

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DUAL  
FAZ SAÇLARIN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serdar AKTAŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ**

**Haziran 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DUAL  
FAZ SACLARIN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

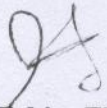
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar AKTAŞ

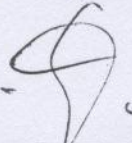
Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ

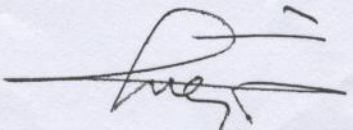
Bu tez 11 / 06 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Fehim FİNDİK

Jüri Başkanı

  
Yrd. Doç. Dr. Erdinç İLHAN

Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ

Üye

## ÖNSÖZ

Otomotiv endüstrisinin en önemli hedeflerinden birisi, yakıt ve maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla taşıt ağırlığının azaltılması ve araç dayanımlarının geliştirilerek, sürücü ve yolcu güvenliğinin artırılmasıdır. Çift-fazlı çelikler süper dayanım-süneklik kombinasyonları ve dolayısıyla iyi şekillendirme kabiliyetine sahip olduklarından, otomotiv endüstrisinde HSLA ve karbon çeliklerinin yerini almaya başlamışlardır.

Yapılan bu çalışmanın amacı; elektrik direnç nokta kaynağının otomotiv endüstrisinde kullanılan en yaygın yöntem olduğu göz önünde bulundurulduğunda, sektörde yaygın kullanılan kalınlıklar olan 1mm ile 1,2 mm dual-faz sacların elektrik direnç nokta kaynağında, kullanım yerine göre uygun kaynak parametrelerinin tespit edilmesidir.

Bu güncel ve önemli konuda yüksek lisans çalışması yapmamı sağlayan değerli hocalarımdan tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ ve yardımcı danışman Doç.Dr. Salim ASLANLAR'a, çalışma esnasında idari ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli müdürlerim Sn. Hüseyin ORUÇ ve Sn. Hamdi EROĞLU'na, laboratuvar aşamasındaki desteğiyle çalışmaya destek veren Sn. Rahmi ŞAHİNBAŞ'a ve TOYOTA'ya ve çalışmada çeşitli hizmetlerinden faydalandığım ERMETAL şirketler grubuna teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim çok değerli aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2008

Serdar AKTAŞ

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xx
SUMMARY.....	xxi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	6
2.1. Direnç Nokta Kaynağı Prensibi.....	6
2.2. Kaynak Çevrimi.....	9
2.2.1. Yaklaşma ve sıkma zamanı.....	9
2.2.2. Kaynak zamanı.....	10
2.2.3. Tutma zamanı.....	10
2.2.4. Ayrılma zamanı.....	10
2.3. Direnç Kaynağında Meydana Gelen Isı.....	11
2.3.1. Kaynak Bölgesinde Isı Oluşumu.....	12
2.3.2. Isı kaybı.....	14
2.3.3. Kaynak noktasında oluşan elektriksel direnç.....	15
2.4. Elektrotlar.....	20
2.4.1. A grubu bakır esaslı alaşımlar.....	21
2.4.1.1. Malzeme sınıfı 1.....	21



2.4.1.2. Malzeme sınıfı 2.....	22
2.4.1.3. Malzeme sınıfı 3.....	22
2.4.2. B-grubu: Refrakter metal bileşimleri.....	22
2.4.2.1.Refrakter-metal.....	22
2.4.2.2.Özel alaşımlar.....	23
2.4.3. Elektrot bakımı.....	23
2.4.4. Elektrot Etüdü.....	24
2.4.4.1. Elektrot değişiminde dikkat edilecek kurallar.....	25
2.5. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri.....	27
2.5.1. Kaynak akımı.....	27
2.5.2. Kaynak süresi.....	29
2.5.3. Elektrot bileşiminin ve şeklinin ısınma üzerine etkisi .....	31
2.5.3.1. Elektrotların bileşiminin etkisi .....	31
2.5.3.2. Elektrot şeklinin etkisi.....	31
2.5.4. Kaynak kuvvetinin ısınma üzerine etkisi .....	32
2.5.5. İş parçasının malzemesi .....	34
2.5.6.Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin ısınma üzerine etkisi.	34
2.5.6.1. Yüzey hazırlama.....	35
2.5.6.2.Yağ tabakasının etkisi .....	35
2.5.6.3.Pas ve oksitlerin tesiri.....	36
2.5.7.Kaynaklar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi .....	36
2.5.7.1.Akımın şöntlenmesi .....	37
2.5.8.İstenilen yüzey işlem ( boya vs ) kalitesinin ısınma üzerine etkisi.....	37
2.6.Isıl Denge.....	38
2.7.Sekonder Pencere Açıklığı .....	40
2.8.Akım ve Kuvvet Programları.....	40
2.9.Kaynak Hataları ve Nedenleri.....	41
2.9.1. İç hatalar.....	41
2.9.2. Dış hatalar.....	44
2.10. Yöntemin Uygulanması.....	48
2.11. Uygulama ve Uygulama Sınırları .....	50
2.12. Kaynak Noktasının Mukavemeti .....	50

2.13. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri.....	53
2.13.1. Pres tipi kaynak makineleri.....	55
2.13.2. Seyyar makineler.....	56
2.13.3. Çok nokta kaynak makineleri.....	57
2.13.4 Elektrik devresi.....	58
2.13.4.1. Kaynak transformatörü .....	59
2.13.5. Kontrol cihazı.....	59
2.13.5.1. Kaynak kontakları.....	60
2.13.5.2. Zaman ayar cihazları.....	60
2.13.5.3. Faz kaydırma ile kaynak akımının ayarları.....	61
2.13.6. Mekanik kısım.....	61
2.14. Punta Kolları ve Uçlarına Örnekler .....	61

### BÖLÜM 3.

DUAL FAZ ÇELİKLER.....	62
3.1.Dual Fazlı Çeliklerin Tanımı ve Ferritik – Perlitik Çeliklerle Karşılaştırılması .....	62
3.2.Dual Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	64
3.3.Dual Fazlı Çelikte Mukavemet ve Sünekliğin İncelenmesi.....	69
3.3.1.Akma mukavemeti.....	69
3.3.2.Çekme mukavemeti.....	70
3.3.3.Kopma.....	70
3.3.4.Süneklik.....	72
3.3.5.Deformasyon sertleşmesi.....	73
3.4.Dual Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemleri ve Ticari Üretimi.....	74
3.4.1.Sürekli tavlama metodu.....	77
3.4.2.Haddeleme metodu.....	78
3.4.3.Kutu tavlama metodu.....	78
3.4.3.1.Çok yavaş soğutma metodu.....	79
3.4.3.2.Yavaş soğutma metodu.....	80
3.4.3.3.Hızlı soğutma metodu .....	81

## BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	82
4.1.Genel.....	82
4.2.Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	82
4.3.Deney Numunesinin Boyutları.....	84
4.4.Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	86
4.5.Elektrik Direnç Nokta Kaynak İşlemleri.....	86
4.6.Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri.....	87
4.7.Optik Mikroskopü.....	90
4.8.Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri ve EDS Analizleri.....	91
4.9.Sertlik.....	91

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	92
5.1.Genel.....	92
5.2.Bağlantıların Çekme – Makaslama Dayanımına Kaynak Parametrelerinin etkisi.....	92
5.2.1.Bağlantıların çekme – makaslama dayanımına kaynak zamanının etkisi.....	93
5.2.2.Bağlantıların çekme – makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	96
5.3.Bağlantıların Çekme – Sıyırma Dayanımına Kaynak Parametrelerinin Etkisi.....	98
5.3.1.Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak zamanının etkisi.....	99
5.3.2.Bağlantıların çekme – sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi.....	101
5.4.Bağlantıların Sertlik Değerleri.....	104
5.5.Mikroyapı Sonuçları.....	121
5.5.1.Optik mikroskopü.....	121
5.5.2. Tarama elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri ve EDS analizleri.....	128

BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	146

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	(mm)	: İleticinin kesiti
C <sub>1</sub>	(J/g °K)	: Malzemenin özgül ısısı
C <sub>2</sub>	(cal / g)	: Malzemenin özgül erime ısısı
d <sub>e</sub>	(mm)	: Elektrot çapı
d <sub>n</sub>	(mm)	: Çekirdek en çapı
F	(N)	: Elektrot kuvveti
h <sub>n</sub>	(mm)	: Çekirdek boy çapı
I <sub>k</sub>	(kA)	: Kaynak akım şiddeti
G	(g)	: Kaynak çekirdeğinin kütlesi
K		: Malzeme sabiti
K <sub>1</sub>		: Malzeme sabiti
K <sub>2</sub>		: Malzeme sabiti
I	(m)	: İleticinin uzunluğu
L		: Toplam endüktivite
L <sub>min</sub>	(mm)	: Minimum nokta aralığı
L <sub>t</sub>	(m)	: Dene parçasının toplam uzunluğu
r	(mm)	: Küresel ucun çapı
R	(Ω)	: Sekonder devredeki toplam omik direnç
s	(mm)	: Sac kalınlığı
S		: Kaynak kabiliyeti faktörü
t <sub>s</sub>	(°C)	: Kaynak yapılan malzemenin ergime noktası
T	(°K)	: Malzemenin ergime sıcaklığı
t <sub>k</sub>	(periyot)	: Kaynak süresi
α	(m/ Ωmm <sup>2</sup> )	: Kaynak yapılan malzemenin elektrik iletkenliği
γ	(g/cm <sup>3</sup> )	: Malzemenin özgül ağırlığı
λ	(cal/cms °C)	: Kaynak yapılan malzemenin ısı iletkenliği
ρ <sub>t</sub>	(m / m)	: t °C'de özgül direnç
ρ <sub>0</sub>	(mm / m)	: Oda sıcaklığında özgül direnç

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi.....	6
Şekil 2.2.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	7
Şekil 2.3.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin şematik görünüşü.....	7
Şekil 2.4.	Elektrik direnç nokta kaynağında meydana gelen dirençler.....	8
Şekil 2.5.	Elektrik direnç nokta kaynağı işlem sırası.....	9
Şekil 2.6.	Nokta kaynak çevrimleri .....	11
Şekil 2.7.	Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı .....	13
Şekil 2.8.	Elektrik direnç nokta kaynağı elektriksel direnç dağılımı ve sıcaklık dağılımı.....	15
Şekil 2.9.	Çelikte bileşimde bulunan C- yüzdesi – özgül direnç ilişkisi.....	16
Şekil 2.10.	Saf demirde sıcaklığa bağlı olarak özgül direncin değişimi.....	18
Şekil 2.11.	Elektrot temas yüzeyleri.....	19
Şekil 2.12.	TS EN 2582' ye göre Elektrik direnç nokta kaynak elektrot uçları.....	24
Şekil 2.13.	En yaygın kullanılan nokta kaynağı elektrotları.....	25
Şekil 2.14.	Elektrot sökme anahtarı.....	26
Şekil 2.15.	Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri.....	29
Şekil 2.16.	Elektrot tutucu ve ucu.....	31
Şekil 2.17.	Elektrot uçlarında mantarlaşma.....	32
Şekil 2.18.	Elektrot basıncının kontrolü.....	33
Şekil 2.19.	Elektrot tasarımı.....	33
Şekil 2.20.	Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda akımın şöntlenmesi ( kısa devre ) hali.....	37
Şekil 2.21.	Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin bozulması .....	39
Şekil 2.22.	Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması.....	39
Şekil 2.23.	Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması .....	39



Şekil 2.24.	Sekonder pencere açıklığının tanımlanması .....	40
Şekil 2.25.	Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri .....	49
Şekil 2.26.	Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri .....	49
Şekil 2.27.	Elektrik direnç nokta kaynak çeşitli mukavemet deneyleri.....	50
Şekil 2.28.	Nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemetinin kaynak akımına bağlı olarak değişimi .....	51
Şekil 2.29.	İmalat sırasında kalite kontrolü amacı ile sıyırma.....	52
Şekil 2.30.	Nokta kaynağında düğmelenme yoluyla hasar.....	52
Şekil 2.31.	Nokta kaynağında makaslama yoluyla hasar .....	52
Şekil 2.32.	Nokta kaynağında sıyırma yoluyla hasar .....	53
Şekil 2.33.	Elektrik direnç nokta kaynak makineleri .....	54
Şekil 2.34.	Mekanik elektrik direnç nokta kaynak makinesi .....	55
Şekil 2.35.	Pnömatik elektrik direnç nokta kaynak makinesi .....	56
Şekil 2.36.	Kaportacı nokta kaynak makinesi .....	57
Şekil 2.37.	Elde taşınabilir nokta kaynak makinesi .....	57
Şekil 2.38.	Elektrik direnç nokta kaynak robotu .....	58
Şekil 2.39.	Özel tasarımlı tam otomatik elektrik direnç nokta kaynak makinesi .....	58
Şekil 2.40.	Sektörde kullanılan punta kolları örnekleri .....	61
Şekil 3.1.	Dual-faz mikroyapı şeması .....	62
Şekil 3.2.	Dual fazlı ve ferritik-perlitik (HSLA ve az karbonlu) çeliklerde çekme mukavemeti-homojen %uzama ilişkisi .....	64
Şekil 3.3.	Dual fazlı, HSLA ve az karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları .....	66
Şekil 3.4.	Dual fazlı ve az karbonlu çelikler için sac kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi .....	66
Şekil 3.5.	Dual fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi .....	67
Şekil 3.6.	100,175 ve 250 °C'de temperlenmiş alaşımsız dual fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış	68

Şekil 3.7.	Fe – C denge diyagramı.....	75
Şekil 3.8.	Dual faz mikroyapısının elde edilşinin şematik gösterimi.....	75
Şekil 3.9.	Dual- faz ısııl işlemleri için sıcaklık aralıkları .....	76
Şekil 3.10.	Sürekli tavlama hattında HSLA çeliğinde dual fazlı çelik üretimi için uygulanan ısııl işlem.....	80
Şekil 4.1.	Spektrometre Cihazı .....	83
Şekil 4.2.	Kaynak işlemleri için hazırlanmış numune .....	84
Şekil 4.3.	(a) Nokta kaynağı sonrası ortaya çıkan Çekme-sıyırma numunesi, (b) Nokta kaynağı sonrası ortaya çıkan Çekme-makaslama numunesi.....	84
Şekil 4.4.	Çekme-sıyırma deneyleri için hazırlanan numune boyutları .....	85
Şekil 4.5.	Çekme-makaslama deneyleri için hazırlanan numune boyutları ..	85
Şekil 4.6.	Kaynaklı bağlantıların yapıldığı çift kollu direnç nokta kaynak makinesi.....	86
Şekil 4.7.	Çekme-makaslama deney cihazı, Çekme-makaslama deneyine ait numuneler.....	88
Şekil 4.8.	Çekme-sıyırma deney cihazı, (b)-(g) Çekme-sıyırma deneyine ait numuneler.....	89
Şekil 4.9.	Mikro yapı tespitlerinde kullanılan optik mikroskop .....	90
Şekil 4.10.	Çekirdek çaplarının ölçümünde kullanılan stereo-mikroskop .....	90
Şekil 4.11.	X ışınları çekiminde ve EDS analizinde kullanılan JEOL marka SEM cihazı.....	91
Şekil 4.12.	Mikrosertlik ölçümünde kullanılan vickers ölçüm cihazı .....	91
Şekil 5.1.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi .....	93
Şekil 5.2.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi .....	94
Şekil 5.3.	1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	95

Şekil 5.4.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	96
Şekil 5.5.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	97
Şekil 5.6.	1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi .....	98
Şekil 5.7.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	99
Şekil 5.8.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.	100
Şekil 5.9.	1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi.	101
Şekil 5.10.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	102
Şekil 5.11.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	103
Şekil 5.12.	1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi .....	104
Şekil 5.13.	Tüm bağlantılarda boyuna doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları.....	105
Şekil 5.14.	1 mm – 1 mm ve 1,2 mm – 1,2 mm bağlantılarda enine doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları.....	105
Şekil 5.15.	1 mm – 1,2 mm bağlantılarda enine doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları.....	105
Şekil 5.16.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	106

Şekil 5.17.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	106
Şekil 5.18.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	107
Şekil 5.19.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	107
Şekil 5.20.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	108
Şekil 5.21.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	108
Şekil 5.22.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	109
Şekil 5.23.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	109
Şekil 5.24.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	110
Şekil 5.25.	1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	110
Şekil 5.26.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	111
Şekil 5.27.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	111

Şekil 5.28.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	112
Şekil 5.29.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	112
Şekil 5.30.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	113
Şekil 5.31.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	113
Şekil 5.32.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	114
Şekil 5.33.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	114
Şekil 5.34.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri .....	115
Şekil 5.35.	1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	115
Şekil 5.36.	1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	116
Şekil 5.37.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri .....	116
Şekil 5.38.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	117

Şekil 5.39.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	117
Şekil 5.40.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	118
Şekil 5.41.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	118
Şekil 5.42.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	119
Şekil 5.43.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	119
Şekil 5.44.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri.....	120
Şekil 5.45.	1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri.....	120
Şekil 5.46.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	121
Şekil 5.47.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	121
Şekil 5.48.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 10cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	122
Şekil 5.49.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 10cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	122



Şekil 5.50.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 15cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı .....	122
Şekil 5.51.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 15cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	123
Şekil 5.52.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	123
Şekil 5.53.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	123
Şekil 5.54.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 25cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı .....	124
Şekil 5.55.	1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 25cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	124
Şekil 5.56.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	124
Şekil 5.57.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	125
Şekil 5.58.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	125
Şekil 5.59.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı .....	125
Şekil 5.60.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	126

Şekil 5.61.	1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 5cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	126
Şekil 5.62.	1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	126
Şekil 5.63.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı .....	127
Şekil 5.64.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı.....	127
Şekil 5.65.	1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 20cycle kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı.....	127
Şekil 5.66.	SEM çekimlerinde görüntülenen noktalar.....	128
Şekil 5.67.	1,2 mm DP600 ana malzemenin SEM görüntüsü.....	128
Şekil 5.68.	1 mm DP600 ana malzemenin SEM görüntüsü.....	128
Şekil 5.69.	1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının ITAB bölgesi SEM görüntüsü.....	129
Şekil 5.70.	1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının kaynak çekirdeğine yaklaşıldıkça ortaya çıkan SEM görüntüsü.....	129
Şekil 5.71.	1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının kaynak çekirdek merkezi SEM görüntüsü.....	129
Şekil 5.72.	ITAB’da, iki metalin temas bölgesinde rastlanan boşluklu mikroyapının SEM görüntüsü.....	130
Şekil 5.73.	Şekil 5.72 (a) noktasında görüntülenen impüritenin EDS analizi..	130
Şekil 5.74.	Şekil 5.72 (b) noktasında görüntülenen impüritenin EDS analizi..	131
Şekil 5.75.	Mikroyapı incelemelerinde çekirdek bölgesinde dağınık olarak gözükten boşlukların SEM görüntüsü (a ve b).....	132
Şekil 5.76.	Şekil 5.75’de görüntülenen impüritenin EDS analizi.....	132
Şekil 6.1.	4 kA, 5 periyotta nokta kaynağı yapılmış parçada esas metalden ITAB’a geçiş bölgesi (x50).....	134

Şekil 6.2.	1,0 mm - 1,0 mm sacda 4 kA, 10 periyotta nokta kaynağı yapılmış parçada kaynak bölgesi (x50).....	135
Şekil 6.3.	1,2 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde kaynak çekirdeği (x50).....	136
Şekil 6.4.	1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde 8 kA, 10 cycle kaynak çekirdeği (x50).....	136
Şekil 6.5.	1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde 8 kA, 10 periyot kaynak parametresinde kaynak çekirdeği çevresinde simetrik çekirdek geometrisinin bozulması (x50).....	136

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bazı metalsel malzemelerin, oda sıcaklıklarında özgül direnç katsayıları.....	19
Tablo 3.1.	Kopma davranışının tanımlanması.....	70
Tablo 3.2.	Yavaş soğutma metodu ile üretilen dual fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi.....	81
Tablo 4.1.	DeneYlerde kullanılan 1.0 mm kalınlığındaki sacın kimyasal kompozisyonu.....	83
Tablo 4.2.	DeneYlerde kullanılan 1.0 mm kalınlığındaki sacın kimyasal kompozisyonu.....	83
Tablo 5.1.	Şekil 5.72 (a) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği.....	130
Tablo 5.2.	Şekil 5.72 (b) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği.....	131
Tablo 5.3.	Şekil 5.75’de verilen yapının kimyasal içeriği.....	132

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Dual-Faz, Nokta direnç kaynağı, Otomotiv

Dual-fazlı çelikler, yüksek mukavemetli çelikler olup hem ferrit hem de martenzit mikroyapısı sağlamaları için ısıtılma işlemine tabii tutulurlar. Şekillendirilebilirlikleri yüksektir, az alaşım içeriğine sahiptirler ve mukavemetleri yüksektir.

Bu çalışmada Dual-faz 600 tipi otomobil saçlarından 1 mm ve 1,2 mm gibi farklı kalınlıklarda numuneler alınmış, bunlar elektrik nokta direnç kaynağı yöntemiyle değişik kombinasyonlarda birleştirilmişlerdir. 4, 5, 6, 7 ve 8 kA kaynak akım şiddetinde her bir numune için 5, 10, 15, 20 ve 25 periyot kaynak zamanlarında kaynaklı bağlantılar elde edilmiştir. Bu bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneyleri yapılarak mekanik özellikleri ve mikroyapıları incelenmiştir.

# **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SPOT WELDED DUAL-PHASE STEEL SHEETS USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY**

## **SUMMARY**

Keywords: Dual-Phase, Resistance spot welding, Automotive

Dual-phase steel is a high-strength steel which is heat treated to contain both a ferrite and martensite microstructure for extra strength. It's highly formable and has a low alloy content and high strength. In this study, Dual-phase (DP 600 type) steel sheets having different thicknesses like 1 mm and 1,2 mm were welded in different combinations by electrical resistance spot welding method. Welded joints were prepared in 4, 5, 6, 7 and 8 kA welding currents and in 5, 10, 15, 20 and 25 cycles welding times. The tensile-peel and tensile-shear tests of these joints were performed and mechanical and microstructural properties of them were investigated, and also advise were given to users showing the optimum welding parameters.



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dual-fazlı çelikler, yüksek mukavemetli çelikler olup hem ferrit hem de martenzit mikroyapısı sağlamaları için ısı işleme tabii tutulurlar. Düşük alaşım içeriğine sahiptirler, şekillendirilebilirlikleri ve mukavemetleri yüksektir. Dual-fazlı çelikler yumuşak bir ferrit fazlı mikroyapı içinde ikinci bir faz olarak martenzitin yer aldığı bir mikroyapı gösterirler. Ferrit fazı martenzit adacıklarını çevrelemiştir ve martenzit miktarının artmasıyla çekme mukavemeti de artmaktadır. Bunun yanında düşük akma oranı (Akma mukavemeti/Çekme mukavemeti), yüksek çekme mukavemeti ve yüksek pekleşme oranı gösterirler.

