

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI METALLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ**

Makine Müh. Emel ESENDİR

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi: 10 Şubat 2009

Tez Danışmanı: Prof. Nurullah GÜLTEKİN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	5
2.1 Elektrik Direnç Kaynak Çeşitleri.....	6
2.1.1 Nokta Direnç Kaynağı Yöntemi.....	7
2.1.2 Kabartılı Nokta Kaynağı.....	12
2.1.3 Dikiş Direnç Kaynağı.....	15
2.1.4 Direnç Alın Kaynak Yöntemi.....	16
2.2 Direnç Kaynaklarında Isı Dengesinin Ayarlanması.....	18
2.3 Kaynak Çevrimi.....	19
2.4 Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Kaynak Değişkenleri.....	20
2.4.1 Elektrot Malzemesi ve Boyutları.....	20
2.4.2 Kaynak Akımı ve Kaynak Zamanı.....	22
2.4.3 Elektrot Kuvveti.....	24
2.4.4 İş Parçası Malzemesi.....	25
2.4.5 İş Parçasının Yüzey Durumu.....	25
2.5 Kaynak Noktasının Mukavemeti.....	26
3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK KABİLİYETİ.....	27
4. FARKLI METALLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI.....	36
4.1 Soğuk Deformasyona Uğramış Farklı Malzemelerin Nokta Direnç Kaynağı.....	37
4.1.1 Kaçar ve Gündüzce Yapılan Çalışmada Deney Numuneleri ve Özellikleri.....	38
4.1.2 Kaçar ve Gündüzce Yapılan Çalışmada Deney Numunelerinin Birleştirilmesi.....	39
4.1.3 Metalografik İnceleme.....	40
4.1.4 Mekanik Testler.....	42
4.1.5 Kaçar ve Gündüzce Yapılan Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar	41
4.1.5.1 Soğuk Deformasyonun Mikro Yapı Üzerindeki Etkisi.....	41

4.1.5.2 Soğuk Deformasyonun Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi	44
4.2 Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Düşük Karbonlu Çelik Saclara Nokta Direnç Kaynağı.....	47
5. FARKLI METALLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER VE FARKLI METALLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN DİĞER YÖNTEMLER.....	49
5.1 Nokta Direnç Kaynağında Karşılaşılan Güçlükler.....	49
5.1.1 Konstrüksiyon ve Geometri.....	49
5.1.2 Kaynak Bölgesindeki Isı Oluşumu ve Soğuma Hızı.....	49
5.1.3 Isıl Dengenin Ayarlanması.....	50
5.1.4 Elektrotlar.....	50
5.2. Farklı Metallerin Birleştirilmesinde Kullanılan Diğer Yöntemler.....	53
5.2.1 Yakma Alın Kaynağı.....	54
5.2.2 Sürtünme Kaynağı.....	55
5.2.2.1 Sürtünme Dikiş Kaynağı İle Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	57
5.2.3 Projeksiyon Kaynağı (Kabartılı Kaynak).....	59
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	61
6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	62
6.2 Deney Parçalarının Boyutları.....	63
6.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	65
6.4 Deneylerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar.....	68
6.4.1 Farklı Malzemelerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar.....	68
6.4.2 Aynı Malzemelerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar.....	70
6.5.1 Farklı Malzeme Çiftinin Kaynak Bağlantılarının Oluşturulması.....	72
6.5.2 Aynı Malzeme Çiftinin Kaynak Bağlantılarının Oluşturulması.....	74
6.6 Deneyler.....	76
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	79
7.1. Farklı Malzemelerle Gerçekleştirilen Nokta Direnç Kaynaklarından Elde Edilen Sonuçlar.....	79
7.2 Aynı Malzeme Çifti ile Gerçekleştirilen Nokta Direnç Kaynaklarından Elde Edilen Sonuçlar.....	82
7.3 Sonuçların İrdelenmesi.....	86
7.4 Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar.....	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	93

SİMGE LİSTESİ

A_{80}	% Uzama
Ceş	Karbon eşdeğeri
D	Bükülecek min. kenar genişliği
de	Elektrot uç çapı
dn	Nokta çapı
F	1 metre sacı bükme kuvveti
I	Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti
k1	Levha malzemesine bağlı sabit
k2	Levha malzemesine bağlı sabit
K	Sabit
M	Motor
Ns	Isı enerjisine dönüşen elektrik enerjisi
P	Elektrot kuvveti
P	Basınç
Q	Direnç kaynağında üretilen ısı
r	Uç yarıçapı
R	Kaynak yapılan parçanın elektrik direnci
Rm	Çekme Dayanımı
Rp	Akma Sınırı
s	Levha malzemesine bağlı sabit
S	Levhanın kalınlığı
S	Kaynak kabiliyeti faktörü
t	Zaman
T	Tank çıkışı
te	Erime noktası (°C)
V	Sac kalınlığına uygun kanal
A	Elektrik iletkenliği ($m / \Omega \text{ mm}^2$)
λ	Isı iletkenliği ($\text{cal} / \text{cm sn } ^\circ\text{C}$)

KISALTMA LİSTESİ

HB	Brinel Sertliği
HRB	Rockwell B Sertliği
HSS	Yüksek Hız Çeliđi
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Aktif Gaz
MIG	Metal Asal Gaz
TIG	Tungsten Asal Gaz

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi.....	4
Şekil 2.1	Direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı.....	7
Şekil 2.2	Çeşitli nokta kaynak makineleri.....	9
Şekil 2.3	TS EN 2582' E göre nokta kaynağı elektrot başlıkları.....	10
Şekil 2.4	Kabartılı nokta kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı	13
Şekil 2.5	Elektrotların soğutulma sistemleri	14
Şekil 2.6	Kaynak işlem basamakları.....	15
Şekil 2.7	Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı.....	16
Şekil 2.8	Direnç alın kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı.....	18
Şekil 2.9	Kaynak çevriminin safhaları.....	19
Şekil 2.10	Kaynak ara yüzünde meydana gelen fışkırma.....	23
Şekil 2.11	Kaynak kabiliyeti diyagramı.....	23
Şekil 2.12	Nokta kaynağına uygulanan mukavemet deneyleri.....	26
Şekil 4.1	Farklı kalınlıktaki veya özellikteki metallerin direnç kaynağında ısıl dengeyi sağlamak için uygulanan yöntemler.....	36
Şekil 4.2	Deforme edilmiş numunelerin çekme-uzama grafikler.....	39
Şekil 4.3	(a) Ahşap tutucu kalıp, (b) Deney numunesi boyutları ve kaynak pozisyonları.....	40
Şekil 4.4	Kaynaklı bağlantı mikro yapı profili.....	41
Şekil 4.5	Farklı oranlarda deforme edilmiş ve farklı kaynak zamanlarında birleştirilmiş çekme makaslama numunelerinin ayrılma biçimleri.....	43
Şekil 4.6	AISI 304-AISI 430 birleştirmenin çekme makaslama kuvvet sonuçları.....	44
Şekil 4.7	Birleştirmelerin sertlik profili.....	46
Şekil 4.8	Düzlemsel eğmeli yorulma test sonuçları.....	47
Şekil 5.1	Isı giriş oranı eğrisinin bir fonksiyonu olarak nokta kaynağının kalitesi.....	51
Şekil 5.2	Halka kaynağı mikro yapısı ve keski ile ayırma testinden sonra halka kaynağının görünüşü.....	52
Şekil 5.3	Üç sacdan oluşan bir bağlantıda büzülme boşluğu.....	53
Şekil 5.4	Yakma alın kaynağı işlem basamakları.....	54
Şekil 5.5	Sürtünme kaynak prosesi.....	56
Şekil 5.6	Projeksiyon kaynağı.....	59
Şekil 5.7	Projeksiyon kaynağının uygulanma şekilleri.....	60
Şekil 6.1	St 37 yalın C'lu çeliğin mikro yapısı.....	62
Şekil 6.2	1. konstrüksiyon malzeme çifti.....	63
Şekil 6.3	2. konstrüksiyon malzeme çifti.....	64
Şekil 6.4	3. konstrüksiyon malzeme çifti.....	64
Şekil 6.5	CNC otomatik bükme cihazı prensibi.....	65
Şekil 6.6	Sacların bükülme işlemleri.....	66
Şekil 6.7	Sacların son şekli.....	67
Şekil 6.8	Deneylerde kullanılan nokta direnç kaynak makinesi.....	68
Şekil 6.9	Voltaj ve frekans değerleri.....	69
Şekil 6.10	Cu-Zr esaslı elektrot.....	69
Şekil 6.11	Aynı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak makinesi.....	70

Şekil 6.12	Cu-Zr esaslı elektrotların 8 mm basma çapına getirilmesi.....	71
Şekil 6.13	Elektrotların istenen forma getirilmesi.....	71
Şekil 6.14	Ön hazırlık işlemleri.....	72
Şekil 6.15	Elektrotların elektrot tutuculara yerleştirilmesi.....	74
Şekil 6.16	Aynı malzeme çiftinin kaynak bağlantısının oluşturulması.....	75
Şekil 6.17	Çekme cihazı.....	76
Şekil 6.18	3 no'lu malzeme çifti.....	76
Şekil 6.19	3 no'lu malzeme çiftinin çekme deneyine uygun hale getirilmesi.....	77
Şekil 6.20	Çekme deneylerinin gerçekleştirilmesi.....	78
Şekil 6.21	Kopma kuvveti değerlerinin okunması.....	78
Şekil 7.1	55 kVA'lık optimum değerde kaynak bölgesinin görünüşü.....	79
Şekil 7.2	60 kVA'lık güç değerinde kaynak bölgesinde metal fışkırması.....	80
Şekil 7.3	48 kVA'lık güç değerinde yetersiz kaynak birleşmesi.....	80
Şekil 7.4	60, 55 ve 48 kVA güçlerinde gerçekleştirilmiş deney numuneleri şeklinde sıralanmış St 37 ve 304 paslanmaz çelik sacların çekme deneyi sonrasında görünümleri.....	81
Şekil 7.5	1. konstrüksiyon paslanmaz çelik malzeme çiftinin kopma şekli.....	82
Şekil 7.6	1. konstrüksiyon St 37 malzeme çiftinin kopma şekli.....	83
Şekil 7.7	2. konstrüksiyon malzeme çiftlerinin kopma şekli.....	84
Şekil 7.8	3. konstrüksiyon malzeme çiftlerinin kopma şekli.....	85
Şekil 7.9	Kesmeye uğrayan π .d.s alanı.....	86

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması.....	1
Çizelge 2.1	Nokta direnç kaynak elektrotları ve kullanım alanları.....	20
Çizelge 2.2	Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımlar.....	21
Çizelge 2.3.	Malzeme ve levha kalınlığının göre elektrot kuvveti.....	25
Çizelge 3.1	Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri.....	30
Çizelge 3.2	Bazı alaşımların fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri.....	30
Çizelge 3.3	3mm kalınlığa kadar alaşımsız ve düşük alaşımlı, kaplanmamış ve yüzeyi kaplanmış haldeki çeliklerin nokta kaynak kabiliyeti.....	31
Çizelge 3.4	Tipik Al. alaşımlarının çeşitli kaynak proseslerine uyumu.....	32
Çizelge 3.5	Başlıca bakır alaşımlarının çeşitli kaynak proseslerine uyumu.....	33
Çizelge 3.6	Nikel alaşımları için kaynak prosesleri.....	34
Çizelge 3.7	Direnç kaynak yöntemiyle kaynakabilinen malzemeler.....	34
Çizelge 3.8	Metalsel malzemelerin nokta direnç kaynağına uygunluk durumları.....	35
Çizelge 4.1	Deneylerde kullanılan sacların kimyasal bileşimi.....	38
Çizelge 4.2	Nokta kaynaklı bağlantılarda bazı değişkenlerin yorulma mukavemetine etkileri.....	48
Çizelge 5.1	Metalsel malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluk durumları.....	58
Çizelge 6.1	St 37'nin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	62
Çizelge 6.2	304 kalite östenitik tip (18-8) paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	63
Çizelge 7.1	Farklı malzemelerden elde edilen deney sonuçları.....	79
Çizelge 7.2	Aynı malzemelerden elde edilen deney sonuçları.....	82
Çizelge 7.3	Sonuçlar.....	87
Çizelge 7.4	Farklı metallerin kaynaklı konstrüksiyonlarının kopma şekilleri.....	88

ÖNSÖZ

Endüstriyel uygulamalarda çeşitli malzemelerin üstün özelliklerinden faydalanma, maliyeti düşürme gibi amaçlarla farklı malzeme kombinasyonlarının bir arada kullanılması gittikçe yaygın şekilde uygulanmaktadır. Bu farklı malzemelerin birleştirilmesinde çok çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmakla birlikte özellikle ince saclardan oluşmuş tasarımların kullanıldığı otomotiv sanayinde en çok kullanılan kaynak yöntemi elektrik nokta direnç kaynağıdır. Bu çalışmada farklı metallerin birleştirilmesinde nokta direnç kaynağı uygulaması detaylı olarak ele alınmıştır. Yöntemin farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılan diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlük ve kısıtlamalarına yer verilmiştir. Farklı malzemelerin birleştirilmesi konusunda yönteme alternatif olabilecek çeşitli kaynak usullerine de yer verilmiştir. Uygulama olarak 304 kalite östenitik paslanmaz çelik ile St 37 sac malzemeler 3 farklı akım değeriyle ve 3 farklı tasarımda nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilerek çekme dayanımları ve kopma şekilleri incelenmiştir.

Kaynak konusunu kendisinden aldığım pek çok ders, proje ve tezler ile bana sevdiren, bu konuda yüksek lisans yapmamı sağlayan ve son olarak da çeşitli endüstri dallarında pek çok uygulamaları olan bu yaygın ve güncel konuda tez çalışması yapmamı sağlayan sayın hocam Prof. Nurullah GÜLTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney numune malzemelerinin tedarik edilmesi, kesim ve büküm işlemlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen 3B Makine'ye, deney numunelerinin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesini sağlayan ve çok değerli bilgilerini paylaşmaktan çekinmeyen Kaysan Kaynak Sanayi'ne ve Elektrik Müh. Adem UYGUN'a, çekme deneylerinin yapılmasında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarını kullanmamı sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a ve hiç bir zaman desteğini esirgemeyen Makine Müh. Anıl ÜNSAÇ'a teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır.

Özellikle ince saclardan oluşmuş konstrüksiyonların kullanıldığı otomotiv sanayi, beyaz eşya ve mutfak eşyaları imalat sanayi, kimyasal kapların imalat sanayinde nokta direnç kaynağı büyük önem taşımaktadır. Bu kaynak yöntemini incelemek üzere gerçekleştirilen bu çalışmada Öncelikle St 37 ile 304 kalite paslanmaz çelik çifti 3 farklı konstrüksiyonda ve 3 farklı akım değerinde olmak üzere nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Ardından bu farklı malzeme çiftlerinden elde edilen sonuçların aynı tür malzemelerin nokta direnç kaynaklı konstrüksiyonlarının çekme deneyi sonuçlarıyla kıyaslanması için bu sefer aynı tür malzemeler yine 3 farklı konstrüksiyonda fakat tek- optimum akım değerindeki nokta direnç kaynağına tabi tutulmuştur. Bu deney sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi için son olarak 2 mm kalınlıktaki St 37 ve paslanmaz çelik saclardan, kaynaklı bağlantılardaki kaynak çekirdek alanı ($\pi d^2/4$) kadar alan verecek 22 mm genişlikte parçalar kesilerek çekme deneyine tabi tutulmuş ve çekme kuvvetlerine bakılmıştır.

Sonuçların irdelenmesi bölümünde aynı malzemelerle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden elde edilen sonuçlar ile farklı malzemelerle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

In today's industry, it's necessary to use growing different types of materials together because of economical factors and the structures where different properties are expected from work pieces.

Resistance spot welding is important especially for automotive, home appliance and vessels of chemistry manufacturing industries in those thin plates' use is common. In this study, to investigate this type of welding method in dissimilar metals, first, St 37 – 304 steels combinations are welded under 3 different current values with 3 different constructions. After that, for a comparison, the same material combinations as St 37 – St 37 and 304 – 304 are welded under an optimum current value with 3 different constructions. To evaluate these samples' tensile strengths, also St 37 and 304 steels are cut in 22 mm wide that provides the welding seam circular area that is equal to $\pi d^2/4$.

In the examination of the consequences, dissimilar materials combinations are evaluated together with the similar materials combinations.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır.

Konstrüksiyonların imalinde en yaygın kullanılan imal usulü kaynaktır. Kaynak yöntemleri işlemin cinsine göre ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere sınıflandırılır (Çizelge 1.1). Farklı metallerin kaynağı, genellikle katı hal kaynak yöntemleri ile yapılmasına rağmen elektron ışın, MIG/MAG, TIG gibi kaynak yöntemleri ile de yapılabilir (Gülent, 2005). Ergitme kaynak yönteminin hatalara açık bir yöntem olması ve homojen olmayan soğumalara bağlı olarak makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemin önemli dezavantajları olup kaynağın mukavemetinin düşürmektedir. O halde farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyut ve şekilleri müsaade ediyorsa ergitme kaynağına nazaran bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrasında minimum iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir (Aslan, 2001).

Çizelge 1.1 Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Anık, 2000)

ERGİTME KAYNAĞI	BASINÇ KAYNAĞI
1. Döküm ergitme kaynağı	1. Soğuk basınç kaynağı
2. Elektrik direnç ergitme kaynağı	2. Ultrasonik kaynak
3. Gaz ergitme kaynağı	3. Sürtünme kaynağı
4. Elektrik ark kaynağı	4. Ocak kaynağı
4.1. Karbon arkı ile kaynak	5. Döküm basınç kaynağı
4.2. Metal arkı ile kaynak	6. Gaz basınç kaynağı
4.3. Koruyucu gazla kaynak	7. Elektrik direnç kaynağı
4.3.1. TIG (Normal TIG, Plazma TIG, Ark atom kaynağı)	8. Elektrik ark basınç kaynağı
4.3.2. MIG, MAG	9. Difüzyon kaynağı
4.4. Toz altı kaynağı	
5. Elektron bombardımanı ile kaynak	
6. Lazer ışını ile kaynak	

Basınç kaynak yöntemleri arasında elektrik direnç nokta kaynağı en yaygın şekilde kullanılan yöntemi oluşturur. Özellikle ince saclardan oluşmuş konstrüksiyonların kullanıldığı otomotiv sanayi, beyaz eşya ve mutfak eşyaları imalat sanayi, kimyasal kapların imalat sanayinde nokta direnç kaynağı büyük önem taşımaktadır. Nokta direnç kaynağının esasını elektrotlar tarafından bir arada basınç altında tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle oluşan ısı ile birleşmenin meydana gelmesi oluşturur (Vural, 1992).

Endüstride birçok farklı malzeme çiftlerinin kaynak ile birleştirilme uygulamaları vardır. Bunların en önemlileri kuşkusuz ki çeliklerin diğer metallerle olan kaynaklarıdır. Aşağıda farklı metal kombinasyonlarına örnekler verilmiştir.

- Paslanmaz çelik- yalın karbonlu veya düşük alaşımlı çelikler
- Çelik- bakır alaşımları
- Çelik- alüminyum alaşımları
- Çelik- nikel ve kobalt alaşımları
- Bakır- nikel alaşımları
- Titanyum alaşımları- farklı metaller

Farklı metallerin birleştirilmesinde metallerin fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde karşılaşılan sorun, metaller arasındaki geçiş bölgelerinde meydana gelen intermetalik bileşenlere bağlı olmaktadır. Bu nedenle birleştirilecek malzemelerin ısısal genleşme katsayıları ve ergime sıcaklıkları bilinmelidir.

Farklı metallerin birleştirilmesinde kaynak sonrası oluşan bağlantı özelliklerinin belirlenmesinde, birleştirilen malzemelerin özellikleri ile malzemelerin birlikte oluşturdukları faz diyagramları en önemli faktörlerdir.

Birleştirilecek metalsel malzemeler sürekli katı çözelti oluşturuyorlarsa, kaynak metali şekil değiştirme özelliğine sahip ve kırılgan olmayan bir iç yapıya sahip olacaktır (Şekil 1.1-1).

Kaynak işlemi esnasında soğuma hızı çok yüksek olduğundan çoğunlukla belirgin bir mikro segregasyon görülür.

Şekil 1.1-2'deki gibi katı durumda hiç çözünme olmaması durumunda ise kaynak metali A ve B metallerinin bir karışımıdır ve kaynak metalinin özellikleri bileşenler tarafından belirlenir. Birinci katılaştan A- kristallerinin tane sınırlarında, hızlı soğuma nedeni ile çok ince ve sert bir ötektik oluşturduğu görülür. Kaynak metalinin büyük ölçüde ötektik olarak katılaştığı bölgelerinde çatlama eğilimi vardır.

Birbirleri ile ara bileşikler yapan metaller ergitme kaynağı ile birleştirilemezler (Şekil 1.1-3). Çok kırılgan olan bu iç yapı bileşenlerinin yapıda az miktarda bulunması bile kaynak bağlantısının tümüyle gevrekleşmesine yol açar (Cu-Zn, Cu-Sn, Al-Cu, Al-Fe).

Bazen her iki metal ile de ara bileşik oluşturmayan bir üçüncü metalden yararlanılarak sorun çözülür (Şekil 1.1-4). Nikel birçok metal ile (bakır, demir, kobalt) sürekli veya geniş alanlı katı çözelti oluşturur. Bu nedenle farklı metalsel malzemelerin kaynağında nikelin ilave malzeme olarak kullanılması çok yaygındır.

Hem katı hem sıvı durumda tam çözünmezlik söz konusu ise iki farklı metal ancak her ikisi de sıvı durumda çözünür olan üçüncü metalsel malzeme yardımı ile birleştirilebilir.

No	Faz Diyagramı	Kaynak Metali İç Yapısı	Bağlantının Özellikleri
1			Kaynak metali tok ve çatlak oluşumuna az duyarlı olan katı çözültiden oluşur. Metalürjik ve mekanik özellikleri iyidir. Mikro segregasyon kuvvetlidir.
2			Bağlantının kalitesi ötektiğin özelliklerine bağlıdır. Ötektik ise A ve B birincil kristallerinden daha sert ve gevrektiler. Düşük sıcaklıkta ergiyen ötektik iç yapı bileşenleri sıcak çatlamaya neden olabilir.
3			Az miktarda V bağlantının tümüyle gevrekleşmesine yol açar. Kaynak metalinin yüksek oranda A ve B içermesi sağlanabilirse sek oranda A ve B içermesi sağlanabilirse V gevrekleşme yaratmayacak düzeye indirgenmiş olur. Her iki metalle de ara bileşik oluşturmeyen C metalinden yararlanılabilmektedir.
4			C ilave malzemesi ile önce A'nın kaynak ağzı yüzeyinde bir tampon tabaka yapıp daha sonra da bu bölgeyle B arasına asıl kaynak dikişi yerleştirilir.

Şekil 1.1 Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi (Güleç ve Aran, 1993)

2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Direnç kaynağı, gerçekte oldukça eski bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem 1877’de Birleşik Amerika’da bir rastlantı sonucu bulunmuş ve I. Dünya Savaşı’na kadar endüstride çok az kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı’ndan sonra günümüze kadar direnç kaynağı yöntemlerinde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur (Eryürek, 1982).

Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik eşya imalatı, hassas cihazların imalatı, elektroteknik, boru üretimi, makine sektörü gibi pek çok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır. İnce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı şekil bozukluklarına neden olur. Bu nedenle kaynaklama işleminin asgari ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı bir şekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektrik direnç kaynağı, seri imalata uygun ve oldukça yaygın kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran bir operatör tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten oluşan ısı yardımıyla yapılan birleştirmedir. Parçalar kısmi olarak ergitilerek kaynak için gerekli kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşumundan itibaren elektrik akımı kesilerek iş parçalarına basınç uygulanır ve bu basınç altında soğuma gerçekleştirilerek sökülemeyen türden bir birleşim sağlanmış olur. Bu yöntemle yapılan kaynak işleminin genel adı elektrik direnç kaynağı olarak adlandırılır.

Genelde direnç kaynağı yöntemleri verimli ve az kirlilik yaratan yöntemlerdir. Özellikle ark kaynağı, gaz altı kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleri ile kıyaslandığında kaynak başına düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Öte yandan direnç kaynak makineleri diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleri ile kıyaslandığında daha pahalıdır.

Direnç kaynağında

$$Q = K \times I^2 \times R \times t \quad (2.1)$$

ifadesi ile üretilen ısıнын tamamı kaynak işleminde kullanılamaz. Üretilen ısıнын bir kısmı kondüksiyon veya radyasyon yolu ile kaybolur. Bu denklemdeki direnç değerin düşük olması durumunda, gerekli kaynak ısıısını üretebilmek için yüksek şiddette akıma ihtiyaç vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, kaynak akımını ileten elektrotlar vasıtası ile uygulanır. Bu kuvveti hidrolik, pnömatik veya mekanik düzenleyiciler sağlar.

Bütün direnç kaynak yöntemleri, uygun bir kaynak zamanı - akım şiddeti düzenlemesini gerektirir.

Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası, en genel halde şu şekilde ifade edilebilir: önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden soğumasıyla katılaşmasına olanak sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise yine kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir temperleme işlemine ihtiyaç duyulacaktır (Eryürek, 1982).

