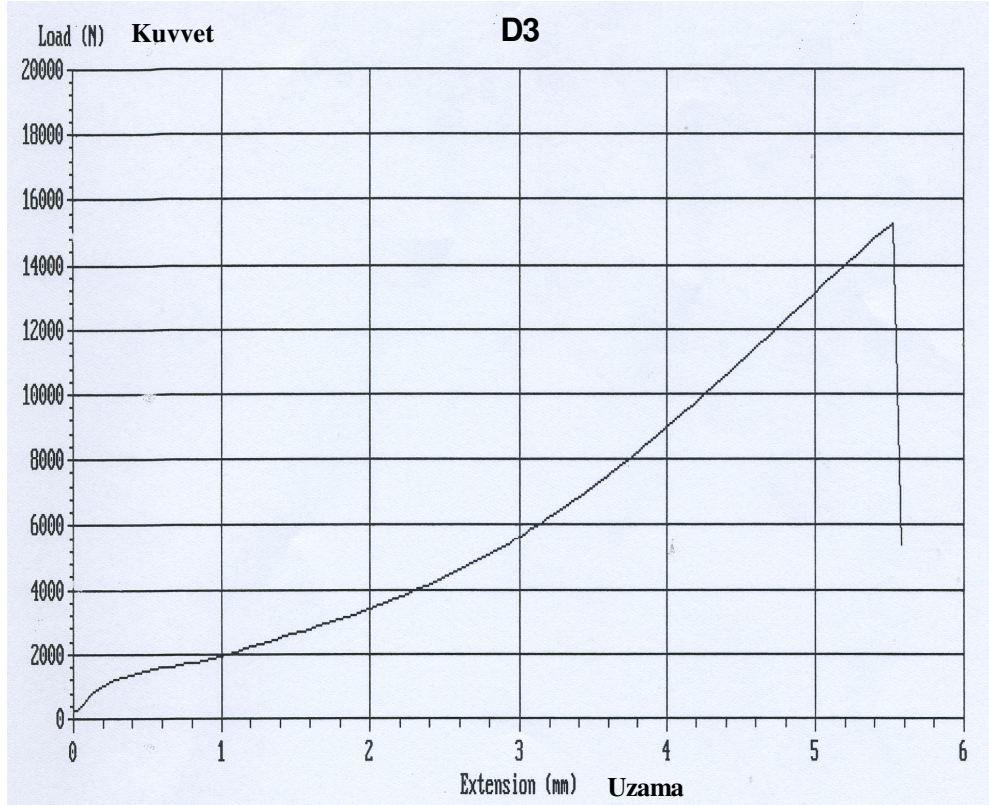
Şekil 4.13 C4 numunesinin ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s) çekme dayanımı eğrisi