Çelik, bir konverter içinde oksijenin yukarıdan üflendiği bir prosesle ergitilir. Daha sonra ikincil metalurjik işlemler kapsamında alaşımlama işlemine tabii tutulurlar. Elde edilen üründe alüminyum giderilmiştir. Mangan, krom ve silisyum elementlerinden dolayı yüksek çekme mukavemeti değerlerine erişilmiştir. Soğuk haddelenmiş sıcak çelik malzeme, içi çinko dolu potalardan oluşan sıcak-daldırmalı galvanizleme ünitesine girmeden önce sıcak halde iken ani soğutma yapılarak “martenzit” mikroyapısı elde edilir. Bunların avantajları şöyle sıralanabilir[1,2]:

1. Düşük akma mukavemeti/ Çekme mukavemeti oranı
2. Yüksek başlangıç pekleşme oranı
3. Sürekli akma
4. İyi üniform uzama
5. Çekme mukavemeti, süneklik ve tokluğun mükemmel bileşimi
6. Yüksek çarpışma enerjisini absorbe edebilme kapasitesi
7. Yorulma dayanımı

Dual-fazlı çelikler, hızlı ve popüler bir biçimde günümüz otomobil endüstrisinin vazgeçilmez malzemelerinden biri olma yolundadırlar. Yaygın olarak yapısal

uygulamalarda ve geleneksel HSLA çeliklerinin yerini alarak kullanılmaktadırlar. Parça ağırlığında azalış gibi bir fırsat da sunmaktadırlar. Şekillendirilebilirliklerinin iyileştirilmesi, darbe sönümlenme yetenekleri, yorulma dayanımları gibi hususlar bu değişimde etkili olmuşlardır. Günümüzde rastlanılan uygulamaları raylarda, tampon ve çarpma kısımlarında ve bunların güçlendirmelerindedir.

600 MPa mukavemete sahip DP600 olarak adlandırılan dual-faz çeliği otomobil endüstrisinde yeni geliştirilmiş bir çift-faz çeliği olup özellikle otomobil karoserinde hafiflik, yüksek mukavemet, güvenlik, iyi korozyon dayanımı ve iyi zımbalama karakteristiği gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmıştır[3,4]. Otomobil şasesinin montaj ve imalatında “elektrik direnç nokta kaynağı” en temel birleştirme yöntemi olarak göze çarpmaktadır; fakat çinko ile kaplanmış çeliklerin nokta kaynağı problem arz etmektedir, çünkü elektrotun çabuk aşınması[3] ve elektrot ömrünün kısa olması kaynak kalitesi açısından problem teşkil etmektedir. DP 600, çinkoyle kaplanmış yüksek mukavemetli bir çeliktir ve bundan dolayı otomobil gövdesinde uzun süre kullanımda kalmasının sağlanması açısından nokta direnç kaynağında elektrot aşınmasının karakteristiklerinin anlaşılması gerekmektedir. Elektrotların çabuk aşınmaları onların sık aralıklarla değiştirilmelerini gerektirmektedir. Otomotiv endüstrisinde kaplanmamış düşük karbon çeliklerinin kaynak esnasında ergimesi onların kaynak proseslerinin doğru belirlenip belirlenmediğine dair görsel ipuçları verir[4-6]. Bununla beraber, kaplama uygulanmış yüksek mukavemetli çelikler için aynı durumda ise kaynak bölgesinde metal kayıpları, boşluk, gözenek ve porozite gibi süreksizliklerden dolayı kaynak mukavemetinde düşüş gözlenir. Ayrıca kaynak yüzeyi kolayca korozyona uğrayabilir. Bundan başka laboratuvar ve işletmelerde kaliteli olmayan kaynak dikişlerini ayırmaya yarayan test ve kriterler farklılık gösterebilir. Kaynak kalitesini etkileyen pek çok faktör vardır; voltaj dalgalanmaları, elektrot uyumsuzluğu gibi. Bu parametrelerin mekanik biçimde iyi kontrol edilmesi gerekir[3,7]. Fakat elektrot aşınması daha bir öneme sahiptir. Yapılan kaynak işlemi sayısı arttıkça elektrottaki aşınma miktarı da artacaktır. Bu da elektrot-sac ara yüzeyindeki elektriksel, termal ve mekanik temas koşullarını değiştirecektir. Özellikle çinko kaplanmış sacların elektrik direnç nokta kaynağında diğer saclara oranla daha çok akıma ve tutma zamanına gereksinim vardır. Çinko kaplamalar bakır elektrotlara karşı hassastır, elektrotun çapı arttıkça boyunun kısalması ve üzerinde

oyuklanma olması kaçınılmaz olacaktır, bu da ciddi oranlarda elektrot aşınması anlamına gelecektir[3,8,9]. Örneğin alüminyum alaşımlarının kaynak işleminde elektrot aşınması, elektrot-yüzey alanları meydana getirir, oyuklaşmalar görülür. Bunun nedeni elektrot yüzeyindeki akım yoğunluğudur, peşinden elektrot ömründe dalgalanmalar ve kaynak kalitesinde bozukluklar ortaya çıkar[10].

Dual-fazlı çelikler ve bunların birleştirilmeleri özellikle de elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmeleriyle ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Gündüz[11], dual-fazlı çeliklerin gerinim yaşlandırması davranışını araştırmıştır. Huh ve Kim[12], DP-tipindeki çeliklerin otomobil şasesi olarak kullanımlarında dinamik çekme karakteristiklerini incelemiştir. Wang[13], çok ince taneli dual-faz çeliklerinin süneklik değerlerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapmıştır. Abounei[14], % 0.2 C'lu dual-faz çeliklerinin aşınma davranışını incelemiştir. Okayasu ve Sato[15] ise Wang gibi ultra-ince taneli ferritik/martenzitik düşük karbon çeliklerinin yorulma davranışını araştırmıştır. Khondker[16], bu çeliklerin galvanizlenmesinde tavlama atmosferinin etkilerini incelemiştir. Chowdhury[17], soğuk haddelenmiş dual-fazlı çeliklerin tavlama hızının etkisini araştırmıştır. Abouei[18] ve Saghafian[19], dual-fazlı yalın karbon çeliklerinin kuru sürtünme koşullarında oksitleyici aşınma davranışı gösterdiklerini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Modi ve Pandit[20] de % 0.2 C içeren dual-fazlı çeliklerin yüksek gerilmelerdeki abrazyon aşınma davranışına mikroyapısal özelliklerin etkilerini araştırmışlardır. Mikroyapı özellikleriyle aşınma oranı arasındaki bağlantıyı araştıran bir diğer çalışma da yine Saghafian ve Kheirandish tarafından yapılmıştır[21]. Kang[22] da benzer bir korelasyon çalışmasını bu tür çeliklerin gerinim dağılımı ile hasar mekanizmaları arasında yapmıştır. Delince ve Brechet[23], yine birçok araştırmacı gibi ultra-ince taneli dual-faz çeliklerinin “yapı/özellik” optimizasyonunu sağlamak için pekleşme orjinli bir model geliştirmişlerdir. Yine Al-Abbasi ve Nemes de DP çeliklerinin karakterize edilmesi için mikro-mekanik bir modelleme geliştirmişlerdir[24]. Park[25], çekilerek üretilmiş dual-faz çeliklerinin soğuk şekillendirilebilirliğine ısıl işlem dönüşünün etkisini incelemiştir. Thiessen, martenzitik dual-faz çeliklerinin faz dönüşümlerinin modellemesini yapmıştır[26]. Dual-fazlı çeliklerin diğer mekanik özellikleriyle ilgili çeşitli çalışmalar da yapılmıştır. Yoshizawa ve Igarashi, geliştirilmiş ferritik çeliklerin uzun dönemli

sürünme deformasyonunu incelemiştir[27]. Tayanç, dual-faz çeliklerinin yorulma dayanımına karbon içeriğinin etkisini araştırmıştır[28]. Chao ve Ward, 590 çeliğinin Charpy darbe deneyini yapmış, kırılma tokluğu değerini bulmuş ve süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklığını tespit etmişlerdir[29]. Tekeli, toz metalurjisi yöntemini kullanarak düşük karbonlu dual-fazlı çelik üretmiş ve bunun kuru sürtünme koşullarında aşınma davranışını incelemiştir[30].

Ferrit ve martenzit biçiminde iki ayrı fazı yapısında bulunduran dual-faz çelikleri günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadırlar. Bunların içinde en dikkat çeken otomotiv endüstrisidir. Oldukça rekabetçi bir sektör olan bu alanda malzemenin doğru ve mümkün olan en uygun yöntemin kullanılarak üretimin gerçekleştirilmesi önemlidir. Otomotiv sektöründe ana gövdenin imalatında kullanılan dual-fazlı çelik sacların birleştirilmesinde en ideal yöntem olarak “elektrik direnç nokta kaynağı” metodu göze çarpmaktadır. Bu hususta literatürde pek çok bilimsel ve pratik çalışmaya rastlanılmaktadır. Ma ve Chen, DP 600 olarak bilinen dual-faz çeliğini nokta kaynağı ile birleştirmişler ve bu kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve kırılma karakteristiklerini araştırmışlardır[4]. Kang, bu nokta kaynaklarının yorulma hasar analizlerini yapmıştır[31]. Yüksek mukavemetli, dual-fazlı çelik sacların yorulma özelliklerini ve hasar karakterizasyonunu inceleyen diğer bilim adamları Long ve Khanna’dır[32]. Padmanabhan[33], orta sertlikte derin çekme ile üretilmiş çelikle dual-fazlı çeliği nokta kaynağıyla birleştirmiş ve bu kaynak bağlantısında izotropinin olup olmadığını araştırmıştır. Elektrik direnç nokta kaynağı yönteminde karşılaşılan problemlerden biri de “elektrot aşınmasıdır”. Bu konuda Zhang, direnç nokta kaynağında elektrot aşınmasının karakteristik özelliklerini incelemiştir[3]. Son olarak Güral[34], düşük karbonlu bir çeliğin kaynak işleminden sonra iki fazlı bölgede ısıl işlemini yapmış ve bu işlemin mikroyapı ve mekanik mukavemete olan etkilerini açıklamıştır.

Bu çalışmada da, DP 600 olarak adlandırılan dual-fazlı çelik sacın nokta direnç kaynağında kaynaklı bağlantıları yapılmış, birleştirmelerin mekanik özellikleri çeşitli deney koşullarında ve proses parametreleri değiştirilerek araştırılmıştır. En ideal kaynak parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylece otomotiv endüstrisinde yaygın olarak dual-fazlı çelikleri kullanan veya kullanmaya yeni başlayan otomobil

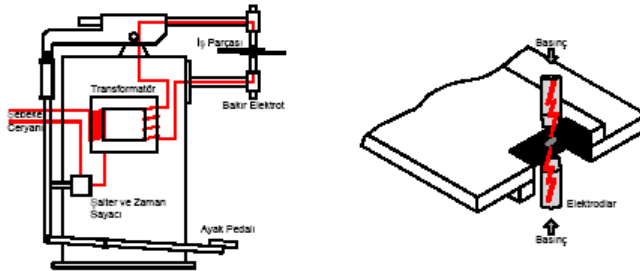
üreticilerine en ideal çözüm aralığı önerilmiştir. Bilimsel sonuçların endüstride de kullanılmasını sağlayarak üniversite-sanayi işbirliğine katkı sağlayabilmek bu tez çalışmasının diğer bir hedefidir.

## BÖLÜM 2. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

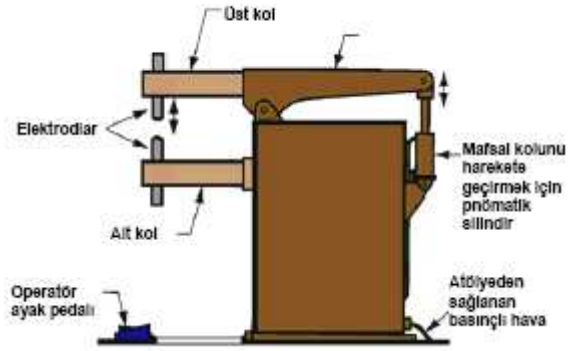
### 2.1. Direnç Nokta Kaynağı Prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak edilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimiş haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimiş metal hızla soğur ve katlaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1 sn'den daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şeklinde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak noktasından metalin kıvılcım halinde fırlamasını önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım devrelerinin meydana gelmesini önlemek veya makul bir seviyede tutabilmek için, birbirini takip eden kaynak noktaları ve hatları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır.

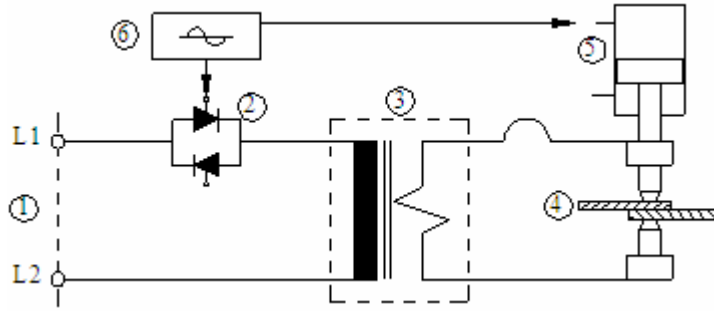


Şekil 2.1 Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi



Şekil 2.2 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir[35, 36, 37].



Şekil 2.3 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin şematik görünüşü

- |                                      |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| (1) Şebeke bağlantısı ve elektrotlar | (4) Sekonder devre akım iletimi |
| (2) Akım ayarlayıcı                  | (5) Kuvvet iletim sistemi       |
| (3) Transformatör                    | (6) Proses-Kontrol Cihazı       |

$I$  akımı,  $R$  ohmik direncinden  $t$  süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak  $J$  birim ısı açığa çıkar.

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

Burada,

$$R = R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

dır, yani sekonder devredeki toplam dirençtir.

Bu dirençler

1. Malzeme dirençleri :

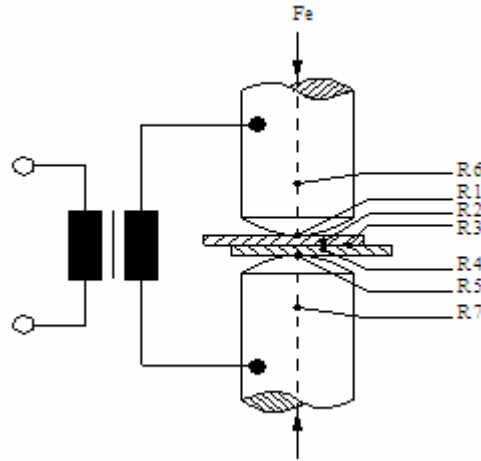
$R_6, R_7$  elektrotların direnci

$R_2, R_4$  iş parçalarının dirençleri

2. Temas dirençleri :

$R_1, R_5$  elektrod - malzeme temas direnci

$R_3$  malzeme - malzeme temas direnci



Şekil 2.4.Elektrik direnç nokta kaynağında meydana gelen dirençler[38]

Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve değişken değildir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlı olarak değişir.

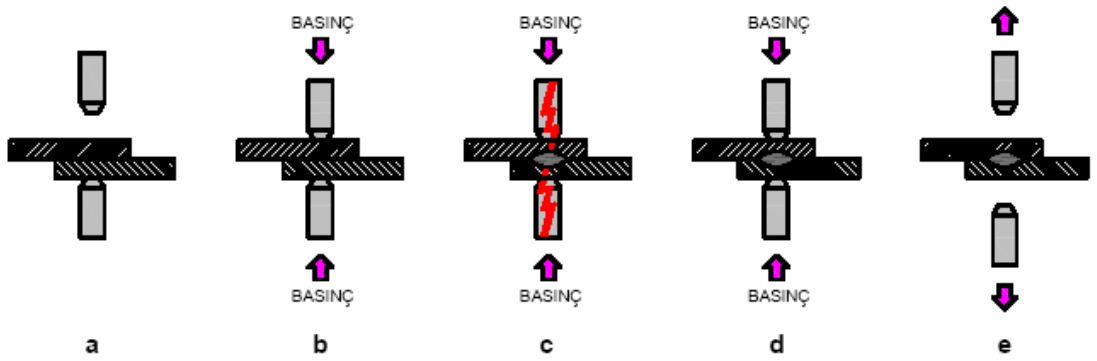
Kaynak sırasında  $R_3$ , en büyük ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu ise, I kaynak akımının, t kaynak süresinin ve F elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. Temas dirençleri bağlantının kalitesine etki ederler[39].



$R_1$  ve  $R_5$  temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, iyi ısı ileten elektrot ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Yüzeylerdeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması gerekir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına ve bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar[40].

## 2.2. Kaynak Çevrimi

Kaynak çevrimi 4 ana zaman diliminden oluşur.



Şekil 2.5. Elektrik direnç nokta kaynağı işlem sırası

Bunlar;

1. Yaklaşma ve sıkma zamanı(a-b)
2. Kaynak zamanı(c)
3. Tutma zamanı(d)
4. Ayrılma zamanı(e)

### 2.2.1 Yaklaşma ve sıkma zamanı

Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir. Bu aralık, solenoid hareketli silindir valfının çalışması ve üst elektrot tutucunun üst elektrodu iş parçasıyla temas haline getirmesi ve elektrot kuvvetinin tamamını uygulaması için zaman sağlar. Bu zaman, parçaların yakın temasını sağlamaya yetecek kadar olmalıdır.

### 2.2.2.Kaynak zamanı

Kaynak akımının devreden geçtiği zaman aralığıdır. İnce taneli yapı çeliklerinin birçoğunda, basit karbonlu çeliklere normal olarak uygulanandan biraz daha uzun kaynak süresinin kaynak kabiliyeti eğrisini genişlettiği ve böylece kabul edilebilir kaynak akım sınırlarını arttırdığı görülmüştür.

### 2.2.3.Tutma zamanı

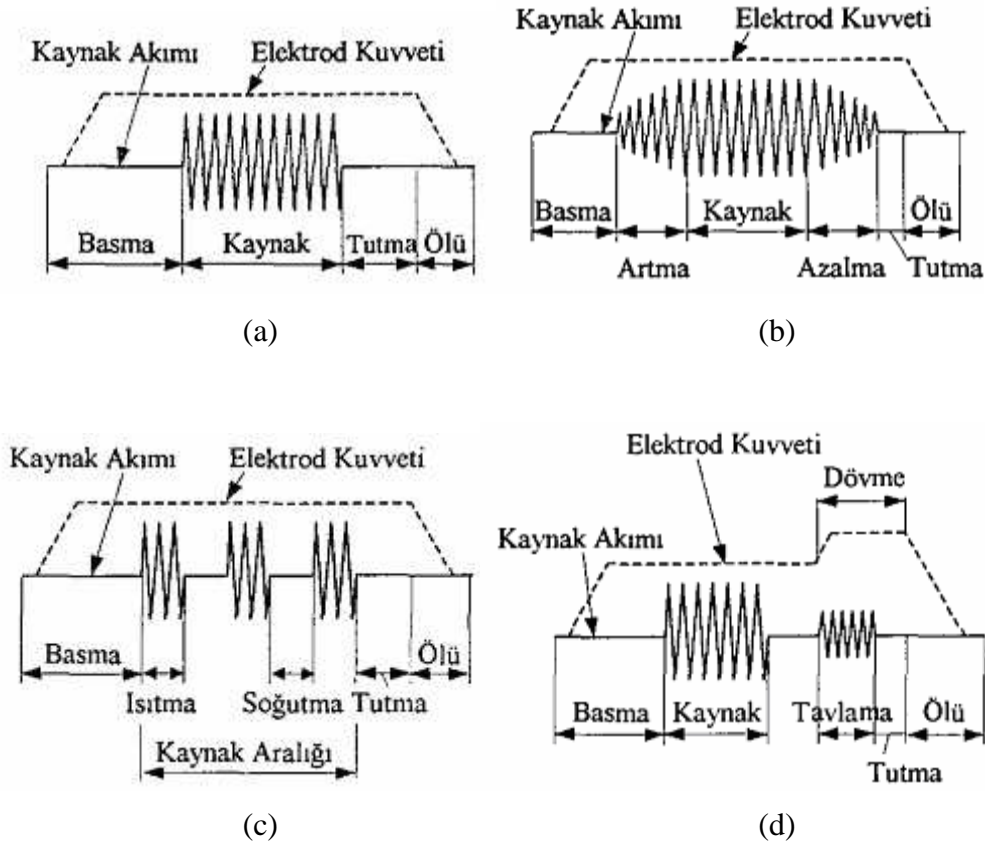
Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşıncaya kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır. 25 ile 50 arasındaki periyot sayılarında (1/2 ile 1 sn), bu malzemeler çekme deneylerinde ara yüzeyde yırtılma eğilimi gösterir.

### 2.2.4.Ayrılma zamanı

Tutma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrotların iş parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığıdır. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve iş parçasının kılavuzlandığı, kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Elle yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır. Şekil 2.6(a) tek impulsu direnç nokta kaynağı çevrimi için bu dört temel süreyi göstermektedir. Her aralık periyot olarak gösterilmektedir. 50 Hz'lik bir şebeke için bir periyot 1/50 sn'dir. En basit kaynak çevrimi, kaynak aralığı boyunca, düzgün kaynak akımı ve elektrot kuvveti sağlamakla birlikte, eğim kontrolünün eklenmesi kaynak akımının değiştirilebilmesine olanak tanır. Şekil 2.6(b)'de gösterildiği gibi, eğim kontrolüne sahip bir kaynak çevriminde akım, kaynaktan önce artmakta, kaynaktan sonra da azalmaktadır.

Artan akım, kaynak akımının tamamının bir anda uygulanması yerine, düşük bir değerden istenilen değere birkaç periyotta yükseltilmesine izin verir. Düşük ilk akım ya da kaynak akımı, akım ilk uygulandığında metal fışkırmasını azaltır ya da önler.

Artış kontrolü, yüksek akım değerlerinde kaynakta ve çoğu kaplamalı metalin kaynağında kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Nokta kaynak çevrimleri[41]

### 2.3.Direnç Kaynağında Meydana Gelen Isı

Direnç nokta kaynağı makinelerinin sekonder devreleri, kaynak edilecek parçalar dahil, bir seri dirençten meydana gelmiştir. Bu dirençlerin toplamı elektrik akım şiddetini tayin eder. Elektrik akımı (amper olarak) devrenin her noktasında, o noktanın direncinden bağımsız olarak aynıdır. Bununla beraber herhangi bir noktada meydana gelen ısı, direk olarak o noktadaki direnç ile orantılıdır. Sekonder devreyi meydana getiren elektrikselsistem, istenilen noktada ısı meydana getirecek ve sistemin geri kalan elemanlarının relatif olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde etüt edilmiştir.

Dönüştürülen bu ısının tümü, kaynak noktasında oluşturulan dikişte harcanmaktadır. Elektrotların aşırı ısınmaya karşı, hava ya da su ile soğutulması, özellikle uzun zaman aralıklarında yapılan kaynak işlemlerinde ısınan parça boyunca yayılması, tükenen bu ısının bileşenleri olarak sayılabilmektedir. Oluşturulan kaynak noktalarının büyüklüğü, verilen ve kaçan ısı miktarlarının sabit olması durumlarında bile eşit olmayabilmektedir.