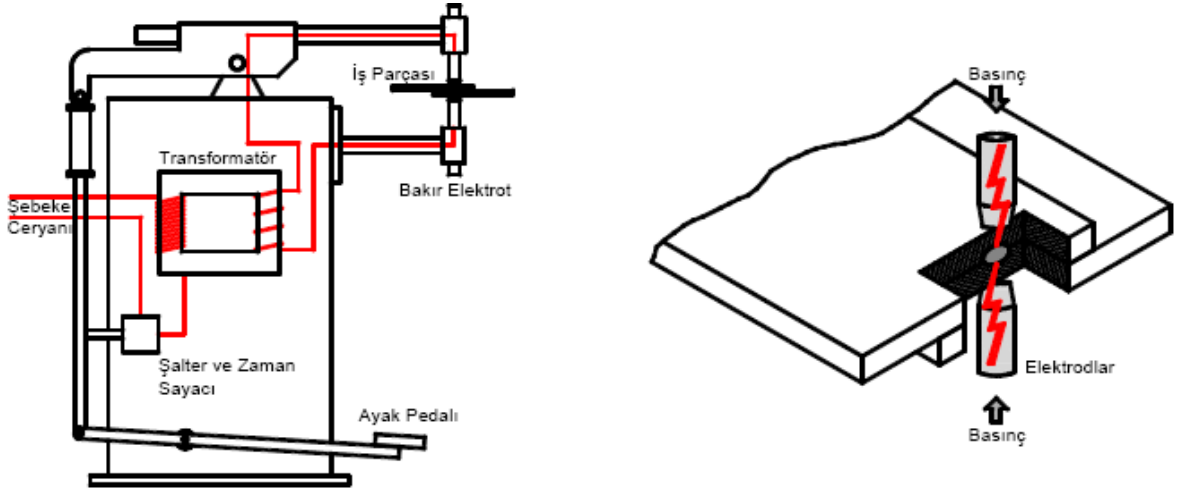
2.1 Elektrik Direnç Kaynak Çeşitleri

Elektrik direnç kaynağı yapılış şekillerine ve sektörlerde en fazla kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Nokta (punta) direnç kaynağı
- Kabartılı nokta kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Direnç alın kaynağı

2.1.1 Nokta Direnç Kaynağı Yöntemi

Nokta kaynağı, direnç kaynağı türleri içerisinde en çok kullanılan türdür. Kaynatılacak parçalar iki bakır elektrot arasına alınır ve belirli bir baskı uygulanmasıyla elektrik akımının geçişi sağlanır. Şekil 2.1’de nokta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı (MEGEP,2005)

Makine üzerindeki şalter ve zaman sayacı ile belirlenen süre boyunca, akım bir elektrottan diğerine akarken (1mm sac için bu süre yaklaşık 0,2 saniyedir) bu akıma karşı direnç, iki sac arasındaki temas noktasında en yükseğe ulaşır ve malzeme bu noktada ergimeye başlar. Elektrik akımının otomatik olarak kesilmesinden sonra kaynak banyosu, uygulanan basınç altında soğuyarak katılaşır ve iki sac malzeme sökülemez bir şekilde birleştirilmiş olur. Standart bir nokta direnç kaynak makinesinin temel bileşenleri, bakır elektrotlara yük uygulamak için kullanılan mekanik bir sistem, şebekeden gelen gerilimi düşüren transformatör, bazı makinelerde akım kontrol cihazları ve bir zaman sayacından oluşur.

Nokta direnç kaynağında elde edilen kaynağın şekli ve boyutları öncelikle elektrotun ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin dış bükey mercek şeklinde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

Nokta direnç kaynak makinelerinin kullanıldığı sektörlerde değişen farklı istekler doğrultusunda farklı tipte, kapasitede ve donanımda nokta kaynak makineleri olabilir. Aşağıdaki resimleri incelediğinizde farklı amaçları gerçekleştirmek için üretilmiş nokta kaynak makineleri gösterilmiştir.



A



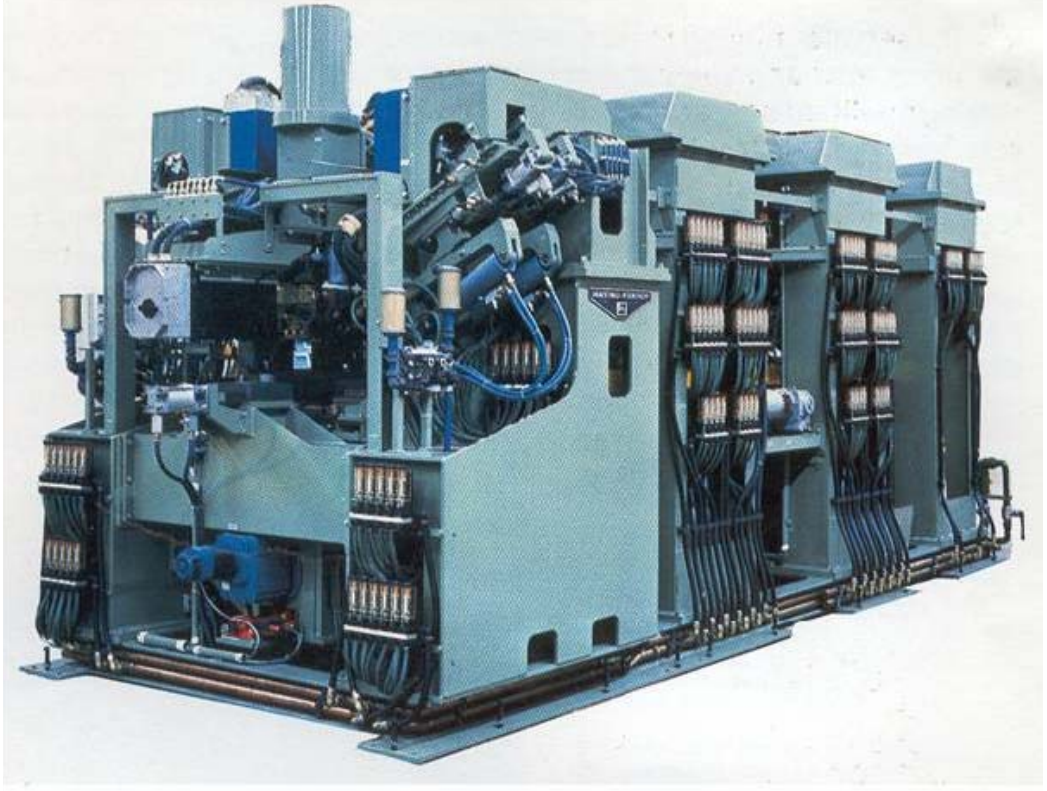
B



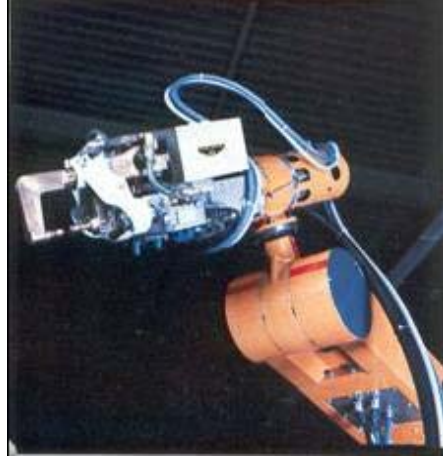
C



D



E

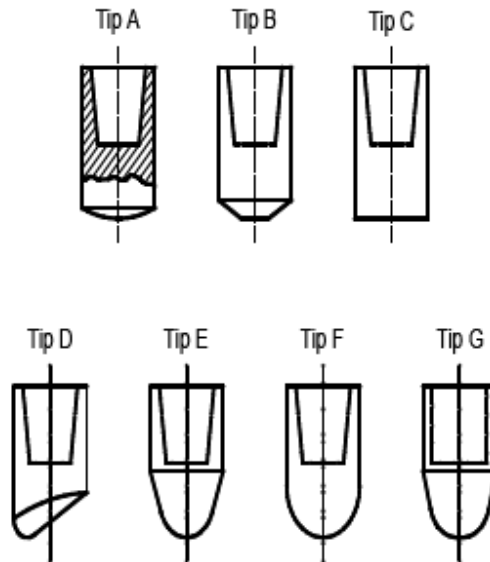


F

Şekil 2.2 Çeşitli nokta kaynak makineleri

- A. Mekanik nokta kaynak makinesi. Mekanik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.
- B. Pnömatik nokta kaynak makinesi. Pnömatik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemli model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.
- C. Kaportacı nokta kaynak makinesi. Kaporta düzeltme, tek ve çift taraflı nokta kaynağı, vida saplama, çekirme işlerinde kullanılır. Elle sıkmalı veya hava sıkmalı modelleri olup max. 2+2 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.
- D. Elde taşınabilir nokta kaynak makinesi. Elle veya hava sıkmalı modelleri olup max. 1+1 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.
- E.Özel tasarımı tam otomatik nokta kaynak makinesi. Otomobil fabrikalarında kaporta imalatı seri üretiminde kullanılır.
- F. Nokta kaynak robotu

Nokta direnç kaynağında parça kalınlığına, türüne göre elektrot seçimi kaynağın kalitesini belirleyen önemli bir unsurdur. Şekil 2.3’de kullanılan elektrot başlıklarının hangi tipte yapıldıklarını görülmektedir.



Şekil 2.3 TS EN 2582’ E göre nokta kaynağı elektrot başlıkları (MEGEP,2005)

Şekillerden de anlaşılacağı gibi bu yöntemde bu yöntemle ancak levhaların bindirme tip kaynağı gerçekleştirilebilmektedir. Alt elektrot sabit olup üst elektrot hidrolik, pnömatik veya mekanik tertibatlar yardımı ile hareket edebilmekte ve elektrotlar arasında kaynak edilecek levhalara istenen yükü uygulamaktadır.

Nokta kaynağı elektrotları;

- Elektriksel iletkenlikleri yüksek olmalıdır.
- Isıl iletkenlikleri yüksek olmalıdır.
- Yüksek mukavemet ve sertlikte olmalıdır.
- Kaynak edilecek malzemeyle alaşım oluşturma eğilimi düşük olmalıdır.

Saf bakır yüksek elektriksel ve ısı iletkenliğe sahiptir ancak yumuşaktır ve aşınması kolaydır.

Bir çok elektrot bakır alaşımıdır. Elektrot malzemeleri 2 grupta sınıflandırılmıştır:

a) Bakır alaşımları (I, II, III, IV, V):

I. Nokta kaynağı için Cu – Cd alaşımı (iletkenlik %80): Al, Mg alaşımları, galvaniz kaplı çelik, pirinç ve bronz kaynağı için uygundur.

II. Nokta ve dikiş kaynağı için Cu – Cr alaşımı (iletkenlik %75): Düşük karbonlu çelikler, düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve monel için uygundur.

III. Projeksiyon kaynağı için Cu – Zr alaşımları (iletkenlik %45, mukavemet ve sertlik II.'den yüksek): Paslanmaz çelikler için uygundur.

IV. Sert, yüksek mukavemetli alaşımdır, özel uygulamalarda tercih edilir (iletkenlik %20).

V. Döküm elektrotlardır, mukavemetleri çok yüksektir (iletkenlik %15).

b) Refrakter malzemeler:

Kompozisyonları sinterlenmiş bakır ve tungsten içerir. Yüksek sıcaklıklardaki aşınma dirençleri ve basma mukavemetleri için dizayn edilmişlerdir. İletkenlikleri düşüktür (<http://www.anatamir.com>)

Bu yöntemle 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların kaynağı yapılabilmektedir. Bakır ve alüminyumun yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri daha kalın levhalarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır.

Kaynak noktasının oluşumundaki temel prensip, (2.1) ifadesi ile verilen Joule yasasıdır. Bu ifadede verilen R , kaynak akımının bir elektrottan diğerine geçerken karşılaştığı elektrik dirençlerinin toplamıdır. Uygulanan akıma karşı gösterilen dirençler esas olarak iki türdür:

- a) Kullanılan malzeme dirençleri
- b) Temas dirençleri

Malzeme dirençleri, kaynak yapılacak malzemenin ve elektrotların öz direncine, akım yolunun büyüklüğüne (elektrot çapı, levha kalınlığı) ve akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır.

İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci, sadece sıcaklığa ve malzemeye değil aynı zamanda yüzey şartlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeni ile akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ve parça yüzeyleri üzerinde mevcut bulunan oksit filmlerini meydana getirdiği film direnci toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrot kuvveti arttıkça, temas yüzeylerindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının alanlarının artması ile temas direnci azalır.

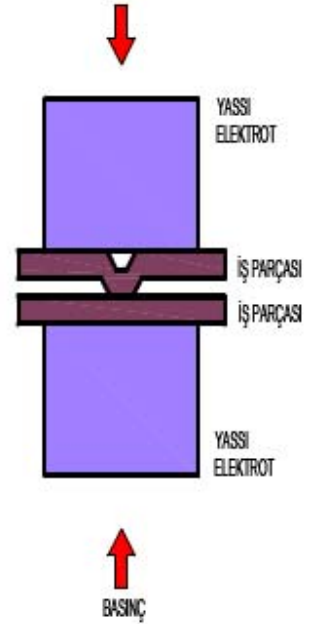
Bu dirençlerden en büyüğü levhalar arası temas direnci olduğundan başlangıçta en fazla ısı burada üretilir. Bu bölgede sıcaklığın yükselmesi, bölgenin iç direncini de artırdığından ısı üretim hızı diğer bölgelere nazaran daha büyük olur. Bu nedenle, erime ilk defa levhalar arası temas yüzeylerinde başlar ve levha içine doğru gelişir. Kullanılan elektrotların yüksek ısı iletkenliğe ve düşük elektrik direncine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle elektrotlarla levhalar arasındaki temas yerinde herhangi bir erime meydana gelmez (Eryürek, 1982).

2.1.2 Kabartılı Nokta Kaynağı

Kabartılı nokta kaynağı, yöntem olarak nokta direnç kaynağına benzer. Nokta direnç kaynağında kaynatılacak sac malzemeler üst üste bindirilip, elektrotlar arasında sıkıştırılıyor ve elektrik akımı geçiriliyordu. Bu yöntemle elektrot başlıklarının boyut ve şekilleri geçen akımı sınırlandırırken kabartılı nokta kaynağında akım kaynatılacak malzemelerin en az birinde bulunan kabartılarla sınırlıdır.

Kabartılı kaynak yönteminde kaynak bölgesi, kaynak yapılacak saclardan birinde bulunan kabartının olduğu bölgedir. Saclar üst üste bindirildiğinde sadece kabartının olduğu noktadan birbirlerine temas eder. Bu noktadan geçen elektrik akımı kabartı üzerinde yoğunlaşır ve bu

nedenle kabartı hızla ısınır. Isınmadan dolayı kabartı ergiyerek çöker ve iki sac arasında erimiş bir bölge oluşur. Elektrik akımı kesilerek basınç uygulamaya bir müddet daha devam edilir ve kaynak tamamlanır.



Şekil 2.4 Kabartılı nokta kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı (MEGEP,2005)

Kabartılı nokta kaynak makineleri, temelde nokta kaynak makineleri ile aynıdır. Ancak bu yöntemde nokta kaynağında kullanılan elektrot tipleri yerine eşit basınç uygulanabilen yassı elektrotlar kullanılır. Kabartılı nokta direnç kaynağı, sac yapıları küçük bağlantı parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntem özellikle otomotiv sektöründe, sabit somunların şasiye bağlantılarında, ev aletlerinin vida bağlantılarında, büro mobilyalarında, makine parçalarının imalatında, dişli saplamalarda vb. pek çok alanda kullanılmaktadır. Kabartılı kaynak yöntemi inşaat sektöründe takviyeli beton uygulamalarındaki çelik hasırların üretiminde de kullanılmaktadır.

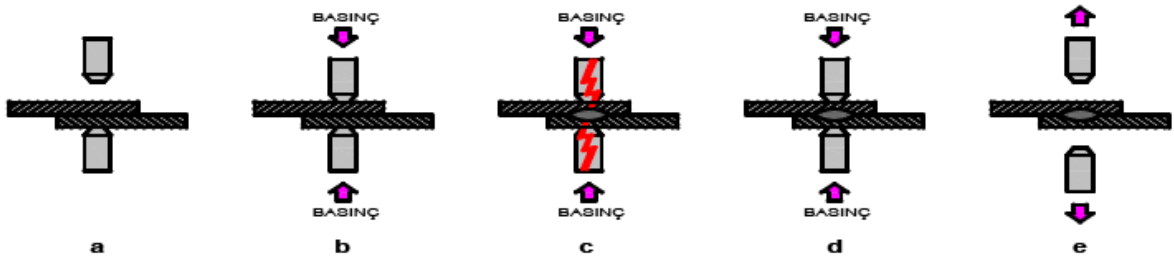
Genellikle nokta direnç kaynağı ve kabartılı nokta direnç kaynağı seri üretimde kullanıldığından, elektrotlardan geçen akımın oluşturduğu dirençten dolayı elektrotlarda ısınma oluşur. Elektrot ısısının artması kaynağı olumsuz yönde etkileyeceğinden soğutulmaları gerekir. Kaynak makinelerinde soğutma sistemi olarak genellikle su kullanılır. Bu sistem, makine içerisinde bir

düzenekle sürekli olarak su dolaşımı ile elektrotların soğutulmasını sağlar. Elektrotların basit soğutulma sistemi Şekil 2.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Elektrotların soğutulma sistemleri (MEGEP,2005)

Kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde kaynak elektrotları aşınır. Aşınma sonucunda elektrotun ucu bozularak akım ve basıncın azalmasına neden olur, bu da yine kaynak kalitesini olumsuz etkileyen unsurlardan biridir. Bu durum, elektrot uçlarının periyodik olarak bakımlarının yapılmasını gerektirir. Bakım işlemi bozulan uca yeniden eski formunun kazandırılması ve akım geçişini engelleyen unsurların ortadan kaldırılması ile gerçekleştirilir. Bu işlem eğe, zımpara vb. araçlarla yapılır.



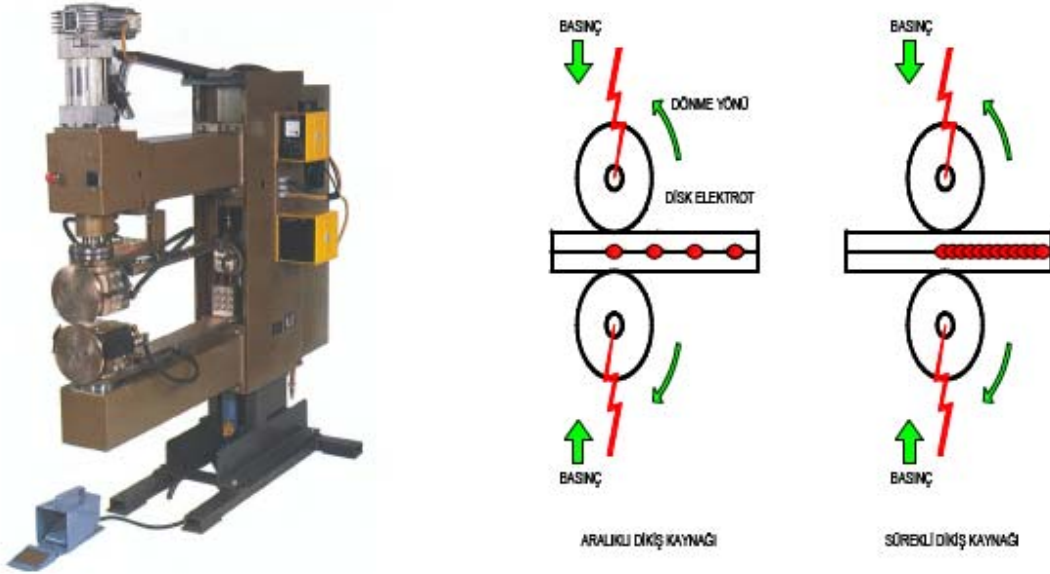
Şekil 2.6 Kaynak işlem basamakları (MEGEP,2005)

- Kaynak yapılacak iş parçaları elektrik akımının geçişini engelleyecek her türlü yağdan, kirden, boyadan ve pastan temizlenmelidir. Bu temizlik işlemi tel fırça veya zımpara yardımıyla yapılır. Kaynak makinesi çalıştırılır ve kaynatılacak parçaların kalınlığına ve makine türüne göre değişen amper ve zaman ayarı yapılır. Amper ve zaman ayarı için makine üreticisinin verdiği bilgilere başvurulmalıdır.
- Saclar kaynağa hazır hale getirilerek elektrotların arasına uygun şekilde yerleştirilir.
- Elektrotlar iş parçasına doğru yaklaştırılır ve parçalar sıkıştırılır. Böylece saclar birbirine temas ettirilir.
- Sıkıştırma olarak adlandırılan bu bölümde uygulanan basınç, biraz daha artırılarak elektrik akımının geçişi otomatik olarak başlatılır. Parça türü ve kalınlığına göre ayarlanan amper ve zaman dahilinde akım geçişi sürerek parçayı ısıtır. Bu süre genelde 1 saniyeden daha azdır.
- Elektrotların iş parçalarına baskı yaptığı noktadaki ara yüzeyde ergime başlar. Zaman sayacına bağlı olarak geçen akım, otomatik olarak kapanarak ergiyik baskı kaldırılmaksızın soğumaya bırakılır, bu süre birkaç saniyedir.
- Elektrotlara uygulanan basınç kaldırılarak elektrotların birbirinden uzaklaşması sağlanır. Bu süreçte kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olur. Kaynak bölgesinin temizlenmesi isteniyorsa genelde tel fırça veya zımpara kullanarak kaynak temizliği gerçekleştirilir.

2.1.3 Dikiş Direnç Kaynağı

Dikiş direnç kaynağı, yapım tekniği bakımından nokta direnç kaynağına benzer. Nokta kaynağında ardışık olarak noktaların sıralanması dikiş direnç kaynağını oluşturur. Dikiş kaynağı, nokta kaynağındaki gibi birbiri üzerine bindirilen saç parçaların, temas yüzeylerinden geçen elektrik akımına gösterdiği direnç ile ergiyerek basınç altında birleştirilmesidir. Kaynağı yapılacak olan saç malzemeler, bakır alaşımından yapılmış disk biçimindeki iki elektrot arasına konularak pnömatik veya hidrolik bir sistemle sıkıştırılır. Bakır disk elektrotlar dönmeye başladığında elektrik akımı da verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Tekerleklerin dönmesi sırasında akım kesilerek dönme devam ederse aralıklı dikiş kaynağı yapılmış olur. Sürekli elektrik akımı kullanılırsa kesintisiz bir kaynak birleşimi sağlanır. Bu tür kaynaklar sıvı ve gazlar için sızdırmazlık özelliğine sahiptir. Elektrotların soğutulması merkezi bir dolaşım sistemi ile veya elektrot üzerine su püskürtülerek yapılır. Soğutma sıvısı olarak %5 oranında bor yağı karışımı su kullanılır. Dikiş direnç kaynağında amper ayarı kaynatılan malzemenin cinsine,

kaynatma hızına, kaynatılan malzemelerin kalınlığına ve soğutma suyu olarak kullanılan sıvının miktarına göre farklılıklar gösterebilir. En uygun amper ayarını deneme yanılma yoluyla bulmak, en uygun yöntemdir.



Şekil 2.7 Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı

Kabartılı nokta kaynağı veya nokta direnç kaynağı ile farklı kesitli ve farklı türde malzemeler birbirlerine kaynak yapılabilir. Yuvarlak kesitli bir malzeme saca veya yine kendisi gibi yuvarlak kesitli bir malzemeye kaynatılabilir. Kaynatılacak malzeme kesiti yuvarlak, kare, dikdörtgen, bombeli vb. olabilir. Farklı kesite sahip malzemelerin kaynaklanmasında elektrot çeşidi, amper ve zaman ayarlaması önem kazanmaktadır.

2.1.4 Direnç Alın Kaynak Yöntemi

Direnç alın kaynağı yönteminde, kaynağı yapılacak iş parçaları hareketli olan bakır alaşımlı çenelere sıkıca bağlanır. Bu yöntemde de elektrik akımı hareketli çeneler üzerinden iletilir. Kaynak işlem başlangıcında elektrik akım devresi açılarak, hareketli çeneler ile iş parçaları yüzeyleri arasında küçük bir boşluk kalıncaya kadar birbirine yaklaştırılır. Düzgün olmayan yüzeydeki birkaç çıkıntıdan iş parçalarının birbirine teması sağlanır. Temas eden bu noktalardan

şiddetli akım geçerek temas noktalarında ergime ve kısmen buharlaşma meydana gelir. Temas noktaları kıvılcım ve patlama halinde parçalanır ve metal damlacıkları dışarı fırlatılır. İş parçalarının yüzeyini ısıtan arklar bu şekilde oluşur. Aynı zamanda oluşan metal buharı, kaynak bölgesini kaplayarak havanın olumsuz etkilerinden kaynak bölgesini korur. İş parçalarının hareketli çenelerle yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanarak tüm kesitte kaynak ısısına ulaşılır. Bu noktadan sonra hareketli çeneler basınçla itilerek iş parçaları birbirine bastırılır ve elektrik akımı kesilir. Kaynak için geçen süre birkaç saniyedir ve akım kesildikten sonra bir müddet daha basınç uygulanmasına devam edilerek kaynaklama işlemi tamamlanır.

Direnç alın kaynak yönteminin çeşitleri:

- Basınçlı direnç alın kaynağı
- Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı
- Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

Basınçlı alın kaynağında parçalar yüksek bir basıncın etkisiyle temas etmeden elektrik akımı uygulanmaz. Yakma alın kaynağında ise parçalar henüz temas etmeden elektrik akımı uygulanır.

Direnç alın kaynağı yöntemi genellikle boruların, yuvarlak kesitli malzemelerin, kare kesitli malzemelerin ve düz sacların birleştirilmesinde kullanılır. Bu kaynak yöntemi ile çelik ve alaşımlarının kaynağı başarılı olmaktadır. Kaynağı yapılacak iş parçalarının doğru bir şekilde kaynatılmasındaki en önemli faktör, iş parçalarının aynı doğrultuda olmasıdır. Aynı doğrultuya getirilmeden kaynatılan iş parçalarında eksenel kaçıklıklar oluşur, bu da kaynak kalitesini düşüren bir unsurdur. Elektrik akımını ileten, doğrultuyu ve kaynak için gerekli basıncı sağlayan hareketli çenelerin iş parçasını bağlama ve hareket ettirme yeteneği vardır. Kaynak sırasında oluşan yoğun akımdan dolayı bu çeneler ısınır ve soğutulmaları gerekir. Makine üzerindeki merkezi bir su dolaşım sistemi ile hareketli çenelerin soğutulması sağlanır.