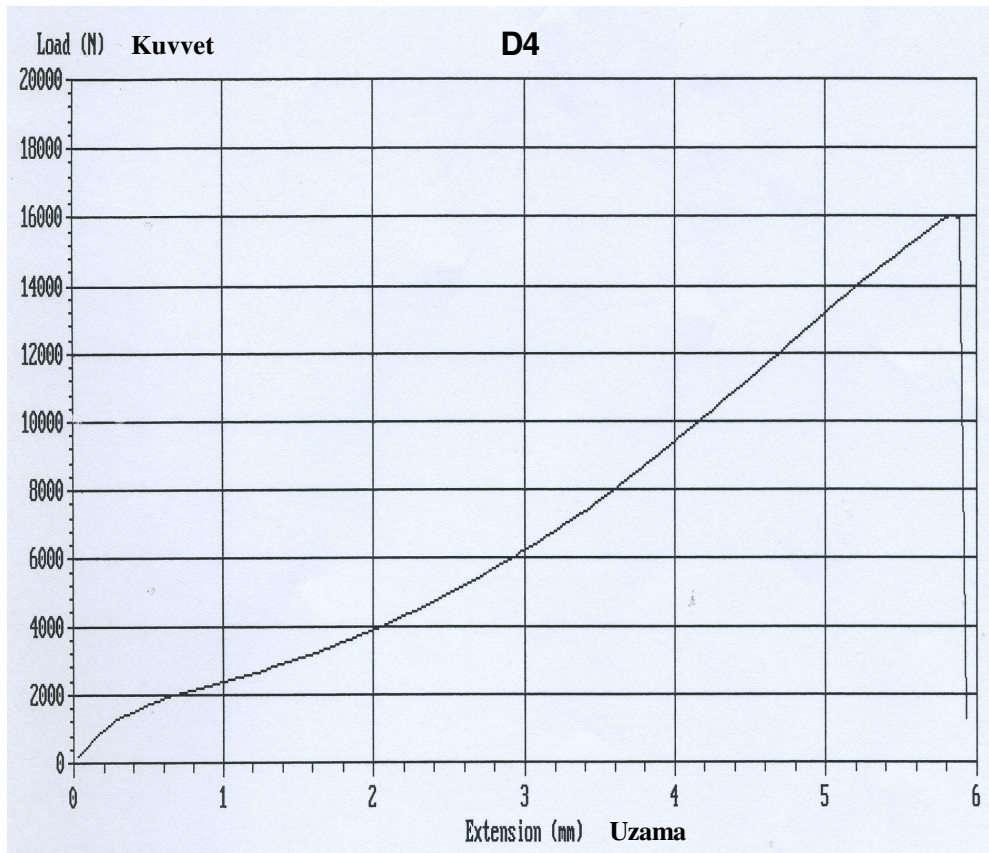
Şekil 4.14 D1 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi



Şekil 4.15 D2 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi



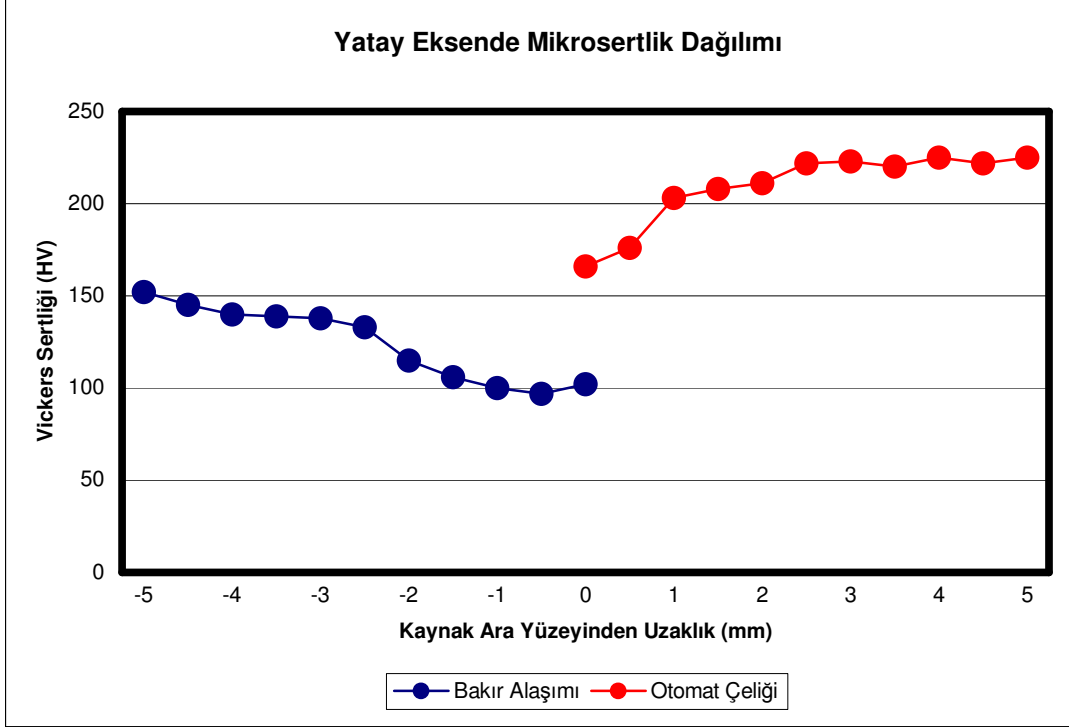
Şekil 4.16 D3 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi



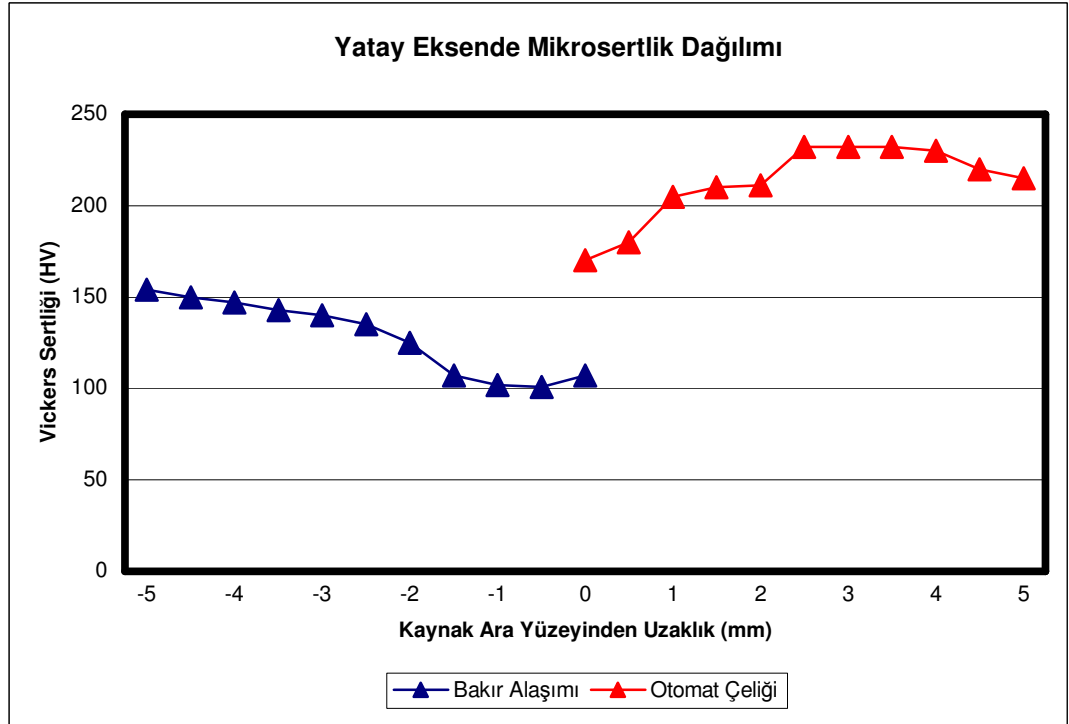
Şekil 4.17 D4 numunesinin ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s) çekme dayanımı eğrisi