### 2.3.1. Kaynak Bölgesinde Isı Oluşumu

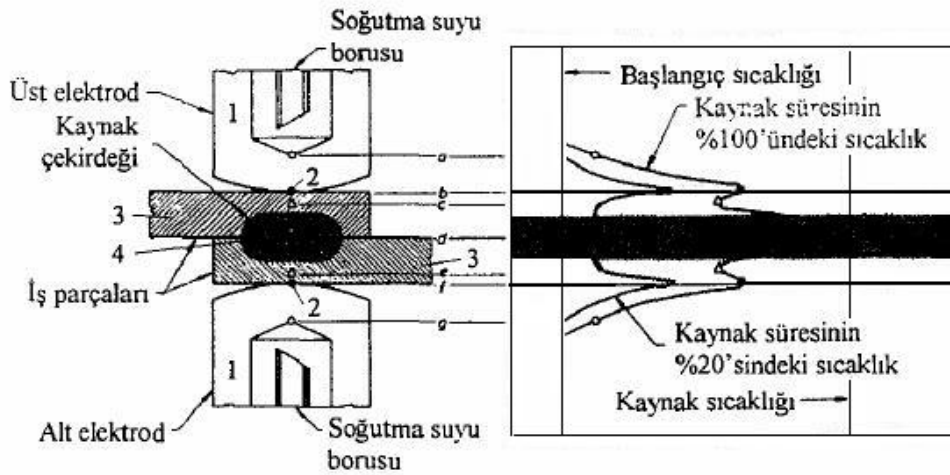
Kaynak bölgesinde kaynak işlemi için gerekli ısı miktarı, sadece  $I$ ,  $R$  ve  $t'$  nin Joule etkisine bağlı olmayıp, aynı zamanda malzemenin kaynağa uygunluk şartına da bağlıdır. Verilen kaynak akımı ve bu akımın uygulanma süresinde oluşan ısı miktarı, aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- Malzemelerin ve elektrotların ısı iletim kabiliyetleri
- Temas noktalarının, yani elektrot ve malzemelerin pürüzlülük ve temizlik gibi yüzey şartları[42,43,44].

Isı oluşumunu sağlayan yedi ayrı direnç söz konusudur. Bunlar:

1. Üst elektrodun direnci
2. Üst elektrot ile üst parça arasındaki kontak direnci
3. Üst parçanın direnci
4. Üst parça ile alt parça arasındaki kontak direnci
5. Alt parçanın direnci
6. Alt elektrot ile alt parça arasındaki kontak direnci
7. Alt elektrodun direnci

Bu noktaların her birinde, o noktanın direnci ile orantılı olarak ısı oluşur. En fazla ısının kaynak olan noktada yani, kaynak edilecek metallerin temas yüzeyinde (d noktasında) oluşması istenir[45]. Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı[46].

Nokta Kaynağında ısı üretimi, bir bilânço esasına göre oluşup tüketildiğinden,

Q<sub>1</sub>: Kaynak sırasında oluşan,

Q<sub>2</sub>: Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen,

Q<sub>3</sub>: Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan,

Q<sub>4</sub>: Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı miktarları olarak

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Kaynak noktasında ve elektrotlarda oluşup noktaya iletilen ısının toplamı:

$$Q_2 = 0,24 \cdot I_k \quad (2.4)$$

$$2 \cdot R_{top} \cdot t_k \cdot (cal) \quad (2.5)$$

Burada;

I<sub>k</sub>: Kaynak akımı

R<sub>top</sub>: Toplam mak. direnç

t<sub>k</sub>: Kaynak süresi

şeklinde, noktanın oluşumunda kullanılan ısı ise,

$$Q_3 = 0,24C_1.G.T + C_2.G \text{ (cal)} \quad (2.6)$$

Burada:

G (g): Kaynak çekirdeğinin kütlesi

T (K): Malzemenin ergime sıcaklığı

C<sub>1</sub> (J/g K): Malzemenin özgül ısısı

C<sub>2</sub> (cal /g): Malzemenin özgül ergime ısısı

ve parça içine dağılan ısı ise

$$Q_4 = 0,24T.Lt.tk \text{ (cal)} \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada:

Lt (m): Deney parçasının toplam uzunluğu

tk (periyot): Kaynak süresi

T (OK ): Malzemenin ergime sıcaklığı

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli şart, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilesidir. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur[47,48,49].

### 2.3.2. Isı kaybı

Kaynak işleminde ısı kaybı iki şekilde etüt edilmelidir;

1. Akımın uygulama zamanı sırasındaki ısı kaybı,
2. Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı.

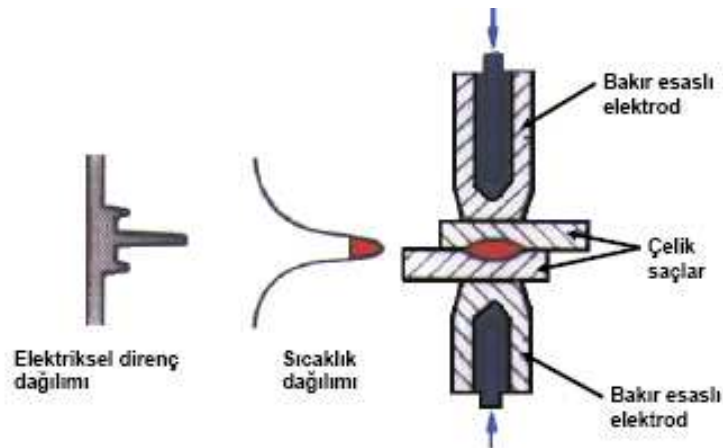
Birinci safhadaki ısı kaybının derecesi, aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Metalin bileşimi
2. Parçaların kütlesi
3. Kaynak süresi
4. Dış soğutma vasıtası

Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kayıp veya iletilme hızını belirler. Bu iki faktör, metallerde aynı yönde paralel gider. Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iş parçası ile temas halinde kalır ise, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletim kabiliyeti sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğur. Elektrotların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden, iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanarak azaltılabilir. Soğutma hızı, uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda düşük, kısa kaynak zamanını kullanıldığı ince levhalarda büyüktür. Elektrotlar kaynak yerinden derhal kaldırılacak olursa, ısı kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçeceğinden imkân verecek kadar yerinde tutmak uygun olur.

### 2.3.3. Kaynak noktasında oluşan elektriksel direnç

Kaynak bölgesindeki direnci, birleştirilen malzemelerin dirençleri ile kontak noktalarının toplam dirençleri oluşturmaktadır.



Şekil 2.8. Elektrik direnç nokta kaynağı elektriksel direnç dağılımı ve sıcaklık dağılımı

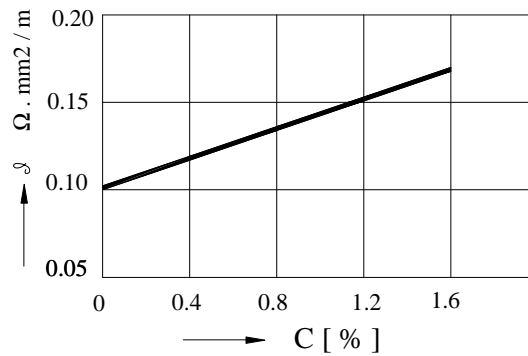
Malzemelerin dirençlerini,

1. Malzemelerin kaynak edilen bölgelerinin, imal ve hazırlanmasından gelen fiziksel özellikler
2. Kaynak devresindeki akımın çeşidi ve büyüklüğü
3. Akım devresindeki sıcaklık, belirlemektedir.

Kontak noktalarının dirençleri ise,

1. Üst elektrot – parça
2. Parça - parça
3. Parça - alt elektrot

temas noktalarındadır. Uygulamada elektrotları kendi dirençleri genellikle ihmal edilebilecek boyutlarda bulunmaktadır. Karşılaştırma açısından, saf metaller alaşımlardan daha kararlı yüksek dayanım gösterirlerse de, alaşım elemanlarının bileşiminde yükselmesi ile özgül dirençleri de saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Karşılaştırma açısından, saf metaller alaşımlardan daha kararlı yüksek dayanım gösterirlerse de, alaşım elemanlarının bileşimde yükselmesi ile özgül dirençleri de saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Saf demirde C yüzdesinin artımına bağlı olarak, özgül direncinin değişimi Şekil.2.9’da görülmektedir. Bileşimde bulunan Si ve diğer elemanlar nedeni ile de özgül direncin daha da büyüyeceğinin dikkate alınması gerekmektedir[50].



Şekil 2.9.Çelikte bileşimde bulunan C- yüzdesi – özgül direnç ilişkisi[50]



Su verilmiş ve soğuk şekillendirilmiş teknik metallerde, genellikle elektriksel direnç yükselmektedir. Bu tür işlemler uygulanmış metallerin, bilinen ısı işlemlerle başlangıç özelliklerine dönüştürülmesine, çoğu kez, ihtiyaç duyulabilmektedir. Bir elektrik iletkenin direnci;

$$R=(\rho.l)/A \quad (2.8)$$

$\delta$  =malzemenin özgül direnci  $(\Omega.mm^2 /m )$

$l$  =ileticinin uzunluğu  $( m )$

$A$ =ileticinin kesiti  $( mm^2 )$

Bu ifadenin nokta kaynağında akım geçen kesite göre yazılışı;

$$R=(\rho.2.s)/(\pi.d^2.250) \quad (2.9)$$

şeklinde olur

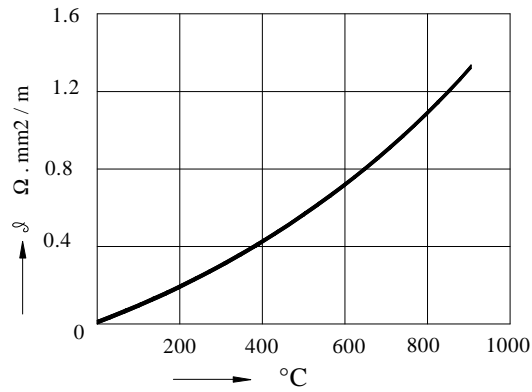
$2s$ =akım yolunun uzunluğu  $( mm )$

$s$  =parça kalınlığı  $( mm )$

$d$  =Akım geçen kesitin çapı  $( mm )$

Bu örnekte akım geçen kesit ile elektrot temas yüzeyi birbirine eşittir. İşlemlerde, eş değerde nokta dayanımlarının elde edilmesi amaçlandığından, elektrot temas yüzeylerinin çapları önemsiz boyutlarda değiştirilebilmektedir.

Sıcaklığın büyümesi ile metalsel malzemelerin özgül dirençleri büyümektedir. Bu özellik kaynak devresindeki metalsel malzemeye, direncinin büyümesi şeklinde yansımaktadır. Şekil.2.10'da saf demire ait, oda sıcaklığı ile 950°C arasındaki özgül direnç değişimi verilmektedir[50].



Şekil 2.10. Saf demirde sıcaklığa bağlı olarak özgül direncin değişimi[50]

Sıcaklığın büyümesi ile metalsel malzemelerin özgül dirençleri büyümektedir. Bu özellik kaynak devresindeki metalsel malzemeye, direncinin büyümesi şeklinde yansımaktadır. Özgül direncin sıcaklığa bağlı olarak değişimini, aşağıda verilen ifadeden de hesaplamak mümkündür;

$$\rho_t = \rho_o [ 1 + \alpha ( t - 20 ) ] \quad (2.10)$$

$\rho_t = t$  C' de özgül direnç  $( \Omega . \text{mm}^2 / \text{m} )$

$\rho_o =$  oda sıcaklığında özgül direnç  $( \Omega . \text{mm}^2 / \text{m} )$

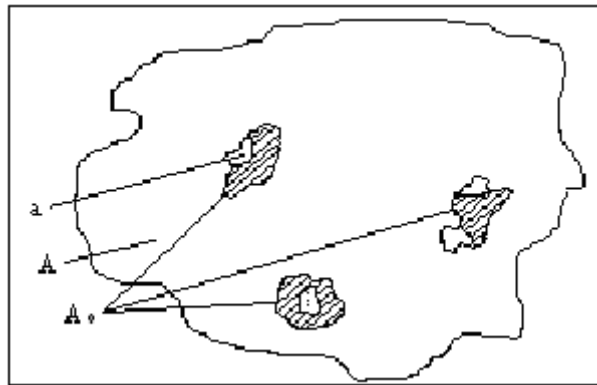
$\alpha =$  sıcaklık katsayısı  $( 1 / \text{C} )$

Bazı metalsel malzemelerin oda sıcaklığında, özgül dirençleri ve sıcaklık katsayıları Tablo 2.1'de verilmektedir. Sıcaklık artımı ile malzemelerin özgül dirençleri 2 – 8 kat arasında değiştiği görülmektedir. İki metal yüzeyi basınç altında tutulduğunda, temas sınırları içinde birçok değme noktalarının bulunduğu gözlenmektedir[50].

Tablo 2.1. Bazı metelsel malzemelerin, oda sıcaklıklarında özgül direnç katsayıları[50]

Malzeme	Özgül Direnç ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ )	Sıcaklık Katsayısı ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) x $10^{-5}$
Al 99.5	0.0278	4.0
Al Mg 5	0.059	2.1
Fe	0.10	5.6
Cu	0.0178	3.9
Ni	0.069	6.9
Ag	0.0159	4.0
Çelik ( % 0.1C, % 0.5Mn )	0.13 – 0.15	4.0 – 5.0
Çelik ( % 0.25C, % 0.3 Si )	0.18	4.0 – 5.0
Çelik ( % 1.0C, % 10.0Mn )	0.66	1.3

İki metal yüzeyi basınç altında tutulduğunda, temas sınırları içinde birçok değme noktalarının bulunduğu gözlenmektedir. Değme noktalarındaki değişim, değme yüklerinin etkisi altında bulunmaktadır. Şekil değiştirme süreci içinde sürekli yeni temas noktaları oluşmakta, bu aşmada ya plastik değiştirmeler meydana gelmekte veya elastiklik sınırları arasında bulunmaktadır.



Şekil 2.11.Elektrot temas yüzeyleri

- A: görülen temas yüzeyi
- $A_0$ : gerçek temas yüzeyi
- a: başlangıç akım geçiş yüzeyleri

Uygulamada ideal düzlemlerin oluşturulması imkân dışı olduğunda, gerçek toplam kontak yüzeyi  $A_0$ , temas yüzeyi olarak bilinen  $A$ 'dan daha küçüktür. Bu kontak yüzeyleri farklı geometri şekil ve boyutlarda kuralsız olarak yüzeyde dağılmış durumdadırlar. Burada yük taşıyan yüzeyler, farklı geometrik biçim ve şekil değiştirme oranlarına sahip olduklarından, kısmi veya tam bir örtü tabakası ile de kaplı olmaları ihtimalinden, birbirleri için tam bir elektriksel akış alanı olması özelliğini taşımamaktadır. Akım geçen her bir yüzey  $a$  ve kontak yüzeyleri toplamalarında  $A_0$  ile tanımlanmaktadır. Kontak direncinin incelenmesinde,

1. Dış zarf direnci (  $R_h$  )
2. Akım geçen boğaz direnci ( $R_e$  )

var oluşu dikkate alınarak, toplam kontak direnci;

$$R_k = R_h + R_e \quad (2.11)$$

olarak yazılabilmektedir.

Dış zarf direncinin nedeni, malzemenin temas yüzeyinden oluşmuş oksit, yağ filmi veya benzeri yabancı tabakalardır. Bu yüzeysel yabancı elemanlar, belirli bir kalınlığın altında bulunması durumunda, metalsel bir tabaka rolü oynarlar. Dış zarf direnci görülen temas yüzeyinin (  $A$  ) durum ve büyüklüğüne bağlı olmayıp, gerçek kontak noktalarının büyüklüklerinin etkisi altındadır. Verilen örnekte ele alınan  $A$  yüzeyi içinde birkaç noktadan akım geçebilmektedir. Akım yolunun büzülmesinden doğan bu direnç,  $R_e$  boğaz direnci olarak tanımlanmaktadır[51].

## 2.4. Elektrotlar

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotların değiştirilme imkânı vardır. Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotlarından şu koşulları yerine getirmesi istenir;

1. Yüksek sıcaklıkta sertlik,
2. Malzeme ile düşük alaşımlaşma eğilimi,
3. İyi elektrik ve ısı iletim kabiliyeti,

4. Yüksek dayanım,
5. Elektrot uçlarının emniyetli soğutulması.

Düşük dayanım nedeniyle saf bakır çok nadir kullanılmaktadır. Bakır, krom, gümüş, berilyum, molibden ve diğer metaller ile alaşımlandırılmaktadır. Bu tür bir alaşımlandırma, yüksek sıcaklıklarda büyük dayanımlar sağlar. Elektrot şekil ve ölçüleri, ısı iletimini, akım yoğunluğunu, temas direncini ve kaynak çekirdeğini belirlemektedir. Düz uçlu elektrot, düz yüzeylerin kaynağında kullanılmaktadır. İnce oksit tabakalarının parçalanması ve ilk temasta büyük akım yoğunluklarının eldesinin gerektiği durumlarda ise küresel uçlu elektrotlar kullanılmaktadır. Amerikan standartlarına göre elektrot malzemeleri iki ana gruba ayrılmıştır[52].

1. A grubu: bakır alaşımları
2. B grubu: refrakter metal bileşimleri

#### **2.4.1. A grubu bakır esaslı alaşımlar**

Bunlar üç sınıfa ayrılmışlardır:

##### **2.4.1.1. Malzeme sınıfı 1**

Nominal bileşimi %1 kadmiyum ve %99 bakır olan bir alaşımdır. Bu malzeme yüksek mukavemete ve sertliğe ve aynı zamanda yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu malzeme ısıl işleme tabi tutulamaz. Sertleştirme ve dayanıklılık kazandırma soğuk haddeleme işlemi ile elde edilir ve bu işlem malzemenin yüksek ısı ve elektrik iletkenliğini etkilemez. Bu alaşım, çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk veya levha haline getirilebilir, dövülebilir.

### 2.4.1.2. Malzeme sınıfı 2

Bu sınıfın nominal bileşimi %0.8 krom ve geri kalanı bakır olan alaşım meydana getirir. Bu malzeme 1. sınıfa nazaran daha yüksek mekanik özelliklere fakat daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Malzeme sınıfı 2, çok geniş bir sahaya hitab eden genel maksatlı elektrotların yapımında kullanılır. Bu malzeme çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk veya levha haline getirilebilir, dövülebilir veya dökülebilir.

### 2.4.1.3. Malzeme sınıfı 3

Nominal birleşimi % 0.5 berilyum, %1 nikel, %1 kobalt ve geri kalanı bakır olan alaşımdır. Sertleştirilebilir bir malzemedir. Sınıf 1 ve 2 ye nazaran daha yüksek mekanik özellikleri fakat daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu malzeme çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk haline getirilebilir ve dövülebilir.

## 2.4.2. B-grubu: Refrakter - metal bileşimleri

### 2.4.2.1. Refrakter - metal

Tungsten, tantal, molibden gibi erime noktası yüksek metaller refrakter metal olarak adlandırılırlar. Çeliklerin nokta kaynağında kullanılan refrakter metal (RWMA grup B) bileşimlerinin minimum özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu grup 10, 11, 12, 13, ve 14 olmak üzere beş sınıfa ayrılır. Bu elektrot malzemeleri yüksek ısı, uzun kaynak zamanı, kifayetsiz soğutma veya yüksek elektrot kuvveti gibi nedenlerin bakır esaslı elektrotların kısa zamanda bozulmasına sebep olduğu durumlarda kullanılırlar.

#### 1. Malzeme sınıf 10

Bu malzeme yüksek erime noktasına sahip bakır-tungsten alaşımıdır.

2. Malzeme sınıf 11  
Hacim olarak %42 bakır ve %58 tungsten ihtiva eden refrakter metal olup yüksek sertliğe fakat sınıf 10'a göre daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir.
3. Malzeme sınıf 12  
Bakır-Tungsten refrakter metal olup sınıf 11'e nazaran daha yüksek sertliğe ve daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir.
4. Malzeme sınıf 13–14  
Sırası ile alaşımsız tungsten ve molibdenden meydana gelmişlerdir. Genellikle bakır alaşımlarının düşük karbonlu çelikler ile kaynağında kullanılır.

#### **2.4.2.2. Özel alaşımlar**

Bunlar bakır-zirkonyum ve bakır-kadmiyum-zirkonyum gibi alaşımlar olup, özellikleri sınıf 1 ve sınıf 2 malzemelerinkine benzer. Çinko, alüminyum, kalay, kalay-kurşun alaşımı ve kadmiyum ile kaplanmış çeliklerin kaynağı için uygun elektrot malzemesidirler[52].

#### **2.4.3. Elektrot bakımı**

Elektrot uçlarının şekli, boyutları ve yüzey şartları kaynak kalitesi açısından çok önemlidir. Elektrotların uçları, mekanik aşınmaya ve deformasyonlara maruz kalırlar. Elektrot uçlarının bozulma hızı elektrodun malzemesine, şekline, kaynak sıcaklığına, ısınma ve soğuma hızlarına ve kaynak kuvvetine bağlı olarak değişir.

Kaynak edilen parçanın malzemesi ile elektrot malzemesi arasında alaşım teşekkülü, elektrot ucunun bozulma hızını çok artırır. Zayıf ve tutmamış kaynak noktaları, gayri muntazam şekilli kaynak noktaları, girintili kaynak noktaları, yanma ve metalin renk değiştirmesi ve elektrodu kaynak edilen parçalar üzerine çökmesi hatalara meydan vermemek için elektrot uçlarını durumlarına sürekli olarak dikkat etmek lazımdır ve gerektiğinde değiştirilmelidir[52].

#### 2.4.4.Elektrot Etüdü

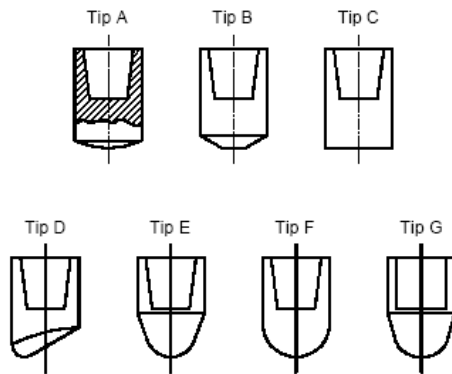
Elektrot etüdü yapılırken elektrodun dört yapısal özelliğini göz önünde bulundurmak gerekir.

##### 1. Elektrot ucu

Kaynak edilecek metaller ile bunların erime noktalarının altında veya üzerindeki sıcaklıklarda temas halindedir. İmalat sırasında elektrotlar tekrarlanan yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalırlar. Bu bakımdan elektrot malzemesinin seçiminde elektrodun alaşım meydana getirmesi kaynak edilen metaller üzerinde çökme olasılığı ile maruz kalacağı deformasyonlar göz önüne alınmalıdır.