Şekil 2.8 Direnç alın kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı

2.2 Direnç Kaynaklarında Isı Dengesinin Ayarlanması

Elektrik direnç kaynak yöntemlerinde kaynatılacak parçaların aynı özellikte ve aynı kalınlıkta olması, ısıнын dengeli dağılımı sonucunda kaliteli bir kaynak birleşimini sağlar. Ancak kaynağı yapılacak malzemelerin özellikleri veya kalınlıkları farklı olduğunda elektriksel direnç farklılıklarından dolayı kaynak istenilen kalitede olmaz. Bu durumda kaynak kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan biri olan ısıyı, elektrotlar yoluyla dengeli bir şekilde dağıtmak zorunlu hale gelmektedir. Bunu sağlayabilmek için de geometrik şekilli elektrotlar ve değişik malzemelerden üretilmiş elektrotlar kullanmak gerekir.

Aynı özellikte, farklı kalınlıkta iki malzemenin kaynağında kalın parçaya elektrot daha az temas yüzeyi ile basarak elektrik akımının dengesi oluşturulmuştur. Bu örnekte eşit bir ısı dağılımı sağlanarak kaliteli bir kaynak elde edilebilir.

Aynı özellikte, farklı kalınlıkta iki parçanın kaynağında elektrot malzemesinin yapıldığı malzeme farklı olarak seçilmiş ve daha dirençli bir elektrot seçimi ile yukarıdaki örnekteki durumun tersi gerçekleştirilmiştir.

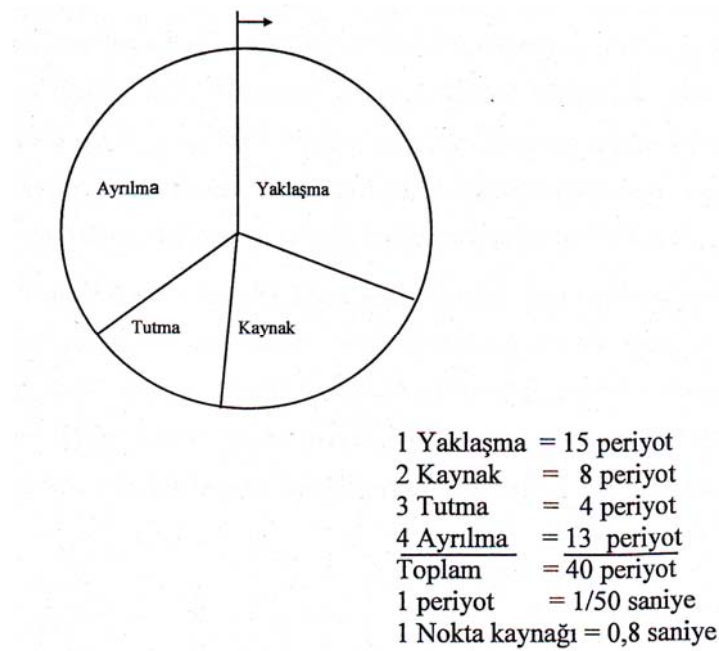
Farklı özellikte, farklı kalınlıkta iki malzemenin kaynağında kaynatılacak malzemelerin elektrik dirençlerinin bilinmesi ve buna göre elektrot tercihi yapılması gerekir. Direnci yüksek kalın malzemeye, daha geniş temas yüzeyi olan elektrot tercih edilmelidir.

2.3 Kaynak Çevrimi

Nokta direnç kaynağında kaynak çevrimi dört ana zaman diliminden oluşmaktadır. Bunlar;

1. Yaklaşma ve sıkma zamanı: Elektrotların birbirine yaklaşıp iki sacı sıkması için geçen süredir.
2. Kaynak zamanı: Birleştirilen saclara düşük gerilimde yüksek akım şiddetinde akımın uygulanma süresidir.
3. Tutma zamanı: Elektrotlar içerisinde su sirkülasyonu vasıtasıyla kaynak noktasının soğutulması ve bağlantının tam olarak meydana gelmesinin sağlanması için geçen süredir.
4. Ayrılma zamanı: Oldukça kısa bir süre olup parçaların diğer nokta kaynağı için hareket ettirildiği süredir.

Bu dört zaman dilimi şematik olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bütün bu zaman dilimlerinin süreleri periyot olarak ifade edilir. Frekansı 50 Hz olan bir elektrik akımında bir periyot 1/50 saniyeye karşı gelir.



Şekil 2.9 Kaynak çevriminin safhaları (Akkuş, 2006)

2.4 Nokta Kaynak Kalitesini Etkileyen Kaynak Değişkenleri

Nokta kaynak kalitesini etkileyen değişkenler şunlardır:

- Elektrotların malzemesi ve boyutları
- Kaynak akımı ve kaynak zamanı
- Elektrot kuvveti
- İş parçasının malzemesi
- İş parçasının yüzey durumu

2.4.1 Elektrot Malzemesi ve Boyutları

Nokta direnç kaynağında, parça kalınlığına ve türüne göre doğru elektrot seçimi kaynağın kalitesini etkileyen bir unsurdur. Aşağıda verilen çizelgede, elektrot başlığının hangi malzemeden yapıldığı ve hangi malzemeleri kaynatabildiği görülmektedir.

Çizelge 2.1 Nokta direnç kaynak elektrotları ve kullanım alanları (Anık, 2000)

ELEKTROT SINIFI	ELEKTROT MALZEMESİ	ÖNERİLEN KULLANIM YERİ
Cu	Saf elektrolitik bakır	Özel işlerde, laboratuvar uygulamalarında
I	Cu-Ag, Cu-Cd	Al ve alaşımları, çelik nokta ve dikiş kaynağı, alın kaynağı
I	Cu-Cr, Cu-Cr-Be	Bütün çelikler nokta ve dikiş kaynağı, yoğun ve sürekli kullanımlar için
I	Cu-Co-Be	Yüksek alaşımlı malzemelerin nokta ve dikiş kaynağı
I	Mo, Tungsten	Pirinç, bakır ve gümüş alaşımlarının nokta kaynağı
I	%90Tungsten-%10 Cu	Kabartılı ve alın kaynağında veya yığma elektrotu olarak

Çizelge 2.2 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımlar (Eryürek, 1982)

Alaşım Cinsi	Brinell Sertliği (kg/mm2)	İletkenlik (%) Saf Bakır	Yumuşama sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı iş parçası
Bakır (Soğuk Çek.)	95	90	150	Alüminyum
Tellür - Bakır	100	90	175	Alüminyum
Kadmiyum - Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom - Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten - Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve Bakır Alaşımları

Ticari saf bakır en iyi iletkenidir, saf bakır elektrotlar üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar direnç kaynağı elektrotu olarak kullanılmıştır.

Herhangi bir uygulama için belirli bir elektrot alaşımı seçimi, onun mekanik özelliklerine göre değişen ısı ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleşir. Örneğin, Alüminyumun kaynağı için kullanılan elektrotlar yüksek basma kuvveti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Buna karşılık paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrotlarda maksimum basma mukavemeti elde etmek için iletkenlikten fedakârlık edilmelidir.

Levha kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot uç çapları aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanır:

a) Sivri, kubbe, düz, eksantrik ve kesik koni uçlu elektrotlar için:

$$S \leq 3 \text{ mm için } d_e = 5\sqrt{S} \quad (2.2)$$

$$S > 3 \text{ mm için } d_e = 2S + k \quad (2.3)$$

$$S > 7,5 \text{ mm için } k = 2, S < 7,5 \text{ mm için } k = 3 \quad (2.4)$$

Burada S, mm olarak levhanın kalınlığı, d_e mm olarak elektrot uç çaplarıdır.

b) Küresel uçlu elektrotlar için:

r (mm) küresel ucun yarıçapı olmak üzere,

$$r = k_1 \cdot s + k_2 \quad (2.5)$$

k_1 . s ve k_2 levha malzemesine bağı sabitlerdir. Değerleri:

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik sac lar için: $k_1 = 20$ mm, $k_2 = 50$ mm. (2.6)

Alüminyum alaşımları için: $k_1 = 60$ mm, $k_2 = 20$ mm. (2.7)

Magnezyum alaşımları için: $k_1 = 70$ mm, $k_2 = 40$ mm. (2.8)

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında elektrot temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak hassas bir biçimde ayarlanması gerekmez. Bu nedenle küresel uçlu elektrot üst, elektrotun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektrottur. Bu elektrot mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksektir. Bu nedenle alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılır.

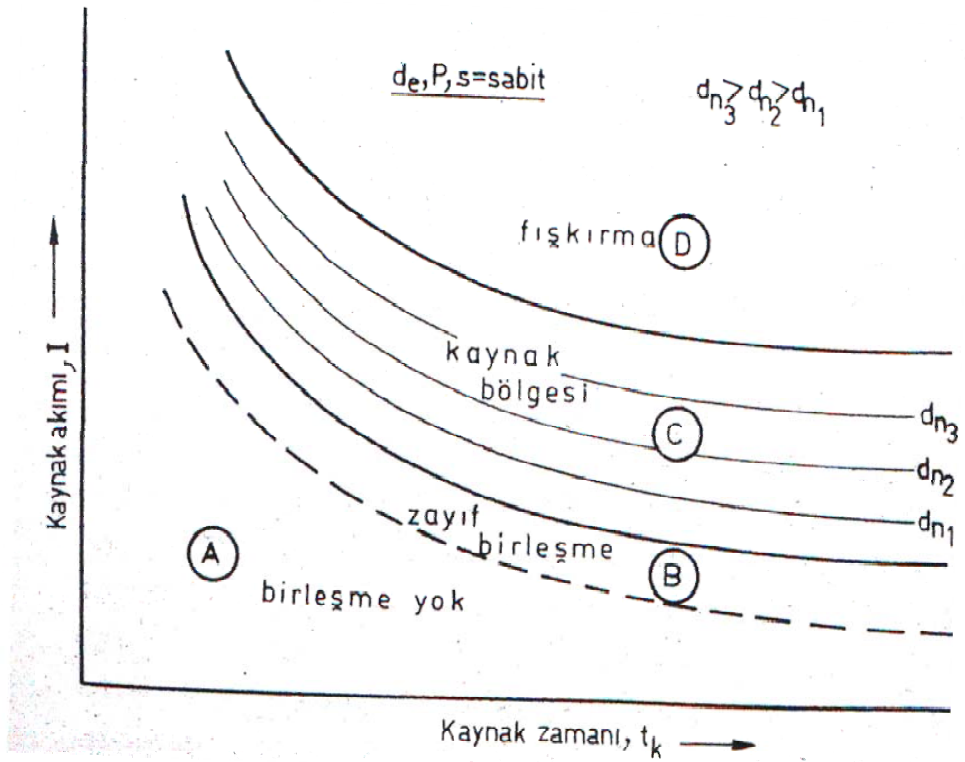
2.4.2 Kaynak Akımı ve Kaynak Zamanı

Kaynak bölgesinde belirli hacimdeki metali erime sıcaklığına ulaştırmak için ve bu sırada oluşan ısı kayıplarını karşılamak için toplam ısı ifadesindeki R direnci malzemeye, levha kalınlığına, elektrot kuvvetine ve elektrot uç çapına bağı olup, değeri artan elektrot kuvveti ile azalmaktadır. Şu halde, verilmiş bir elektrot kuvveti ile levha için gerekli ısı miktarını elde etmek amacı ile değiştirilebilecek kaynak parametreleri, kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Başka bir deyişle erimenin meydana gelebilmesi için minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değ er malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrot basıncına bağıdır.

Verilmiş bir elektrot basıncı için, akım yoğunluğun bir üst sınırı da mevcuttur. Bunun üzerindeki değ erlerde kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fışkırır. Bu olay kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına sebep olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir, elektrotlar levhalara yapışarak tahrip olurlar.



Şekil 2.10 Kaynak ara yüzünde meydana gelen fışkıрма (Eryürek, 1982)



Şekil 2.11 Kaynak kabiliyeti diyagramı (Eryürek, 1982)

Bu şekilde C bölgesi erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta, nokta çapı d_n elektrot çapı d_e 'ye yaklaşık olarak eşit olur. D bölgesi ise fışkıрма bölgesi olup C bölgesinin üst sınırından itibaren fışkıрма başlar. Kaynak bölgesi B malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akımının ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada akım ve zaman değerleri, C bölgesinin üst sınırına yakın kalınacak şekilde seçilir. Şekilden de görüleceği gibi kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanılarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şiddeti kullanarak aynı nokta çapı elde etmek mümkündür. Bunlardan ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine ise uzun süreli kaynak adı verilir.

Getirdiği büyük faydalar yüzünden kısa süreli kaynak yöntemi çok gelişmiş olup, büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri çok ince levhalar için bile birkaç saniye olan kaynak zamanı, kontrol organları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç perioda kadar düşürülmüştür (1 period = 1/50 sn.dir). Kaynak zamanı azaldıkça, ısı kayıpları da azaldığından işlemin ısı verimi artmaktadır. İşlemin hızlı olması nedeni ile sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeylerinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Bu nedenle elektrotların dokunma yüzeyleri bozunmaz.

Kısa süreli kaynak, ısıнын çok sınırlı bir yerde yoğunlaşmasının gerektiği özel koşullarda ve alüminyum gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında özellikle tercih edilir.

Uzun süreli kaynakta kaynak bölgesine komşu bölgelerde sıcaklık yükseldiğinden, sıcaklık farkı, dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle % 0,3 C'lu çeliklerde ve bazı alaşımlı çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Diğer taraftan elektrotlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalarda da uzun süreli kaynak tercih edilir.

2.4.3 Elektrot Kuvveti

Elektrot kuvveti, levhaların elektrotlar altında belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhalar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fışkırmayı engellemektir. Dövme safhasında ise kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir.

Elektrot kuvvetinin artması, levhalar arası temas direncini azaltacağından kaynak akımının artırılmasını gerektirir. Diğer taraftan çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlar ortaya çıkarır.

Malzeme ve levha kalınlığının göre elektrot kuvveti P aşağıdaki eşitlikler yardımıyla seçilebilir:

Çizelge 2.3. Malzeme ve levha kalınlığının göre elektrot kuvveti (Eryürek, 1982)

	P
Alaşımsız çelikler için	$2 \times S$
Yüksek alaşımlı çelikler için	$3,5 \times S$
Alüminyum için	$2,5 \times S$
P (KN) olarak elektrot kuvveti, S (mm) olarak levha kalınlığıdır.	

2.4.4 İş Parçası Malzemesi

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Metallerde elektrik ve ısı iletkenlik genelde aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle yüksek elektrik iletkenliği ve yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve erime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini imkansız veya zor bir hale getirir. Diğer taraftan mevcut birçok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı mertebededir. Örneğin Alüminyum ve Paslanmaz Çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali erime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı vermek gerekir. Bununla beraber alüminyumun elektrik ve ısı iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve on defa daha büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı paslanmaz çelik için gerekli olandan oldukça fazladır.

2.4.5 İş Parçasının Yüzey Durumu

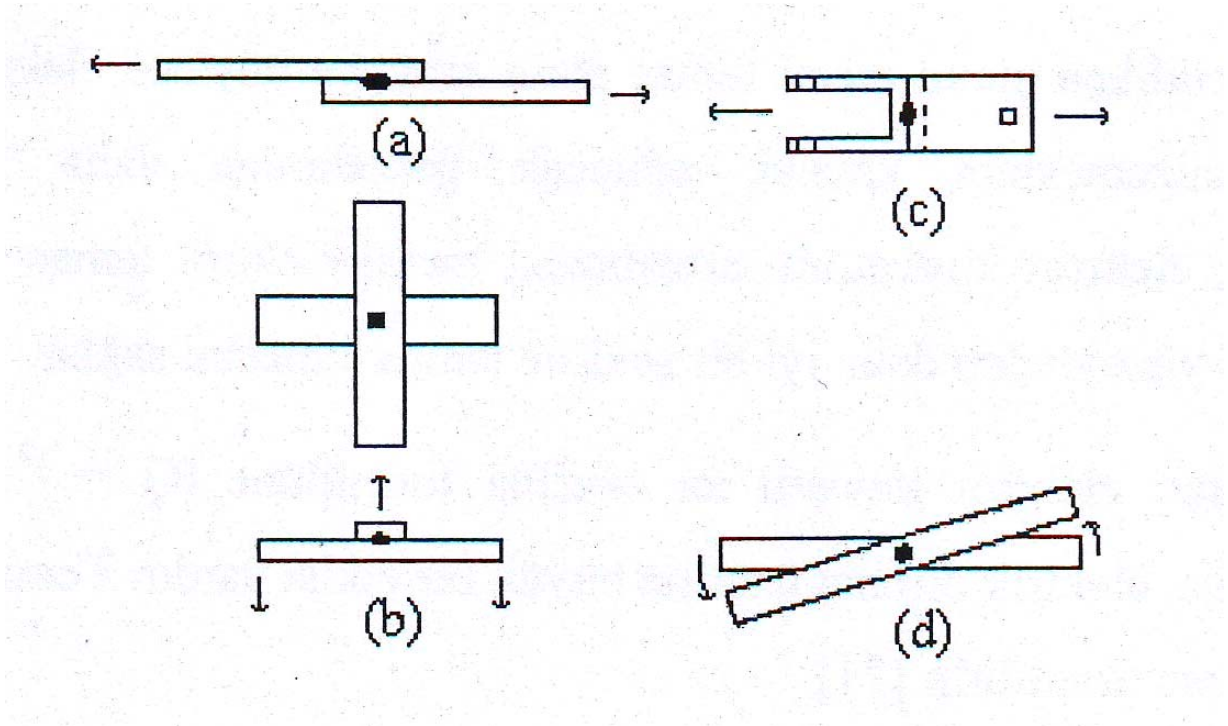
Kaynaklanacak iş parçalarının yüzey durumu temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkiler. Eğer yüzeyler temiz ise belirli bir uygulamada daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzeyi üzerinde oksit, pul gibi oluşumlar bulunan iş parçası, değişik kalitelerde noktaların oluşumuna

yol açar, bu maddeler akımın iletimini zorlaştıracak gibi elektrotların yüzeylerine yerleşerek elektrot ömrünü azaltırlar (Eryürek, 1982).

2.5 Kaynak Noktasının Mukavemeti

Nokta kaynağının statik mukavemetini tayin için aşağıdaki deneyler yapılmaktadır (Şekil 2.12).

- Çekme – makaslama deneyi
- Haç biçimi çekme deneyi
- U biçimi çekme deneyi
- Burulma deneyi



Şekil 2.12 Nokta kaynağına uygulanan mukavemet deneyleri (Akkuş, 2006)

3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK KABİLİYETİ

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak kabiliyeti deyimi kalite ve ekonomiklik açısından arzu edilen nokta kaynağının yapılabilmesi anlamına gelir.

Elektrik direnç kaynağında, birleştirilecek parça, malzemenin cinsine göre elektrik akımının geçişine büyük bir direnç gösterir. Ohm kanununa göre ısıya dönüşen elektrik enerjisi aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$N_s = I^2 \times R \quad (3.1)$$

Burada; N_s : Isı enerjisine dönüşen elektrik enerjisi

I : Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti

R : Kaynak yapılan parçanın elektrik direnci

Bu ifadeyle birlikte, elektrik direncinin düşük olması durumda kaynak kabiliyetinin düşeceği sonucuna varılmaktadır.

Kimyasal bileşim kaynak kabiliyeti üzerinde 1. dereceden etkiye sahiptir. Nokta kaynak bağlantısının içyapısını, sertleşmesini, çekirdek oluşumunu, çatlak oluşumunu ve dayanımını etkiler.

Birçok durumda karbon eşdeğeri C_{es} çeliklerin kaynak kabiliyetinin belirlenmesinde etkilidir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kaynak çekirdeğinin setliği karbon eşdeğeri yardımı ile belirlenir.

Karbon dışında diğer elementler de malzemenin kaynak kabiliyetini etkiler. Alaşım elementleri ilavesi, malzemenin nokta direnç kaynak kabiliyetinde düşmelere neden olabilmektedir.

Nokta kaynağında hızlı bir ısınma-soğuma çevrimi alaşımsız ve düşük alaşımlı ferritik/perlitik çeliklerde denge şartları altında oluşmayan faz dönüşümlerine yol açar. Kaynak çekirdeğini ve ısı tesiri altındaki bölgenin formu ve içyapısı, kimyasal bileşimi ve kaynaktan sonraki soğuma hızına bağlıdır.

Çeliğin yapısında buluna ve metalik olmayan oksit, sülfür gibi katışıkların biçimi, miktarı ve yapıdaki dağılımı, safiyet derecesini belirler. Kabul edilir sınırlar dahilindeki safiyet derecesi ve bunun kaynak esnasında ergimesi kaynak kabiliyetine olumsuz bir etki yapmaz ancak aşırı miktarlarda ergimelerde akım geçişi ve dolayısıyla kaynak çekirdeği oluşumu bozulabilir.

Elektrik ve ısı iletkenlik malzeme direnciyle doğrudan ilgilidir bu nedenle nokta kaynağı kabiliyetini önemli oranda etkiler. Örneğin östenitik içyapılı çeliklerin elektrik iletkenliği, alaşımsız çeliklerinkine göre 6 kat daha düşüktür.

Çeliklerin yüzey durumu da direnç kabiliyetini etkilemektedir. Nokta kaynağında elektrot-iş parçası ve iş parçası-iş parçası arasındaki geçiş dirençleri sıcak hadde sonrasında çelik sacların yüzeylerinde düzensiz dağılmış cüruf ve hadde atıklarından etkilenmektedir. Örneğin bu atıklar eriyerek elektrot baskı yüzeyine yapışır ve yüzeyi düzgünsüzleştirirler.

Alaşımsız levha ve saclarda korozyona karşın koruma sağlayan ince yağ filmi gibi uygulamalar nokta kaynağı kabiliyetini veya elektrot ömrünü azaltmaz.

Östenitik paslanmaz çeliklerde sacların düzgünlüğü kaynak kabiliyeti açısından çok önemlidir. Yüzeyinin her yanı düzgün olmayan saclar kaynak esnasında homojen olmayan ısınmalar ve dolayısıyla ergime sırasında yüzeyde kuvvetli tav rengi gösterirler ve düzgün kısımlar ile tav rengi gösteren kısımlar arasında bir elektrokimyasal potansiyel ortaya çıkar. Bu ise korozyon direncin azalmasına neden olabilir. Kaynak sıcaklığına erişen bağlantı bölgesi üzerinde buluna herhangi bir yağ tabakası kaynak sıcaklığı nedeniyle eriyerek yüzeyin karbürlenmesine neden olur; bu ise malzemenin yüzeyi ile iç kısmı arasındaki kimyasal dengenin bozulmasına yol açar.

Çeliklerde sac kalınlığı da nokta direnç kaynak kabiliyetini etkilemektedir. 3 mm'ye kadar sac kalınlıkları nokta kaynak kabiliyetine sahiptir denilebilir. Aynı kimyasal bileşime sahip ve 3 mm'den kalın saclar nokta kaynağında sertleşmeye karşı daha büyük bir eğilim gösterirler. Bu durum kalın sacların daha yüksek ısı girdisi gerektirmesiyle ilintilidir. Sonuç olarak elektrotların soğuması için daha kısa süre kalması ve bu nedenle de elektrotların ısıyı iyi iletememesi sonucunda parçanın ısınması düşmesi için daha uzun sürelere ihtiyaç doğması, sac kalınlığı arttıkça daha yüksek ısı ve mekanik dayanıma sahip elektrotların kullanılması gerekliliğini doğurur.

Çeliklerin yüzey kaplamaları nokta direnç kaynak kabiliyetini etkileyen bir diğer faktördür. Metalik kaplamalar bakır elektrotların kalınlığının, homojenliğinin, bileşiminin, elektriksel iletkenliğin ve alaşımlanmasının nokta kaynağı işlemine etkisini artırıcı bir rol oynarlar. Elektrot yüzeyinin mekanik kaplama nedeniyle alaşımlanması, elektrot dayanımının azalmasına neden olur. Temas direncinin değişmesi, kaynak verilerinin uygun bir şekilde ayarlanması ihtiyacını doğurur. Organik kaplamaya sahip çelikler çinko tozu veya başka hafif pigmentler içeren yağlayıcı lak ile kaplanmış kaplamalar halinde olduklarından şartlı olarak nokta kaynağı

yapılabilirler. Diğer lak türleri ile veya termoplastik malzemelerle kaplı çelik sac lar nokta kaynağına uygun değildirler. Bunun gibi plastik ara tabakaya sahip kompozit malzemeler de son derece sınırlı bir nokta kaynağı kabiliyetine sahiptirler.

Malzemelerin ısı iletkenlikleri, elektrik iletkenlikleri ve erime noktaları göz önüne alınarak nokta direnç kaynak kabiliyeti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$S=10^4 / \alpha \lambda t_e \quad (3.2)$$

Burada ; S:Kaynak kabiliyeti faktörü

α : Elektrik iletkenliği (m / Ω mm²)

λ : Isı iletkenliği (cal /cm sn °C)

t_e : Erime noktası (°C)

Yukarıdaki ifade ile kaynak kabiliyet faktörünün durumu aşağıdaki biçimde değerlendirilir.