4.2 Mikrosertlik Testi Sonuçları

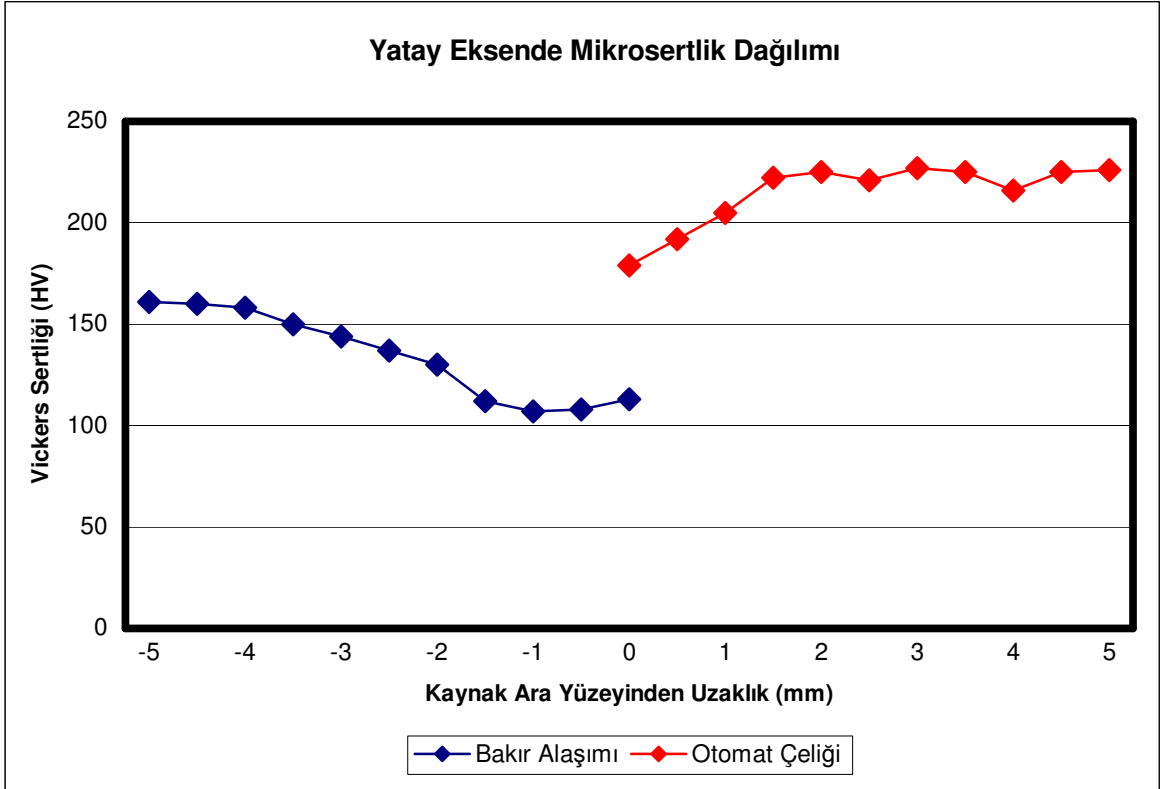
Yapılan mikrosertlik deneylerinin sonuçları aşağıdaki tablolarda dört parametre grubu için de hem ayrı ayrı olarak hem de topluca verilmiştir.



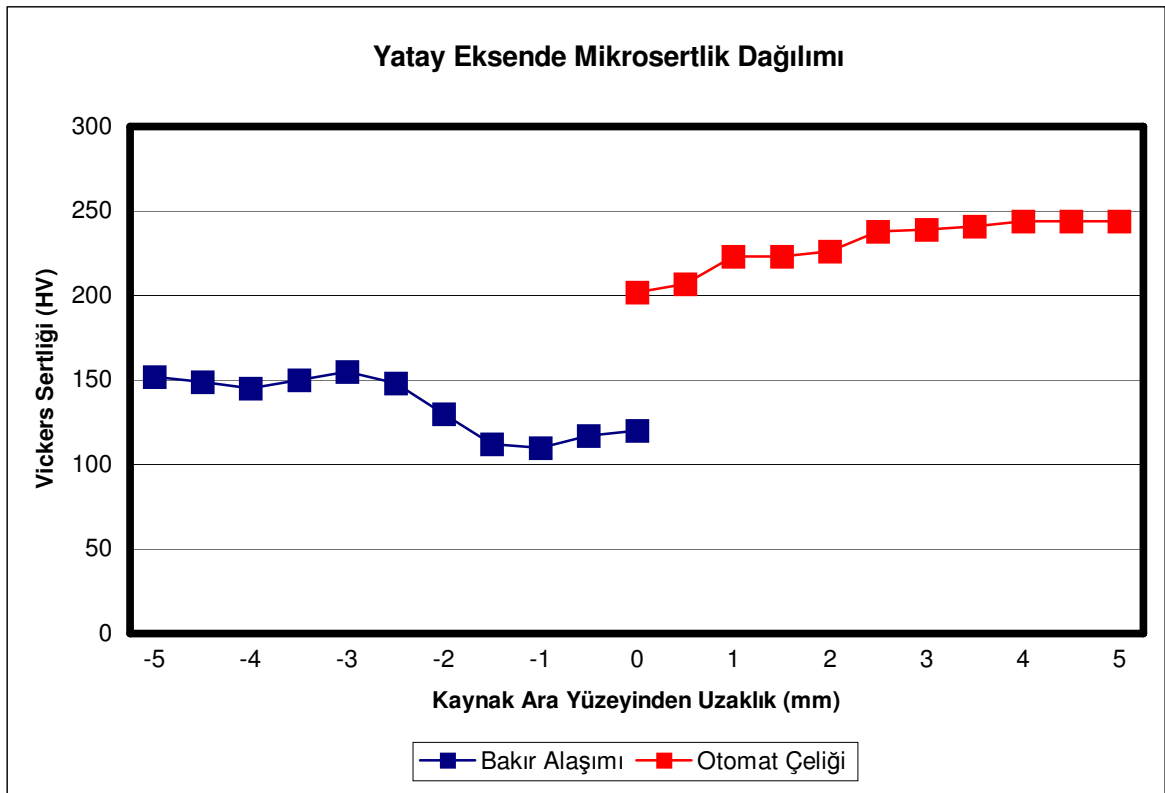
Şekil 4.18 A parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği



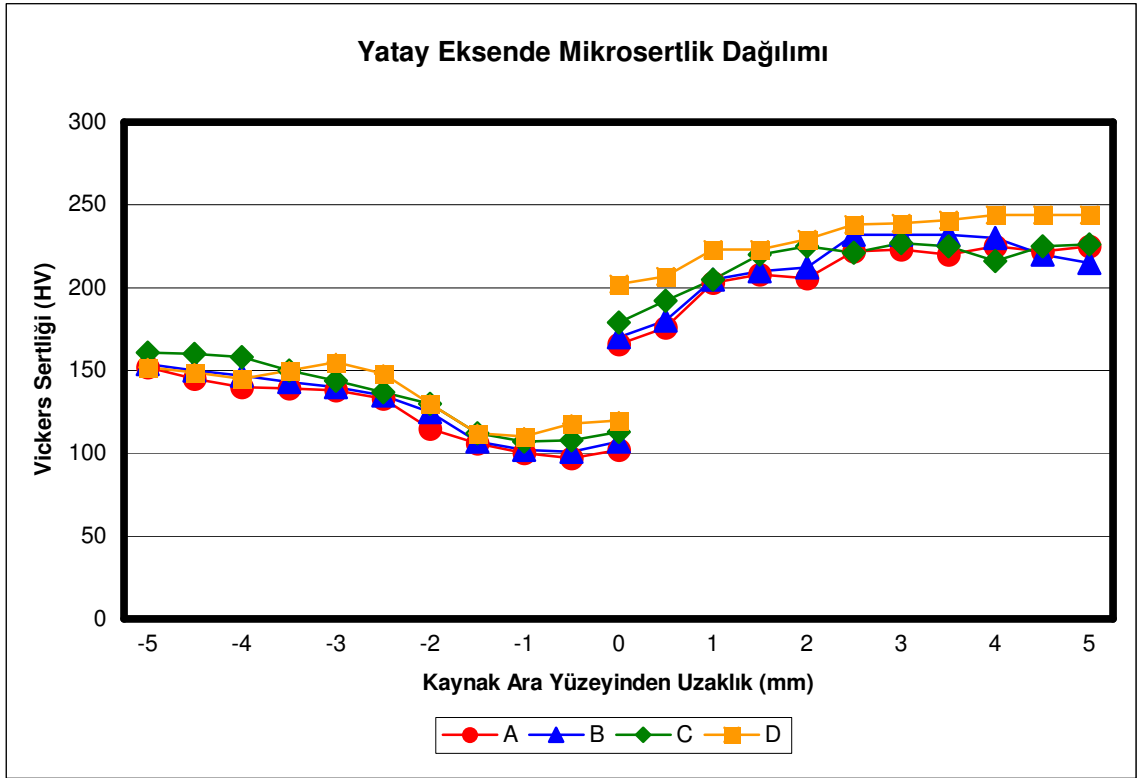
Şekil 4.19 B parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği



Şekil 4.20 C parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği



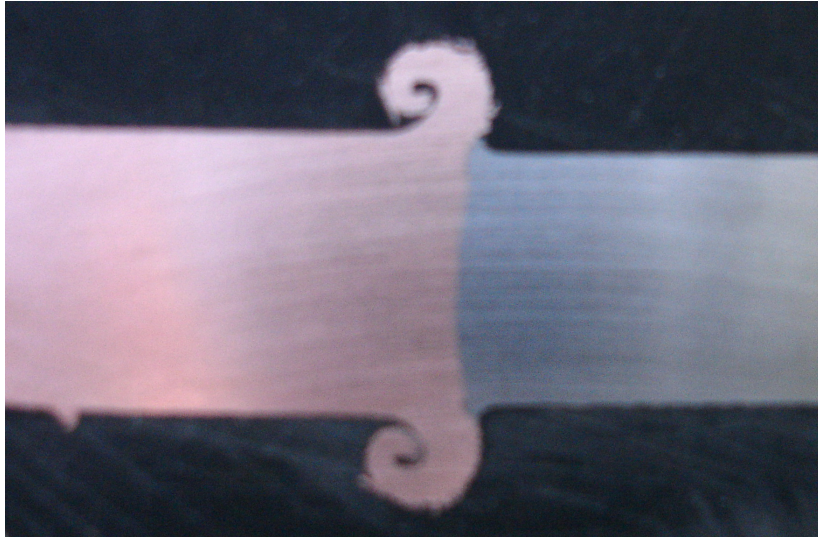
Şekil 4.21 D parametre grubu için mikrosertlik deneyi grafiği



Şekil 4.22 Tüm parametre grupları için mikrosertlik deneyi grafikleri

4.3 Makroskopik İnceleme Sonuçları

Deneysel sonuçlarda gözle yapılan incelemede, sürtünme süresi artırılıp, sürtünme basıncı azaltıldıkça her iki kaynak numunesinde de ısıdan etkilenen bölgenin genişlediği görülmüştür.



Şekil 4.23 A parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 62$ MPa, $t_1 = 10,5$ s, $t_2 = 16$ s)



Şekil 4.24 B parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 56$ MPa, $P_2 = 68$ MPa, $t_1 = 8,5$ s, $t_2 = 14$ s)



Şekil 4.25 C parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 62$ MPa, $P_2 = 74$ MPa, $t_1 = 7,5$ s, $t_2 = 12$ s)



Şekil 4.26 D parametre grubu sürtünme kaynağı numunesinin makro fotoğrafı ($P_1 = 68$ MPa, $P_2 = 82$ MPa, $t_1 = 5,5$ s, $t_2 = 10$ s)

4.4 Sıcaklık Ölçümü Sonuçları

Her parametre grubu için 2 adet sıcaklık ölçümü yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.4' te gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan, sürtünme süresi arttırılıp sürtünme basıncı azaltıldıkça kaynak bölgesinin sıcaklığının arttığı görülmektedir.

Sembol	Sıcaklık Değerleri °C		
	Numune-1	Numune-2	Ortalama
A	302	320	311
B	254	240	247
C	199	205	202
D	179	171	175

Çizelge 4.4 Parametre grupları için ölçülen sıcaklık değerleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar ışığında, sürtünme kaynağı ile elde edilen kaynak bağlantılarında, kaynak parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Görünüm itibarı ile aynı kaynak bağlantısı elde edilmesine karşın, uygulanan mekanik testler sonucunda dayanım değerlerinin çok farklı olduğu görülmüştür.

Bilindiği üzere sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemidir. Çok kısa sürede gerçekleşen bir işlem olması dolayısı ile iç kısımlara ısı iletimi çok az olmakta ve IEB çok dar olmaktadır. Yapılan sıcaklık ölçümleri sonucunda sürtünme süresinin sıcaklık artışı üzerindeki etkisinin sürtünme basıncından daha fazla olduğu görülmektedir. Başka bir anlatımla IEB, yüksek sürtünme süresi ve düşük sürtünme basıncı ile kaynak edilmiş numunelerde, düşük sürtünme süresi ve yüksek sürtünme basıncı değerleri ile kaynak edilmiş numunelere oranla daha geniş olmaktadır. Sıcaklık artışı ile beraber kaynak bölgesinde istenmeyen ergime olayı da gerçekleşmektedir. Her ne kadar ergiyen metal kaynak işlemi sonunda uygulanan yığma basıncı ile kaynak bölgesinden uzaklaştırılıyor olsa da, kaynak bağlantısını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapılan mikrosertlik testlerinin sonucunda, yüksek sürtünme basıncı ve düşük sürtünme süresi ile kaynak edilen numunelerin sertlik değerlerinin, düşük sürtünme basıncı ve yüksek sürtünme süresi ile yapılan numunelerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deney sonuçları, çekme dayanım değerleri açısından irdelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı değerinin yüksek sürtünme basıncı ve düşük sürtünme süresi koşullarında kaynak edilmiş numunelerde ortaya çıktığı görülmüştür ve artış oranının %50 oranının dahi üzerine çıktığı saptanmıştır.