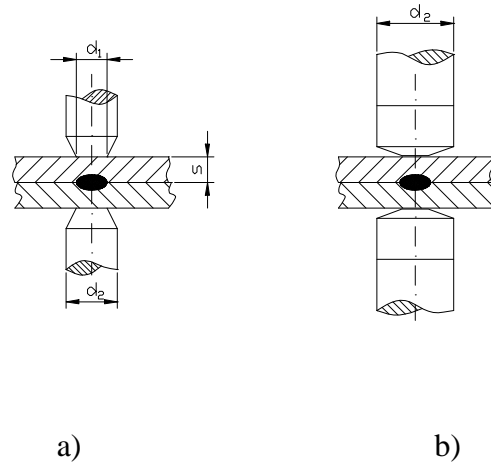
Elektrodun ucunun boyutları kaynak edilecek metalin kalınlığı, kaynak çekirdeğinin boyutu ve birleştirilecek parçaların boyut ve şekilleri bakımından belirlenir. Elektrot uç ve şekilleri standartlaştırılmış olup A dan F ye kadar harflerle belirtilen 6 standart tip ayrılmıştır.

- Tip A=sivri uçlu elektrot  
 B=kesik küresel uçlu elektrot  
 C=düz uçlu elektrot  
 D=eksantrik elektrot  
 E=kesik koni uçlu elektrot  
 F=küresel uçlu elektrot



Şekil 2.12. TS EN 2582' ye göre Elektrik direnç nokta kaynak elektrot uçları[52]





Şekil 2.13. En yaygın kullanılan nokta kaynağı elektrotları

- a) düz uçlu elektrotlar
- b) küresel uçlu elektrotlar

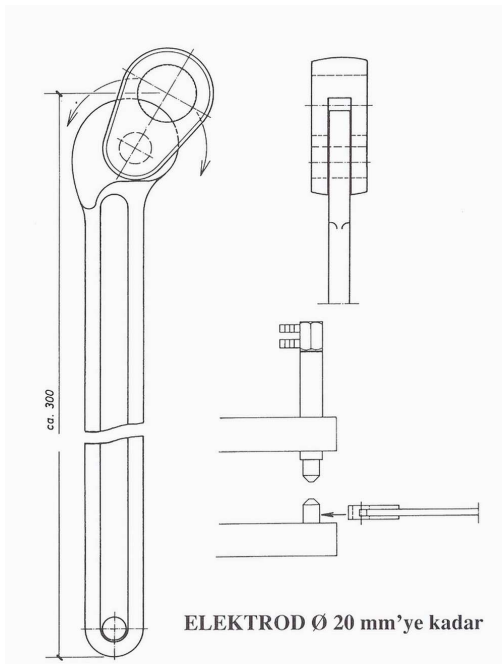
2. Elektrot gövdesi
3. Elektrot taşıyıcıya bağlantı şekli
4. Soğutma durumu

Kaynak süresini uzatabilmek için elektrotlar genel olarak su ile soğutulur. Elektrot temas yüzeyinin büyümesi, akım yoğunluğunu azaltır. Elektrot uçlarının düz şekilde tutulması için zımpara ve cilalama uygulanır. Böylece elektrot ile iş parçası arasındaki temas dirençleri mümkün olduğunca düşük tutulur.

#### 2.4.4.1. Elektrot değişiminde dikkat edilecek kurallar

1. Elektrot değişikliğine başlanacağına makine kaynaksız konuma getirilir,
2. Soğutma suyu giriş ve çıkış vanaları kapatılır,
3. Elektrodu değişecek pensin alt kolu mengeneli arabaya bağlanır,
4. Elektrodun çapına göre sökme aparatı seçilerek elektroda yerleştirilir ve elektrot alt veya üst koldan ayrılır. Bu sırada elektrodu çıkarmak için taşıyıcıya çekiç vb. malzeme ile vurmak malzemenin yapısını, şeklini bozar. Maliyetleri artırır.

5. Taşıyıcı içindeki spiralin boyu, tıkalı, ezik, deforme olup olmadığı kontrol edilir.
6. Pens göbek boşluğu kontrol edilir.
7. Yeni elektrotlar takıldığında uçların birbirini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir.
8. Karşılamiyorsa elektrot uçları aşırı tesviye edilmemeli, pens kolları ayarlatılmalıdır.
9. Pensin posta öngörülerine göre gerekiyorsa eksen aralığı kontrol edilir.
10. Rekor ile takılan şekilli (sabo) elektrotlar takılır veya sökülürken elektrot sabit konumda tutularak somun boşalıncaya kadar döndürülmelidir. Aksı halde elektrot çevrilirse içerdeki bakır boru veya spiral kırılır.
11. Sabit kolda değiştirilen elektrot tam sıkılmadan elektrotların birbirini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek yanlıştır. Sıkma işlemi konik yüzeyler tam olarak öpüştüğü zaman kontrol yapılmalıdır.
12. Bu tür elektrotların sökme veya takma işlemlerinde boru anahtarı, kurbağacık, ayarlı pense gibi takımların kullanılması yanlıştır. Çünkü bu takımlar elektrot veya taşıyıcının dişlerini bozar, çatlama, kırılma ve sızdırma gibi problemlere yol açar[52].



Şekil 2.14.Elektrot sökme anahtarı[52]

## 2.5. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri

### 2.5.1. Kaynak akımı

Kaynak akımı, transformatör sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan esnek bantlar, kollar, elektrotlar ve iş parçasından oluşan sekonder devreden akar. Isı, devrenin her kısmında aşağıdaki formüle göre oluşmaktadır:

$$Q=K.I \quad (2.12)$$

Burada, Q: ısı (enerji) (Watt-sn ya da Joule), I: akım (A), R: direnç (Ohm) ve t: akımın geçtiği süredir (sn). Isının bir bölümü elektrotlardan ve iş parçalarından iletim, taşınım ve ısınım yoluyla kaybolur. Bu kayıpların büyüklüğü genelde bilinmemektedir.

Çeliğin ısıl iletimi yaklaşık olarak bakırın ısıl iletiminin %12'sidir. Bu yüzden, çeliğin bakır esaslı elektrotlarla kaynağında, yeterli kaynak akımı kullanıldığında, iş parçalarının ara yüzeyinde oluşan ısı, kaynak bölgesinden, elektrot uçlarında oluşan ısının su soğutmalı elektrotlara iletilmesine oranla, daha yavaş uzaklaşmaktadır. Böylece, önce iş parçalarının ara yüzeyi erime sıcaklığına ulaşmakta ve kaynak bu ara yüzeyde oluşmaktadır.

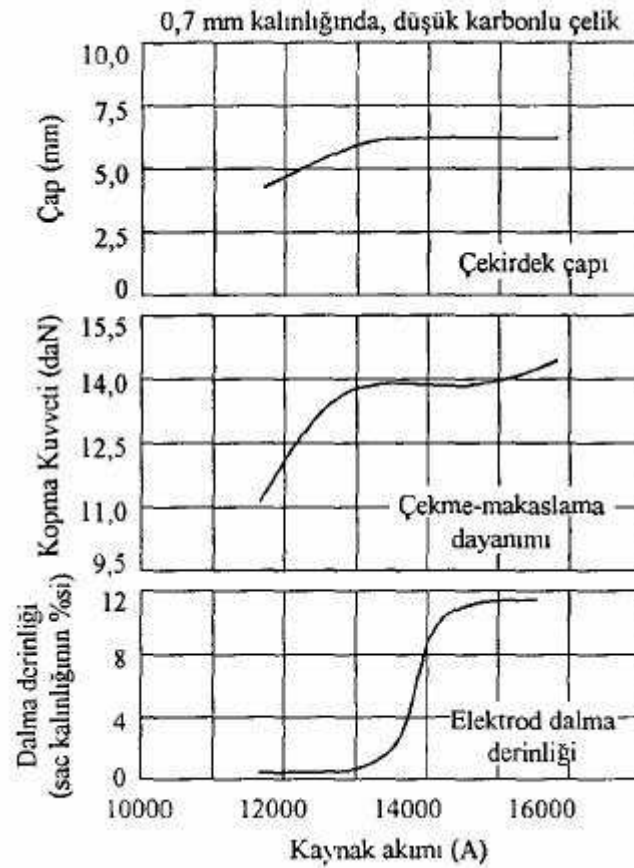
Akım yoğunluğu için erimenin meydana gelmediği bir alt sınır mevcuttur. Elektrotlarda, çevreleyen havada ve elektrotlar arasında olmayan iş parçasında iletim boyunca kaybolan ısıyı karşılamak üzere yeterli ısı üretilmelidir.

Akım yoğunluğu artınca, elektrot temas yüzeylerini birkaç yüz dereceden fazla ısıtmadan kaynak oluşturmak için, kaynak süresi yeterli miktarda düşürülebilir. Kaynak akımı için bir de üst sınır mevcuttur. Kaynak akımı çok yüksek ise, elektrotlar arasındaki metalin tamamı, kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşmasıyla, plastik bölgeye kadar ısınmış olur ve elektrotlar derinlemesine metale gömülür. Elektrotların dış yüzeyleri aşırı ısınabilir ya da yanabilir. Bu, özellikle, akım fışkırmaya sebep olacak kadar yüksekse gerçekleşir. Bu üst sınırın üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru

fıskırır. Bu olay, kaynak dikişinde dayanıklılığın azalmasına neden olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir ve elektrotlar levhalara yapışarak tahrip olur. Bunun sonucunda elektrotların ömrü azalır.

Belli bir elektrot için, düşük kalitede kaynaklara sebep olan, bir veya daha fazla iş parçasında sıcak metalin yapıştığı ya da fışkırdığı, akımın bir üst sınırı vardır. Maksimum nokta dayanımı, fışkırmanın meydana geldiği değerin biraz altındaki akım yoğunluğunda kaynakla elde edilir. Seçilen akım, imalatta bu sınır göz önünde bulundurularak ayarlanmaktadır.

Kaynak akımı, bağlantı çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliğinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Akım 13500 A'in üzerine çıktığında 6 mm'lik çekirdek çapında önemli bir artış olmamıştır fakat elektrot dalma derinliğinde bir artış meydana gelmiştir. Optimum akıma ulaşılan kadar çekme makaslama dayanımı hızlı bir şekilde artmakta, fakat akım 14000 A'in biraz üzerine çıktığında dayanım biraz düşmektedir. Dalma derinliği, 13500 A'lik kaynak akımında sac kalınlığının %2'sinden, 14000 A'in biraz üstünde %10 civarına kadar çıkmaktadır.



Şekil 2.15. Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri

### 2.5.2. Kaynak süresi

Nokta kaynağı sırasında iş parçaları ve elektrotlardaki ısı dağılımı üzerinde sürenin etkisi Şekil 2.7'de iki eğri ile gösterilmiştir. İçteki eğri, kaynak süresinin %20'si geçtikten sonra her bölgedeki sıcaklığı temsil etmekte ve bu süre boyunca kaynak bölgesindeki iş parçası yüzeylerinde sıcaklık yükselişinin, kaynak süresinin geri kalanı boyunca sıcaklık artışına bağlı olarak, diğer bölgelerdekenden daha düşük olduğunu göstermektedir[53].

Isı (enerji) formülü  $Q=K.I$ , toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi parçasında oluşan ısının hem kaynak süresi (akımın geçtiği süre) hem de kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının seçilmesi için gereken süre,

akım ne kadar yükseltirse yükseltilsin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir. Temas yüzeylerinde ısı oluşumu çok hızlı olduğunda, özellikle elektrot temas yüzeylerinde, oyuklaşma ve fişkırmaya meydana gelir.

Kaynak akımı ve basınç artırılarak kaynak süresinde biraz azalma sağlanabilir. Akımdaki yükselmeden dolayı oluşan fişkırmayı önlemek için süre kısa tutularak yüksek basınç gereklidir.

Kısa kaynak süresi ve yüksek akım şiddeti ya da uzun kaynak süresi ve düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapını elde etmek mümkündür. Bunlardan birincisi kısa süreli kaynak, ikincisi uzun süreli kaynak adını alır.

Getirdiği büyük faydalar yüzünden, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri, çok ince levhalar için bile birkaç saniye olan kaynak süresi, kontrol elamanları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç periyoda kadar düşürülmüştür. Kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azaldığından işlemin ısı verimi artmaktadır. Düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında, kısa süreli kaynak için gerekli kaynak süresi aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir:

$$T=8.s \quad (2.13)$$

Yukarıdaki bağıntıda, T (periyot) kaynak süresi, s (mm) levha kalınlığıdır. 50 Hz frekanslı bir şebekede 1 periyot 1/50 saniyedir. Kısa süreli kaynak, ısının çok sınırlı bir bölgede yoğunlaşmasının gerektiği özel şekilli parçaların kaynağında ve alüminyum gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır.

Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Uzun süreli kaynakta, kaynak bölgesine komşu bölgelerin sıcaklığı yükseldiğinden, sıcaklık farkı, dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle, % 0,3 karbon içeren çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli

kaynak kullanılır. Diğer yandan, elektrotlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar için de uzun süreli kaynak tercih edilir[41,42].

### 2.5.3. Elektrot bileşiminin ve şeklinin ısınma üzerine etkisi

Elektrodun ısınmasını minimumda tutabilmek için, elektrotlar, yüksek elektrik iletkenliğe ve düşük temas direncine sahip olmalıdırlar. Aynı zamanda, elektrot ucu ile metalin temas ettiği alanlardaki ısının uzlaştırılabilmesi için yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdır. Elektrotlar ayrıca tekrarlanan yüksek kaynak kuvvetlerinin sebep olduğu deformasyonlara direnebilecek kadar kuvvetli olmalıdırlar.



Şekil 2.16.Elektrot tutucu ve ucu

#### 2.5.3.1. Elektrotların bileşiminin etkisi

Genellikle, alaşımın sertliği arttıkça ısı ve elektrik iletkenliği azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun alaşımın seçiminde, elektriksel, ısısız ve mekaniksel özelliklerin uygun bir kombinezonu bulunmalıdır. Ticari saf bakır mükemmel bir elektriksel iletkenliğe sahip olmasına karşılık, sıkıştırma kuvvetlerine direncinin ve tavlama sıcaklığının düşük olma nedeniyle elektrot malzemesi olarak tek başına kullanılamaz.

#### 2.5.3.2. Elektrot şeklinin etkisi

Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrotların uç çapları aynı olmalıdır. Bununla beraber, eğer kaynak edilecek parçaların kalınlıkları farklı ise, kalın parçayla temas eden elektrodun ucunun çapının, uygun ısı dengesini

sağlayabilmesi için daha büyük olması gerekebilir. Farklı metallerin kaynağında, eğer metallere birisinin elektriksel direnci diğerinden büyük ise aynı husus geçerlidir. Bu farklılık, yüksek dirençli parça ile temasta olan elektrodun ucunun çapı büyütülerek veya düşük dirençli parçayla temasta olan elektrot için yüksek dirençli malzeme kullanılarak telafi edilebilir. Kaynak çekirdeğinin çapı, elektrodun temas yüzeyinden hafifçe küçüktür. Elektrodun ucu aşındıkça veya mantarlaşıma nedeni ile büyüdükçe, kaynak çekirdeğinin çapı artar. Uç çapının % 5'ten fazla büyümesi, akım yoğunluğu azalacağı ve açığa çıkan ısı iyi bir kaynak meydana getirmeye yeterli olmayacağı için, kaynak kalitesini etkileyecektir[54].



Şekil 2.17. Elektrot uçlarında mantarlaşıma[54]

#### 2.5.4. Kaynak kuvvetinin ısınma üzerine etkisi

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, elektrot tarafından kaynak edilecek parçalara, kaynak çevrimi boyunca tatbik edilen kuvvettir. Elektrot kuvveti genellikle, statik bir kuvvet olarak ölçülüp ifade edilmesine rağmen, işlem sırasında dinamik bir kuvvettir ve kaynak makinesinin hareketli kısımlarının atıllığı ve sürtünmesinden etkilenir. Kaynak edilecek parçalar, kaynak edilmek istenen noktadan akım geçmesini sağlamak için iyi bir şekilde temas etmelidirler. Bununla beraber, elektrot kuvvetinin artırılması, kaynak olacak metallerin temas direncini dolayısıyla bu noktada kaynak akımının meydana getireceği ısıyı azaltacağından, elektrot kuvveti aşırı olmamalıdır. Parçalar birbiri ile iyi bir temas sağlamıyorsa, deformasyonu yenmek için aşırı bir elektrot kuvveti kullanmak gerekmektedir. Bazen de, parçaları sıkı temasa getirmek için, yavaşlama zamanı normalden daha uzun tutulur. Parçaların yayılanmasına mani olmak ve kaynak noktasının katılaşmasını sağlamak için tutma zamanı da uzatılabilir[54].

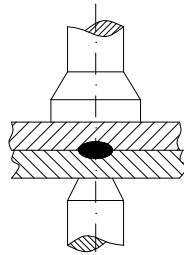




Şekil 2.18.Elektrot basıncının kontrolü

Elektrot kuvveti kaynak işleminin üç safhasında da önemli rol oynar. Basma safhasında, elektrod kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrotlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhaları arasında fişkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fişkırmayı 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, levhaların arası temas direncini azaltacağından, kaynak akımının artırılmasını gerektirir. Diğer taraftan çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlar ortaya çıkarabilir

Bazı durumlarda malzeme yüzeyinde elektrot izleri olmaması istenir. Bu, büyük yüzeyli paralel ve düz, olabildiğince düzgün bir iş parçası yüzeyi hazırlanmasıyla sağlanır. Böylece bir tarafta baskı izi olmaması istenen yüksek akım yoğunluğu sağlanmış olur.



Şekil 2.19.Elektrot tasarımı ( Düz elektrot ile sac yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması )

### 2.5.5. İş parçasının malzemesi

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenlikleri ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği ifadesindeki R değeri yoluyla verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını belirleyen bir faktördür. Metallerde elektrik ve ısı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle, yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla da 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 imkânsız veya zor hale getirir. Diğer taraftan, mevcut ticari birçok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı malzeme ve levha kalınlığına bağlı olarak elektrot kuvveti oluşur[54].

### 2.5.6. Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin ısınma üzerine etkisi

Yüksek ve tekrarlanabilir kalitede nokta kaynakları elde edilebilmesi için, elektrotların temas dirençleri minimum tutulmalıdır. Düşük elektrot temas direnci temiz parçalar kullanılarak ve elektrot kuvveti kontrol edilerek sağlanır. Mikro boyutlarda bakıldığında metal saçların yüzeylerinin muntazam olmadığı görülür. Bu durum, düşük elektrot basıncı tatbik edildiğinde metal-metal temas yüzeyi, bütün temas yüzeyinin ufak bir yüzdesi olmasına neden olur. Elektrot kuvveti artırıldıkça metal-metal temas alanı artar ve böylece elektrik direnci azalır. Elektrot malzemesinin kaynak edilecek parçalarda daha yumuşak olduğu durumlarda, elektrod kuvvetinin artırılması metal-elektrot temas yüzeyinin, metal-metal temas yüzeyinden daha iyi bir şekilde temas etmesini sağlar.

Her ne kadar, elektrot kuvveti ısı formülüne;

$$Q = I \cdot R \cdot t \quad (2.14)$$

direk olarak girmiyorsa, elektrik direnci üzerine büyük bir etkisi vardır. Temas direnci elektrik kuvveti ile ters orantılıdır.

Yüzey pürüzlüğü, elektrik akımının tüm temas yüzeyi yerine sadece birbirine değen pürüz yüzeylerinden geçmesine neden olur. İki yüzey arasındaki temas direnci, birleştirilecek malzemelerin yüzey pürüzlüğünden ileri gelen daralma ve yüzey film dirençlerinin toplamıdır. Temas direnci, akım yoğunluğuna, elektrot kuvvetine, sıcaklığa ve birleştirilecek malzemelerin deformasyon özelliklerine bağlı olarak akım süresinin dörtte biri kadar bir süre etkili olur. Bu süre içinde maksimum değerine ulaşır ve hızla azalır. Artan elektrot basıncı sonucu oluşan plastik şekil değiştirme, temas direncini azaltmaktadır.

### **2.5.6.1. Yüzey hazırlama**

Kaynak edilecek parçalar veya en azından birleştirme yüzeyleri, kaynakların gayri safiyetlerden arınabilmesi için temizlenmelidir. Elektrotlarla temasa gelebilecek, pislik pas ve oksit filmleri kaynakların bu yüzey görünümünü bozarlar. Kaynak edilecek parçaların yüzeyindeki yabancı malzemelerin uzaklaştırılması, elektrotların bu malzemeleri bünyelerine alması olayını azaltacağından, elektrod ömrünü artırır. Pislik veya filmleri buhar fazında yağ alma veya kimyasal banyolarla uzaklaştırabilir. Bununla beraber bezle, elle silinerek de kaliteli nokta kaynakları elde edilebilir. Oksit filmleri ise mekanik yollarla uzaklaştırılabilir[54].

### **2.5.6.2. Yağ tabakasının etkisi**

Soğuk haddelenmiş yüzeyler veya asit ile temizlenmiş sıcak haddelenmiş ve yağlanmış yüzeyler üzerindeki ince yağ filminin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi çok küçüktür. Bu konuda yapılan testler üzerinde ince bir yağ filmi bulunan metaller üzerinde yapılan nokta kaynaklarının dirençlerinin, aynı metallerin yağı alındıktan sonra yapılanlara nazaran % 2–3 daha düşük olduğunu göstermiştir. Fazla miktarda yağ ve gres bezle silinerek veya yağ alma ile uzaklaştırılmalıdır. Yağın kendinin kaynağa bir zararı olmayabilse de, üzerine yapışan kirler ve yabancı maddeler zayıf kaynakların elde edilmesine neden olabilir.

### 2.5.6.3. Pas ve oksitlerin tesiri

Paslanmış veya ısı ile meydana gelmiş siyah veya mavi oksit filmleri ihtiva eden çelikler direnç nokta kaynağı ile kaynak edilebilirler. Fakat kaynak kalitesi ve sürekliliği bu tabakaları ihtiva etmeyen çeliklere nazaran düşük olur. Muntazam ve düşük bir elektrik direncine sahip olan ince filmlerin kaynak üzerine etkisi azdır. Oldukça kalın ve muntazam olmayan oksit filmleri ihtiva eden çelikler bu tabaka uzaklaştırılmadan seri imalat şartlarında kaynak edilemezler. Kalın fakat muntazam oksit filmleri ihtiva eden çelikler düşük bir değerden orta bir değere doğru artan seri halde kaynak tatbik edilerek ve oldukça yüksek elektrot kuvvetleri kullanılarak kaynak edilebilirler.