Kaynak kabiliyeti faktörü	Kaynak kabiliyeti
0.25'e kadar	Kötü
0.25-0.75 arası	Yeterli
0.75-2 arası	İyi
2.0'dan yukarısı	Çok iyi

Çizelge 3.1 Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri (Anık,2000)

Metaller	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm)	Isıl iletkenliği (cal/cm.s.°C)	Erime Noktası (°C)	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Alüminyum	36	0,53	659	0,79	İyi
Demir	10	0,16	1530	4,1	Çok iyi
Altın	45	0,74	1063	0,28	Yeterli
Kobalt	11	0,17	1490	3,6	Çok iyi
Bakır	56	0,94	1083	0,18	Kötü
Magnezyum	22	0,41	650	1,7	İyi
Molibden	21	0,33	2620	0,55	Yeterli
Nikel	11	0,21	1453	3	Çok iyi
Platin	9	0,17	1770	3,7	Çok iyi
Gümüş	62	1,1	960	0,15	Kötü
Tantal	6,5	0,13	2850	4,1	Çok iyi
Titan	1,85	0,041	1660	79	Çok iyi
Tungsten	18	0,4	3380	0,41	Yeterli

Çizelge 3.2 Bazı alaşımların fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri (Anık,2000)

Alaşımlar	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm)	Isıl iletkenliği (cal/cm.s.°C)	Erime Noktası (°C)	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Karbonlu çelik	6	0,12	1490	9,3	Çok iyi
Östenit-Mg alaş.	3,5	0,05	1420	40	Çok iyi
AlMg3	16	0,28	620	3,6	Çok iyi
AlMg5	20	0,37	625	2,2	Çok iyi
AlMn	16,5	0,28	605	3,6	Çok iyi
AlMgMn	25	0,41	645	1,5	İyi
AlMgCu	22	0,35	630	2,1	Çok iyi
AlMgSi	27,5	0,37	590	1,7	İyi
Çinko alaş.	31	0,42	620	1,2	İyi
Pirinç	17	0,25	400	5,9	Çok iyi
Al. alaş.	12	0,28	925	3,2	Çok iyi
	22	0,37	610	2	İyi

Çizelge 3.3 3mm kalınlığa kadar alaşımsız ve düşük alaşımlı, kaplanmamış ve yüzeyi kaplanmış haldeki çeliklerin nokta kaynak kabiliyeti (Anık,2000)

NOKTA KAYNAĞI KABİLİYETİ				
Çok Uygun		Uygun	Şartlı Uygun	Uygun Değil
Çelik Malzemeler	Alaşımsız, kaplanmamış çelik band ve saclar	St37	St42 ve St52-3	Plastik kaplı ve laklanmış saclar
		Metalik malzeme ile kaplı çelikler (krom hariç)	Yağlayıcı lak ile kaplı çelikler	Temperlenmiş yay çelikleri
			Krom kaplı çelikler	
	Yüksek dayanımlı derin çekilmiş çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler	Kompozitler	Yüzeyi emayelenmiş çelikler
			Anorganik metalik olmayan malzeme ile kaplı çelikler	
	Östenitik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler		Yüksek sıcaklığa dayanıklı ferritik çelikler	
			Martenzitik paslanmaz çelikler ($C \geq 0,12$)	
			Östenitik yay çelikler	

Çelikler dışındaki Al, Mg, Cu, Ni, gibi demir dışı bazı metallerin de nokta direnç kaynak kabiliyetleri aşağıda çeşitli Çizelgeler aracılığı ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Tipik Al. alaşımlarının çeşitli kaynak proseslerine uyumu (Jefferson, 1962)

METAL YA DA ALAŞIMI	GAZ	ARK	DİRENÇ KAYNAĞI	
			Nokta D.	Dikiş D.
Saf Al.	A	A	A	A
Ticari saf Al.	A	A	A	A
Al-Mn alaş.(3003)	A	A	A	A
Al-Mg-Cr alaş. (5052)	A	A	B	B
Al-Si-Mg (6053,6061,6063)	A	A	A	A
Al-Cu-Mg-Mn (2014,2017,2024)	N	B	B	B
Alclad 2014 ve Alclad 2024	N	B	A	A
A- Uygun B- Sınırlı. N- Uygun değil.				

Çeliğin 1/3'ü, alüminyumun 2/3'ü ağırlığa sahip en hafif ticari metal olan magnezyum ve magnezyum alaşımları nokta direnç kaynağı ile hızlı, ekonomik ve korozyon tehlikesinden uzak bir şekilde kaynak edilebilirler. Ancak magnezyum alaşımları çelik, alüminyum ya da diğer metallere direnç kaynağı ile birleştirilemezler. Magnezyum alaşımları sadece kendileriyle özdeş veya benzer magnezyum alaşımları ile kaynak edilebilirler. Magnezyumun alüminyum veya diğer metallerle birleştirilme girişimleri gevrek intermetalik bileşik oluşumları ve korozyon teşvik edici kombinasyonların oluşum durumları nedenleriyle başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Dow Chemical Company).

Magnezyumun nokta direnç kaynağında malzeme ve elektrotların yüzey temizliği oldukça önemlidir. Bunun için zımparalama uygulanır. Bu işlem, magnezyum ile elektrot arasındaki kaynama olayını azaltacaktır. Elektrottan magnezyum alaşımına kaynama sonucunda gerçekleşen bu alaşımlaşma olayı, magnezyumun korozyon dayanımını düşüren bir etkidir (Jefferson, 1962).

Bakırın kaynağı ise aşağıda belirtilen özelliklerinden dolayı özel bir önem arz eder:

- Yüksek ısı iletkenliği,
- Yüksek ısı genleşme,
- Sıvı halde gazları absorbe etmesi ile gözenek oluşumu.

Bakır ve alaşımları dokuz ana grupta toplanır:

- Saf bakır (minimum 99.3% bakır içerir),
- Yüksek bakırlı alaşımlar (en fazla 5% alaşım elementi içerebilir)

- Bakır-çinko alaşımları (Pirinç ya da sarı, en fazla 40% çinko içerebilir)
- Bakır-kalay alaşımları (Fosfor bronz, en fazla 10% kalay ve 0.2% fosfor içerir)
- Bakır-alüminyum alaşımları (Alüminyum bronz, en fazla 10% alüminyum içerir)
- Bakır-silis alaşımları (Silis bronz, en fazla 3% Si içerir)
- Bakır-nikel alaşımları (en fazla 30% nikel içerir)
- Bakır-çinko-nikel alaşımları (en fazla 7% çinko ve 18% nikel içerir)
- Özel alaşımlar (spesifik bir özelliği geliştirmek için alaşımlanmış malzemeler)

Aşağıda bazı bakır alaşımlarının çeşitli kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak işlemlerindeki kaynak kabiliyetleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 Başlıca bakır alaşımlarının çeşitli kaynak proseslerine uyumu (Anık,2000)

Bakır Alaşımı	Gaz Kaynağı	TIG	MIG	Elektrik Ark	Elektrik Direnç Kaynağı		
					Nokta	Dikiş	Alın
CuAsP	B	B	B	A	A	A	A
CuMn2	A	B	A	–	A	A	B
CuMn5	A	B	A	–	A	A	B
CuSi2Mn	N	B	B	A	B	B	B
CuSi3Mn	N	B	B	A	B	B	B
CuZn28	A	A	N	N	A	N	A
CuZn37	B	A	N	N	A	N	A
CuZn20Al	N	B	N	A	A	N	A
CuNi12Zn24	A	A	N	N	A	A	A
CuNi25Zn15	A	A	N	A	A	A	A
CuSn6	A	B	B	B	A	A	B
CuSn8	A	B	B	B	A	A	B
CuNi10Fe	A	B	B	B	A	B	B
CuNi25	A	B	B	B	B	B	B
CuNi30Fe	A	B	B	B	B	B	B
CuAl5	N	B	B	A	A	A	A
CuAl8	N	B	B	A	A	A	A
CuAl10Ni	N	B	B	B	A	A	A
N: Uygun değildir B: Tavsiye edilir A: Uygundur.							

Monel (%67 Ni+%30Cu+%1.5Fe4%1Mn), inkonel (%80Ni+%15Cr+%5Fe), hastelloy (%56Ni+%22Mo+%6Fe) gibi ticari isimleriyle anılan çeşitli nikel alaşımlarının kaynak prosesleri ise Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Nikel alaşımları için kaynak prosesleri (Jefferson, 1962)

Sık Kullanılan Yöntemler	Daha Az Kullanılan Yöntemler
Asal-gaz-ark	Oksi-asetilen gaz
Koruyucu metal arkı	Karbon-ark
Direnç kaynağı	Pirinç lehimleme
Gümüş lehimleme	Sıcak lehimleme

Çizelge 3.7 Direnç kaynak yöntemiyle kaynatılabilen malzemeler (Anık,2000)

MALZEME	KAYNAK YÖNTEMİ			
	Nokta Direnç	Kabartılı Direnç	Dikiş Direnç	Alın Direnç
Düşük Karbonlu Çelik	A	A	A	A
Yüksek Karbonlu Çelik	B-C	B-C	B	A
Düşük Alaşımlı Çelik	B-C	B-C	B-C	B
Paslanmaz Çelik 18/10	A	B	A	A
Paslanmaz Çelik 17/0	B-C	B-C	B-C	B-C
Çelik Döküm	-	-	-	A
Dökme Demir	D	-	-	C
Bakır	C-D	C	E	A
Pirinç	B	C	B	A
Bronz	A	B	B	A
Nikel ve Alaşımları	B	B	B	B
Alüminyum ve Alaşımları	B	C	B	A
Magnezyum ve Alaşımları	B	C	B-C	
Çinko, Tutya	B	B	B	B
Kurşun	A	-	-	-
Gümüş	D	E	E	B
Altın	B	B	C	A
Platin	A	A	-	A
Molibden	C	-	-	B
Tungsten	C	-	-	B
A- Çok İyi B- İyi C- Orta D- Kötü E- Olanaksız				

Çizelge 3.8 Metalsel malzemelerin nokta direnç kaynağına uygunluk durumları (Gültekin, 1991)

Malzeme	Zr	W	Ti	Ta	Sn	Pt	NiCu	NiCr	Ni	Mo	Mg	FeNi	FeCr	Fe	CuNi	CuBe	Cu	Cd	Au	Al	Ag
Ag		4		3		3		5	3	4		5		3	3	3	4			4	3
Al		4		3	4	3	3		3	4	2	2	3	2	3	3	4	4		2	
Au																			2		
Cd					2		2	4	4					2			2	2			
Cu	5	4	5	3	2	2	2	2	2	4		2	4	2		2	2				
CuBe		3		1		1		1	1	3				4	2	1					
CuNi		2		2		2		2	2	3				2	2						
Fe	5	3		3	4	1	2	2	2	2		2		1							
FeCr						1			2				2								
FeNi		5			4	5	2	2	2	2		2									
Mg											2										
Mo	2	3		3		2	2	2	2	4											
Ni	2	2	5	2	3	1	2	2	2												
NiCr		5			4	1	2	2													
NiCu					2	1	2														
Pt		2		2		1															
Sn					2																
Ta		3		3																	
Ti			2																		
W	2	3																			
Zr	2																				

1- Çok İyi 2- İyi 3- Orta 4- Zor 5- Açıklık Yok

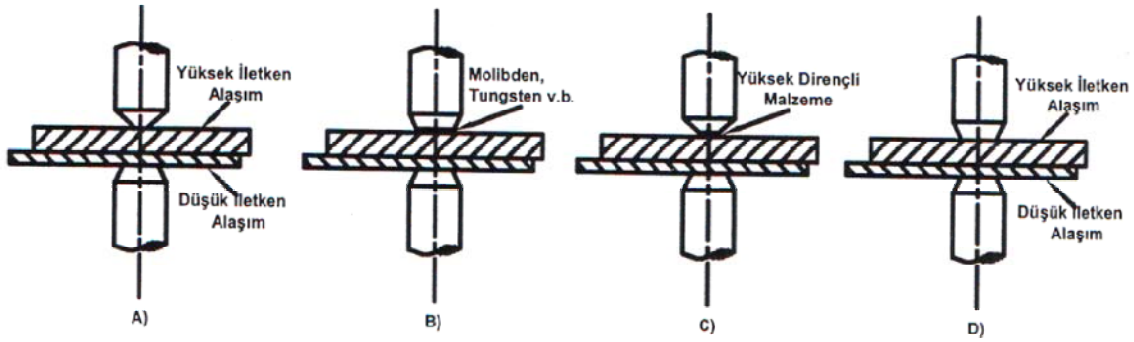
4. FARKLI METALLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI

Paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik gibi iki farklı malzeme kaynak edildiğinde ısıl denge, ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanını artırarak ya da düşük karbonlu çelik tarafında daha yüksek dirençli elektrot kullanılarak sağlanır (Eryürek, 1982).

Genel olarak yukarıdaki şartlar, aynı malzemeden mamul fakat farklı kalınlığa sahip iş parçalarının kaynağı için de geçerlidir. Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, yüksek kalınlık oranlarında, soğutulmuş elektrotun ince parça tarafında ara yüzeye daha yakın olması nedeniyle, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimine doğru eğilim vardır. Uygun ısıl denge, ince iş parçası tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak sureti ile gerçekleştirilir.

Burada ısıl denge durumunu etkileyen faktörler:

- Kaynak edilecek malzemelerin izafi ısıl ve elektriksel iletkenlikleri
- Kaynak edilecek parçaların izafi geometrileri
- Elektrotların ısıl ve elektriksel iletkenlikleri,
- Elektrotların geometrileri.



Şekil 4.1. Farklı kalınlıktaki veya özellikteki metallerin direnç kaynağında ısıl dengeyi sağlamak için uygulanan yöntemler (Anık vd., 2003)

Yukarıdaki şekilde farklı kalınlıktaki, aynı özellikteki veya birbirinden farklı iki metalin direnç kaynağında ısıl denge sağlamak için uygulanan usuller gösterilmiştir.

A'da yüksek iletkenliğe sahip alaşım tarafına daha küçük temas yüzeyine sahip elektrot konularak bu taraftaki akım yoğunluğu artırılmış ve her iki parçada da eşit derecede erime sağlanmıştır.

B'de yüksek iletkenlikteki malzeme ile temasta olan elektrotun temas yüzeyi, Molibden ve Tungsten gibi yüksek ısı dirence sahip malzemeden yapılmıştır.

C'de her iki yöntemin bir arada kullanıldığı durum gösterilmektedir.

D'de ise yüksek iletkenliğini dengelemek için malzemenin kalınlığını artırarak gerçekleştirilen usul görülmektedir. (Anık vd., 2003).

4.1. Soğuk Deformasyona Uğramış Farklı Malzemelerin Nokta Direnç Kaynağı

Soğuk deformasyona uğrayan farklı malzemelerin özellikle farklı paslanmaz çelik sacların birbirleri ile birleştirilmeleri, endüstride sıkça rastlanan bir durumdur. Sac levhaların birleştirilmelerinde en sık rastlanan yöntem de direnç kaynağıdır. Örneğin mutfak eşyalarından östenitik paslanmaz çelik tencereler ekstrüzyon işlemine tabi tutularak imal edilmektedirler. Deformasyona uğramış gövdelere ferritik paslanmaz çelik sac ve tutamaçların birleştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Kaynak işlemindeki termal sürecin derecesine bağlı olarak soğuk deformasyonla dayanım kazandırıldıktan sonra birleştirilen farklı paslanmaz çeliklerin ısı tesiri altındaki bölgesinde ve kaynak bölgesinde yapısal başarısızlıklar ortaya çıkabilir.

Kaçar ve Gündüz tarafından yapılan bir çalışmada AISI 304 – AISI 430 paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynak kalitesine, malzemenin kaynak öncesi farklı oranlarda maruz kaldığı soğuk deformasyonun etkisinin belirlenmesine çalışılmıştır. Farklı paslanmaz çelik çifti temin edildiği halde ve farklı oranlarda (%5, %10, %15) soğuk deformasyonlara uğratıldıktan sonra 7 kA akım şiddetinde 35 çevrim kaynak zamanında, 7 bar elektrot baskı kuvveti uygulanarak birleştirilmiştir. Kaynak kalitesini değerlendirmek için birleştirmenin mikro yapısı incelenerek, çekme makaslama yükü taşıma kapasitesi ve sertlik profili belirlenmiştir. Birleştirmenin mekanik özelliklerinin birleştirilen malzemenin şekil alabilirliğine bağlı olduğu bulunmuştur.

Tane irileşmesi nedeniyle tokluktaki azalmadan dolayı şekillendirilebilirliğin önemli olduğu yerlerde ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesi çok istenen bir durum değildir. Kimyasal bileşimlerinde kromun yanı sıra nikel de bulunan, kaynak edilebilirlikleri iyi olan ve endüstride geniş kullanım alanına sahip çelikler ise östenitik paslanmaz çeliklerdir. Tane

sınırlarında krom karbür çökmesi ile taneler arası korozyon oluşumu, kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan önemli bir sorundur.

Endüstride kullanılan paslanmaz çelikler fabrikasyon uygulamalarında soğuk plastik şekillendirmeye maruz kalırlar. Soğuk plastik şekillendirme, malzemenin dayanım ve sertliğini artırır, çalışma sertleşmesi olarak da bilinen bu olay, dayanım artırma mekanizmalarından biridir. Ancak çeliklerin kırılmaya karşı dayanımının önemli parametrelerinden olan şekillendirilebilirlik, çalışma sertleşmesinden olumsuz etkilenir.

Soğuk şekillendirme ile kazanılan mukavemet ve sertlik artışı, termal süreçlerden olumsuz etkilenir. Kaynaklı birleştirmeler de termal süreç içerdiği için malzemenin mikro yapısının ve özelliklerinin önemli derecede değiştiği sıcaklık aralıklarında çalışma sertleşmesi ile kazanılan özelliklerde bir değişim olması kaçınılmazdır. Bu durum, kaynaklı birleştirmelerin yeniden kristalleşme ve tane büyümesi görülen ısı tesiri altındaki bölgesinin ana metalden daha zayıf olmasına sebep olmaktadır.

4.1. 1 Kaçar ve Gündüz Tarafından Yapılan Çalışmada Deney Numuneleri ve Özellikleri

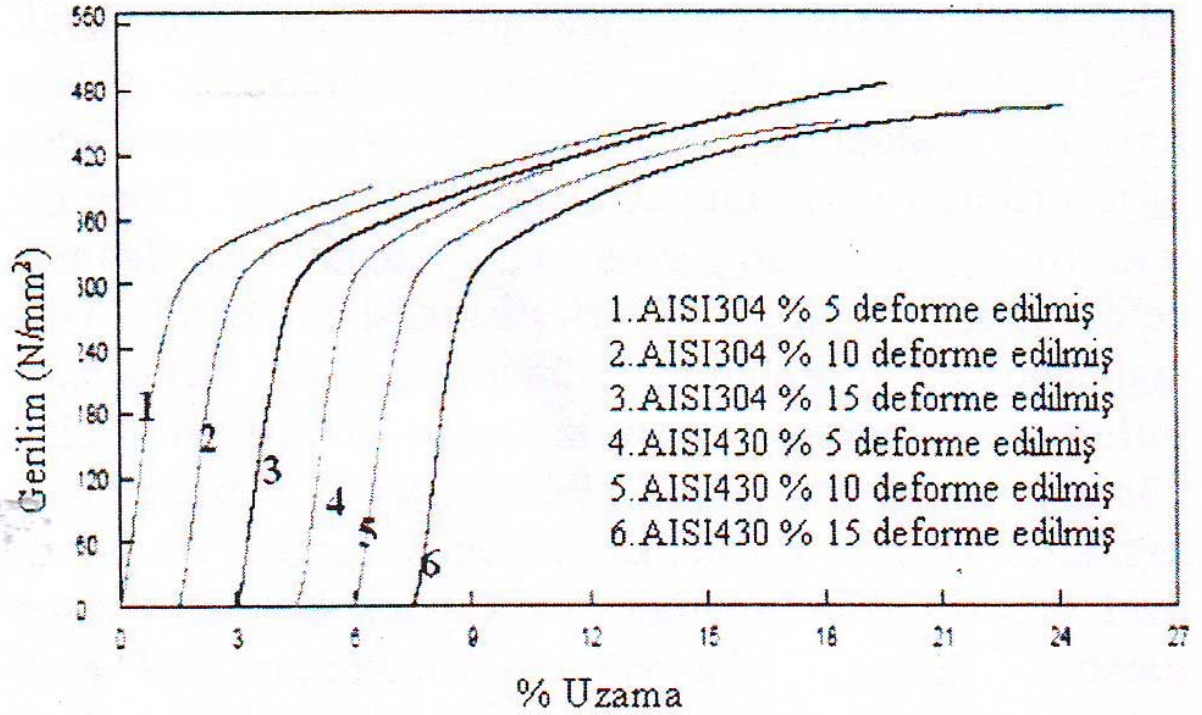
Çalışmada kimyasal bileşimleri aşağıdaki Çizelge’de gösterilen AISI 304 – AISI 430 paslanmaz çelik saclar kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan sacların kimyasal bileşimi (Kaçar ve Gündüz, 2007)

AISI	C	Cr	Ni	Si	Mn	Mo	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Fe	P	S
304	0,05	18,1	7,8	0,57	1,537	0,332	0,03	0,17	0,39	0,05	0,006	0,089	0,01	Gerisi	0,02	0,006
AISI	C	Cr	Ni	Si	Mn	Mo	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Fe	P	S
430	0,03	16,2	0,2	0,4	0,62	0,032	0,01	0,03	0,11	0,04	0,005	0,112	0,01	Gerisi	0,02	0,003

Her bir kaynak zamanı için beş çift numune olacak şekilde 2x30x100 mm boyutlarında birleştirme için hazır hale getirilmiştir.

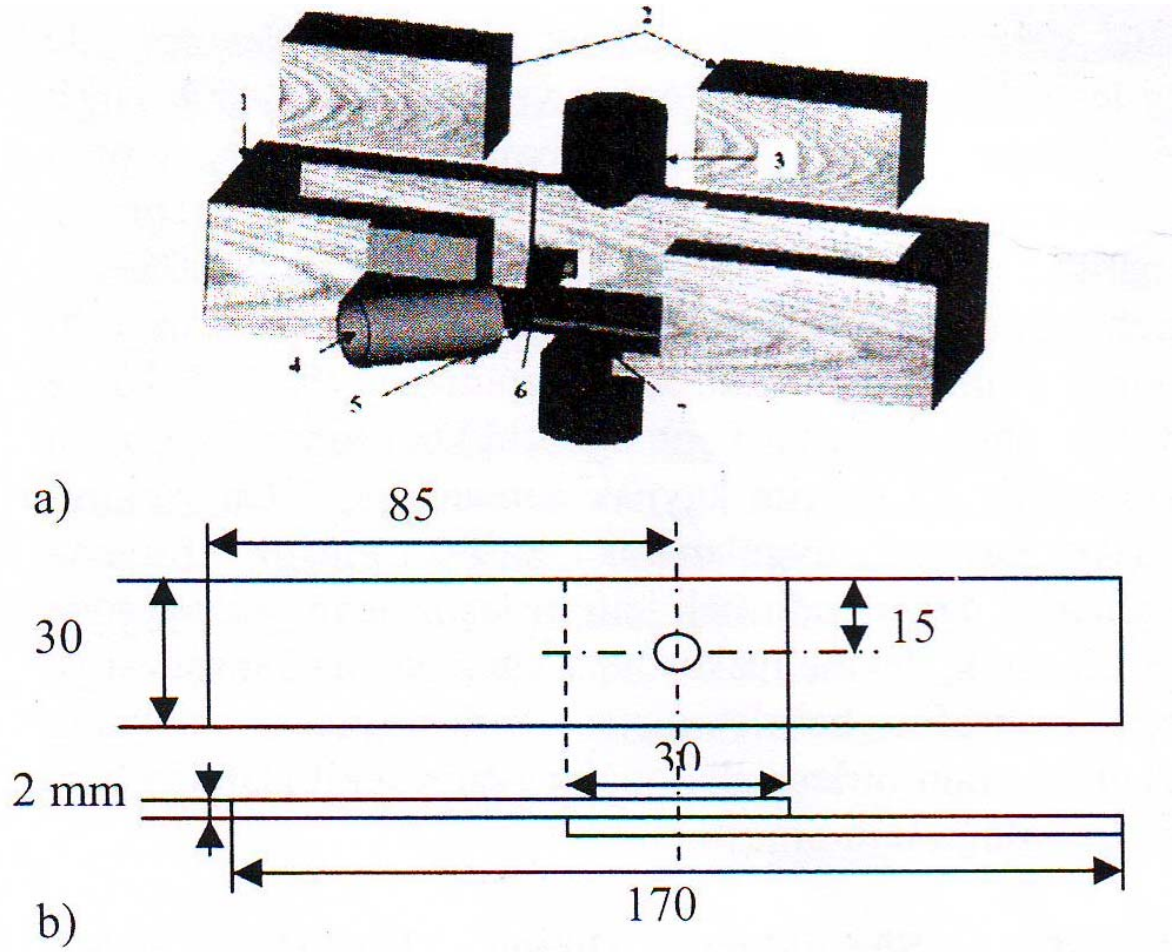
Soğuk deformasyonun birleştirme üzerinde etkisini belirleyebilmek amacı ile 2x30x200 mm boyutlarında kesilen malzemeler, her bir deformasyon oranı için (%5, %10, %15) 5 adet olmak üzere toplam 15 adet numune çekme cihazında çenelerin hareketi doğrultusunda deformasyona uğratılmıştır. Aşağıdaki şekilde deforme edilmiş numunelerin çekme-uzama grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.2 Deforme edilmiş numunelerin çekme-uzama grafikleri (Kaçar ve Gündüz, 2007)

4.1.2 Kaçar ve Gündüz Tarafından Yapılan Çalışmada Deney Numunelerinin Birleştirilmesi

Deneylerde elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma donanımlı AC nokta direnç kaynak makinesi ve uç çapı 8 mm olan su soğutmalı kesik konik uçlu Cu – Cr elektrotlar kullanılmıştır. Numunelerini standart olarak birleştirebilmek, numunelerin eksenlerinden kaymasını önlemek amacı ile ahşaptan tutucu bir kalıp hazırlamıştır. Aşağıdaki şekilde birleştirme için hazırlanmış numunelerin boyutları ve kaynak pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.3 (a) Ahşap tutucu kalıp, (b) Deney numunesi boyutları ve kaynak pozisyonları (Kaçar ve Gündüz, 2007)

Kaynak parametresi olarak; kaynak süresi (35 çevrim) ve kaynak sonrası bekleme zamanı (30 çevrim) seçilmiştir. 1 çevrim 0,02 saniyedir. Elektrot baskı kuvveti, 7 bar olarak ayarlanmıştır. Numuneler 7 kA akım şiddetinde birleştirilmiştir.