Sonuç olarak, sürtünme kaynağı uygulanarak gerçekleştirilmiş bağlantılarda optimum kaynak dikişi formu oluşturacak şekilde sürtünme basıncı değerini yüksek, buna karşılık sürtünme süresini düşük tutmak, kaynak dikişinin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemekte ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar da, sürtünme kaynağı için belirlenen teorik açıklamalarla tam bir uyum içinde bulunmaktadır.

Sürtünme kaynağı bağlantılarında optimum kaynak dikişi formu oluşturacak şekilde, sürtünme basıncı değerini yüksek, sürtünme zamanı değerini de düşük tutmak, elde edilen kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir.

KAYNAKÇA

- Akata, H. E. ve Şahin, M., (2001), “Paslanmaz Çeliklerin Sürtünme Kaynağında Optimum Parametrelerin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma”, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, YTÜ Oditoryumu, İstanbul, 195-199.
- Anık, S. ve Gülbahar, B., (1982), “Metalik Malzemenin Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi 24 (279):10-21.
- Anık, S., (1983), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İTÜ Makine Fakültesi.
- Dede, A., Soy, U. ve Aslanlar, S., (2002), “Sürtünme Kaynak Yöntemi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Mart 2002, Sakarya, 6(1).
- Duffin, F. D. ve Bahrani, A. S., (1973), Friction Behaviour Of Mild Steel Of Friction Welding, 57-73.
- Ertuğ A., (1977), “Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi, 21 (241).
- Gürleyik, M. Y., (1977), “Sürtünme Kaynağı”, Mühendis ve Makine Dergisi, 16 (241).
- Gürleyik, M. Y., (1989) “Sürtünme Kaynağı Yapılan Döküm Alaşımları”, İTÜ Makine Fakültesi, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu, İstanbul, 231-241.
- Marr S., (2001), “Friction Welding Into The Future”, Welding Design and Fabrication, August 2001, 74(8):34-36.
- Nikolaev G. ve Olshansky, N., (1977), Advanced Welding Processes, Moscov, 65-81.
- N, N., (1983), Welding and Brazing, Metals Handbook, 557-580.
- Sunay, Y. T., (2005), Microstructure And Mechanical Properties Of Friction Welded Cost And Forged Steel Bars, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi
- Şahin, A. Z., Yibaş B. S., Ahmed, M., ve Nickel, J., (1997), “Analysis Of the Friction Welding Process In Relation To The Welding Of Copper And Steel Bars”, Journal Of Materials Processing Technology, March 1997, 82:127-136.
- Şahin, M., Akata, H. E. ve Bodur, H. O., (2001), “Sürtünme Kaynak Yöntemi ve Ülkemizdeki Durumu”, I. Demir-Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Yayınları, Ekim 2001, 803-807.
- Yılmaz, M., (1993), Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Makine Fakültesi.
- Yılmaz, M. ve Çöl, M., (2000), “Sürtünme Kaynaklı Alüminyum Çelik Bağlantıları”, Mühendis ve Makine Dergisi 41 (488):15-22.
- Yılmaz, M., Çöl, M. ve Acet, M., (2003), “Interface Properties Of Aluminum/Steel Friction Welded Components”, March 2003.

Ziyal, L., (1997), Millerin Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmesinde Uç formu-Kaynak Parametresi İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Makine Fakültesi.

İTERNET KAYNAKLARI

[1] www.thompson-friction-welding.co.uk

[2] www.teamafw.com

[3] www.mtiwelding.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	17.02.1981	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1995-1998	Sarıyer Lisesi
Lisans	1998-2002	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-Devam ediyor ICM-Kavram