### 2.5.7. Kaynaklar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi

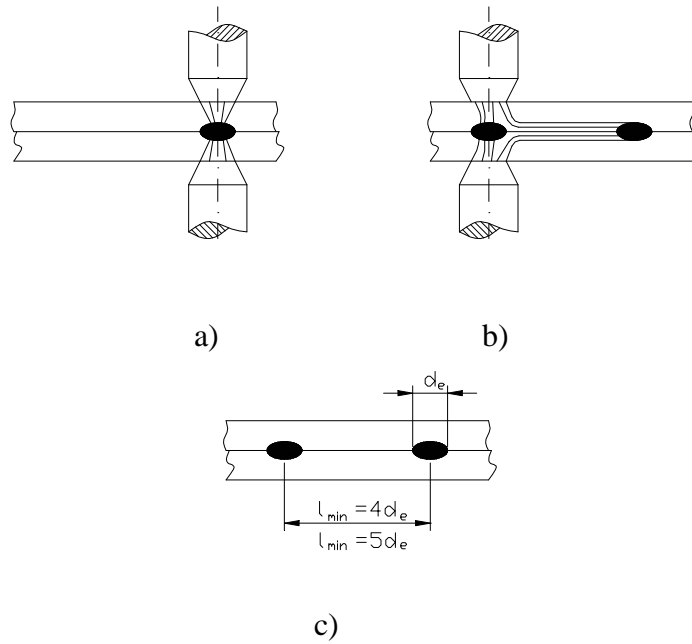
Daha önce yapılmış bir nokta kaynağına çok yakın ikinci bir nokta kaynağı yapıldığında paralel devre meydana gelir, kaynak akımının bir kısmı daha önce yapılan kaynak noktasından geri kalanı da yapılmakta olan ikinci kaynak noktasından geçer. Bu iki devreden geçen akımların miktarı, bu devrelerin direnci ile ters orantılıdır. Akımın bu devrelere dağılımı esas olarak kaynak edilen metallerin iletkenliği ile kaynak noktasındaki ara yüzey direncine bağlıdır. Kaynak sırasında metal ısındığından direnci artar ve dolayısıyla paralel devreden geçen akımda artar.

Yapılmakta olan nokta kaynağı daha önce yapılmış olan nokta kaynaklarından yeteri kadar uzakta ise, daha önceki noktaya kaynaklarından teşekkül eden devrenin direnci, yapılmakta olan nokta kaynağının direncinden oldukça büyüktür ve paralel devre ihmal edilebilir. Elektrik direnci yüksek olan metaller düşük olanlardan daha az paralel devre olayından etkilenirler.

Nokta kaynakları arasındaki minimum mesafe ( adım ) elektrot ucunun ve kaynak çekirdeğinin çapını tayin eden kaynak edilen parçaların kalınlığına bağlıdır.

### 2.5.7.1. Akımın şöntlenmesi

Şönt akımları, nokta kaynağında çok küçük nokta aralığında ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya düşük akım şiddeti çıkar ve  $d_n$  çekirdek çapı küçülür. Çeliklerde minimum nokta aralığı  $(4.d_n)$  ile  $(5.d_n)$  arasındadır. Alüminyum gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemelerde bu aralık  $(8.d_n)$  ile  $(10.d_n)$  alınmalıdır.



Şekil 2.20 Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda akımın şöntlenmesi ( kısa devre ) hali

- a) şöntlenme (kısa devre) olmadan akımın geçişi
- b) yakın noktalar arasında şönt akımı oluşumu
- c)  $L_{min.} \approx 4 d_n$  ve  $L_{min.} \approx 5 d_n$  koşulunda akımın şöntlenmesi önlenmektedir

### 2.5.8. İstenilen yüzey işlem ( boya vs ) kalitesinin ısınma üzerine etkisi

Daha sonra boyanacak, emaye yapılacak veya başka bir dekoratif yüzey işlemine tabi tutulacak birleşik parçalar seçiminde kaynakların yüzey görünümleri kaynağın dayanıklılığı kadar önem kazanır. Yüzey işlem kalitesini etkileyen, aşırı elektrot batması, aşırı ısınma kaynak noktasının boşalması, çatlama, gibi olayların meydana gelmesine mani olurlar. Kaynak ayarları, minimum elektrot batması ve aşırı ısınmaya neden olacak fakat yeterli dayanıklılıkta kaynaklar elde edilmesini sağlayacak şekilde

seçilmelidir. Birçok hallerde iz istenmeyen yüzey üzerine bir bakır levhanın yerleştirilmesi uygun görünüm şartının sağlanması için yeterlidir[54].

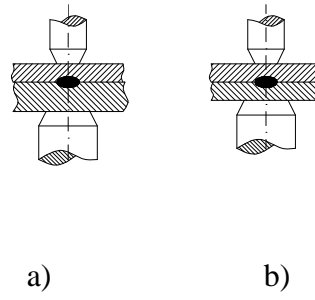
## 2.6. Isıl Denge

Isıl denge ısı ve elektriksel iletim kabiliyetiyle ilgilidir.

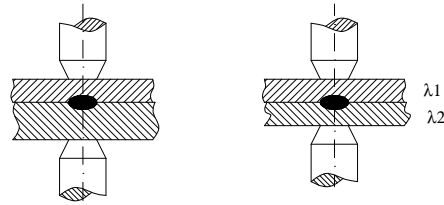
1. Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniforma olarak üretilecek ve kaynak çekirdeği simetrik olacaktır. Bu şart mevcut ise ısı denge mevcuttur.
2. Bununla beraber, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahipse, ısı denge mevcut değildir. Diğer bir deyişle simetrik bir kaynak çekirdeği elde edilmez.
3. Simetrik bir kaynak çekirdeği elde etmek için büyük temas yüzeyli elektrotlar kullanılmaktadır.
4. Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrotun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeniyle, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısı denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle elde edilir.

Isıl dengeyi, esas olarak şu faktörler etkiler:

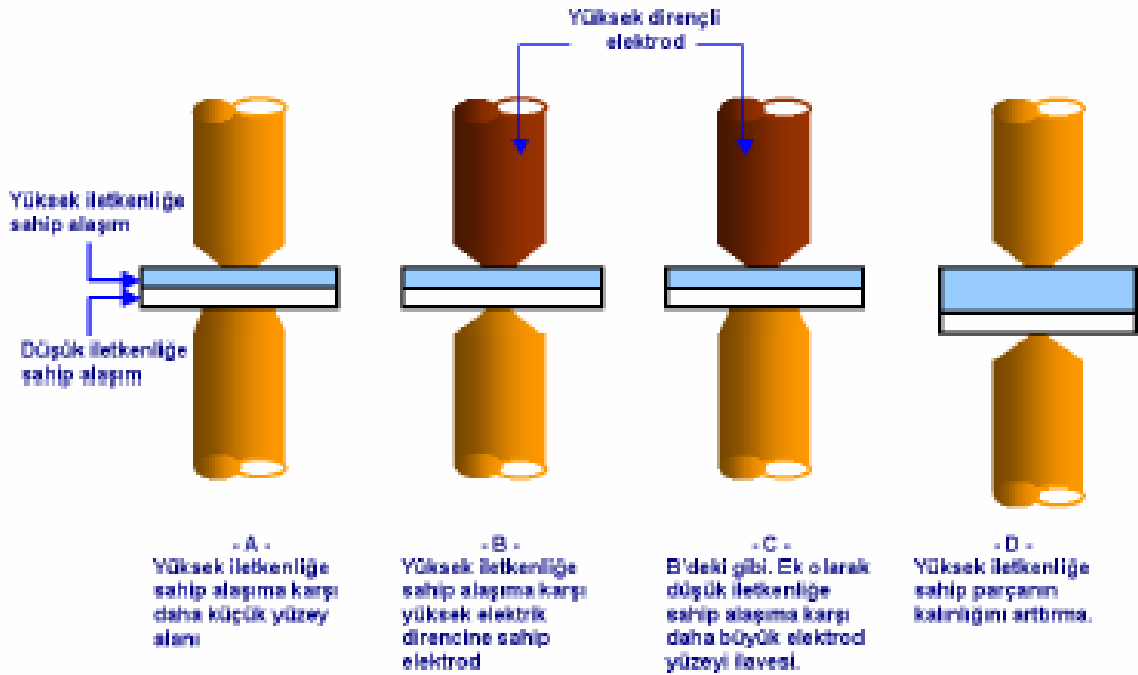
1. Kaynak edilecek malzemelerin izafi ısı ve elektriksel iletkenlikleri,
2. Kaynak edilecek parçaların izafi geometrileri,
3. Elektrotların ısı ve elektriksel iletkenlikleri,
4. Elektrotların geometrisi



Şekil 2.21. Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin bozulması  
 a) Farklı kalınlık halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması  
 b) Farklı ısı iletim kabiliyeti halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması



Şekil 2.22. Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması  
 (Geniş yüzeyli elektrot kullanımı ile kaynak çekirdeğinin simetrisinin elde edilmesi)



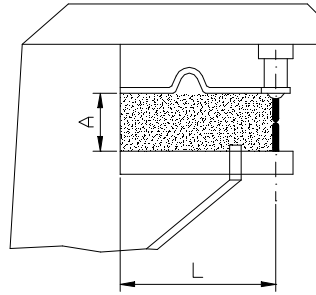
Şekil 2.23. Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması

## 2.7. Sekonder Pencere Açıklığı

Sekonder pencere açıklığı S, A kol uzunluğundan ve L kol aralığından oluşmaktadır. İş parçasının büyüklüğü ve manyetikleşebilmesi sonucu, endüktif direnç büyümektedir. Bunun sonucu olarak etkin kaynak akımı düşmektedir. Doğru akım kaynak makinelerinde endüktif akımlar sadece devre kapanırken oluşur. Tasarımcı, bağlantı parçalarının, küçük pencere açıklığı oluşturacak şekilde tasarımına dikkat etmelidir.

$$(S = A.L)$$

(2.15)



Şekil 2.24. Sekonder pencere açıklığının tanımlanması

## 2.8. Akım ve Kuvvet Programları

Elektrik ve elektronik kumanda donanımları, kaynak akımının ve elektrot kuvvetinin aşağıdaki durumlarda uygulanmasına olanak tanır;

1. Sertleşebilen ve kaynağa uygun olmayan çeliklerde ( karbon oranı % 0,2' nin üstünde) çatlama eğilim vardır
2. Uçak inşasında olduğu gibi yüksek kaliteye ihtiyaç olan bağlantılar
3.  $s > 4$  mm den kalın malzemeler
4. Alüminyum ve sertleşebilen alaşımlar (örneğin AlSiMg) ısı ve metalürjik olarak hassastırlar.



Bu programların uygulanması şu şekilde olmaktadır:

1. Ön Tavlama : Ön tavlama da kaynak işlemine yetmeyecek şekilde ısı üretilir. Böylece soğuma hızı azaltılır. Yüksek elektrot kuvveti, bağlantıyı temin eder.
2. Kaynak : Basınç kuvveti azaltılır ve böylece R direncinin artması sonucu  $I^2 R$  artar. Böylece kaynak akımı yükseltilir. Bu işlem, bir veya birkaç impuls şeklinde uygulanır. Sertleşebilen alaşımlar gibi hassas malzemeler durumunda, sürekli olarak yükselen ve düşen akım kullanılır.
3. Sonradan Tavlama : Bu ısı işleme, bağlantının metalürjik kalitesi iyileştirilir. Soğuma hızının düşmesi, bu işlemin ana hedefidir

## 2.9. Kaynak Hataları ve Nedenleri

Sürekli ve yüksek kaliteli nokta kaynaklarının elde edilmesi tabakaların kalınlık bileşim yüzey durumu ve kaynaklanacak malzemelerin temperlenmesinin, teçhizatın elektrik - mekanik münasebetinin, elektrot bakımının, kaynak programı seçiminin sağlam bir şekilde kontrolüne bağlıdır. Bu kontrollerin en uygun şekilde yapılabilmesi için kaynak hatalarının cinslerini ve bu hataları meydana getiren sebepleri iyi bilmek gerekir.

Kaynak hataları dış ve iç hatalar olmak üzere iki şekilde incelenebilir[55,56].

### 2.9.1. İç hatalar

İç hatalar levhaların içerisinde oluşan ve özellikle kaynak çekirdeği ile doğrudan ilgili olan hatalardır. İç hataların mukavemet üzerinde direkt tesirleri vardır.

#### a. Kaynak nüfuziyeti

Nokta kaynağında nüfuziyet, erimenin parçalar içinde uzanabildiği derinlik olarak tarif edilebilir, levha kalınlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Nüfuziyet sınırı kabaca % 20 – 80 arasında değişimine müsaade edilir. Minimum ve maksimum sınırları aşan kaynaklar, kaynak mukavemetinde istenmeyen değişmeye sebep olabilirler[48,55].

b. Yetersiz nüfuziyet

Nüfuziyeti % 20'den az olacak şekilde yapılan kaynaklar akım zaman ve elektrot kuvvetindeki normal değişmelerden dolayı zayıf olarak teşekkül edeceklerdir.

Yetersiz nüfuziyete aşığıdaki faktörlerden bir veya birkaçı sebep olabilir:

1. Yetersiz kaynak akımı
2. Aşırı kaynak basıncı
3. Uygun olmayan ısı denge
4. Çok büyük elektrot ucu
5. Uygun olmayan yüzey durumu[48,53,55].

c. Aşırı nüfuziyet

Nüfuziyeti % 80'den fazla olan kaynaklar, akımı zaman ve elektrot basıncının normal değişmelerinden dolayı, fıskırma çatlaklar ve gözenekler gibi diğer hataları meydana getirebilirler.

Aşırı nüfuziyete aşığıdaki faktörlerin biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Uygun olmayan yüzey durumu
2. Çok küçük elektrot ucu
3. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
4. Yeterli olmayan kaynak basıncı
5. Yeterli olmayan elektrot soğutulması[55,57].

d. Simetri

İyi teşekkül etmiş bir kaynak noktası yatay ve düşey eksenlere göre simetrik olmalıdır. Sabit bir kaynak kalitesi elde etmek için üniform olarak şekillenmiş, uygun

olarak yerleşmiş, birleşme içinde düzgün olan noktalar istenir. Simetrik olmayan kaynak noktalarına aşağıdaki faktörlerden bir veya birkaçı sebep olabilir:

1. Elektrotların yanlış hizalanması
2. Çok küçük elektrot ucu
3. Uygun olmayan yüzey durumu
4. Uygun olmayan kaynak programı
5. Parçaların düzgün yerleştirilmemesi

Kaynak akımının, basıncının uygun olmayan bir şekilde tatbiki gözenekli bir kaynak yapısına sebep olur. Gözeneklilik ise normal olarak yetersiz bir kaynak basıncının neticesidir. Gaz kabarcıklarının meydana gelmesine ve gözenekliliğe aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir[48,58,59].

e. Gaz kabarcıkları ve gözeneklilik

1. Fıskırma gaz kabarcıkları genellikle fıskırma şiddetli olduğu zaman meydana gelir
2. Uygun olmayan kaynak basıncı
3. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
4. Uygun olmayan kaynak akımı yükselme hızı[42,55].

f. İç çatlaklar

İç çatlaklar radyografi ile tahribatsız olarak, kaynaktan kesit almak suretiyle de tahribatlı olarak incelenebilirler. Çatlaklar kaynak içinde enine veya boyuna doğru olabilirler. Isı tesiri altında kalan bölgeye kadar uzanabilirler veya kaynak bölgesi ile sınırlanırlar.

İç çatlaklara aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir.

1. Yetersiz kaynak basıncı
2. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı

3. Elektrotların aynı hizada olmamaları
4. Aşın kaynak akımı
5. Elektrotların yana kayması
6. Yetersiz elektrot soğutulması[55,58].

### **2.9.2. Dış hatalar**

Dış hatalar daha çok gözle görülebilen tipteki hatalardır. Mukavemet üzerinde büyük etkileri vardır.

#### **a. Yüzey yanması**

Yüzey yanması, elektrotlarla temasta olan metal yüzeyinin erimesi olarak tarif edilebilir. Yüksek akım, yüksek basınç ve uzun süreli kaynak işlemlerinde kaynak metalinin yüzeyinde meydana gelen yanmalar olarak da tarif edilir. Kaynak kalitesi ve görünüşü, yüzey yanmasından etkilenir.

Yüzey yanmasına aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Çok seyrek elektrot temizlenmesi
2. Uygun olmayan yüzey durumu.
3. Yetersiz kaynak basıncı
4. Aşırı kaynak akımı
5. Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
6. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
7. Elektrotların yana kayması
8. Yetersiz elektrot soğutulması
9. Uygun olmayan elektrot malzemesi [55].

### b. Levha ayrılması

Levha ayrılması kaynak noktası civar levha yüzeylerinin birden ayrılması olarak tarif edilebilir. Ayrılma, iki dış levhanın ortalama kalınlığının % 10'undan fazla değilse normal olarak kabul edilebilir. Makaslama kuvveti tatbik edildiğinde birleşme yerindeki eğilme momentini arttırdığından, aşırı ayrılma istenmeyen bir durumdur.

Levha ayrılmasına aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir.

1. Aşırı kaynak basıncı
2. Bir hizada olmayan elektrotlar
3. Çok küçük elektrot ucu
4. Fıskırma
5. Aşırı kaynak akımı
6. Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
7. Aşırı kaynak zamanı [42,55,60].

### c. Fıskırma

Fıskırma, genellikle aşırı ısınmanın ve uygun olmayan basıncın sebep olduğu, ergimiş metalin kaynak bölgesinden taşmasıdır. Fıskırmadan kaçınmak için, elektrot kuvveti ve şekli kaynak bölgesi etrafında bir basınç halkası temin edecek şekilde olmalı ve kayma yüzeyleri temizlenmiş bulunmalıdır. Fıskırma, derin bir yüzey ezilmesi, levha ayrılması gaz kabarcıkları ve kaynak mukavemeti kaybına sebep olur.

Fıskırmaya aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Uygun olmayan yüzey şartları
2. Yeterli olmayan kaynak basıncı
3. Aşırı kaynak akımı
4. Elektrot ucunun çok küçük olması
5. Elektrotların bir hizada olmamaları
6. Elektrotların yana doğru kaymaları[48,60,61].

#### d. Distorsiyon

Distorsiyon, kaynaklar levha kenarına çok yakın bir şekilde yapıldığı zaman ortaya çıkar. Deformasyona karşı yeterli derecede mukavemet sağlamak ve ısı ile kenar çatlamlarını azaltmak maksadı ile kenar mesafesi yeteri derecede uygun olmalıdır.

Yüzey distorsiyonuna aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Elektrodun yana kayması
2. Aşırı kaynak basıncı
3. Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
4. Uygun olmayan kenar mesafesi
5. Fıskırma
6. Aşırı kaynak akımı[48,55].

#### e. Aşırı ezilme

Aşırı ezilme, kaynak yüzeylerinde derin çukurlaşmaların meydana gelmesi demektir. Elektrot basıncı kaynak metalinin düşey genişlemesine mani olduğundan bir miktar ezilmeden kaçınılamaz. Kabul edilebilir sınırlar genellikle ezilmenin meydana geldiği levhanın kalınlığının % 10 - 20'si arasındadır. Derin bir ezik, kaynak noktası etrafındaki metal kalınlığının azalmasına dolayısıyla mukavemet kaybına sebep olur.

Aşırı ezilmeye aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Çok küçük elektrot ucu
2. Aşırı kaynak basıncı
3. Aşırı kaynak akımı
4. Fıskırma
5. Aşırı nüfuziyet

6. Aşırı yüzey ısınması
7. Uygun olmayan dövme periyodu[55,60].

f. Dış çatlaklar

Nokta kaynağının yüzeyine doğru uzanan çatlaklar normal olarak uygun olmayan bir kuvvet ve akım münasebetinin işaretidir.

Kaynak basıncı, aşırı sıcaklığın meydana gelişini önlemek için yeteri kadar büyük değerde olmalıdır. Düşük kaynak basıncı temas direncinin büyük olmasına neden olur. Ayrıca ergimiş bölgeyi uygun olarak soğutmak için, basıncın yeteri kadar uzun bir müddet tatbik edilmesi gerekir. Yüzey çatlağı nokta kaynağının korozyona karşı direncini azaltır. Belirli şartlar altında nokta kaynağının mukavemeti, yüzey çatlama aşırı ise azalacaktır.

Dış çatlaklara aşağıdaki faktörlerden biri veya bir kaç sebep olabilir:

1. Elektrotların yanlış hizalanması
2. Yeterli olmayan kaynak basıncı
3. Parçaların düzgün yerleştirilmemesi
4. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
5. Aşırı nüfuziyet
6. Aşırı kaynak akımı
7. Yetersiz elektrot soğutulması[58,60,61].

g. Bakır Birikmesi

Bakır birikmesi, nokta kaynağının korozyona karşı hassasiyetini arttırır. Bakır döküntüleri tel fırça ile temizlenerek tamamen ortadan kaldırılabilir. Temizleme için

kum püskürtme işlemi de kullanılabilir. Temizlemeyi kontrol etmek için % 10'luk asetik asit eriyiği kullanılır.