4.1.3 Metalografik İnceleme

Numuneleri incelemek üzere 100 ml saf su içerisinde 10 g oksalik asit bulunan çözeltide hazırlanarak 12 V gerilim altında 2 A akım şiddetinde 45 saniyelik elektrolitik dağlama uygulanmıştır. Tarama elektron mikroskobu kullanılarak bağlantının mikro yapısı incelenmiştir.

4.1.4 Mekanik Testler

Birleştirmelerden her bir şart için hazırlanan 3'er adet deney numunesi çekme makinesinde 5 mm/dak çekme hızında teste tabi tutulmuştur.

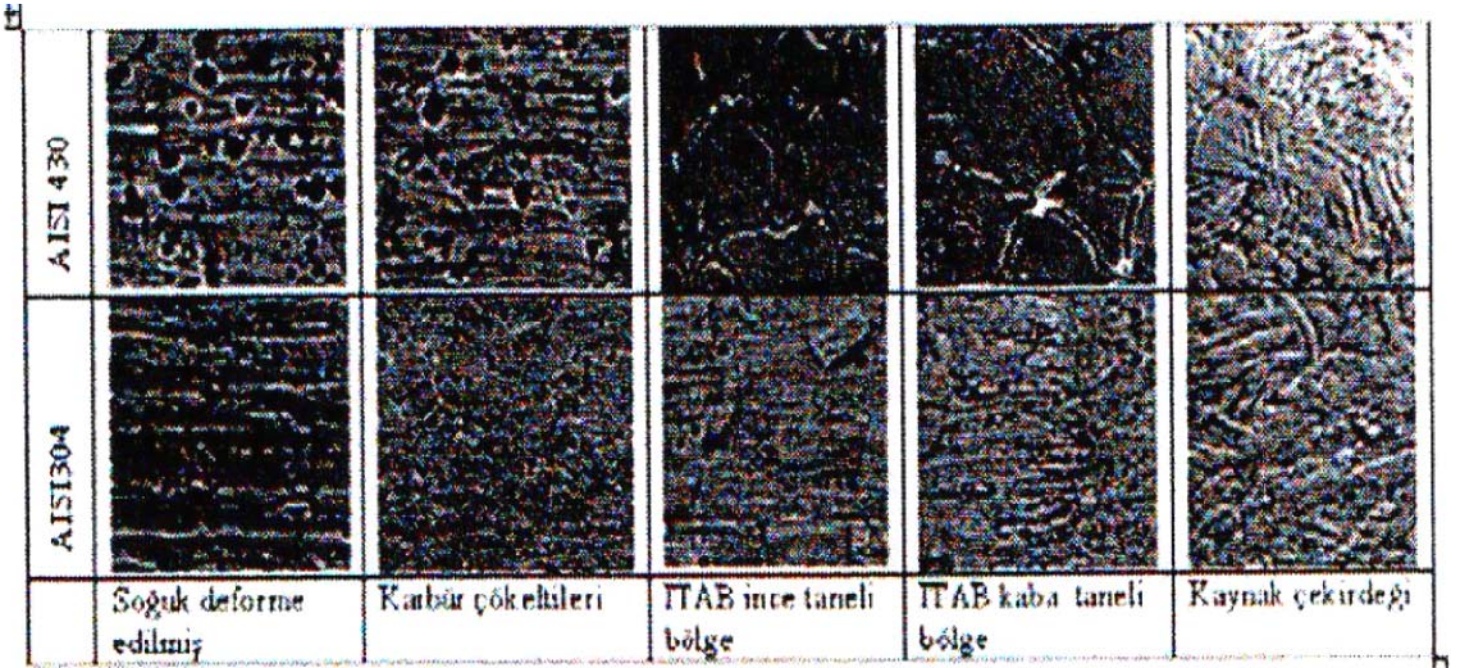
Deformasyonun paslanmaz çelik kaynaklı birleştirmelerinin şekillendirilebilirliğine etkisini tespit etmek amacıyla numunelerin Vickers mikro sertlik 5 ölçüm ortalaması sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Deney işlemi sırasında elmas piramit uca 200 gr yük uygulanmıştır.

4.1.5 Kaçar ve Gündüz Tarafından Yapılan Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Direnç kaynak kalitesine etki eden en önemli faktörler yüzey görünüşü, dayanım, şekillendirilebilirlik, kaynak çekirdek boyutu, kaynak nufuziyeti, malzeme ayrılma biçimi ve iç kusurlardır.

4.1.5.1. Soğuk Deformasyonun Mikro Yapı Üzerine Etkisi

Soğuk deformasyonun mikro yapı üzerindeki etkileri şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Kaynaklı bağlantı mikro yapı profili (Kaçar ve Gündüz, 2007)

Şekil 4.4-a'dan görüldüğü gibi ferritik paslanmaz çelik malzemenin mikro yapısı eşeksenel ferrit tanelerinden oluşmaktadır. Ancak tane içlerinde deformasyonun etkisi olan kayma bantlarının izleri net olarak görünmektedir. Östenitik ana malzemenin yapısı ise deformasyon doğrultusunda uzamış tanelerden meydana gelmiştir. Bazı taneler içerisinde ikizlenmeler görülmektedir. Şekil 4.4-b'de ise soğuk deformasyona uğradıktan sonra ana malzemenin maruz kaldığı termal sürece bağlı olarak kaynak çekirdeğinden uzak bölgelerde toparlanma sıcaklığına ulaşılan bölümlerde ana malzeme üzerinde tane sınırlarında karbür çökelmeleri görülmektedir. Bu karbür çökeltileri ferritik paslanmaz ana malzeme ve tane sınırlarında daha fazla olmak kaydıyla, östenitik ana malzeme üzerinde tane sınırlarında yoğunlaşmaktadır. Toparlanma ile birlikte soğuk deformasyon sırasında kaybedilen elektrik iletkenliğinde bir iyileşme beklenir. Şekil 4.4-c'den görüldüğü gibi soğuk deforme olmuş ferritik ana malzeme üzerinde ITAB'da yeniden kristalleşmiş taneler oluşmuştur. Östenitik ana malzemenin üzerinde ITAB'da yeniden kristalleşme ancak ergime sınırına yakın bir bölgede oluşmuştur. Şekil 4.4-d'den görüldüğü gibi ferritik paslanmaz çelik ana malzemenin ergime sınırına yakın bölgede ITAB'da kabalaşmış taneler görülmektedir.

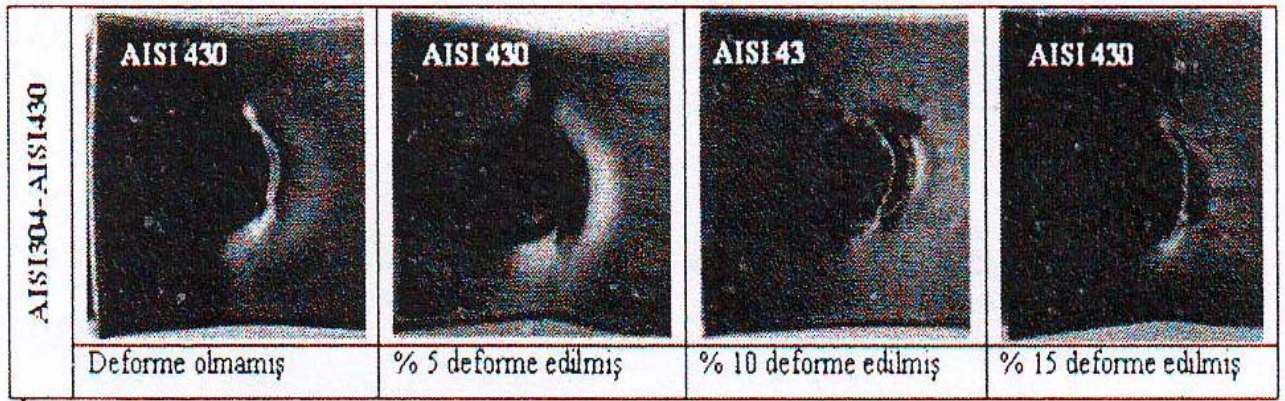
Şekil 4.4- e'de kaynak çekirdeğinde lokal ergimeden dolayı kaba kolonsal taneler oluşmuştur.

Kaynaklı birleştirmenin mikro yapısı SEM mikroskobu ile incelenerek aşağıda gösterilmiştir. Şekilden de görüldü gibi birleştirmenin ITAB'ın ferritik paslanmaz çelik tarafının kaynak çekirdeğine yakın bölgesinde ITAB'da tane irileşmesi belirgin olarak görülürken östenitik paslanmaz çelik tarafında tane irileşmesinden ziyade yeniden kristalleşme ile tane incilmesi görülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerin çekme makaslama testlerinde ayrılmanın tamamen ferritik paslanmaz tarafında kaba taneli bölümden oluşmasının ana sebebi budur. Östenitik paslanmaz çelik tarafının kaynak çekirdek boyutları, ferritik ile mukayese edildiğinde daha geniş bulunmuştur. Ferritik paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle ısı daha hızlı transfer olduğu için daha küçük çekirdek boyutu elde edilmenin sebebi olarak düşünülebilir.

Östenitik ve paslanmaz çelik birleştirilmesinde kaynak çekirdeğinde lokal bir ergimenin oluşması sebebiyle ferritik – östenitik dubleks paslanmaz çelik kimyasal bileşimine yakın bir yapı meydana gelmiştir. Dubleks paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri ise dayanımlarının ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksek olmasıdır. Kaynak çekirdeğinin ferritik

paslanmaz çelik tarafındaki analizde tespit edilen Nikel miktarı, östenitik paslanmaz çelik tarafına doğru da bir artış göstermektedir.

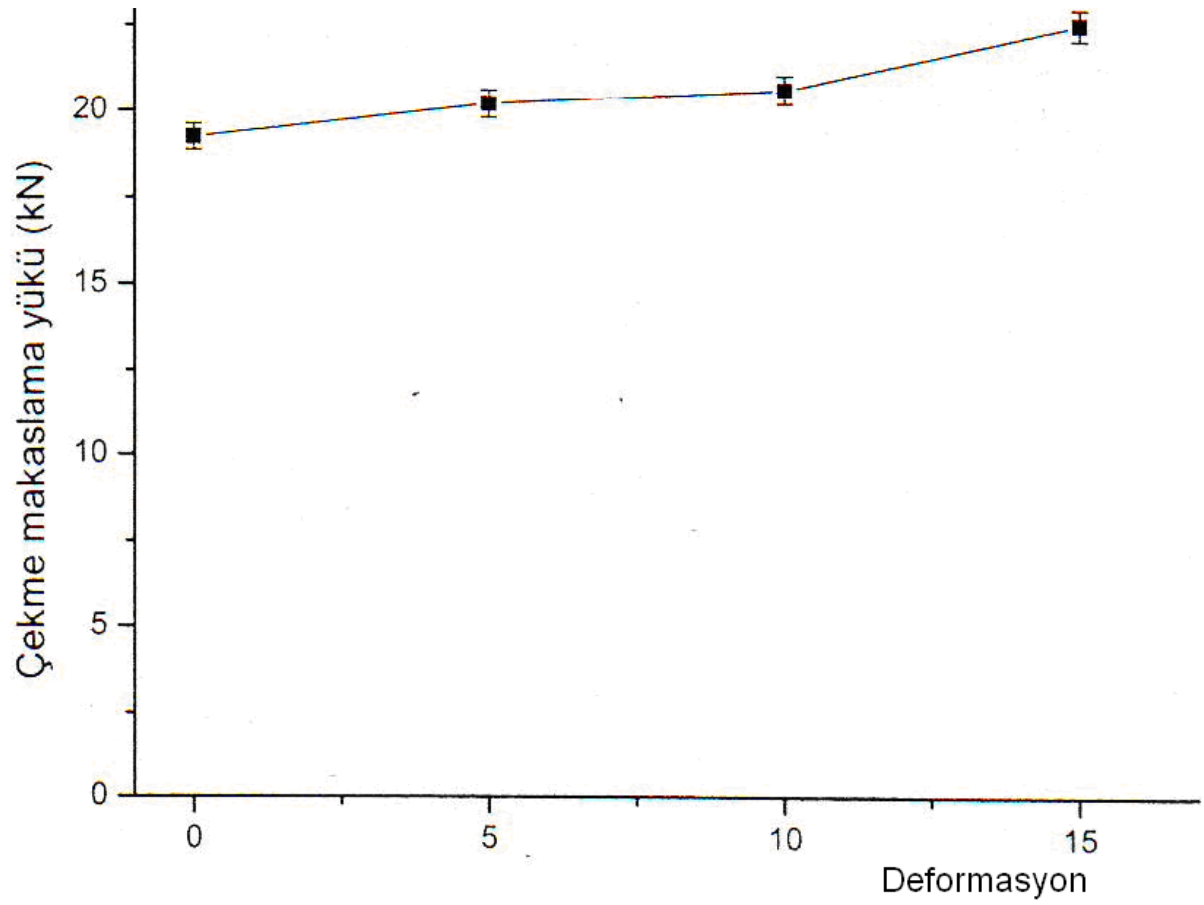
Yüzey görünüşü de kaynak kalitesine etki eden parametrelerden birisidir. Çalışmada, düzgün yuvarlak görünümlü birleştirmeler elde edilmiştir. Birleştirme yüzeylerindeki elektrotların bıraktığı izin kabul edilebilir olması, homojen olarak uygulanan elektrot baskı kuvvetine bağlıdır. Elektrot baskı kuvveti kaynağın görünüşünü etkilemektedir. İyi sonuç almak için elektrot baskı kuvveti, paslanmazlar için, sade C’lu çelikler için uygulananın 2 – 3 katı daha fazla uygulanması önerilir.



Şekil 4.5 Farklı oranlarda deforme edilmiş ve farklı kaynak zamanlarında birleştirilmiş çekme makaslama numunelerinin ayrılma biçimleri (Kaçar ve Gündüz, 2007)

Şekilde görüldüğü gibi numunelerin genelinde yırtılma şeklinde ayrılma görülmüştür. Yırtılma başlangıcı ferritik paslanmaz çelik tarafında ITAB’da aşırı tane büyümesinin olduğu bölgeden olmuştur. Birleştirmelerin en zayıf bölgesi burasıdır.

4.1.5.2 Soğuk Deformasyonun Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi



Şekil 4.6 AISI 304 – AISI 430 birleştirmenin çekme makaslama kuvvet sonuçları (Kaçar ve Gündüz, 2007)

Artan deformasyon miktarına bağlı olarak deforme edilmiş numunelerin çekme – makaslama yükü taşıma kapasitelerinin bir miktar arttığı belirlenmiştir. Artan deformasyon miktarına bağlı olarak orijinal numune boyutlarında kesitte bir daralma söz konusu olduğu için sabit ısı girdisi kullanılsa bile daha ince kesitteki malzeme daha fazla ısı girdisine maruz kaldığından daha fazla nüfuziyet elde edilmiştir. Makroskopik gözlemler bu sonucu desteklemiştir.

Birleştirme sonucu meydana gelen dubleks paslanmaz çeliklerin dayanımlarının ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha yüksek olması da çekme - makaslama yükü taşıma kapasitelerindeki artışın sebeplerinden biridir.

Kaynak kalitesine etki eden unsurlardan biri de kaynak çekirdek boyutudur. Deformasyon ile çekirdek boyutu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmada sabit bit ısı girdisi kullanıldığı için,

kaynak çekirdek boyutlarında deformasyon miktarına bağlı belirgin bir farklılık bulunmamıştır. Kaynak kalitesi ve dayanımı kaynak çekirdek boyutu ve kaynak nüfuziyeti ölçerek tahmin edilmeye çalışılır. Normalde kabul ve tekrar edilebilir bir nokta direnç kaynak birleştirmesi için minimum çekirdek boyutu birleştirilen en ince parçanın 3,5 – 4 kalınlığında olması istenir. Çalışmada kaynak çekirdek boyutları yaklaşık olarak birleştirilen en ince parçanın 4 katı olarak elde edildiği için kabul edilebilir olarak bulunmuştur.

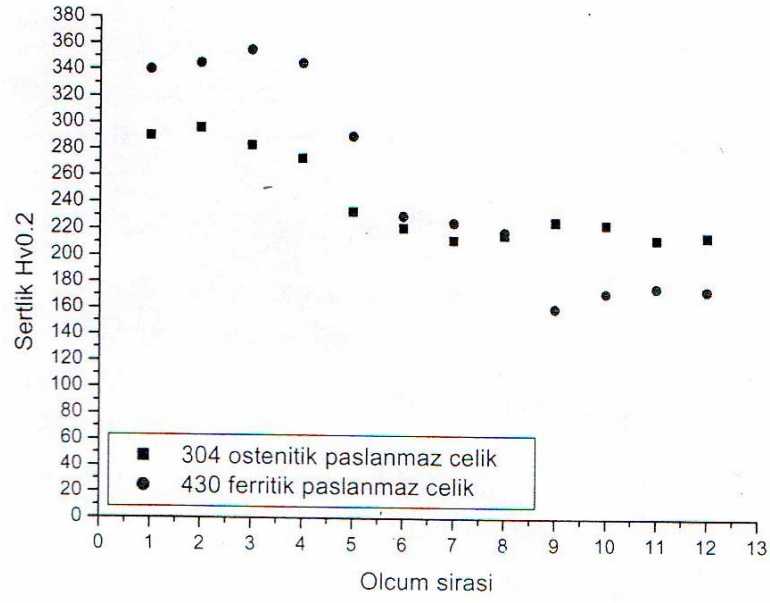
Direnç kaynaklı birleştirme kalitesine etki eden parametrelerden şekillendirilebilirlik sertlik ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.7-a'da birleştirilen numunenin sertlik profili, 4.7-b'de % 15 deforme edildikten sonra birleştirilen numunenin sertlik profili grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekilde gösterildiği gibi birleştirilen numunenin kaynak çekirdeğinin sertliği ferritik paslanmaz çelik tarafında östenitik paslanmaz çelik tarafına göre bir miktar yüksek bulunmuştur. % 15 deforme edildikten sonra birleştirilen numunenin kaynak çekirdek sertliği ise östenitik paslanmaz çelik tarafının ferritik paslanmaz tarafına oranla daha yüksek bulunmuştur.

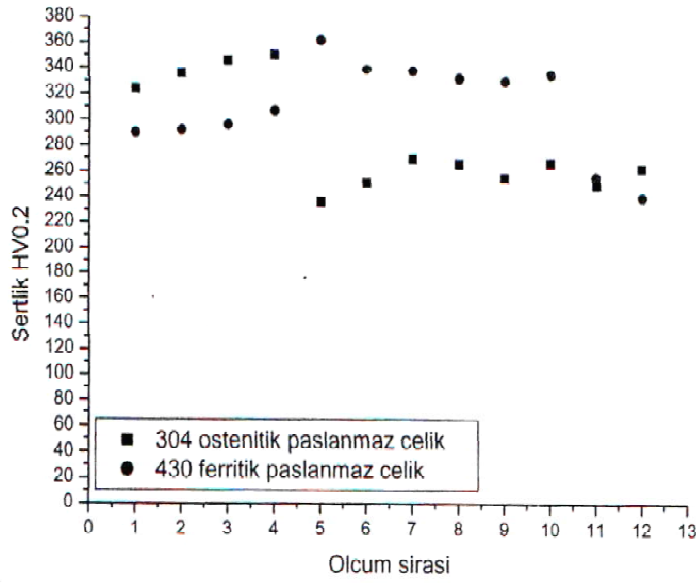
Birleştirmelerin ITAB bölgesinde ise deforme olmamış numunelerde her iki çelik tarafı için düşme görülürken deforme olmuş numunenin östenitik paslanmaz çelik tarafında da düşüş fakat ferritik paslanmaz çelik tarafında kayna değer bir artış bulunmuştur. Östenitik paslanmaz çelik tarafındaki sertlik düşüşü tamamen yeniden kristalleşme ile meydana gelen yapı ile alakalıdır.

Ferritik paslanmaz çelik tarafındaki artış sebeplerinden birincisi ferritik paslanmaz çeliklerin genel karakteristikleri olarak yapılarında karbür çökeltileri bulunması sebebi ile kaynak işlemi sırasında bu karbürlerin daha da büyüyerek ITAB'da sertliği artırmış olabilir.

Fertik yapılarda deformasyonla beraber dislokasyon yoğunluğunun artması, östenitik yapılara göre daha fazla olması ikinci sebep olarak gösterilebilir. Bu dislokasyon yoğunluğu, sertlik olarak kendini gösterecektir. Deforme olmuş ferritik paslanmaz çelik kaynak işlemi sırasında ısı iletim katsayısı daha yüksek olduğu için yeniden kristalleşmeye uğramadan ITAB'da tane irileşmesi meydana geldiği böylelikle dislokasyon yoğunluğu yüksek kaba tanelerin oluştuğu düşünülmektedir. Bu dislokasyon yoğunluğu fazla tanelerin sertliğinin yüksek olması doğal bir sonuçtur.



a.



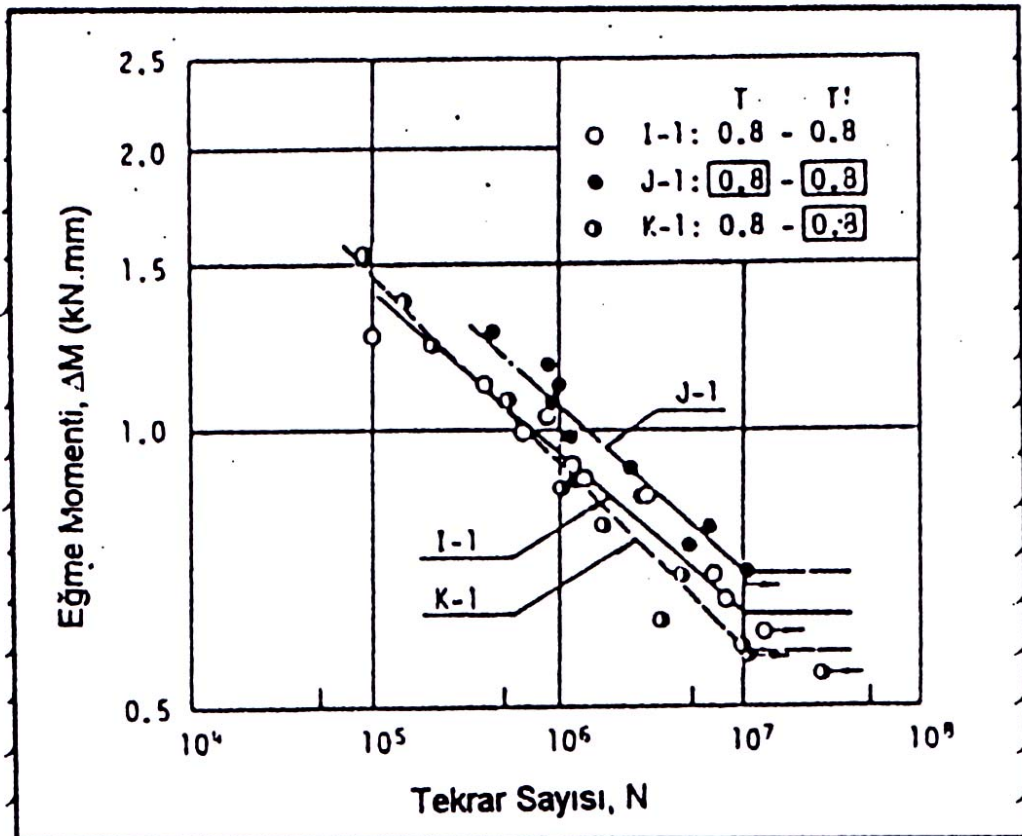
b

Şekil 4.7 Birleştirmelerin sertlik profili (Kaçar ve Gündüz, 2007)

Deforme olmuş ana malzemelerin sertliği deforme olmamışa oranla daha yüksek bulunmuştur. Bu durum soğuk deformasyonun malzemeye sağladığı sertlik artışı ile alakalıdır.