Bakır birikmesine aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

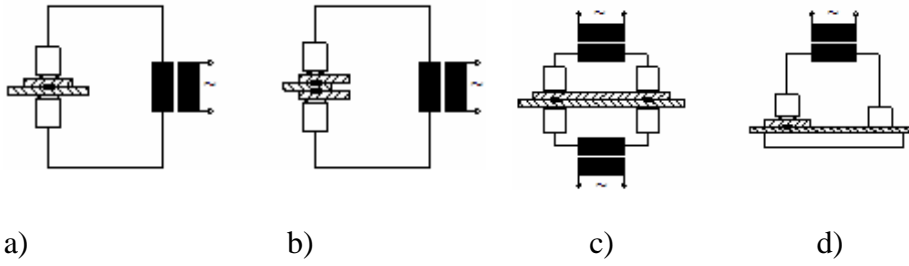
1. Uygun olmayan yüzey hazırlama seçimi
2. Çok seyrek elektrot temizliği
3. Elektrot uçlarındaki rutubet
4. Aşırı kaynak akımı
5. Yeterli olmayan kaynak basıncı[55,57]

## 2.10. Yöntemin Uygulanması

Nokta kaynağı, yaklaşık 3mm kalınlığa kadar olan sac levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde, çok geniş bir şekilde kullanılır. Bazen 6 mm ve daha kalın sacların birleştirilmesinde de kullanılır. Direnç nokta kaynağı, genel olarak, aynı birleşimde ve aynı kalınlıktaki metal levhaların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber, ikiden daha fazla metal levhanın, bileşimi ve kalınlıkları farklı metallerin başka bir metal ile kaplanmış sacların birleştirilmesinde de kullanılır. Gaz veya su sızdırmazlığı istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan meydana gelen birleşik parçaları yüksek bir üretim hızıyla en ekonomik şekilde nokta kaynağı vasıtasıyla birleştirilebilirler. Nokta direnç kaynağının en önemli avantajı 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, birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilir. Bu avantajlarına karşılık, sacların direnç nokta kaynağı ( yaklaşık 5–20 voltta, 5000–20000 amper çekilir ) yüksek kilovolt - ampere ( KVA ) ihtiyaç gösterir. Daha iletken metaller örneğin birçok alüminyum veya bakır alaşımları daha da yüksek KVA gerektirir. Direnç nokta kaynak makineleri birçok ark kaynak makinesinden daha pahalıdır. Konstrüksiyon, imal usulü ve malzemeye bağlı nedenlerle, direkt nokta kaynağı dışında bir dizi avantaj ve olanak sağlayan uygulama türleri kullanılmaktadır. Çift nokta kaynağında çoğu kez küçük nokta aralıkları zorluk çıkarır. Her iki kaynak noktasında aynı elektrot kuvvetleri

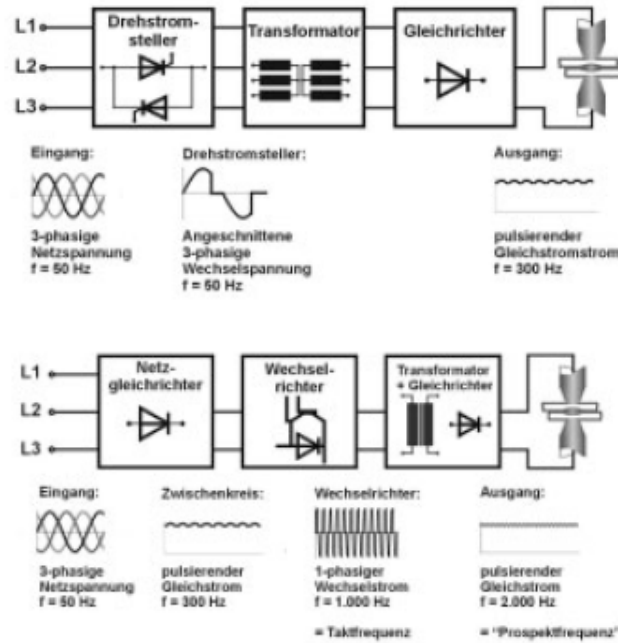


uygulanmaz. Bu durumlarda çoğu kez kabartılı nokta kaynağı uygundur. Şekil 2.25'te indirekt nokta kaynağının uygulama şekli verilmektedir. Burada elektrotlar, parçanın bir tek tarafından etki edecek tarzda düzenlenmiştir. Bu yöntem, kolay ulaşılamayan hallerde avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.25. Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri

- a) yaygın yöntem,                      b) üç sacın nokta kaynağı,  
c) çift nokta kaynağı                d) Akım iletmeyen kör elektrotla nokta kaynağı



Şekil 2.26. Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri

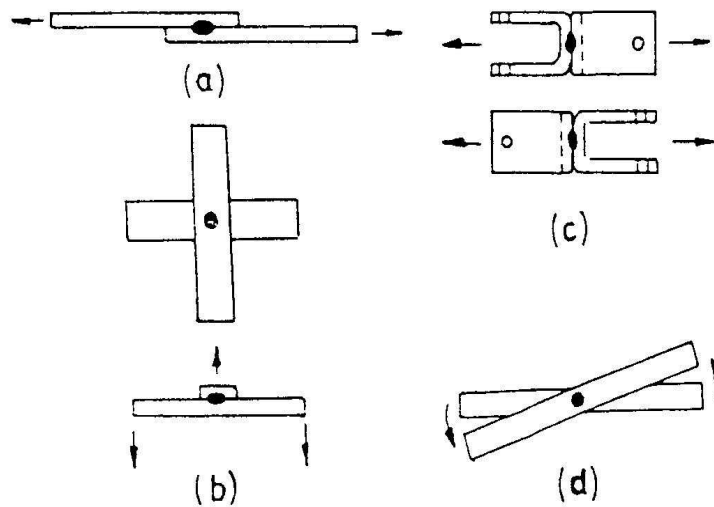
## 2.11. Uygulama ve Uygulama Sınırları

Nokta kaynağı yöntemi sanayide esas olarak saçlara uygulanır. Ev cihazlarının, otomotiv sanayi mamullerinin ve hassas cihazların çelikten imalatında kütle halinde uygulanmaktadır. Parça kalınlıkları 0,02 mm ile 2,5 mm aralığındadır. Azami parça kalınlığı 20 mm ye kadar çıkabilmektedir. İş parçalarının kaynağında kural olarak stasyonar makineler kullanılmaktadır. Bir başka uygulamada ise, hareketli nokta kaynağı pensleri kullanılır. Otomotiv sanayi buna en iyi bir örnektir. Bu durumda imalat bölgesinde endüstri robotları kullanılmaktadır. Bu tür imalat tarzında, nokta kaynağı pensleri, nokta kaynağı makinesine bağlı ileticilerle kullanılmakta ve bitmiş parçalar banda bağlı olarak nakledilmektedir. Serbest programlanabilir endüstriyel robotlar, pahalıya mal olan transfer hatlarını kısaltmaktadır[36,39,40,63].

## 2.12. Kaynak Noktasının Mukavemeti

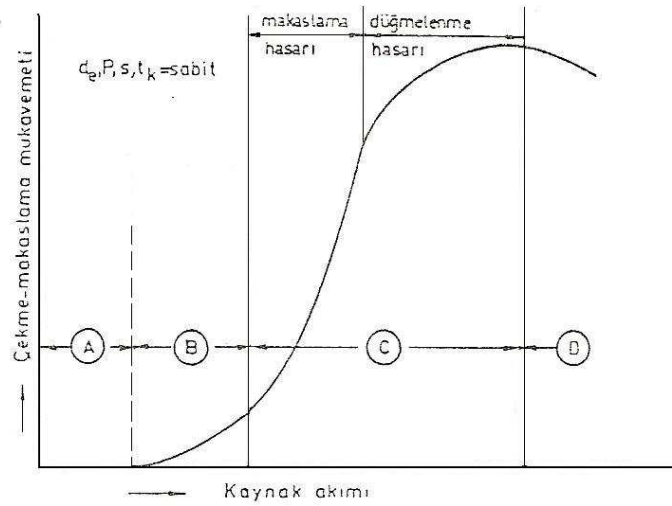
Nokta kaynağının statik mukavemetini tayin için aşağıdaki deneyler yapılmaktadır.

1. Çekme- makaslama deneyi(a)
2. Haç biçimi çekme deneyi(b)
3. U biçimi çekme deneyi(c)
4. Burulma deneyi(d)



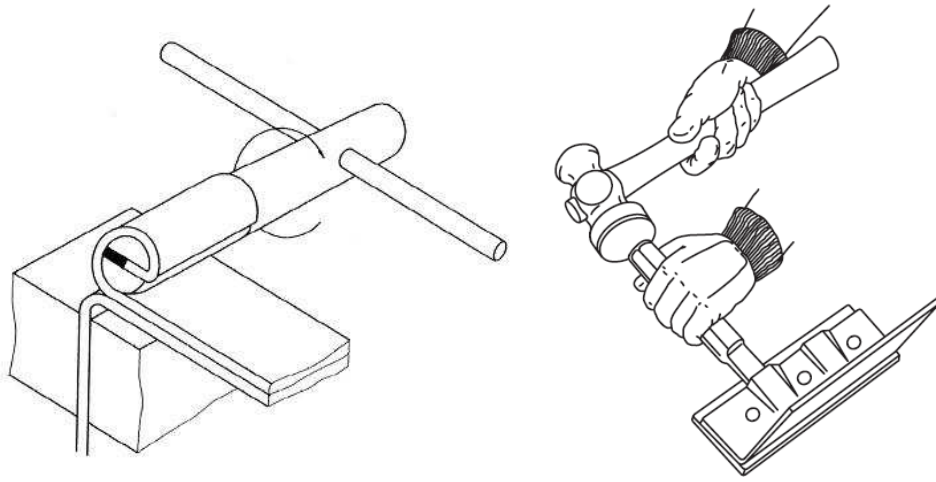
Şekil 2.27 Elektrik direnç nokta kaynak çeşitli mukavemet deneyleri

Nokta kaynağının, çekme-makaslama mukavemetinin kaynak akımına göre değişimi, sabit kaynak zamanı için Şekil 2.28’de verilmiştir. Sabit kaynak akımında, kaynak mukavemetinin, kaynak zamanı  $t_k$  ya göre değişim eğrisinde Şekil 2.28’e benzer bir eğridir.



Şekil 2.28. Nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemetinin kaynak akımına bağlı olarak değişimi

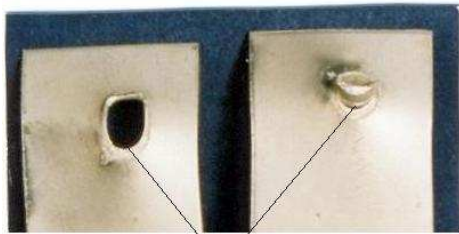
Değişik elektrot uç çapları kullanıldığında, özellikle 3 mm. kalınlığa kadar levhalarda, çekme- makaslama deneyi sonucu, levhalar düğmelenme yoluyla hasara uğrar. Yani kaynak noktası levhanın birinden sıyrılıp, bir delik bırakarak diğer levhada kalır. Bu hasar tipi yeterli bir kaynak mukavemetinin göstergesidir. Yetersiz bir kaynak dikişinde hasar makaslama yoluyla meydana gelir. Bu nedenle imalat sırasında da kalite kontrolü amacıyla, ayırma deneyi çok sık kullanılır(Şekil 2.29). Deney sonucu düğmelenme meydana gelmezse kaynak dikişleri yeniden ayarlanır[39].



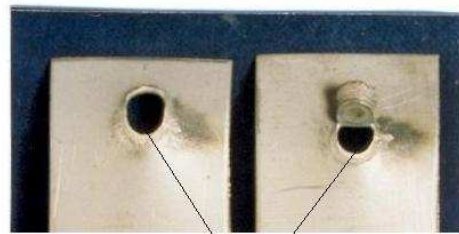
Şekil 2.29. İmalat sırasında kalite kontrolü amacı ile sıyırma



Şekil 2.30. Nokta kaynağında düğmelenme yoluyla hasar

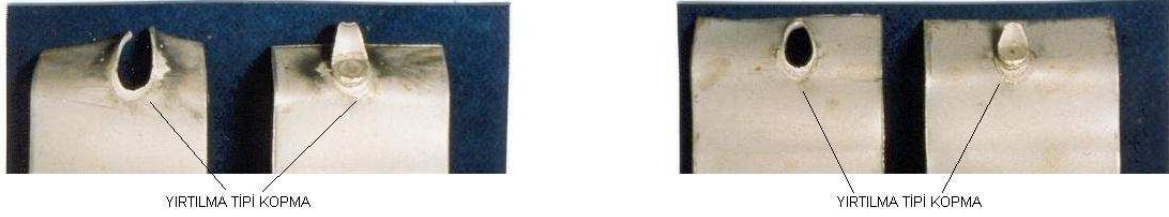


YIRTILMA TIPI KOPMA



YIRTILMA TIPI KOPMA

Şekil 2.31. Nokta kaynağında makaslama yoluyla hasar



Şekil 2.32. Nokta kaynağında sıyrma yoluyla hasar

### 2.13. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan makineler otomasyon derecesine bağlı olarak basit ve ucuz ve pahalı olabilir.

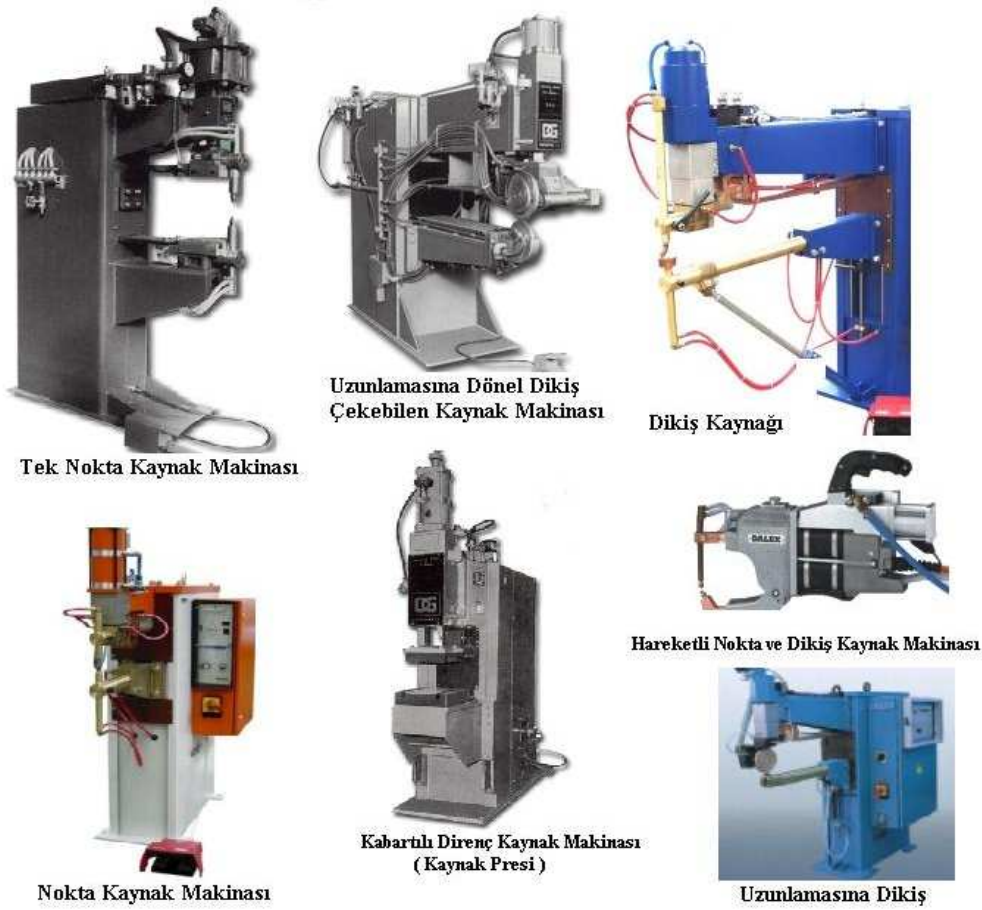
Radyo, televizyon, elektronik ve oyuncak sanayi gibi alanlarda tam elektronik kumanda hassas nokta kaynak makineleri gerekir. Örnek olarak 6 kVA bağlantı güçlü bir hassas kaynak makinesi ile en yüksek sekonder devre akımı 4500 A, elektrot kuvveti 0,5 – 15,0 daN, kaynak süresi 0,5 – 4 veya 0,002 – 0,08 s ( 50 Hz ) olarak verilebilir.

Yüksek güçlü kaynak makinelerinde ise, kademesiz kol aralığı ayarlanabilirliği, hidrolik elektrot hareketi, tam elektronik kumanda ile donatımları yanında, yüksek çalışma emniyeti de dikkate alınmaktadır.

Gelişmiş tiplerde, programlı basınç akım şiddetleri ile tek ve çok impulsu kaynak işlemleri yapılmaktadır. Örnek olarak, yüksek mekanik – elektriksel güce sahip, böylece Al ve Al alaşımlarında hızlı çalışma koşulu sağlayan 100 kVA, sekonder devre akımı 50 kA, elektrot kuvveti 1000 da N'luk bir makine bu grupta sayılabilir. Böylece bir makinede, trafo primer devresinin değiştirilmesi olanağı ile da küçük güçlü makine gibi kullanılması da mümkündür. Örnek olarak, çeliğin kaynağı için 50 kVA güçlü ve 25 kA sekonder devre akımlı makineler gösterilebilir.

Vagon, taşıt ve gemi gibi ağır yapımlar için, nokta kaynak makineleri, hareketli ve sabit olarak iki üniteden oluşturulmaktadır. Bu tiplerde tek sac kalınlığı 20 mm' ye

kadar birleştirmeler yapıla bilinmesi yanında, ince sac ince sac uygulamalarından karasöri yapımında, 600 nokta / dakika hızlara kadar ulaşıla bilmektedir. Bu tür hızlı çalışma kaynak makine ve donatımları, aynı biçim birleştirmelere uygun olduğundan, tek amaçlı makineler olarak adlandırılmaktadır.



şekil 2.33. Elektrik direnç nokta kaynak makineleri

Kaynak makineleri üç temel prensipte imal edilir.

1. Pres Tipi Makineler
2. Seyyar Makineler
3. Çok Nokta Kaynak Makineleri

### 2.13.1. Pres tipi kaynak makineleri ( Sabit kaynak makineleri )

Bu bölümde dikey olarak doğrusal bir şekilde hareket eden üst elektrodu taşıyan bir kaynak kafası ihtiva eder. Alt elektrot dikey olarak ayarlanabilir bir kol üzerine yerleştirilmiştir. Üst kafa kızaklar üzerinde hareket eder. Üst kafanın hareket ve kaynak basıncı, hava ve hidrolik silindirlerle sağlanır. Hidrolik silindirler çok yüksek ( 500 KVA'den daha büyük ) kapasiteli makinelerde kullanılırlar.

Hava silindirli makinelerde, hava bir selenoit vana vasıtasıyla silindirlere verilir. Hava silindirdeki pistonu ve buna bağlı olan kafayı aşağıya doğru iter, üst elektrot parçayı sıkıştırır. Elektrotlar üzerinde elde edilen kuvvet sabit veya kontrollü olabilir. Bugün kullanılan kaynak makinelerinin çoğunda kuvvet kontrollü sistemi vardır.

Pres tipi makineler genel olarak nokta ve kabartma kaynağının her ikisini de yapabilecek şekilde elektrot kolları ve tablaları ile donatılmışlardır. Alt tablo dikey olarak ayarlanabilir.



Şekil 2.34. Mekanik elektrik direnç nokta kaynak makinesi (Mekanik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.)



Şekil 2.35. Pnömatik elektrik direnç nokta kaynak makinesi ( Pnömatik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.)

### 2.13.2. Seyyar makineler ( Kaynak penseleri )

Bu tip makineler parçanın makineye taşınmasının pratik olmadığı veya imkânsız olduğu durumda kullanılırlar.

Genellikle dört ana elemandan oluşurlar;

1. Taşınılabılır kaynak pensesi
2. Kaynak noktaları ve zaman ayarlayıcısı gibi kontrol ünitesi
3. Kaynak transformatörü

Transformatör ve pense arasında güç iletimini sağlayan sekonder devre kabloları ve hortumlar, kaynak pensesi su ile soğutulan elektrot taşıyıcıları ve kolları ve hortumlar, kaynak pensesi su ile soğutulan elektrot taşıyıcıları ve kolları, hava veya hidrolikle çalışan, elektrotların kapanıp gerekli basıncı tatbik etmesini sağlayan silindiri ve işlem başlatma düğmesini ihtiva eder. Hidrolik basınç genellikle bir hava-hidrolik basınç arttırıcı vasıtasıyla sağlanır. Seyyar makinelerde sekonder kayıpları yüksek olduğundan seyyar makinelerin sekonder voltajları aynı kapasitedeki sabit makinelerinkinden 2 – 4 defa fazladır. Seyyar makinelerde, transformatör, primer devre sargı sayısı değiştirme anahtarı, kontrol üniteleri iş bölgesinin üst kısmına



asılırlar. Kaynak pensesinde bir dengeleyici vasıtasıyla iş bölgesinin üst kısmına asılır. Bu dengeleyici pensenin kolaylıkla kullanılmasını sağlar.



Şekil 2.36. Kaportacı nokta kaynak makinesi(Kaporta düzeltme, tek ve çift taraflı nokta kaynağı, vida saplama, çektirme işlerinde kullanılır. Elle sıkmalı modelleri olup max. 2+2 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir)

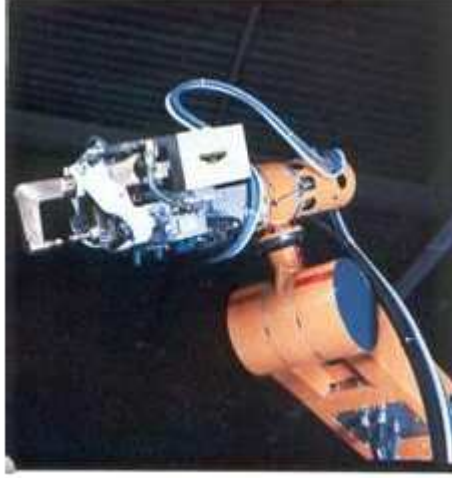


Şekil 2.37. Elde taşınabilir nokta kaynak makinesi(Elle veya hava sıkmalı modelleri olup 1+1 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir)

### 2.13.3. Çok nokta kaynak makineleri

Bunlar özel maksatlı makinelerdir. Yüksek imalat hızlarına veya birleştirme çok fazla kaynakla yapılıyorsa kullanılırlar. Bu makinelerin ilk yatırım masrafları yüksek olmasına rağmen işletme masrafları tek nokta kaynağı makinelerinden daha düşüktür. Bu makinelerin çoğunda her bir kaynak kafası ayrı bir transformatöre bağlanmıştır. Kaynaklar aynı anda veya sıra ile gerçekleştirilir. İmal edilen mamul değiştirildiğinde bu makineler kullanılmaz hale gelirler. Bu nedenle bu gün makinelerin yerini programlana bilen robotlar almıştır[52].

Kaynak makineleri aşağıdaki üç ana sistemden oluşurlar.



şekil 2.38.Elektrik direnç nokta kaynak robotu



şekil 2.39 Özel tasarımı tam otomatik elektrik direnç nokta kaynak makinesi(Otomobil fabrikalarında kaporta seri üretiminde kullanılır)

#### **2.13.4. Elektrik devresi**

Elektrik devresi, kaynak transformatörü, primer sargı sayısı değiştirme anahtarı ve sekonder devreden oluşur. Sekonder devre kaynak edilen parçalara akım ileten elektrotları da ihtiva eder.

Direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak makineleri mono veya tri fazlı şebekeden alınan alternatif akımı, 2–20 volt gibi düşük bir gerilime indirgerler. Makinenin mono veya tri fazlı olarak seçiminde makinenin kapasitesi, ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları göz önüne alınır. Ekonomik açıdan mono fazlı makineler daha sık kullanılır. Kaynak makinesinin elektrik devresi kaynak transformatörü, primer sargı değiştirme anahtarı ve sekonder devreden ibarettir. Sekonder devre transformatörü sekonder uçlarından itibaren kaynak edilen parçalara akım iletilmesini sağlayan kısımdır.

#### **2.13.4.1. Kaynak transformatörü**

Kaynak transformatörü yüksek gerilimdeki şebekeden alınan gücü, düşük gerilimdeki hemen hemen eş değer bir güce çevirir. Transformatör devresi esas olarak:

1. Bir manyetik devre
2. Şebekeye bağlanmış primer sargı
3. Elektrotlara kaynak için gerekli gücü sağlayan sekonder sargıdan ( genellikle bir veya iki sargıdan oluşur ) ibarettir.

#### **2.13.5. Kontrol cihazı**

Bu cihaz kaynak akımının başlatılmasını, işlemlerin sürelerinin belirlenmesine ve bu işlemlerin belli bir sıra içerisinde gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca primer sargı sayısını değiştirme anahtarı yerine veya buna ilave olarak kaynak akımının şiddetinin ayarlanmasında kullanılabilir.

Kaynak makinelerinin kontrol cihazlarının üç ana fonksiyonu vardır.

1. Kaynak akımının başlatılması ve kesilmesi
2. Kaynak makinesinin mekanik işlemler süresini ayarlamak ve sıra ile cereyan etmesini sağlamak
3. Kaynak akımı şiddetini ayarlamak

Kontrol cihazları üç gruba ayrılır:

### **2.13.5.1. Kaynak kontakları**

Bu kontaklar elektrik güç devresinin açılıp kapanmasını sağlarlar. Genel olarak primer devre üzerindedirler. Kaynak makinelerinde üç tip kontak kullanılabilir.

#### 1. Mekanik Kontaklar:

Mekanik kontaklar daha ziyade çok küçük kapasiteli makinelerde kullanılırlar. Kontak ayak pedalı veya motor ile döndürülen bir kam ile kumanda edilir.

#### 2. Manyetik kontaklar:

Manyetik kontaklar, bir elektromıknatıs vasıtasıyla elektrik kontağını kaparlar. Elektromıknatısın devresi açılınca kaynak kontağı da bir yay vasıtasıyla açılır. Mekanik ve manyetik kontaklar çeşitli dezavantajlardan dolayı kullanımı epey azalmıştır.

#### 3. Elektronik Kontaklar:

Elektronik kontaklarda, ignitron tüpü, Thration tüpü ve tristörler kullanılır. Tüp şeklindeki kontaktörler bugün yerlerini tristörlere bırakmıştır. Günümüzde birçok fabrika kaynak makinelerini ignitron tüpü ile teçhiz edilmişlerdir[52].

### **2.13.5.2. Zaman ayar cihazları**

Zaman ayar cihazları kaynak işlemlerinin birbiri ardına cereyan etmesini ve bu işlemlerin sürelerinin ayarlanmasını sağlar. Bunlar senkronize veya nonsenkronize olmak üzere iki tiptirler. Zaman ayar cihazları, hemen bütün kaynak çevrimleri için gerekli olan dört ana işlemin zamanının ayarlanmasında kullanılırlar.

Bu işlemler:

#### 1. Elektrotların kapanması ve kuvvet tatbiki,

2. Kaynak akımını başlatmak,
3. Kaynak akımını kesmek ve elektrot kuvvetinin devamını sağlamak,
4. Elektrotları açmak.

### 2.13.5.3. Faz kaydırma ile kaynak akımının ayarları

Primer devre üzerindeki, sargı sayısı değiştirme anahtarı, kaynak akımının ana ayarı için kullanılır. Ara veya hassas ayarlar gerekli olduğu takdirde elektronik faz kaydırma cihazı kullanılabilir. Faz kaydırma cihazları kullanıldığında, ignitron ateşleme devrelerindeki yarı iletken doğrultucular yerine thyatron tüpleri veya silikon kontrollü doğrultucular kullanılır. Bu tüpler ve doğrultucular vasıtası ile ignitronların her yarım periyottaki ateşlemesi kontrol altına alınır. Bu suretle ignitronların ateşlenmesi istenilen anda yapılabilir yani ateşleme voltaja göre geciktirilebilir. Bu gecikme faz kaydırma cihazı ile kontrol edilebilir[52].

### 2.13.6. Mekanik kısım

Mekanik kısım, gövde, kaynak kuvvetini sağlayan ekipmanları ve elektrotların soğutma devresini ihtiva eder.

### 2.14. Punta Kolları ve Uçlarına Örnekler

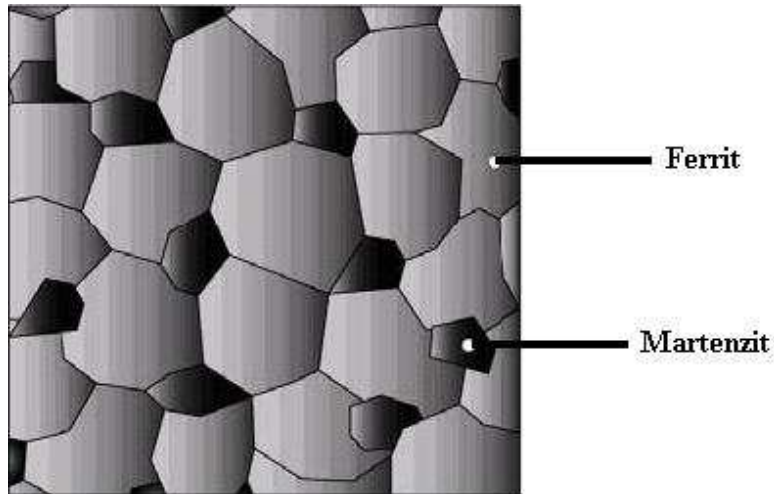


Şekil.2.40 Sektörde kullanılan punta kolları örnekleri[52]

## BÖLÜM 3. DUAL FAZ ÇELİKLER

### 3.1. Dual Fazlı Çeliklerin Tanımı ve Ferritik–Perlitik Çeliklerle Karşılaştırılması

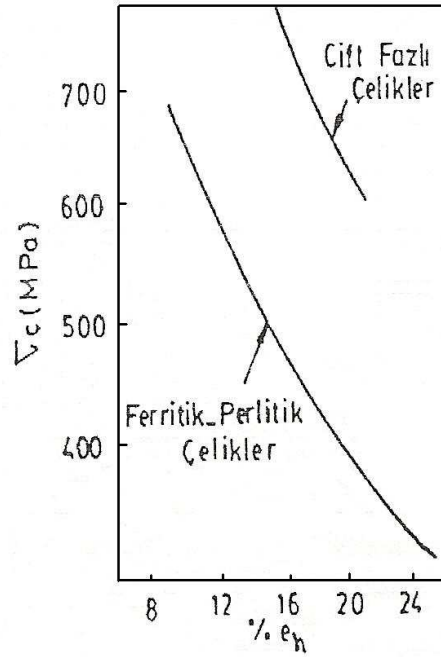
Dual fazlı çelikler, mikroyapılarında ferrit matriks içinde adacıklar şeklinde martenzit fazı içeren düşük karbonlu, düşük alaşımlı veya alaşımsız yüksek mukavemetli çelik türüdür. Bir çok çelik türü çift fazlı olmasına rağmen özellikle dual faz teriminin kullanılması bu çeliklerin üretiminde kullanılan ısıl işlemlerin özelliğinden ve sonuçta elde edilen optimum mekanik özelliklerden kaynaklanmaktadır. Dual fazlı çelikler esas olarak, düşük alaşımlı veya alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin Fe–C denge diyagramındaki  $A_1$ – $A_3$  sıcaklık aralığında (ferrit+östenit bölgesinde) bir süre tutulup, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin uygun hızdaki soğutma ile martenzite dönüştürülmesiyle elde edilir[64].



Şekil.3.1.Dual-faz mikroyapı şeması[65]

Uzun zamandan beri bilindiği gibi, çeliğin karbon miktarındaki artış, mukavemeti arttırırken şekil verme kabiliyetini düşürür. Karbon miktarını düşük tutup, mangan ve nikel gibi alaşım elementlerini arttırarak, mukavemet ve tokluk arttırılabilir. Bu metotla birçok yüksek mukavemetli az alaşımlı çelik üretilmiştir[66]. HSLA çelikleri, katı eriyik sertleştirmesiyle çok küçük taneli ferrit içerisinde ince V ve Nb nitrokarbürler çökelmiş olan perlitik çeliklerdir. Bu çeliklerde ferritin mukavemeti yüksek olmasına rağmen sünekliği düşüktür. Ayrıca perlitte bulunan sementit şekil değiştirme kabiliyetine sahip değildir. Dual fazlı çeliklerde ise ferritin sünekliği çok yüksektir. Deformasyon sırasında önce ferrit şekil değiştirir ve sertleşir. Ferritin mukavemeti belli bir sınırı aşınca martenzit (hem su verme ile oluşan, hem de kalıntı östenitten oluşan) deformasyona uğrar. Martenzit ile perlit arasındaki sertlik farkından ziyade dual fazlı çelikteki ferritin daha sünek olması HSLA ve dual fazlı çelikler arasındaki farkı doğurur. Ayrıca dual fazlı çeliklerde plastik şekil verme bir miktar mikroyapı elemanları arasında dağıldığı için plastik deformasyon HSLA çeliklerden daha geç olur. Hem sünekliği yüksek hem de boyun vermenin geç teşekkül etmesinden dolayı dual fazlı çeliklerin şekillendirilmeleri HSLA çeliklerinden daha iyidir[67].

Genel olarak eşit çekme mukavemetindeki ferritik – perlitik çeliklerden (HSLA ve düşük karbonlu çelikler) daha yüksek sünekliğe sahip olan (Şekil 3.2) dual fazlı çeliklerin gerilme – birim şekil değiştirme eğrilerinde elastik deformasyondan plastik deformasyona geçerken süreksiz akma olayının meydana gelmemesi ve düşük deformasyon oranlarında deformasyon sertleşmesi hızının yüksek olması, bu çeliklerin özellikleri arasındadır. (Akma mukavemeti / Çekme mukavemeti) oranı düşük ve biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan dual fazlı çelikler, yüksek (Mukavemet / Ağırlık) parametresine de sahip olduklarından taşıt ağırlığını ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmak amacıyla 1975 yılı sonlarına doğru otomotiv endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır[68].



Şekil 3.2. Dual fazlı ve ferritik-perlitik (HSLA ve düşük karbonlu) çeliklerde çekme mukavemeti-homojen %uzama ilişkisi

### 3.2. Dual Fazlı Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yapılarındaki sert martenzit fazından dolayı mukavemeti yüksek, sünek ve ince ferrit tanelerinden dolayı şekil verilebilme yeteneği iyi olan dual fazlı çelikler;

1. Sürekli akma davranışı,
2. Düşük akma / çekme dayanımı oranı,
3. Yüksek plastik deformasyon sertleşmesi oranı,
4. Yüksek üniform ve toplam % uzama değerleri gibi özelliklerle karakterize edilirler[69].

Dual fazlı çelikler akma uzaması göstermediğinden dolayı Luders bantları oluşmadığından şekillendirilen parçaların yüzeyi çok düzgün olur.

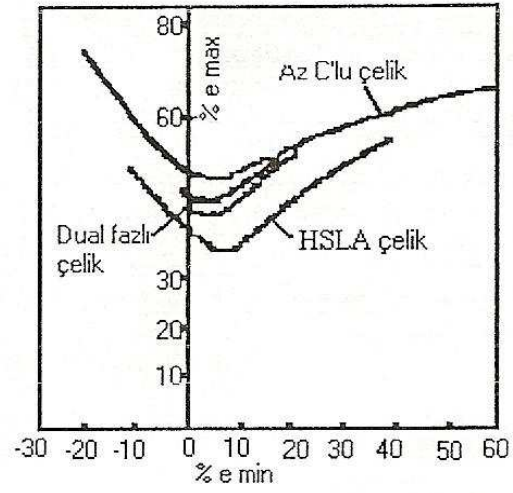


Malzemelerin akma mukavemetlerinin düşük olması, plastik şekil verme işlemi sırasında uygulanan kuvvetle daha fazla bir deformasyon gerçekleştirilmesi veya aynı deformasyon işlemi için daha az bir kuvvet gerekmesi açısından istenilen bir özelliktir. Çekme dayanımının yüksek olmasının malzemenin hasara uğramasını geciktirdiği bilindiğine göre akma dayanımı / çekme dayanımı oranı düşük olan dual fazlı çeliklerin derin çekme sacları olarak kullanımındaki önem anlaşılmış olur.

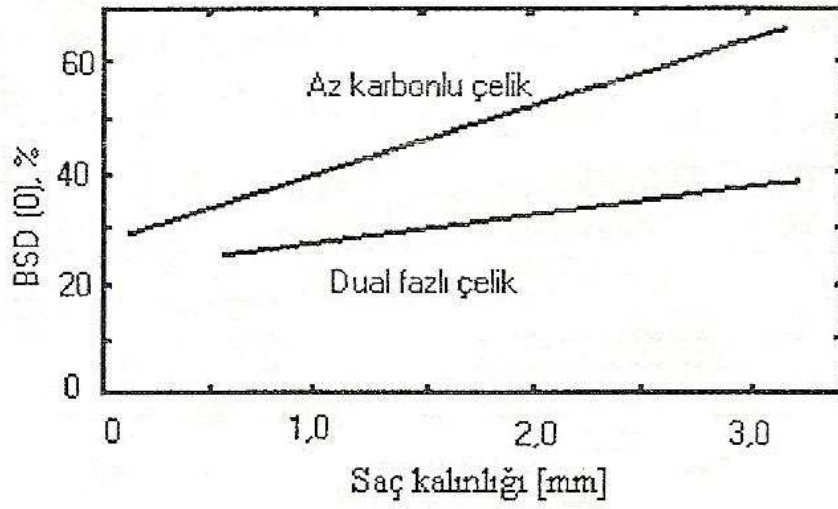
Derin çekme işlemlerinde malzemenin kesiti azalacağından, şekil verme işleminin diğer kademelerindeki kuvvetleri karşılayabilmesi için yapının sertleşmesi gerekir. Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan dual fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi oranına sahip olması bu bakımdan da avantaj teşkil etmektedir.

Mukavemet / ağırlık oranları yüksek olan bu çeliklerin, otomobillerdeki yakıt tüketimini azaltıcı yönde önlemler alınması kapsamında hafif otomobillerin üretilmesinde kullanılması gündeme gelmiştir. Çeşitli otomobil parçaları yapımında düşük karbonlu çelikler yerine yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip olan yüksek mukavemetli ve az alaşımlı çelikler (HSLA) ve dual fazlı çeliklerin kullanılması, taşıt ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufuna sebep olmaktadır. Dual fazlı çelikler aynı mukavemetteki HSLA çeliklerden daha yüksek biçimlenebilme kabiliyetine sahip olmaları nedeniyle, presle biçimlenen çeşitli otomobil parçaları yapımında tercih edilmektedir. Bu özellik metalik malzemelerin biçimlendirme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan biçimlendirme sınır diyagramından anlaşılmaktadır[70].

Malzemelerin mukavemeti arttıkça biçimlenebilme kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Metalik sacların biçimlendirilmesi esnasında meydana gelebilecek çatlama kontrol etmek amacıyla çizilen biçimlendirme sınır diyagramları yardımıyla çeşitli malzemelerin biçimlenebilme kabiliyetleri karşılaştırılabilir. Şekil 3.3'de dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait BSD'ları görülmektedir. Söz konusu diyagramda dual fazlı çeliklerin biçimlendirme sınır eğrileri HSLA çeliklerin üstünde fakat düşük karbonlu çeliklerin altında yer almaktadır. Dual fazlı çeliklerin mukavemetinin artması, biçimlendirme sınır eğrilerinin daha düşük maksimum birim şekil değiştirme değerlerine doğru kaymasına sebep olmaktadır. BSD'nda minimum şekil değişiminin sıfır olduğu nokta, BSD (0), düzlemsel şekil değişimini belirtir ve Şekil 3.4'te görüldüğü gibi sac kalınlığının artmasına bağlı olarak artar[71].



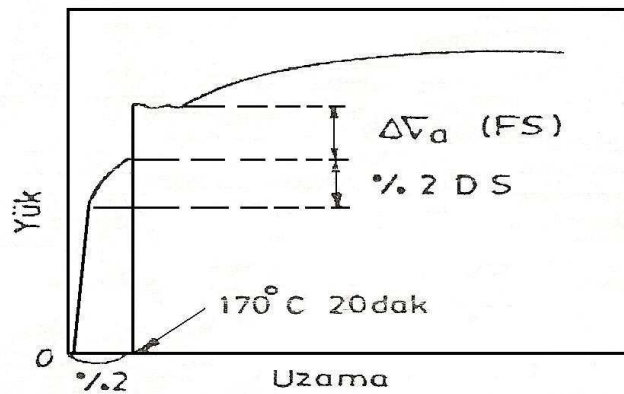
Şekil 3.3. Dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları[70]



Şekil 3.4. Dual fazlı ve düşük karbonlu çelikler için sac kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi[71]

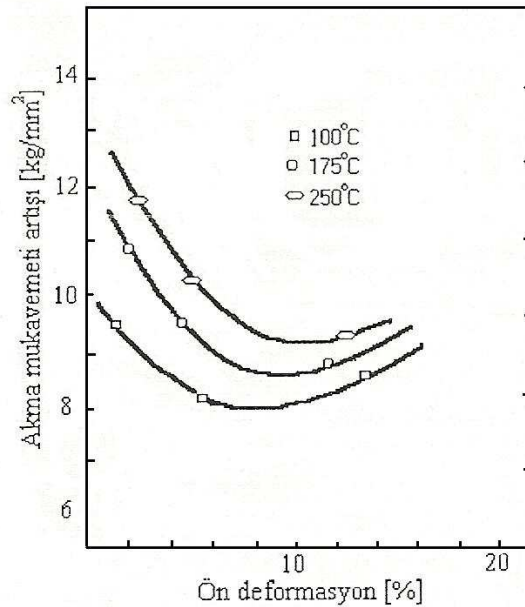
Biçimlendirilen otomobil parçalarından beklenen özelliklerden biri de, bunların darbelere karşı direnç göstermesidir. Darbe direnci, sac kalınlığı ve akma mukavemetine bağlıdır. Sac kalınlığının artırılması taşıtın ağırlığının artmasına sebep olduğundan darbe direncinin artırılmasında tek yol akma mukavemetini arttırmaktır. Dual fazlı çeliklerin akma mukavemeti, soğuk biçimlendirme sırasında oluşan deformasyon sertleşmesine ilaveten biçimlendirilen parçaların boyanmasından sonra yapılan boya kurutma işlemi sırasında oluşan fırınlama sertleşmesi (bakehardening) nedeniyle de artar. Otomotiv endüstrisinde, biçimlendirilen parçalar boyandıktan sonra, 170 °C sıcaklığındaki fırınlarda ½ saat kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sonucu akma mukavemetinin artması gerçekte bir deformasyon yaşlanması olup, fırınlama sertleşmesi olarak adlandırılır[72]. Özellikle temperlenmiş dual fazlı çeliklerde görülen fırınlama sertleşmesi, dual fazlı çeliklerin önemli mekanik özelliklerinden birisi olup deformasyon yaşlanması sonucu ortaya çıkmaktadır[73].

Deformasyon yaşlanması; metallerin soğuk şekil değişimi sonrasında, genellikle düşük sıcaklıklarda tavlanması veya oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesi sonucunda akma ve çekme dayanımının artması, sünekliğin ise düşmesidir[74]. Düşük karbonlu çeliklerden üretilen dual fazlı çelikler, boya kurutma işlemi sırasında gerçekleşen bu olaydan belirgin olarak etkilenirler.



Şekil 3.5. Dual fazlı çeliklerden imal edilmiş otomobil parçalarında deformasyon sertleşmesine ilaveten boya kurutma işlemi sırasında meydana gelen fırınlama sertleşmesinin, çekme eğrisine etkisi

Şekil 3.5'teki yük-uzama diyagramından da görüldüğü gibi, dual fazlı çeliklerde akma uzamasının tekrar ortaya çıkmasına sebep olan fırınlama sertleşmesi deformasyon sertleşmesine eklenerek, bu çeliklerden yapılmış çeşitli otomobil parçalarını darbelere karşı daha dirençli yapmaktadır. Şekil 3.6'da 100, 175 ve 250 °C'de temperlendikten sonra ön deformasyon yapılmış alaşımsız dual fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış görülmektedir. Akma mukavemetindeki artış %8-10 ön deformasyon miktarı için minimum seviyede olmasına rağmen 8 kg/mm<sup>2</sup> mertebesindedir[72].



Şekil 3.6. 100,175 ve 250 °C'de temperlenmiş alaşımsız dual fazlı çeliklerde, ön deformasyon miktarına bağlı olarak fırınlama sertleşmesi nedeniyle akma mukavemetinde meydana gelen artış[72]

( $\alpha+\gamma$ ) bölgesindeki tavlama ile dual fazlı yapılan çelik levha ve sac numunelerinin geldikleri duruma nazaran, mukavemetlerinin artmasına ve % uzama değerlerinin azalmasına ilaveten, boyun verme uzamalarında da önemli derecede azalma gözlenmiştir. Buna ferrit/martenzit arayüzeyinde oluşan boşlukların birleşme hızının yüksek olması sebep olmaktadır. Bandlaşmanın fazla olduğu dual fazlı çelik levha numunelerde ise, martenzit fazında oluşan çatlakların ferrit fazı tarafından durdurulamadan hızla ilerlemesi, sünekliği önemli derecede azaltmaktadır.

Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg) çekme mukavemeti  $40 \text{ kg/mm}^2$ 'den  $100 \text{ kg/mm}^2$ 'ye kadar değişen çeşitli dual fazlı çelik üretimi yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak genellikle sürekli tavlama ve haddeme metotları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu da kutu tavı metodudur[75].

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon kapı panelleri gibi presle biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında dual fazlı çeliklerin kullanılması ile sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının %10'una ulaştığında, yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve taşıt daha ekonomik hale gelmektedir[64]. Sözgelimi dual fazlı çeliklerden imal edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemet ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın % 25-30 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak yaklaşık %12 mertebesindedir[76].

### **3.3. Dual Fazlı Çelikte Mukavemet ve Sünekliğin İncelenmesi**

#### **3.3.1. Akma mukavemeti**

Dual fazlı çeliklerin çekme deneylerinde belirgin bir akma noktası görülmemiştir[77]. Dual fazlı çeliklerde martenzitik dönüşüm sebebiyle ferrit tane sınırlarında meydana gelen hareketli dislokasyonlar sürekli akmaya sebep olurlar. Ancak yüksek tavlama sıcaklığı nedeniyle martenzit partikülleri arasındaki mesafenin büyük olması veya yavaş soğutma nedeniyle yapıda martenzitin yanında perlitin de bulunması süresiz akmaya sebep olabilir[78].

Dual fazlı çeliklerde akma mukavemeti nispeten düşüktür. Fakat sadece temperleme veya ön soğuk deformasyon işleminden sonra yapılacak temperleme ile artırılabilir[77]. Böylece bu çeliklerde akma mukavemetinin isteğe göre düşürülüp artırılabilceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Akma gerilmesi martenzitteki karbon oranına değil, martenzit hacim oranına bağlı olarak değişir. Dual faz çeliğinin tane

iriliği arttıkça martenzit hacim oranının artışına paralel olarak akma gerilmesi de artış göstermektedir[79].

### 3.3.2. Çekme mukavemeti

Dual-faz çeliklerinde çekme mukavemeti, martenzit hacim oranına bağlıdır. Martenzit oranı arttıkça çekme mukavemeti de partikül çapına bağlı kalmadan artmaktadır. Martenzit hacim oranı ise tavlama sıcaklığında başka östenit fazının sertleşme derinliğine bağlıdır.

Ostenit fazının sertleşme derinliği yalnız C miktarına bağlıdır. Dolayısıyla  $A_3$  dönüşüm sıcaklığına yaklaştıkça ostenit fazındaki karbon miktarı düşeceğinden, martenzitin yanında birtakım fazlar oluşacaktır. Bu durum çekme dayanımında bir düşmeye sebep olacaktır. Bunu önlemek için soğutma hızını ve ostenit fazının sertleşme derinliğini artırıcı tedbirlere başvurmak gerekir[80].