4.2 Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Düşük Karbonlu Çelik Saclara Nokta Direnç Kaynağı

Şekil 4.7’de gösterilen 0,8 mm eşit kalınlıktaki sacların üç eşit nokta kaynaklı bağlantısının düzlemsel eğmeli yorulma deneyi sonuçlarıdır. Yüksek mukavemetli çelik sacların bağlantısının (J-1) yorulma mukavemeti, düşük karbonlu çelik sacların bağlantısından (I-1) daha yüksek olduğu görülmektedir. Düşük karbonlu ile yüksek mukavemetli çelik sacların birleşimi olan bağlantının (K-1) yorulma mukavemeti, (I-1) ile kıyaslandığında, düşük tekrar sayısında yaklaşık aynı oldukları fakat tekrar sayısının artması ile farkın arttığı gözlemlenmektedir. (K-1) bağlantılarında kırılma düşük karbonlu çelik saclarda yorulma oluşması sonucunda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.8 Düzlemsel eğmeli yorulma test sonuçları (Aydemir ve Kaluç, 1997)

Kaynak edilmemiş yorulma mukavemeti çeliğin mikro yapısına ve mukavemetine bağlıdır. Kaynakla birleştirilmiş parçalarda ise durum daha karmaşık bir yapıdadır. Yorulma mukavemetini etkileyen parametrelerin (kaynağın neden olduğu bölgesel değişim, kaynağın geometrisi, kaynak hatalarının bulunuşu) hepsi gerilme birikimini artırır. Bu durum yorulma çatlağının başlamasını ve ilerlemesini kolaylaştıran koşullar oluşturur. Nokta kaynaklı bağlantılarda bazı değişkenlerin yorulma mukavemetine etkileri aşağıdaki Çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Nokta kaynaklı bağlantılarda bazı değişkenlerin yorulma mukavemetine etkileri (Aydemir ve Kaluç, 1997)

Durum	Düşük tekrar sayısında	Yüksek tekrar sayısında
1. Sac kalınlığının artması	Mukavemeti yükseltir	Mukavemet artan kalınlığa bağlı olarak artar
2. Kaynak noktası çapının artması	Mukavemeti yükseltir	Mukavemeti önemsiz bir miktar azaltır
3. Sac kalınlığı ve kaynak çapının her ikisinin birden artması	Tüm yorulma ömrü için yorulma mukavemetini artırır	
4. Akma mukavemetinin artması	Mukavemeti yükseltir	Etkisi yoktur
5. ITAB'ın mikro yapısı	Kararlı değildir	Etkisi yoktur
6. Numune genişliğinin artması	Belirli bir genişliğe kadar tüm yorulma ömrü için yorulma mukavemetini artırır	
7. Eksenel çekme - basma yorulma için yüklenmeye normal yönde çoklu kaynak uygulaması (tek sıra).	Genel mukavemeti artırır fakat her kaynak performansı azaltacaktır	
8. Eksenel çekme - basma yorulma için yüklenmeye paralel yönde çoklu kaynak uygulaması (tek sıra).	Genel mukavemetini artırır fakat her kaynak performansı azaltacaktır (fakat bu azalma yüklenmeye normal yöndeki kaynaklarınkinden daha azdır).	
9. Kaplama uygulanmış durumda	Tüm yorulma ömrü için yorulma mukavemetini azaltır	

5. FARKLI METALLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER VE FARKLI METALLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN DİĞER YÖNTEMLER

5.1. Nokta Direnç Kaynağında Karşılaşılan Güçlükler

5.1.1. Konstrüksiyon ve Geometri

Nokta direnç kaynağı genel olarak, aynı bileşimde ve aynı kalınlıktaki metal levhaların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber, ikiden fazla metal levhanın, bileşimi ve kalınlıkları farklı metallerin veya başka bir metal ile kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılabilir. Gaz veya su sızdırmazlığı istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan oluşan birleşik parçalar, yüksek bir üretim hızıyla, en ekonomik şekilde, nokta direnç kaynağı ile birleştirilebilirler. Nokta direnç kaynağının en önemli avantajları, yüksek hızlı olması, yüksek imalat kapasitesindeki birleştirme hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi ve otomasyona elverişli olmasıdır. Akım, zaman ve elektrot kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek imalat hızlarında, sağlam ve birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilebilir. Ancak nokta direnç kaynağı genel olarak yaklaşık 3 mm. kalınlığa kadar olan saç levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Çok yaygın olmamakla birlikte 12 mm kalınlığa kadar saçları bu yöntemle kaynatmak mümkündür. (Çimen ve Akkuş, 1999).

Farklı pozisyonlardaki veya daha kalın parçaların birleştirilmesinde ise yetersiz kalmaktadır. Daha kalın parçalar için projeksiyon kaynağı uygun olabilmektedir (Gülbahar, 2007).

5.1.2 Kaynak Bölgesindeki Isı Oluşumu ve Soğuma Hızı

Geniş bir uygulama alanı olan elektrik nokta direnç kaynağında, iş parçaları, ısı ve basınç enerjisi kullanılarak birbirlerine birleştirilir. En yüksek sıcaklık, parçalar arasındaki temas yüzeyindedir. Bu yöntemde, iş parçaları, lokal olarak çok hızlı bir şekilde ısıtıldığından, soğuma hızı çok yüksektir. Bu hızlı soğumanın etkisi ile iş parçalarının malzemelerinde bazı içyapı değişiklikleri oluşabilir. Bu nedenle, nokta direnç kaynağında, soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı çok önemlidir. Kaynak bölgesindeki ısı oluşumunu etkileyen en önemli faktörler, malzemenin elektrik direnci, kontak direnci, basınç, levha kalınlığı, kaynak zamanı, gerilim ve akım şiddetidir.

Kaynak sırasında soğuma hızının sınırlandırılması gereken durumlarda, akım şiddetinin kontrol altında tutulmasının akılcı bir çözüm olacağını söylemek mümkündür. Örneğin, kaynak akımını bir anda kesmek yerine, akım kademeli olarak azaltılabilir (azalan akım kontrolü). Bu durumda, çok hızlı bir sıcaklık düşümü yerine, kontrollü ve yavaş bir soğuma hızı elde edilir; dolayısıyla mikro yapıda oluşabilecek değişimler en aza indirilebilir. Kaynak yapılan iş parçasının sıcaklığını yükseltip (ön tavlama), kaynak metali ile iş parçaları arasındaki sıcaklık farkını azaltarak da soğuma hızını yavaşlatma yoluna gidilebilir. Ancak bu ısıl işlemin direnç kaynaklarında kullanımı çok yaygın değildir. Çok kalın parçaların kaynağında, içyapıyı değiştirecek kadar yüksek sıcaklıkların oluştuğu bazı özel durumlarda, ön tavlama veya kaynak sonrası ısıl işlem uygulanabilir (Çimen ve Akkuş, 1999).

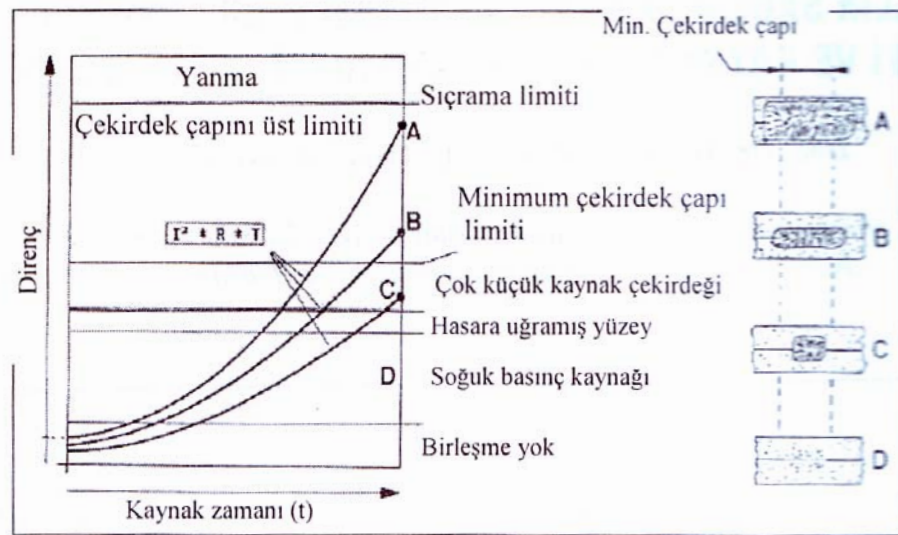
5.1.3 Isıl Dengenin Ayarlanması

Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniform olarak üretilecek ve kaynak kesidi tipik oval bir biçimde olacaktır. Bu şart mevcut ise ısıl denge mevcuttur. Bununla beraber levhalardan biri diğerine göre daha yüksek elektrik dirence sahipse, ısı bu levhada diğerine nazaran çok daha hızlı üretilecektir. Bu nedenle yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla da yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda bile üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve erime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini imkansız veya zor hale getirir. Isıl dengenin mevcut olmadığı durumlarda, örneğin paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik gibi iki farklı malzeme kaynak edildiğinde, ısıl denge ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanı artırılarak veya düşük dirençli orta karbonlu çelik tarafında daha yüksek dirençli elektrot kullanılarak sağlanır (Aslan, 2001). Bu açıdan bakıldığında, elektrot seçimi kritik bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.1.4 Elektrotlar

Direnç kaynağında ısıyı yoğunlaştırma etkisinin oluşturulabilmesi için belirli bir başlangıç direncine ihtiyaç vardır. Malzeme sıcaklığının artması ile direnç artar, bu ısınmayı hızlandırır ve dolayısıyla sıcaklık çok kısa bir sürede lokal bir bölgede malzemenin ergime sıcaklığına yükselerek çekirdek oluşumu gerçekleşir. Yüzeydeki çinko tabakası veya ana metallerden birindeki çinko bileşimi iyi bir ergimenin sağlanabilmesi için gereken başlangıç direncini düşürür. Şekil 5.1'de ısı giriş oranı eğrisinin bir fonksiyonu olarak nokta kaynağının kalitesi

görülmektedir. A ve B eğrileri başlangıç direncinin uygun ve yeterli olduğunu gösterirken, C eğrisi bu direncin düşük ve yetersiz olduğu durumları göstermektedir. Galvanizli çeliklerde, kaynak akımı daha yüksek olduğundan C eğrisi biraz daha yükselebilir. Grafiğin üst limiti sıçramanın başladığı durumu temsil ederken alt limit çok küçük ve yetersiz çekirdek çapını göstermektedir. Galvanizli çeliklerde veya elektrik iletkenliği yüksek metallerde daha yüksek kaynak akımları kullanıldığından elektrotların temas yüzeylerinde sıcaklık aşırı yükselerek bakır malzemenin sertliği azalır. Diğer yandan bu durum çok hızlı bir şekilde boyutları kabul edilemez derecede küçük kaynak çekirdeklerinin oluşmasına neden olur. Ayrıca bakır malzemenin sertliğinin azalması, elektrotların yüzeye yapışmasına, temas yüzeylerinin deforme olmasına ve genişlemesine sebep olur (Aydemir ve Kaluç, 1997).

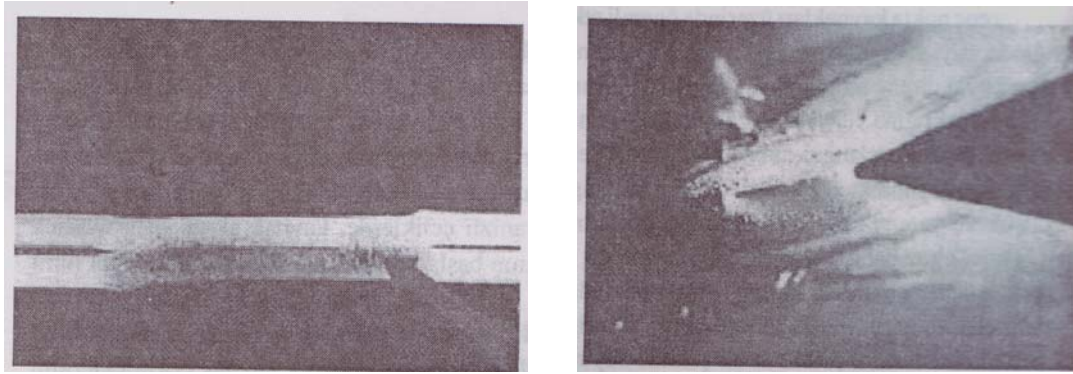


Şekil 5.1. Isı giriş oranı eğrisinin bir fonksiyonu olarak nokta kaynağının kalitesi (Aydemir ve Kaluç, 1997)

Galvanizli çeliklerde çinko tabakasının yanmasının elektrotların yüzeyine bir etkisi daha vardır. Mükemmel bir direnç kaynağında elektrotlar içerisinden geçen akımın mümkün mertebe sabit olması gerekir. Sadece kaynak akımının yüksek olması değil aynı zamanda çinko tabakasının ergime sıcaklığının düşük olması da bu durumu büyük ölçüde etkilemektedir. Elektrolitik olarak yapılan çinko kaplama tabakası yaklaşık olarak 420°C' ergir. Sac metal ise 1400°C'ye kadar ısındığı için ilk aşamada çinko tabakası yanar ve bakır elektrotların üzerine yapışır, bu noktalarda elektriksel direnç artar. Bu metal yapışması elektrot yüzeyine genelde düzensiz bir dağılım

gösterir ve özellikle elektrotların orta kısımlarında ya da çukurlaşan bölgelerinde yoğunlaşır. Bu durumun temas direncinde temas direncinde değişikliklere sebep olması sonucunda akım düzensiz akmaya başlar ve yetersiz büyüklükte kaynak çekirdekleri olan nokta kaynakları elde edilebilir.

Metal yapışması ve çukurlaşma gibi olaylar, halka kaynağı (çekirdeğin yetersiz çapta oluşması ve sacların sadece elektrotların dış kısımlarına gelen yerlerinden halka şeklinde birbirine kaynak olması) oluşma riskini ortaya çıkarmaktadır (Şekil 5.2). Halka kaynaklarında çekirdeğin dış uçlarında ve bağlantı bölgesi içerisinde ilave bir çinko bağı oluşur. Bu bağ mekanik direncin artmasına sebep olur ve tahribatlı testlerde uygun şekilde hataların belirlenmesini engeller.

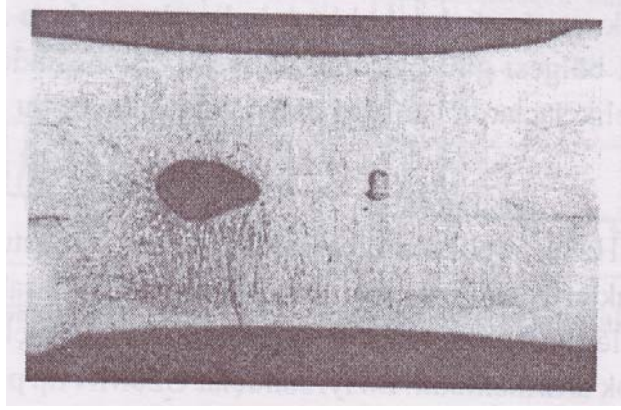


Şekil 5.2. Halka kaynağı mikro yapısı ve keski ile ayırma testinden sonra halka kaynağının görünüşü (Aydemir ve Kaluç, 1997)

Bu bağ etkisinden dolayı keski ile ayırma metodunun güvenilirliği her zaman kuşkuyla karşılanmış ve ultrasonik testle kıyaslandığında kesinlikle daha az geçerliliği olan bir yöntem olarak düşünülmektedir.

Elektrotların çukurlaşmasının bir diğer sonucu da büzülme kavitasyonudur. Çinko tabakası yandığında yüksek basınç altında gaz kabarcıkları ve içi hava dolu boşluklar meydana gelir ve bunlar kaynak bölgesinde sac metal erir erimez yayılırlar. Elektrotların çukurlu şeklinden dolayı kaynak dış uçta şekillenir ve içe doğru gelişir. Bu tip bir şekillenmeden dolayı gaz kabarcıkları iç kısma doğru zorlanır. Sonuç olarak kaynak bölgesinde ve çoğunlukla da toplam kalınlığın ortasında büzülme boşlukları oluşur (Şekil 5.3). Uzun kaynak zamanı gaz boşluklarının oluşması için yeterli zaman tanıdığından genellikle büzüme boşlukları genellikle daha kalın sacların

kaynağında meydana gelir. Kaynak açısının sürekli değişmesi yukarıda ifade edilen etkileri azalttığından robot kaynak makineleri büzülme boşlukları konusunda bir avantaj sağlar.



Şekil 5.3 Üç sacdan oluşan bir bağlantıda büzülme boşluğu (Aydemir ve Kaluç, 1997)

Farklı ergime sıcaklıkları ve ısı iletkenlik özelliklerine sahip farklı metallerin birleştirilmesinde yakma alın kaynak yöntemi ve sürtünme kaynak yöntemleri en uygun yöntemler olarak ön plana çıkmaktadır (Yumurtacı vd., 2001).

5.2 Farklı Metallerin Birleştirilmesinde Kullanılan Diğer Yöntemler

Gerek yakma alın kaynak metodunda gerekse sürtünme kaynağı metodunda, kaynağı gerçekleştirilecek parçaların eksenleri birbirlerine çakışık olmalıdır. Kaynak kalitesi açısından eksen kaçıklığı çok önemlidir ve bu konuda mümkün olabildiğince dar toleranslarda çalışılmalıdır. Bu toleransların sağlanması, elektrik iletkenliği yüksek ve parçalara nazaran yumuşak olan, bu yüzden de sık sık işlenmesi gereken elektrotlardan dolayı yakma alın kaynağında daha zordur. Sürtünme kaynağında ise bağlama aparatlarının iç kısmı sertleştirilmiş ve taşlanmış ve daha yüksek bir ömrü vardır. Dolayısıyla toleransların sağlanması daha çok mümkün olmaktadır. Sürtünme kaynağında dönel kesitlerin yanı sıra dörtgen kesitli parçalar da kaynaklanabilir. Yakma alın kaynağında ise bunlara ilaveten açılır kesitler ringler de kolaylıkla kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte yakma alın kaynağında kesitlerin özdeş olması gerekirken, sürtünme kaynağında farklı kesitler (levha - çubuk gibi) kolaylıkla kaynak edilebilmektedir.

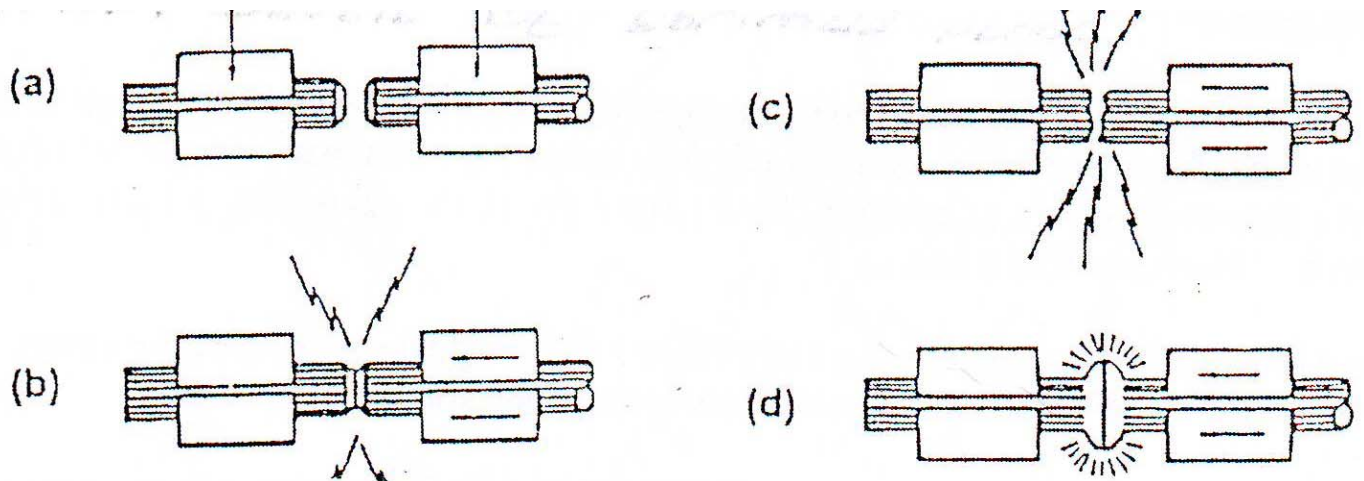
Kaynak öncesi yüzey hazırlığı, uygulanan dövme basıncından dolayı, her iki kaynak metodunda da kritik değildir. Ancak sürtünme kaynağında, sürtünme hareketinin yüzeydeki süreksizlikleri

parçalayarak dışarı sürmesinden dolayı yakma alın kaynağında kaynak olayını etkileyebilen yüzey tabakaları, sürtünme kaynağına menfi bir etkide bulunmamaktadır. Yüzeyde bulunabilecek çizikler her iki kaynak metodunda da kaliteyi etkileyebilecek unsurlardır., kaynak öncesi giderilmeleri gerekir.

Yakma alın kaynağında başka hiçbir kaynak yönteminde rastlanmayacak kadar çok parametre bulunmaktadır. Bu da kaynak metodu için optimum şartların sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Sürtünme kaynağında da bir takım parametreler söz konusu olmasına rağmen yakma alın kaynağına nazaran daha az olması ve, optimizasyon için sadece temel kaynak parametrelerinin simülasyonunun yeterli olması ve bunların tamamının makine üzerine set edilebilmesi optimum kaynak şartlarının sağlanmasında yakma alın kaynağına nazaran avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra sürtünme kaynağı yakma alın kaynağındaki gibi elektrik akımından ve kaynak bağlantısındaki elektrik direncinden etkilenmemektedir. Yine optimizasyon için önemli olan yakma alın kaynağındaki yakma prosesinin etkileri de sürtünme kaynağında söz konusu değildir (Yılmaz, 1991).

5.2.1. Yakma Alın Kaynağı

Yakma alın kaynağı elektrik direnç kaynağının bir türü olup, ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur. Yakma alın kaynağının endüstriyel uygulamalarından biri de matkap uçlarının birleştirilmesidir. Maliyeti ve malzeme israfını önlemek için matkap uçlarının uç kısımları HSS'den, sap kısımları düşük karbonlu çeliklerden yapılır.



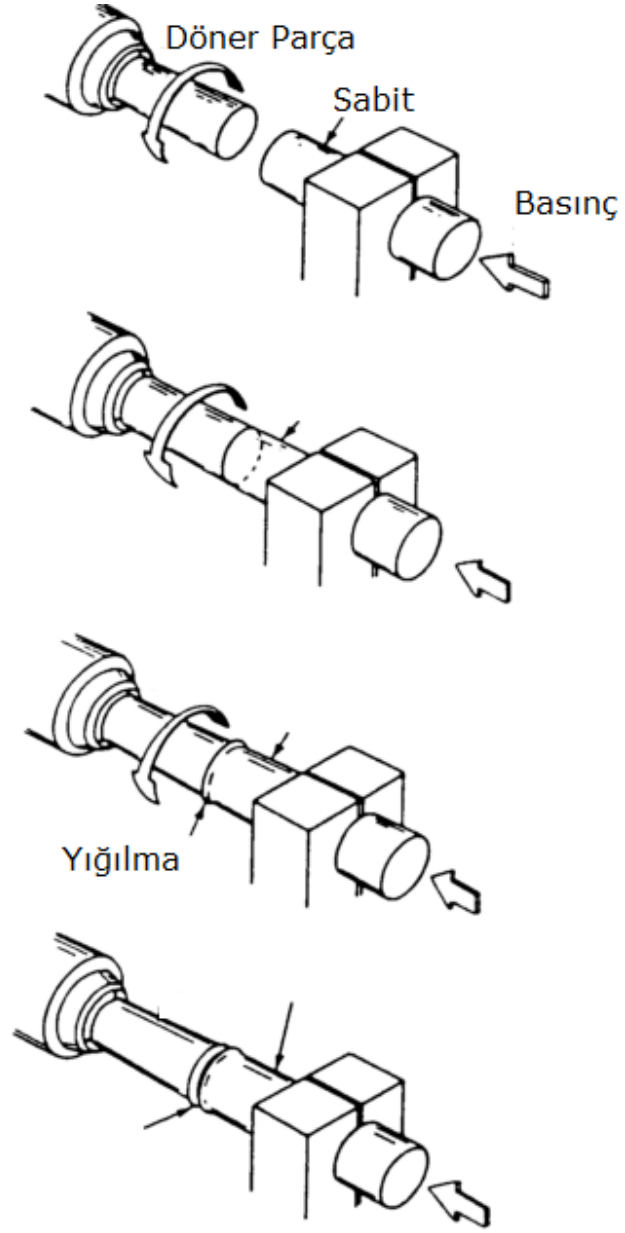
Şekil 5.4. Yakma alın kaynağı işlem basamakları (Yumurtacı vd., 1991)

- a) Parçaların çeneler arasına sıkıştırılması: Kaynak işlemi esnasında parçaları tam ölçüsünde tutan, kaynak akımını ve yığma kuvvetini parçalara ileten elemanlara elektrot veya germe elemanı adı verilmektedir. Germe elemanları akım geçirme özelliklerinden ötürü genellikle bakır ve alaşımlarından seçilmektedir.
- b) Parçalara yakma geriliminin ve akımının uygulanması, kızak hareketinin başlaması.
- c) Normal gerilimde yakma işlemi.
- d) Yığma uygulanması ve akımın kesilmesi.

Yakma alın kaynak işlemi ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde çok sayıda işlem parametresine sahiptir. Kaynak tasarımının kalitesini doğrudan etkileyen parametreler: Malzeme çapı, gerilim, akım, sayaç, ön ısıtma zamanı, yığma akım zamanı, yığma zamanı, sıkma basıncı, ilerleme basıncı, yığma yolu, yığma+yakma yolu ve kızak hızıdır (Yumurtacı vd., 1991)

5.2.2. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilecek metalsel malzemelerden bir tanesi döndürülebilen diğeri ise eksenel olarak kayma hareketi yapabilen iki sıkıştırma düzeneğine tutturulur. Birinci sıkıştırma düzeneği hızla döndürülürken ikincisi dönen yüzeye doğru hareket ettirilir. Kaynak parçaları temas ettiklerinde sürtünmeden dolayı ısınırlar. Ergime sıcaklığının hemen altında bir ısınma elde edildiğinde çevirme işlemi durdurulur ve parçalar büyük bir kuvvetle birbirlerine bastırılarak kaynamaları sağlanır. Bu işlem esnasında kaynak bölgesindeki malzeme sıkışma sonucu dışarı taşar.



Şekil 5.5 Sürtünme kaynak prosesi (www.fortunecity.com)

5.2.2.1 Sürtünme Dikiş Kaynağı İle Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Başlıca yöntemlerle kaynak edilemeyen bir çok malzeme ve malzeme kombinasyonları sürtünme kaynak prosesi ile birleştirilebildiği için olan kaynağa uygunluğun belirlenmesindeki kriterler sürtünme kaynağında kullanılamazlar.

Sürtünme kaynağı için uygunluk şartları;

- a. Malzeme mukavemeti: Malzeme mukavemeti, sürtünme kaynağı sırasında eksenel basınç ve dönme momentiyle aşırı bir deformasyonun oluşumunu önleyecek kadar olmalıdır.
- b. Sıcak şekil değiştirme kabiliyeti: Birleştirilecek metalsel malzemelerin yeterli düzeyde sıcak şekil değiştirebilir özellikte olması istenir.

Bu kriterleri yerine getiren pek çok demir ve demir dışı metaller sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirler. Sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılır ki genellikle bu malzemeler diğer kaynak yöntemleriyle kaynaklanamaz. Erime sıcaklığı altı sıcaklıklar ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu imkânı vermektedir. Buna örnek olarak alaşımlı veya alaşımsız çeliğin alüminyum ve bakır ile toz metalurjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı gösterilebilir.

Farklı termik ve metalik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağı simetrik olmayan deformasyon miktarına yol açar. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise rölatif olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edilir (Aslan, 2001).

Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten yüksek alaşımlı çeliklere kadar kaynaklanabilmektedir. Yumuşak çelikler rölatif olarak daha kolay kaynaklanmakta ve geniş bir parametre aralığına sahiptirler. HSS türü yüksek alaşımlı çelikler ise daha dar bir parametre aralığında ve daha yüksek eksenel kuvvetlerle kaynaklanabilirler. Bunların tokluğu ve çatlama hassasiyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur. Parçalarda oluşan çapaklar muhakkak alınmalıdır çünkü bu çapaklar çatlak başlangıcı için uygun yerlerdir.

Paslanmaz çelikler verilen kaynak parametrelerinde kolaylıkla kaynaklanabilirler. Isıl işlemli paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımlı paslanmaz çelikler gibi kaynak değişkenlerine karşı çok hassastırlar ve ITAB arzu edilen özellikler için kaynak sonu prosesler gerektirir. Bunun dışında sinterlenmiş malzemeler, Al ve alaşımları, Cu ve alaşımları, Ti ve alaşımları, Zr ve alaşımları,

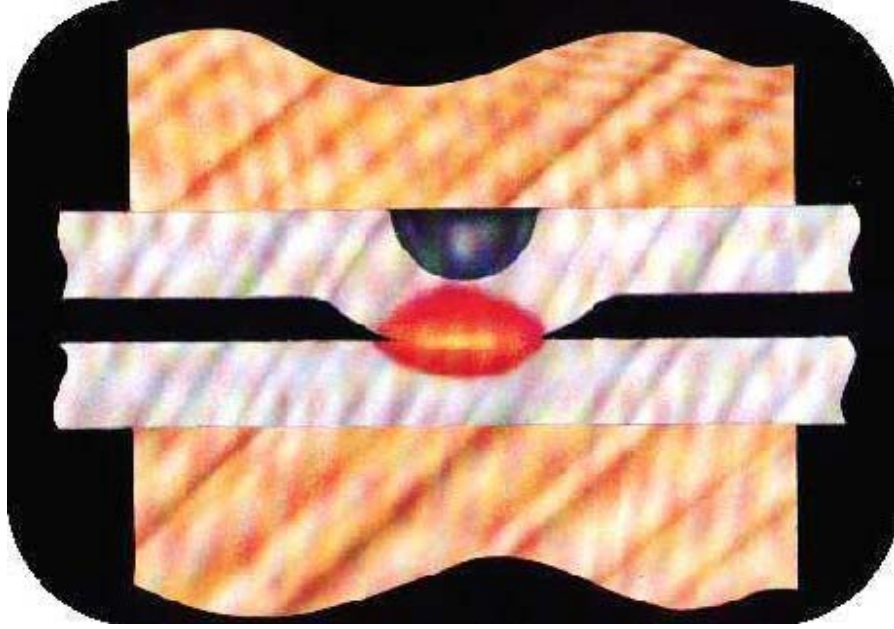
Mg alaşımları, ısıl direnci yüksek Ni ve Co alaşımları, refrakter metaller olan T, Mo, Ni alaşımları da sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler (Anık ve Vural, 1993).

Çizelge 5.1. Metalsel malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluk durumları (Aslan, 2001)

Malzeme	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		X	X	x
2							x	x	x	x									X	
3					x	x	x	x	x	x								X		
4							x	x	x	x							x			
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x				
6										x					x					
7														x						
8			x				x	x	x	x		X	X							
9			x						x	x		X								
10			x				x	x			x									
11		x	x	x	x	x	x	x	x	x										
12		x	x	x	x	x	x	x	x											
13				x	x	x	x	x												
14		x	x	x	x	x	x													
15				x	x	x														
16				x	x															
17				x																
18			x																	
19	x	x																		
20	x																			

Alüminyum ve alaşımları	(1)	Alaşımsız çelik	(11)
Alüminyum (TM – toz metal)	(2)	Düşük alaşımlı çelik	(12)
Dökme demir	(3)	Ferritik çelik	(13)
Sert metal	(4)	Östenitik çelik	(14)
Bakır ve alaşımları	(5)	Çelik döküm	(15)
Magnezyum ve alaşımları	(6)	Çelik (TM)	(16)
Molibden	(7)	Otomat çeligi	(17)
Nikel ve alaşımları	(8)	Titan ve alaşımları	(18)
Nikel alaşımları (TM)	(9)	Tungsten/ Wolfram	(19)
Niyobyum	(10)	Tungsten- bakır (TM)	(20)

5.2.3 Projeksiyon Kaynağı (Kabartılı Kaynak)



Şekil 5.6 Projeksiyon kaynağı (www.medar.com)

Projeksiyon kaynağı, nokta direnç kaynağının bir türevidir. Düşük karbonlu çelikler, düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve bakır alaşımları bu yöntemle uyumlu malzemelerdir. Alüminyum ve titanyum yüzeylerinde oluşan oksit tabakası nedeniyle bu yöntemle kaynak edilemez. Oksit filminin ergime derecesi alüminyumdan yüksektir. Paslanmaz çelik ve nikel esaslı malzemelerinde yine yüzeylerinde oluşan oksit filmi nedeniyle kaynak edilmeleri güç olacaktır.

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilemeyecek kalınlıktaki malzemeler bu yöntemle birleştirilebilirler.

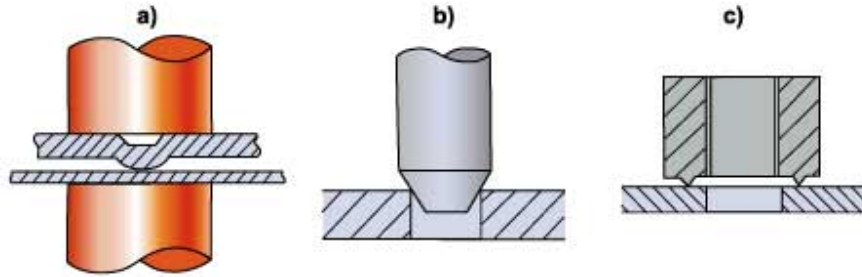
Kabartıların 0.075 mm civarında kontrol edilmesi gerekir.

Noktasal temas tepcikleri üzerinden birleşme sağlandığından gerekli kuvvet ve akım değerleri nokta direnç kaynağına nazaran düşüktür. Bu yöntemle her çeşit uygulama için düz elektrotlar kullanılabilir.

Nokta direnç kaynağından farklı olarak bu yöntemde herhangi bir ergime söz konusu olmayan katı hal birleştirme yöntemidir.

Bu işlemin kısıtlaması ise, kabartıların elde edilmesiyle ortaya çıkan ilave işlemlerdir. ‘Kuvvet destekli difüzyon bağı’ olarak nitelendirilir (www.welding-advisers.com).

a) Kabartılı projeksiyon b) Saplama projeksiyon c) Halka projeksiyon



Şekil 5.7 Projeksiyon kaynağının uygulanma şekilleri (www.twi.co.uk)

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler, iki aşamada kaydedilmiştir.

Öncelikle St 37 ile AISI 304 kalite paslanmaz çelik çifti 3 farklı konstrüksiyonda ve 3 farklı akım değerinde olmak üzere nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Farklı malzeme çiftlerinden toplam 27 çift parçanın nokta direnç kaynakları ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve şekle bağlı kopma kuvvet değerleri ile kopma şekilleri incelenmiştir.

Ardından bu farklı malzeme çiftlerinden elde edilen sonuçların aynı tür malzemelerin nokta direnç kaynaklı konstrüksiyonlarının çekme deneyi sonuçlarıyla kıyaslanması için bu sefer aynı tür malzemeler yine 3 farklı konstrüksiyonda fakat tek- optimum akım değerindeki nokta direnç kaynağına tabi tutulmuştur. Aynı tür malzeme çiftlerinden 18 çift parçanın nokta direnç kaynakları ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve şekle bağlı kopma kuvveti değerleri ile kopma şekilleri incelenmiştir.

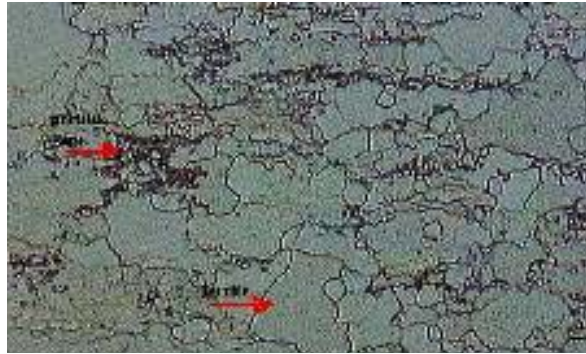
Sonuçların irdelenmesi bölümünde aynı malzemelerle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden elde edilen sonuçlar ile farklı malzemelerle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirilmiştir.

6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Farklı metallerin nokta direnç kaynağına yönelik yapılan deneysel çalışmada seçilen farklı malzeme çifti St 37 ile 304 kalite paslanmaz çeliktir.

Çizelge 6.1. St 37'nin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

St 37								
Kimyasal Bileşim								
Erdemir Kalite No	Standart Karşılığı		Kimyasal Sınırlar	%C.	%P	%S	%Mn	%Si
	Standart	Kalite						
4137	DIN 1623-P2	St 37-3G						
Mekanik Özellikler								
	Re Min. (Mpa)		Rm (Mpa)	A ₈₀ % Min.		Katlanma 180° (d:kalınlık)		
	215		360 - 510	20		0.5 d		



Şekil 6.1. St 37 yalın C'lu çeliğin mikro yapısı (İnce vd., 2004)

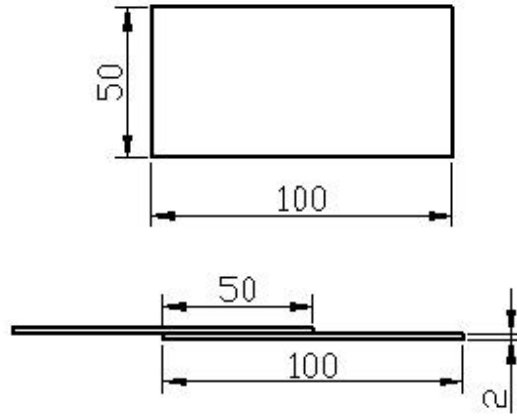
St 37 malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 6.1'de; mikro yapısı Şekil 6.1'de belirtilmiştir. Görüldüğü üzere mikro yapı ferrit taneleri arasına yerleştirilmiş az miktarda perlitlen oluşmaktadır.

Çizelge 6.2 304 kalite östenitik tip (18-8) paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri (www.azom.com)

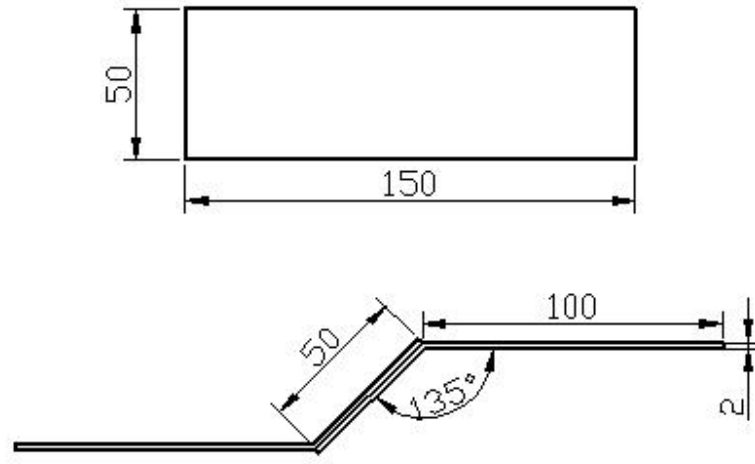
304									
Kimyasal Bileşim									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
Min.	-	-	-	-	-	18,0	-	8,0	-
Maks.	0,08	2,0	0,75	0,045	0,03	20	-	10,5	
Mekanik Özellikler									
	Min. Rm (Mpa)		Min. Re (%0,2)		Min. % uzama (50mm)		Sertlik (HB)		
	515		205		40		201		

6.2. Deney Parçalarının Boyutları

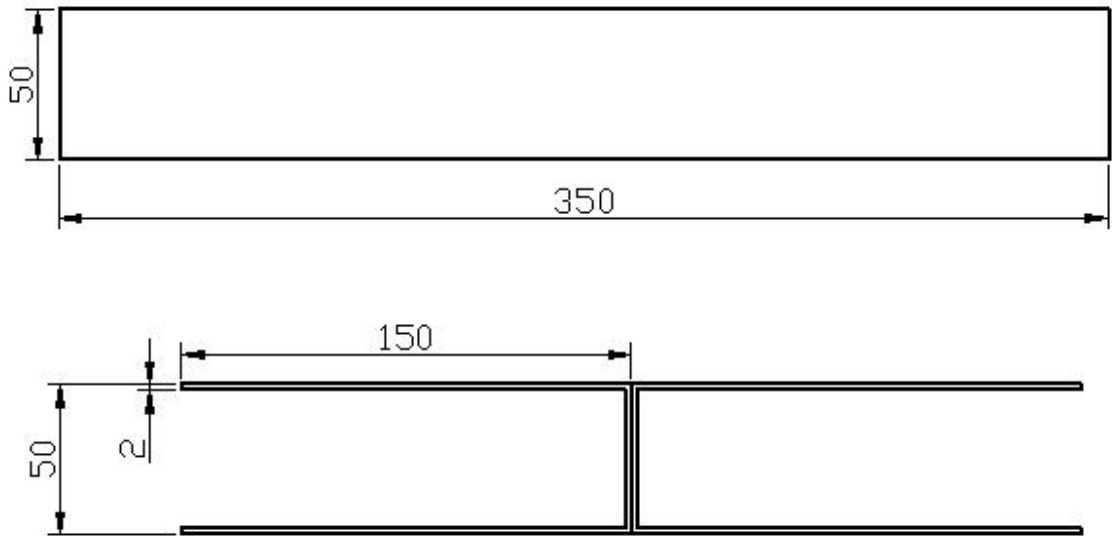
3 farklı konstrüksiyondaki malzeme çiftleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 6.2 1. konstrüksiyon malzeme çifti



Şekil 6.3 2. konstrüksiyon malzeme çifti



Şekil 6.4 3. konstrüksiyon malzeme çifti

6.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması



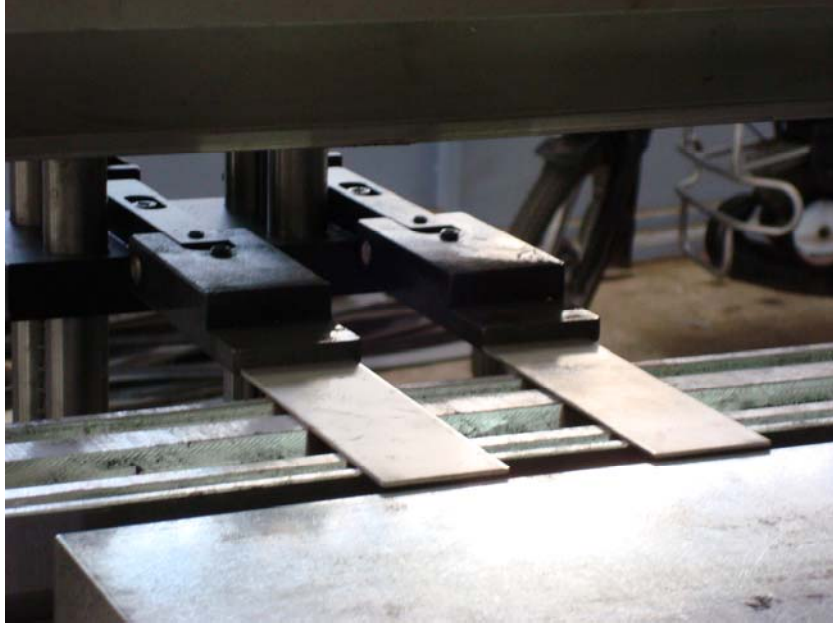
Giyotin makasla kesilerek yukarıda belirtilen boyutlara getirilen numuneler yanda görülen CNC otomatik bükme cihazında bükülerek uygun forma getirilmiştir.



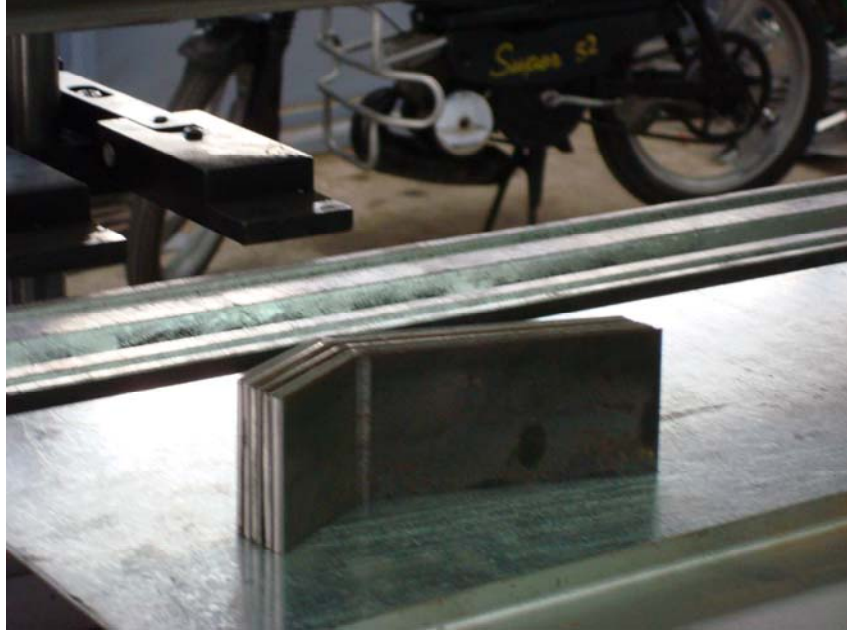
$$F = \frac{1,42 \cdot \sigma \cdot s^2 \cdot L}{1000 \cdot V}$$

- s: Sac kalınlığı (mm)
- R: İç kenar radyüsü (mm)
- D: Bükülecek min. kenar genişliği (mm)
- V: Sac kalınlığına uygun kanal (mm)
- F: 1 metre sacı bükme kuvveti

Şekil 6.5 CNC otomatik bükme cihazı prensibi



Şekil 6.6 Sacların bükölme işlemleri



Şekil 6.7 Sacların son şekli

6.4 Deneylerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar

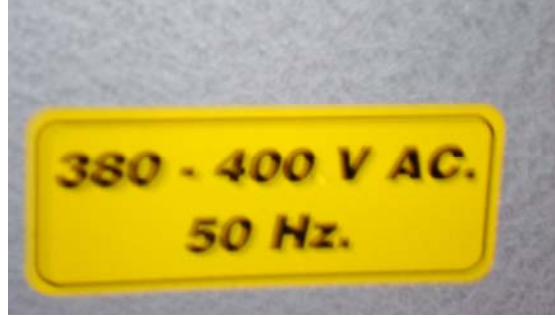
6.4.1 Farklı Malzemelerin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar

Deneylerde 100 kVA gúcünde, tek kollu, elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma tertibatlı elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde deneylerde kullanılan nokta direnç kaynak makinesi görölmektedir.



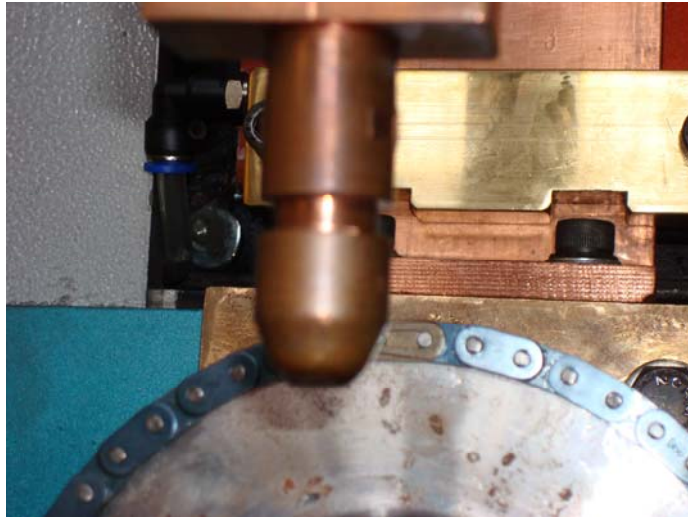
şekil 6.8 Deneylerde kullanılan nokta direnç kaynak makinesi

Şekil 6.9’da makine üzerinden alınan Voltaj ve Frekans değerleri görülmektedir. Frekansı 50 Hz olan akımda 1 periyot 1/50 sn’dir.



Şekil 6.9 Voltaj ve frekans değerleri

TS EN 2582’ E göre 8 mm’lik basma çapına sahip, Cu-Zr esaslı, B tipi elektrot kullanılmıştır. Paslanmaz çelik, bakır altlık üzerine ; St 37 malzeme ise elektrotla temasta olacak şekilde, üste yerleştirilmiştir.

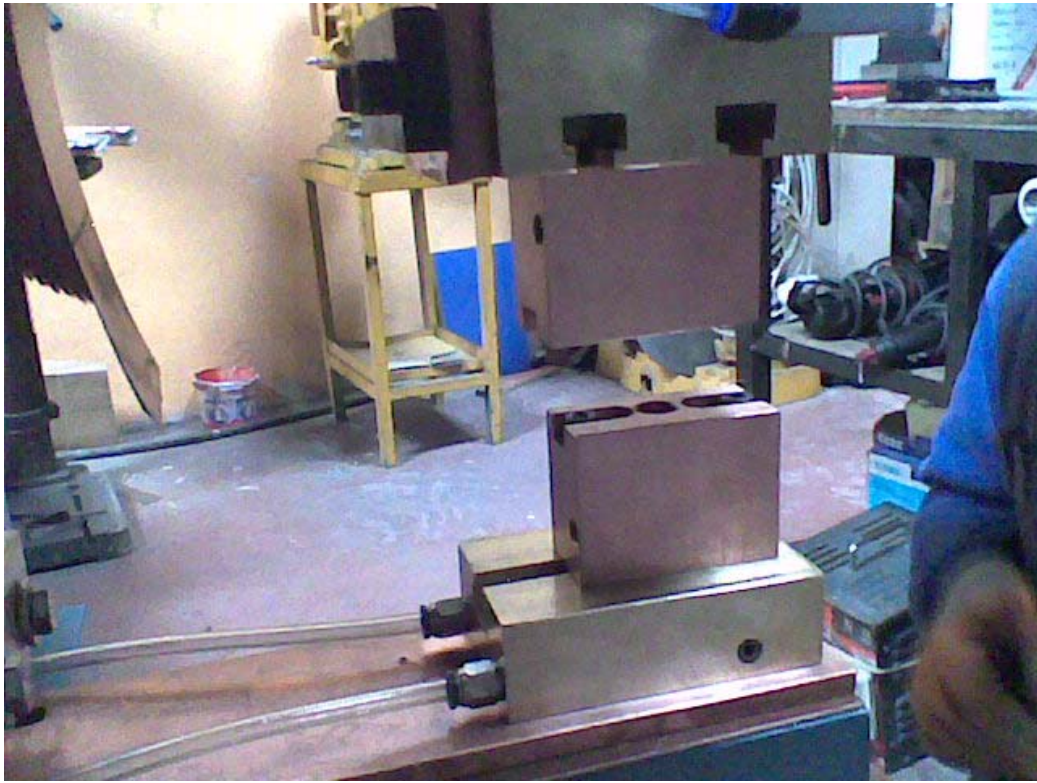


Şekil 6.10 Cu-Zr esaslı elektrot

Cu-Cr-Zr ve Cu-Cr elektrotlarla kıyaslandığında Cu-Zr esaslı elektrotlarda yüksek iletkenliğe bağlı olarak elektrot ucunda mantarlaşma, aşınma gibi durumlar söz konusu olmamaktadır. Yine yüksek iletkenliğe bağlı olarak Cu-Zr esaslı elektrotlar daha düşük akımlarda kullanılabilinmektedir. Konvansiyonel Cu esaslı elektrotlara göre akım değerleri % 20 oranında azaltılabilir. Mekanik özellikleri Cu-Cr-Zr ve Cu-Cr elektrotlarla eşdeğerdir, oda sıcaklığında sertlik minimum 65 HRB'dir (<http://www.nsrw.com>).

6.4.2 Aynı Malzemelerin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar

Aynı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak makinesi de diğer makine gibi 100 kVA gücünde, elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma tertibatlı elektrik direnç nokta kaynak makinesidir. Ancak bu makinede aynı tip malzemeler birleştirileceğinden 8 mm'lik basma çapına sahip iki elektrotun yerleştirileceği iki tutucu bulunmaktadır (Şekil 6.11).

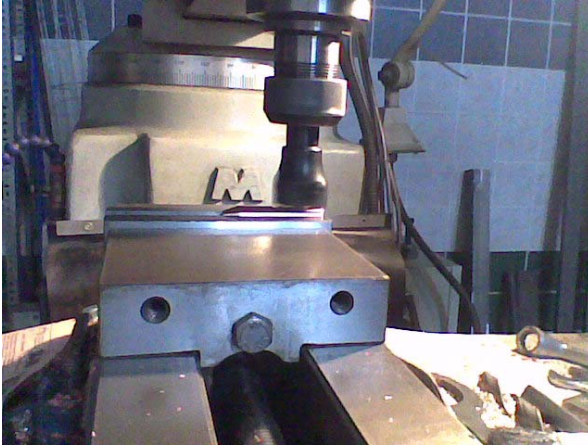


Şekil 6.11 Aynı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak makinesi



Şekil 6.12 Cu-Zr esaslı elektrotların 8 mm'lik basma çapına getirilmesi

Aynı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılacak elektrotlar torna ve freze tezgahlarında işlenerek istenen boyut ve forma getirilmiştir



Şekil 6.13 Elektrotların istenen forma getirilmesi

6.5.1 Farklı Malzeme Çiftinin Kaynak Bağlantılarının Oluşturulması

İş parçası malzemelerinin nokta direnç kaynakları gerçekleştirilmeden önce numunelerin yüzey temizleme işlemleri yapılmıştır. Önce parçalar yağ, kir gibi kalıntılardan arındırılmış ve ardından St 37 parçalar yüzeylerindeki oksit filminin giderilmesi için taşlamaya tabi tutulmuştur.



Şekil 6.14 Ön hazırlık işlemleri

3 farklı konstrüksiyondaki St 37 – 304 çelik çiftlerinin birleştirilmesi için üst limit (60 kVA), optimum değer (55 kVA) ve alt limit (48 kVA) olmak üzere 3 farklı kVA değeriyle nokta direnç kaynağı uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Her konstrüksiyonun her bir kVA değeri için çekme deney sonuçları ortalamaları alınmak üzere 3'er adet numune hazırlanmıştır.

Toplamda bu çalışmada 27 adet St 37 – 304 paslanmaz çelik çiftinin nokta direnç kaynağı gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen bu numunelere çekme deneyi uygulanarak şekle bağlı koparma kuvveti değerleri elde edilmiştir.

$$\text{Punta Gücü} = \text{Akım} \times \text{Zaman} \times \text{Basınç} \quad (6.1)$$

Punta Gücü değeri dışındaki diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Nokta direnç kaynak makinesinin punta gücü 100 kVA'dır. Kaynak süreleri Pars birimiyle ifade edilmektedir. Tüm numuneler için kaynakta kalma süresi 12 Pars olarak seçilmiştir.

$$\text{Gecikme zamanı} = 45$$

$$\text{Kaynak Zamanı} = 12$$

$$\text{Soğuma Zamanı} = 6$$

$$\text{Boşluk Zamanı} = 11$$

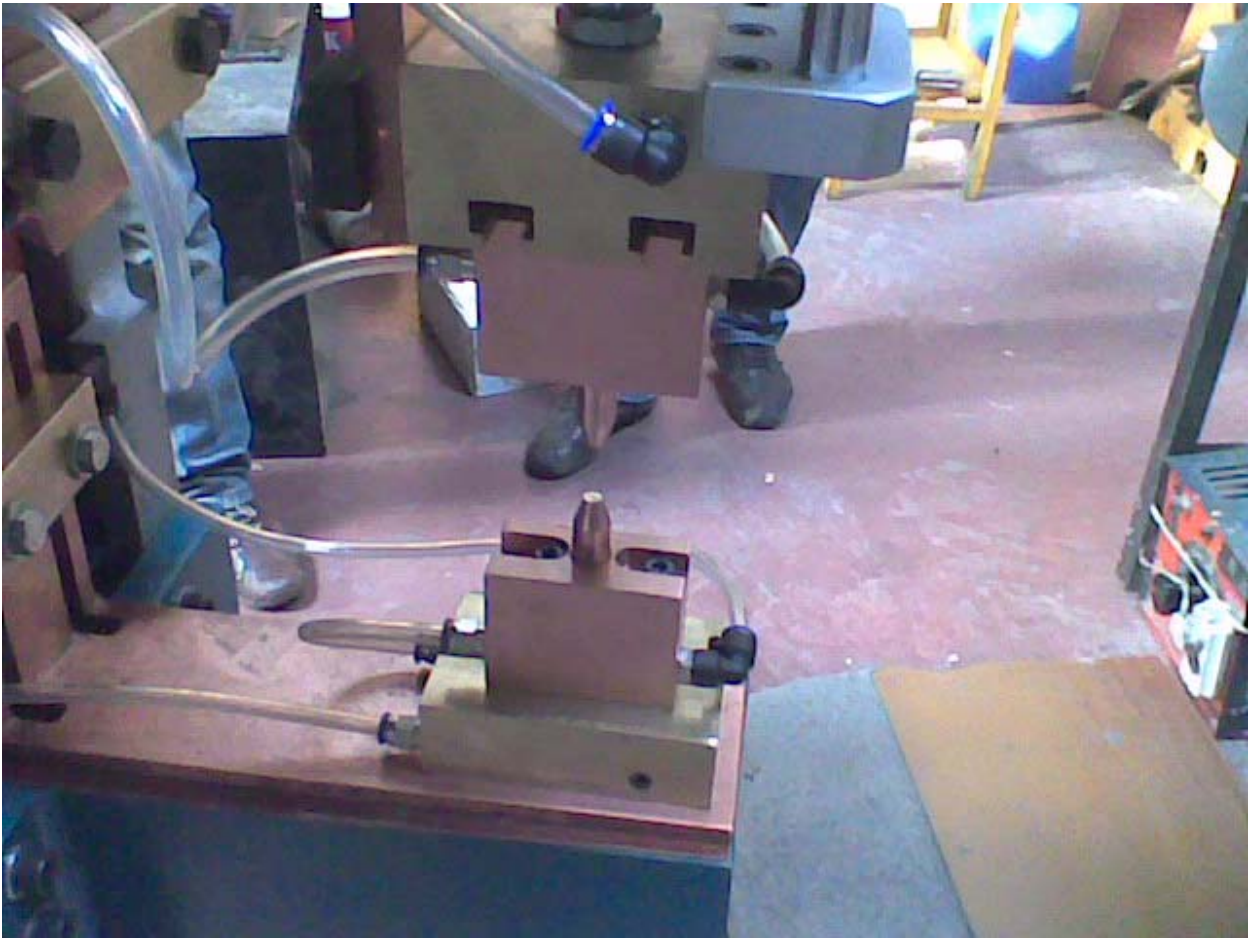
$$\text{Basma kuvveti} = \text{Silindir Çapı (cm}^2\text{)} \times \text{Basınç (Bar)} \quad (6.2)$$

$$\text{Basma kuvveti} = 78,56 \text{ cm}^2 \times 6,2 \text{ Bar} = 487 \text{ Kg}$$

6.5.2 Aynı Malzeme Çiftinin Kaynak Bağlantılarının Oluşturulması

İş parçası malzemelerinin nokta direnç kaynakları gerçekleştirilmeden önce numunelerin yüzey temizleme işlemleri yapılmıştır. Önce parçalar yağ, kir gibi kalıntılardan arındırılmış ve ardından St 37 parçalar yüzeylerindeki oksit filminin giderilmesi için taşlamaya tabi tutulmuştur

Kaynak parametreleri, farklı malzemelerin kaynağında kullanılan parametrelerle tamamen aynıdır. Deneylerin bu bölümünde 3 farklı konstrüksiyondaki malzeme çifti 55 kVA'lık tek akım değerinde kaynak edilmiştir.



Şekil 6.15 Elektrotların elektrot tutuculara yerleştirilmesi



Şekil 6.16 Aynı malzeme çiftinin kaynak bağlantılarının oluşturulması

6.6 Deneyler

Deney numunelerine Şekil 6.17’de görülen çekme cihazında çekme deneyi uygulanmıştır.



Şekil 6.17 Çekme cihazı



1 ve 2 no’lu malzeme çiftine kolaylıkla çekme deneyi uygulanabilmesine rağmen, 3 no’lu malzeme çiftinde deney numunesi çekme çenelerince kavranamamıştır. Bu nedenle bu deney numuneleri çeneleri aralarına profil yerleştirilmek sureti ile elektrot ile çeneler kaynatılarak deneye uygun hale getirilmişlerdir (Şekil 6.19).

Şekil 6.18 3 no’lu malzeme çifti



Şekil 6.19 3 no'lu malzeme çiftinin çekme deneyine uygun hale getirilmesi



Şekil 6.20 Çekme deneylerinin gerçekleştirilmesi

Diğer numunelerin çekme deneyleri kolaylıkla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.21 Kopma kuvveti değerlerinin okunması

Kesme ve çekme yönünde zorlanan ilk deney numunesinde okunan değer Şekil 6.21’de görüldüğü üzere 1380 daN’dur

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

7.1 Farklı Malzemelerle Gerçekleştirilen Nokta Direnç Kaynaklarından Elde Edilen Sonuçlar

Farklı malzemelere ait şekle bağlı koparma kuvveti sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 7.1 Farklı malzemelerden elde edilen deney sonuçları

GÜÇ	NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DENEY NUMUNELERİ											
	1. Konstrüksiyon				2. Konstrüksiyon				3. Konstrüksiyon			
												
	Şekle Bağlı Koparma Kuvveti Değerleri (daN)											
	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.
Alt Limit (48 kVA)	1420	1100	1000	1173	1380	1300	1490	1390	258	470	500	409
Optimum (55 kVA)	1660	1600	1720	1660	1770	1360	1490	1540	570	535	500	535
Üst Limit (60 kVA)	1720	1220	2000	1646	1560	1360	1620	1513	495	530	500	508

27 adet, 3 farklı konstrüksiyonda farklı malzeme çifti ile gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucunda, tüm numuneler için en yüksek kopma kuvveti 55 kVA’lık optimum değerde sağlandığı görülmüştür.



Şekil 7.1 55 kVA’lık optimum değerde kaynak bölgesinin görünüşü

60 kVA'lık üst limit değerinde kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fışkırarak kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 7.2 60 kVA'lık güç değerinde kaynak bölgesinin görünüşü ve metal fışkırması

48 kVA'lık alt limit değerinde ise yetersiz birleşme meydana geldiği açıkça görülmektedir.

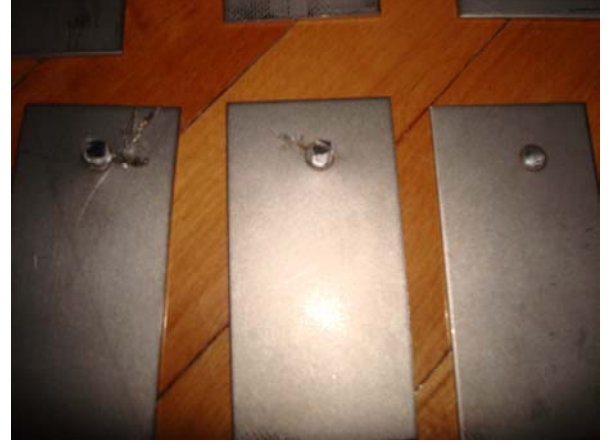


Şekil 7.3 48 kVA'lık güç değerinde yetersiz kaynak birleşmesi

60 ve 55 kVA güçlerinde gerçekleştirilen tüm konstrüksiyonlara bağlantı St 37 tarafından kopmuştur. 48 kVA gücüyle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden 3 numaralı konstrüksiyon 60 ve 55 kVA güçlerinde gerçekleştirilen tüm konstrüksiyonlar gibi St 37 tarafından koparken 1 ve 2 numaralı konstrüksiyonlar kaynak noktasından kopmuştur. Paslanmaz çelik hiçbir güç ve konstrüksiyon değerinde deformasyona uğramamıştır (Şekil 7.4) .



i



ii



iii



iv



v



vi

Şekil 7.4 60, 55 ve 48 kVA güçlerinde gerçekleştirilmiş deney numuneleri şeklinde sıralanmış St 37 ve 304 paslanmaz çelik sacların çekme deneyi sonrasında görünüşleri

7.2 Aynı Malzeme Çifti ile Gerçekleştirilen (St 37 – St 37 ve 304 – 304) Nokta Direnç Kaynaklarından Elde Edilen Sonuçlar

Aynı malzemelere ait kopma kuvveti sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 7.2 Aynı malzemelerden elde edilen deney sonuçları

Malzeme Çifti	NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DENEY NUMUNELERİ											
	1. Konstrüksiyon				2. Konstrüksiyon				3. Konstrüksiyon			
												
	Şekle Bağlı Koparma Kuvveti (daN)											
	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.
	Paslanmaz çelik	2220	2060	2140	2140	1960	2200	2000	2053	1560	1580	1520
St 37	2160	2000	2000	2053	1860	2160	1860	1960	500	700	500	566



Şekil 7.5 1. konstrüksiyon paslanmaz çelik malzeme çiftinin kopma şekli



Şekil 7.6 1. konstrüksiyon St 37 malzeme çiftinin kopma şekli



a. Paslanmaz çelik çifti



b. St 37 çifti

Şekil 7.7 2. konstrüksiyon malzeme çiftlerinin kopma şekli



a. St 37 çifti

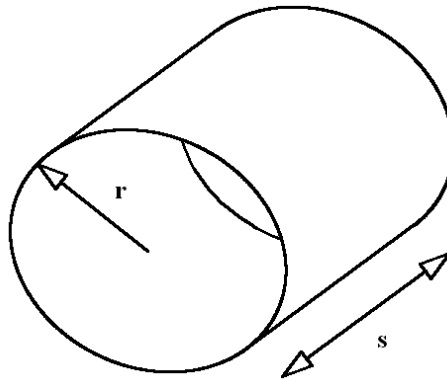
b. Paslanmaz çelik çifti

Şekil 7.8 3. konstrüksiyon malzeme çiftlerinin kopma şekli

7.3 Sonuçların İrdelenmesi

Farklı malzemelerle optimum bir kaynak akımında 3 farklı konstrüksiyonla gerçekleştirilen deney numunelerinden elde edilen sonuca göre tüm numunelerde kopma St 37 malzemesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen sonuç; kaynak sonucu oluşan alaşımın dayanımının St 37'nin dayanımından yüksek olduğudur.

3 numaralı konstrüksiyonda kaynak bölgesi çekme gerilmesine maruz kalmasına rağmen St 37 malzemesi kaynak noktasının çevresi boyunca yani şekilde görülen π .d.s alanında kesmeye uğrar. Dolayısıyla bu konstrüksiyonun dayanımı St 37 malzemesinin π .d.s alanı boyunca olan kesme dayanımına eşittir.



Şekil 7.9 Kesmeye uğrayan π .d.s alanı

2 numaralı konstrüksiyonda kaynak bölgesi hem çekme hem kesme gerilmesine maruz kalmıştır. St 37 malzemesi; önce kaynak noktası çevresi boyunca kesmeye uğrayacak şekilde bükülüp sonra da kesmeye uğramıştır. Dolayısıyla bu konstrüksiyonun dayanımı St37 malzemesinin bükülme ve π .d.s alanı boyunca olan kesme dayanımına eşittir. 1 numaralı konstrüksiyonda ise kaynak bölgesi kesme gerilmesine maruz kalmıştır. Fakat burada da kaynak kesilmeye uğramamış, St37 malzemesi çekme gerilmesine maruzken kaynak noktası çevresi boyunca kesmeye uğrayacak şekilde bükülüp kesilmiştir. Dolayısıyla bu konstrüksiyonun dayanımı St37 malzemesinin bükülme ve π .d.s alanı boyunca olan kesme dayanımına eşittir. 1 numaralı konstrüksiyonun dayanımının 2 numaralı konstrüksiyonun dayanımından yüksek olacağı, kesmeye uğraması için gereken bükülme miktarlarından görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre 55 kVA'lık optimum güçle gerçekleştirilmiş farklı malzeme deney numunelerinin kopma kuvveti sonuçları 1.konstrüksiyon > 2.konstrüksiyon > 3.konstrüksiyon şeklinde olmaktadır.

Aynı malzemelerle 55 kVA'lık optimum güçle gerçekleştirilmiş deney numunelerinin kopma kuvveti sonuçları da yine 1.konstrüksiyon > 2.konstrüksiyon > 3.konstrüksiyon şeklinde olmaktadır. Fakat burada dikkat çeken sonuç, St 37 – St 37 ve 304 – 304 malzeme çiftlerinden elde edilen dayanım değerlerinin her ikisinin de 304 – St 37 malzeme çiftinden elde edilen dayanımdan yüksek olmasıdır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3 Sonuçlar

Malzeme Çifti	NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI DENEY NUMUNELERİ											
	1. Konstrüksiyon				2. Konstrüksiyon				3. Konstrüksiyon			
												
	Şekle Bağlı Koparma Kuvveti (daN)											
	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.	i	ii	iii	ORT.
	Paslanmaz çelik	2220	2060	2140	2140	1960	2200	2000	2053	1560	1580	1520
St 37	2160	2000	2000	2053	1860	2160	1860	1960	500	700	500	566
Paslanmaz çelik- St 37	1660	1600	1720	1660	1770	1360	1490	1540	570	535	500	535

Bu deneylerden elde edilen şekle bağlı kopma kuvveti değerleri gösteriyor ki paslanmaz iki malzemenin kaynağının dayanımı siyah sacların kaynağının dayanımından yüksektir, siyah sacların dayanımı ise paslanmaz ve siyah olarak iki farklı malzemenin kaynağının dayanımından yüksektir. 2 mm kalınlıktaki St 37 ve paslanmaz çelik saclardan, kaynaklı bağlantılardaki kaynak çekirdek alanı ($\pi d^2/4$) kadar alan verecek 22 mm genişlikte parçalar kesilerek çekme deneyine tabi tutulmuş ve kopma kuvveti paslanmaz çelik sac parça için 2240 daN iken St 37 sac parça için 1230 daN elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yapılan çekme deneylerden elde edilmesi beklenen sonuç farklı malzeme çifti ile yapılan kaynaklı bağlantının dayanımının paslanmaz çelik çiftinden düşük, fakat St 37 çiftinden yüksek olmasıydı. Fakat Çizelge 7.3'te de görüldüğü üzere St 37 malzeme çiftinin şekle bağlı koparma kuvveti değerleri farklı malzeme çiftinden yüksektir, bunun sebebi kaynak işlemi esnasında malzeme çiftine gelen ısının büyük bölümünün ısıl direnci düşük olan St 37 tarafından kaçmasıdır.

Kaynak bölgesindeki ısı oluşumunu etkileyen en önemli faktörler ise malzemenin elektrik direnci, kontak direnci, basınç, levha kalınlığı, kaynak zamanı, gerilim ve akım şiddetidir

Bölüm 5’te farklı metallerin birleştirilmesinde karşılaşılan güçlükler başlığı altında açıklandığı üzere kaynak bölgesindeki ısı oluşumu ve soğuma hızı nokta direnç kaynağında kaynak kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. St 37 tarafından daha hızlı bir şekilde gerçekleşen soğumanın etkisi ile ortaya çıkan içyapı değişikliklerinin bu bölgede dayanım düşmesine sebebiyet verdiğini malzemelerin kopma şekillerinden yola çıkarak öngörüyoruz (Çizelge 7.4).

Çizelge 7.4 Farklı metallerin kaynaklı konstrüksiyonlarının kopma şekilleri

<i>Konstrüksiyon</i>	<i>Akım Değerleri ve Kopma Bölgeleri</i>		
	48 kVA	55 kVA	60 kVA
	K	St 37	St 37
	K	St 37	St 37
	St 37	St 37	St 37

60 ve 55 kVA güçlerinde gerçekleştirilen tüm konstrüksiyonlara bağlantı St 37 tarafından kopmuştur. 48 kVA gücüyle gerçekleştirilen nokta direnç kaynaklı numunelerden 3 numaralı konstrüksiyon St 37 tarafından koparken 1 ve 2 numaralı konstrüksiyonlar kaynak noktasından kopmuştur.. St 37 tarafında gerçekleşen malzeme kopması, elektrotun basma çevresi boyunca, malzemenin inceldiği noktalardan gerçekleşmiştir. Paslanmaz çelik hiçbir güç ve konstrüksiyon değerinde deformasyona uğramamıştır

Bölüm 5’te değinildiği üzere farklı metallerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde elektrot seçimi de kaynak bölgesindeki ısı oluşumu ve soğuma hızı gibi kaynak kalitesine etki eden çok önemli bir parametredir. Gerçekleştirdiğimiz farklı metallerin nokta direnç kaynağında yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafında bakır altlık kullanımı ile temas alanı artırılarak ısıl denge sağlanmaya çalışıldı ancak yeterince hassas boyutlarda elektrot kullanımı sağlanamadığından kaynak bölgesinde tamamıyla homojen bir alaşım yapısı oluşmamış bu durum da dayanım düşmesine sebebiyet vermiştir.

7.4 Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışmada farklı metallerin kaynağına örnek olarak sadece St 37 ile 304 paslanmaz çelik sacların kaynağı gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelerin dışında endüstride farklı uygulamaları olan

- Paslanmaz çelik- yalın karbonlu veya düşük alaşımlı çelikler
- Çelik- bakır alaşımları
- Çelik- alüminyum alaşımları

gibi malzemelerin de nokta direnç kaynağı gerçekleştirilerek kopma kuvveti değerleri ve kopma şekilleri incelenebilir.

Farklı metallerle yapılan bu deneysel çalışmalarda paslanmaz çelik, bakır altlık üzerine ; St 37 malzeme ise elektrotla temasta olacak şekilde, üste yerleştirilmiştir. Buradaki amaç yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanını artırarak her iki parçada da üniform ısı üretiminin oluşumunu sağlamaktır. Basit bir eşitlikle;

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (7.1)$$

R: Sonsuz küçük bir boydaki kablo çapı

ρ : Özgül direnç

ℓ : Boy

A: Kesit

$$R_{304} = R_{St\ 37} \quad (7.2)$$

$$\frac{R_{304}}{R_{St\ 37}} = \frac{\rho_{304} \times \ell_{304} \times r_{St\ 37}^2 \times 4 \times \pi}{\rho_{St\ 37} \times \ell_{St\ 37} \times r_{304}^2 \times 4 \times \pi} = 1 \quad (7.3)$$

$$\ell_{304} = \ell_{St\ 37} \quad (7.4)$$

$$\frac{r_{304}^2}{r_{St\ 37}^2} = \frac{\rho_{304}}{\rho_{St\ 37}} \quad (7.5)$$

$$\rho_{304} = 4,5 \rho_{St\ 37} \quad (7.6)$$

Yapılan hesaplamaya göre seçilen elektrot çapları aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır.

$$r_{304} = 2 r_{St\ 37} \quad (7.7)$$

Isıl dengenin tam olarak sağlanabilmesi için paslanmaz çelik tarafında kullanılan elektrotun çapı St 37 tarafında kullanılan elektrot çapının 2 katı olmalıdır. Bu şekilde yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanını artırılarak her iki parçada da üniform ısı üretiminin oluşumu sağlanabilecektir. Farklı metallerle ilgili ileride yapılacak çalışmalarda elektrot çaplarının belirlenmesinde, imkanlar dahilinde bu eşitliklerden faydalanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akkuş, A., (2006), Galvanizli ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Anık, S. ve Oğur, A.,(2003), Farklı Kalınlıktaki Malzemelerin Elektrik Direnç Dikiş Kaynağı Uygulamaları, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, 215:220.
- Anık, S., ve Vural, M., (1993), Özel Kaynak Yöntemleri, MMO Meslekiçi Eğitim Programı Seminer Notları, MMO.
- Anık, S., ve Vural, M., (2000), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aslan, U., (2001), Farklı Metallerin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Genel İncelenmesi ve Endüstriyel Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Aydemir, B., ve Kaluç, E., (1997) Otomotiv Sektöründe Kullanılan Çelik Sacların Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, ODTÜ, 117:123.
- Çimen, Ş., ve Akkuş, A., (1999), Direnç Punto Kaynaklarının Ultrasonik Muayenesi, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, Ankara.
- Eryürek, B., (1982), Elektrik Direnç Kaynağı, Mühendis ve Makine, Cilt 24, 22:28.
- Gülbahar, B., (1989), %17 Kromlu Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Taneler Arası Korozyon ve Çekme Makaslama Dayanımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Güleç, Ş., ve Aran, A., (1993), Malzeme Bilgisi, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Gülent, B., (2005), Nokta Direnç Kaynağında Baskı Kuvveti, Kaynak Akımı ve Baskı Zamanının ITAB'a Etkisi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Proje ve Tezler Koordinasyon Merkezi, Ankara.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul
- İnce, U., Toksoy, M., Güden, M., (2004), İzmir-Balçova Jeotermal Doğrudan Isıtma Sisteminde Kullanılan St-37 Karbon Çelik Malzemesinin Değişik Akışkan Hızlarındaki Korozyon Davranışı ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimler, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 83, 3:12
- Jefferson, T. B., (1962), Metals And How To Weld Them, Gorham Woods.
- Kaçar, R., Gündüz, S., AISI 304 – AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynak Kalitesine Soğuk Deformasyonun Etkisi, IV. Demir – Çelik Kongresi Bildiriler Kitabı, 273:279.
- Vural, M., (1992), Galvanizli Çelik Sacların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerle Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Yılmaz, M., (1991), Farklı Takım Çeliklerinin Kaynağında Yakma Alın ve Sürtünme Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması, IV. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 161:166.
- Yumurtacı, S., ve Sönmez, N., (2001), S 6-5-2 İle 4140 Çeliğinin Yakma Alın Kaynağı Yöntemi İle Birleştirilmesi, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB, 119:125.

www.anatamir.com

www.azom.com

www.emeraldinsight.com

www.fortunecity.com

www.megep.meb.gov.tr

www.nsrw.com

www.twi.co.uk

www.welding-advisers.com

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kayseri’de doğdu. İlköğretimini İstanbul’da tamamladı. 2002 yılında İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi’nden mezun oldu ve Y.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2007 Şubat ayında lisans eğitimini tamamlayarak Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi esnasında Castolin Kaynak Sanayi’ de Ürün Sorumlusu unvanı ile görev yaptı.