### 3.3.3. Kopma

Çekme testinin son aşamasını oluşturan kopma iki aşamadan meydana gelir. Bu aşamaların birincisi çatlak başlangıcı olan mikroboşluk oluşumu ve ikinci aşama olarak da çatlağın ilerlemesiyle kopmanın gerçekleşmesidir. Kopma iki sınıfta incelenir. Bunlar gevrek ve sünek kopmalardır[81].

Tablo 3.1. Kopma davranışının tanımlanması[81]

<b>Davranışın Tanımlanması</b>	<b>Kullanılan Terimler</b>	<b>Kırılma Türü</b>
<b>Kristalografik Şekil</b>	Kayma	Klivaj
<b>Kopma Görünüşü</b>	Lifli	Taneli
<b>Kırılma Deformasyonu</b>	Sünek	Gevrek

Dual fazlı çeliklerde yüksek bölgesel şekil değişimlerinin olduğu boyun bölgesinde öncelikli olarak görülen mikroboşluk oluşumu çatlak başlangıcını oluşturur[67].

Dual fazlı çeliklerde boşluklar, metalik olmayan inklüzyonlar ya da martenzit parçacıkları üzerinde oluşur. Mikroboşlukların martenzit üzerinde çekirdeklenmeleri martenzit-ferrit ara yüzeylerinin ayrışmasını ya da martenzitin gevrek kırılmasını başlatır.

Kopma yüzeyine doğru boşluk yoğunluğu artar. Bölgesel boyun gösteren numunelerde boşluk yoğunluğu fazladır[81].

Kim ve Thomas (1981), iri taneli dual fazlı çeliklerde deformasyonun erken aşamasında kopmanın başladığını belirtmişler ve buna sebep olarak da ilk çatlak başlangıcının martenzit üzerinde oluşmasını ve ferrit anayapı içlerine doğru ilerlemesini göstermişlerdir.

Speich ve Miller (1979), düşük martenzit hacim oranında ve yüksek karbon içerikli martenzite sahip dual fazlı çeliklerin, yüksek martenzit hacim oranı ve düşük karbon içerikli martenzite sahip dual fazlı çeliklere oranla daha kolay çatladığını belirtmişlerdir. Bundan martenzitin karbon içeriğinin artmasıyla sünekliğinin azalabileceği sonucu çıkarılabilir.

Genel olarak karşılaştırıldığında dual fazlı çelikler HSLA çeliklerine oranla daha sünek bir kopma karakterine sahiptirler[67,82].

### 3.3.4. Süneklik

Dual fazlı çelikler, aynı mukavemet değerlerinde HSLA çeliklerine göre daha iyi sünekliğe sahiptirler. Bunun sebebini şöyle açıklamak mümkündür. Dual fazlı çeliklerde ferrit içinde ince dağılmış karbür ve nitrokarbür parçacıklarının bulunması süneklik açısından bir dezavantajdır. Ayrıca bu çeliklerde perlit fazının yerini martenzit gibi sünekliği perlitten daha iyi olan bir faz almıştır. Bu ise sünekliği artıran bir faktördür[83].

HSLA çeliklerinin toplam uzama değerleri %18'e kadar arttırılabilirken dual fazlı çeliklerin toplam uzama değerleri %28'e ulaşabilmektedir[84]. Bu şekilde dual fazlı çeliklerin süneklik özelliği en seçkin özelliklerinden biridir. Bu durum dual fazlı çeliklerin ticari olarak ta ilgi çekmesini sağlamıştır[67].

Dual fazlı çeliklerde süneklik büyük oranda ferrit fazı hacim oranına ve karakterine bağlıdır. İyi süneklik değerleri için ferritin saf ve hacim oranının %80'den fazla olması gereklidir[77,85].

Dual fazlı çeliklerde toplam % uzama, artan martenzit hacim oranıyla azalır. Düşük karbonlu martenzit fazı, sünekliğin yüksek olmasına sebep olur. Çünkü düşük karbonlu martenzitin çatlama veya ferrit/martenzit arayüzeyinin dekohezyonu zordur.

Sac numunelerde toplam birim şekil değişimi yani toplam % uzama, malzeme çeşidine ve sac kalınlığına göre değişir. Numune kalınlığı azaldıkça, toplam % uzama azalır. Fakat üniform uzama sac kalınlığından bağımsızdır[86].



Speich ve Miller (1979), toplam ve üniform % uzama arasındaki farkın, ikinci fazın karbon içeriği ve / veya martenzit hacim oranı arttıkça azaldığını ileri sürmüşlerdir. Çünkü bu durumda martenzit/ferrit arayüzeyinde boşluklar kolayca oluşur ve aralarındaki mesafe kısa olduğu için kolayca birleşirler. Bu nedenle üniform olmayan % uzama, ikinci faz partikülleri etrafında boşluk oluşumuna ve boyun bölgesindeki hidrostatik gerilmelere bağlıdır[87]. Sabit martenzit hacim oranında yapıda homojen olarak dağılmış küçük martenzit partikülleri sünekliği arttırırlar[88].

Ferrit dual fazlı çeliklerin sünekliğini etkileyen diğer bir fazdır. Ferrit fazındaki karbon ve azot miktarının artması sünekliğin azalmasına sebep olur. Bu nedenle arayer elementi içermeyen ferritin yapıda bulunması arzu edilir[66].

Dual fazlı çeliklerin yapısında bulunan büyük miktardaki kalıntı östenitin deformasyon esnasında martenzite dönüşümü üniform % uzamanın artmasına sebep olur[64,77,89]. Eğer yapıda %20 kalıntı östenit varsa % uzama %20 oranında artar[85]. Fakat yapıda bulunan kalıntı östenit miktarı az ise veya deformasyon esnasında hemen martenzite dönüşüyorsa, bu fazın üniform % uzama üzerindeki etkisi ihmal edilebilir[64].

Optimum dual faz özelliği elde edebilmek için optimum süneklik-mukavemet kombinasyonu sağlamak gerekir. Bunun için de martenzit tanelerini irtibatsız, ince taneli ve belirli bir hacim oranında elde etmek lazımdır[90].

### **3.3.5.Deformasyon sertleşmesi**

Malzemelerin deformasyon sırasındaki davranışları, plastik şekil verme yöntemleri açısından çok önemli olup, özellikle plastik kararsızlığın beklendiği durumlarda deformasyon sertleşmesinin önceden bilinmesi gereklidir. Bu amaçla, deformasyon etkisi ile oluşan sertleşmeyi tanımlamak üzere çeşitli ampirik bağıntılar

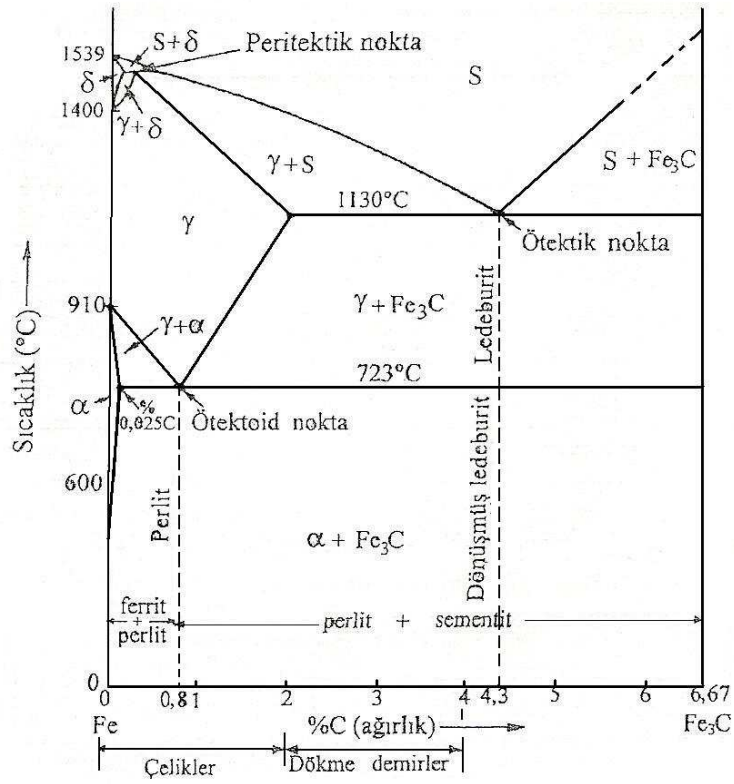
geliştirilmiştir. Bu bağıntılarla deformasyon etkisi ile malzemede meydana gelen değişimlere yani deformasyon altyapısına da yaklaşımda bulunmak mümkündür[91].

Bu ampirik formüllerden Holloman ve Voce denklemlerinin dual fazlı çeliklere uygulanması sakıncalıdır. Ludwick ile Swift denklemleri ise, dual fazlı çeliklerde deformasyon sertleşmesini çok iyi karakterize etmekte ve sertleşme olayının açıklanmasında kullanılmaktadır. Ancak Ludwick denklemine göre yapılan “Crussard-Jaoul (C-J) analizi” daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dual fazlı çelikler yüksek pekleşme hızına sahiptirler[92,93]. Metallerde pekleşmenin oluşumunu anlayabilmek için deformasyonun mikroyapıdaki etkisinin anlaşılması gerekir. Dual fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi hızına sebep olarak martenzit çevresindeki kalıntı gerilmeler ve ferrit içinde bulunan ve çok sayıdaki hareketli dislokasyonlar gösterilmektedir[94]. Şöyle ki; çekme sırasında deformasyonun başlangıcında, kalıntı gerilmeler yok olurken dislokasyonların kesişmesi veya arayüzeyin engellenmesi sonucu dislokasyonların hareketi önlenir. Deformasyonun devamı için gerekli yeni dislokasyonların oluşumu ve dislokasyonların tırmanması için gerilmenin hızla artması gereklidir. Böylece artan gerilme ile şekil değişimi artar[95].

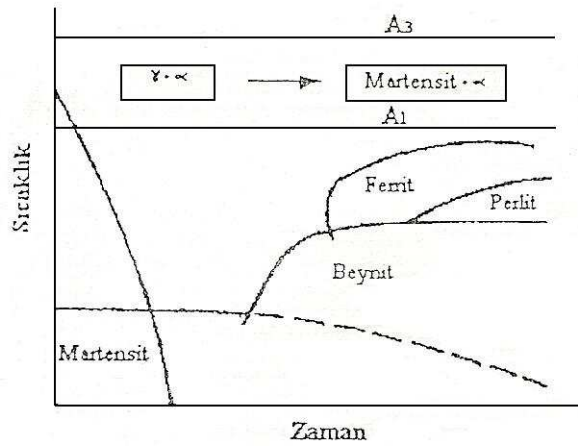
### **3.4.Dual Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemleri ve Ticari Üretimi**

Çift fazlı çeliklerin esas olarak, düşük alaşımlı veya alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin Fe-C denge diyagramındaki (Şekil 3.7)  $A_1$ - $A_3$  sıcaklık aralığında (ferrit+östenit bölgesinde) bir süre tutulup, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin uygun hızdaki soğutma ile martenzite dönüştürülmesiyle üretilirler[64,66,70].



Şekil 3.7. Fe – C denge diyagramı

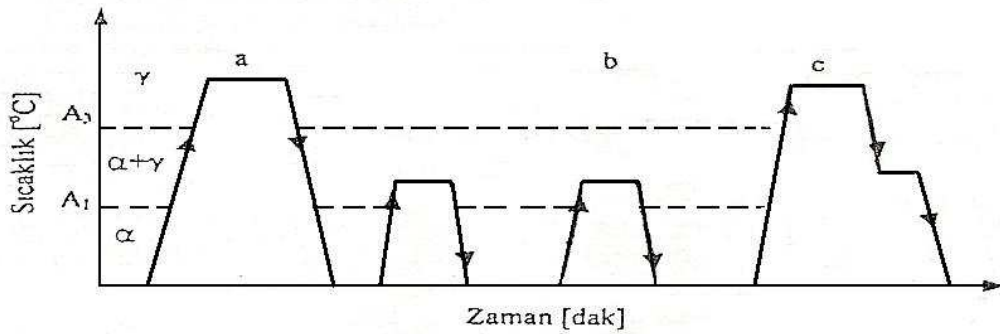
Çeliklerde dual faz mikroyapısı, Şekil 3.8’de gösterildiği gibi,  $A_1$ - $A_3$  kritik sıcaklıklar arasında ısıtmayı müteakip, çeliğin sertleşme kabiliyetine bağlı olarak, uygun bir hızda soğutulmasıyla elde edilir.



Şekil 3.8. Dual faz mikroyapısının elde edilşinin şematik gösterimi

Kritik sıcaklıklar arasında oluşan östenitin, perlit veya beynite dönüşmeden, martenzit yapısının ortaya çıkmasına imkan verecek şekilde soğutma hızı seçilir. Martenzit dönüşümü olurken de östenitin bir kısmı kalıntı östenit olarak dönüşmeden kalır. Elde edilen mikroyapıda östenit, martenzit ve ferrit bulunur. Östenit ve martenzit ikinci faz olarak kabul edilip martenzit fazı olarak adlandırılmaktadır. Böylece dual faz çelik mikroyapısının ferrit ve martenzitten ibaret olduğu kabul edilmelidir[89].

Genellikle düşük karbonlu olarak üretilen bu çeliklerde ferrit ve martenzitin yanı sıra mikroyapıda perlit, beynit, sementit ve kalıntı östenit de bulunabilir. Dual fazlı çelikler; ferrit+östenit bölgesinde bir müddet bekletilmeyi içeren üç farklı ısıl işlem metodu ile üretilebilir[78].



Şekil 3.9. Dual- faz ısıl işlemleri için sıcaklık aralıkları[78]

Şekil 3.9(a)'da önce östenit bölgesinde tavlama yapılarak hızla soğutulur. Meydana gelen yapı martenzittir. Sonra tekrar  $(\alpha+\gamma)$  bölgesinde tavlınırsa martenzit tane sınırlarında östenit çekirdekleri oluşur. Bu sıcaklıkta su verilirse ferrit matriks içerisinde dağılmış ince fiberli martenzit oluşur (Ara suverme)[78].

Şekil 3.9(b)'de, başlangıçta ferrit ve perlitten ibaret olan yapı  $(\alpha+\gamma)$  bölgesinde tavlınır. Ferrit+ sementit arayüzeyinde oluşan östenit çekirdekleri zamanla büyür. Su verildikten sonraki mikroyapı, ferrit sınırları boyunca ince küresel martenzitten ibarettir (Direkt suverme)[78].

Şekil 3.9(c)'de önce östenitleme yapılır, sonra ( $\alpha+\gamma$ ) bölgesine soğutulur. Östenit tane sınırlarında ferrit çekirdekleri oluşur. Ferrit-östenitten ibaret yapı, hızla soğutulduğunda ferrit yapı tarafından çevrelenmiş kaba martenzit partikülleri meydana gelir (Kademeli suverme)[78].

Her üç işlemde elde edilmiş dual faz çeliklerin mekanik özellikleri birbirinden farklıdır[78]. Örneğin aynı miktarda martenzit hacim oranı için ara su verilmiş yapının üniform ve toplam % uzama değerleri, kademeli su verilmiş yapının üniform ve toplam % uzama değerlerinden daha büyüktür[85]. Kademeli su verme yöntemi ile elde edilen dual fazlı yapının, diğer metotlarla elde edilen dual fazlı yapılarla nazaran sünekliğin daha düşük olmasına, deformasyonun erken safhalarında çatlak oluşması ve hızla ilerlemesi sebep olmaktadır[78].

Ticari olarak dual fazlı çeliklerin üretiminde, yukarıdaki ısı işlemleri içeren genellikle sürekli tavlama ve haddeme metotları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu olan ve soğuk haddelenmiş saclara uygulanan kutu tavı metodu ise, henüz gelişme aşamasında olduğundan çok dar bir uygulama alanına sahiptir[75].

### 3.4.1. Sürekli tavlama metodu

Sürekli tavlama metodunda, sıcak ve soğuk haddelenmiş saclar, rulo olarak sarılmadan önce, sürekli tavlama fırınlarında “ferrit+östenit” bölgesindeki sıcaklıklarda kısa bir süre (1-2 dak) tavllanır ve uygun bir hızla soğutulur. Bu metot ile üretilen dual fazlı çeliklerin özellikleri, fırın sıcaklığının yanı sıra sacın fırın içindeki hareket hızına da bağlıdır. Sürekli tavlama metodunda sıcak veya soğuk haddelenmiş saclara uygulanan ekstra ısı işlem kademesi maliyeti arttırıcı bir faktördür. Ancak sürekli tavlama metodu ile üretilen dual fazlı çeliklerin mekanik özelliklerinin homojen olması, bu metodun avantajlı yanıdır.

Japonya'da 1976 yılında, alaşımsız az karbonlu çeliklere uygulanan yeni bir sürekli tavlama metodu geliştirilmiştir. Bu metot da sac, “ferrit+östenit” faz bölgesinde tavlansın, özel olarak dizayn edilmiş bir cihazda üzerine su püskürtülerek hızla soğutulduktan sonra, 25-300 °C' de temperlenir. Bu sürekli tavlama metodu ile

alaşımına en düşük seviyede tutulabilmekte ve kalın kesitli çeliklerde de çift faz mikroyapısı oluşturulabilmektedir. Ayrıca enerji sarfiyatının azaltılması, ısıl işlem süresinin kısaltılması, personel sayısının azaltılması da söz konusu metodun avantajları arasındadır[96].

### 3.4.2.Haddeleme metodu

Haddeleme metodunda, saca çift faz mikroyapısı kimyasal bileşimin ve üretim parametrelerinin dikkatli kontrolü ile sıcak haddeleme sonrasında kazandırılmaktadır. Bu metotta, sıcak haddelenmiş çeliğe iki kademeli soğutma uygulanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan haddelemenin son pasosundan sonra, hadde çıkışında çelik mikro yapıda da % 80-90 ferrit oluşacak bir hızda soğutulur. Mikroyapının geriye kalan % 10-12'si ise, rulo sarma işleminden sonraki soğutma ile martenzite dönüştürülür. Bu işlem alışlagelmiş hadde tezgahlarının çıkış hızlarını ve çeliğin soğuma hızını kontrol ederek gerçekleştirildiğinden büyük yatırım masrafı gerektirmez. Ancak haddeleme metodu ile üretilecek çeliklerde, birinci soğuma kademesinde perlit, ikinci soğuma kademesinde beynit oluşumunu engellemek amacıyla ferrit dönüşümü hızlı, perlit ve beynit dönüşümleri yavaş olmalıdır. Sıcak haddelemede deformasyon oranının sınırlı olması ve alaşımlama için ek masrafa gerek duyulması, bu metodun dezavantajlarıdır. Sıcak haddeleme metodu ile 2 mm'den ince sacların üretimi mümkün değildir.

Sürekli tavlama ve haddeleme metotları ile üretilmiş aynı mukavemetteki ticari dual fazlı çelikler ile yapılan çalışmalar, sıcak haddelenmiş dual fazlı çeliklerin daha az karbon içerdiğini ve mikroyapıdaki martenzit miktarının daha az olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucu olarak, haddeleme metoduyla üretilen dual fazlı çeliklerin daha yüksek kaynak mukavemetine sahip oldukları söylenebilir[96].

### 3.4.3.Kutu tavı metodu

Bu metotta, soğuk haddelenmiş ve rulo olarak sarılmış sac, "ferrit+ostenit" faz bölgesindeki sıcaklıklarda uzun süre tavllanır ve çeliğin bileşimine göre havada veya suda soğutulur. Ekstra ısıl işlem kademesinin maliyeti çok az etkilemesi bir

avantajdır. Yüksek alaşımlama gerektirmesi ve mekanik özelliklerinin homojen olmaması ise bu metodun dezavantajlarıdır[96].

Dual faz mikroyapısında üretilecek olan sac malzemenin kalınlığına bağlı olarak haddeleme veya kutu tavı yöntemi uygulanır. Kalınlığı 2 mm'den fazla olan sacların sıcak haddelenmesi kritik sıcaklıklar arasında bitirilir ve bu sıcaklıktan itibaren uygun bir hızda soğutma yapılarak dual faz mikroyapısı elde edilir. Daha ince sacların üretiminde ise malzemeye sıcak haddeleme işlemi sırasında dual faz mikroyapısı kazandıran haddeleme yöntemi uygulanamaz. İnce sacların üretiminde kullanılan kutu tavı yönteminde; malzeme, soğuk haddelenerek istenilen kalınlığa getirildikten sonra rulo olarak sarılır. Rulo olarak sarılmış sac “ferrit+ostenit” faz bölgesindeki sıcaklıklar arasına ısıtılır ve su verilerek dual faz mikroyapısı kazandırılır.

Soğuk haddeleme ile istenilen kalınlığa indirilen saclara Şekil 3.8’de gösterilen kritik sıcaklıklar arası bir ısıtım işlemi ile dual faz mikroyapısı kazandırılır. Uygulanan ısıtım işlemleri tavlanmış çeliğin soğutma hızına göre üç sınıfa ayırmak mümkündür;

1. çok yavaş soğutma metodu
2. yavaş soğutma metodu
3. hızlı soğutma metodu

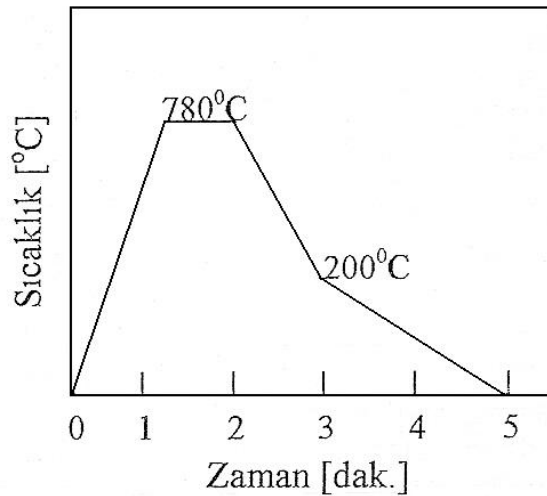
#### **3.4.3.1.Çok yavaş soğutma metodu**

Minimum % 2.5 mangan ihtiva eden düşük karbonlu çelik soğuk haddelendikten sonra kutu tavı ile “ferrit+ostenit” bölgesindeki sıcaklıklara ısıtılır. Rulo halindeki çelik uzun süre sabit sıcaklıkta tutularak “ferrit+ostenit” mikroyapısı elde edilir. Daha sonra fırından çıkartılan çelik 20 °C/saat gibi çok yavaş bir hızla soğutulur. Mangan çeliğin sertleşme kabiliyetini çok arttırdığı için bu hızda dahi dual faz

mikroyapısı elde edilebilmektedir[97]. Ancak mikroyapıda hemen hemen hiç kalıntı ostenit bulunmamakta, bunun yerine az miktarda ince perlit bulunmaktadır[90].

### 3.4.3.2.Yavaş soğutma metodu

Kutu tavı yönteminde en fazla kullanılan metottur. Çelik fabrikalarında mevcut olan paslanmaz çelik veya galvaniz hatlarından faydalanılarak sürekli halde kritik sıcaklıklar arası ısıl işlem yapılmaktadır. Böylece hem kitle halinde, hem de ekonomik olarak dual fazlı çelik üretimi mümkün olmaktadır. Yavaş soğutma metodu ile dual fazlı çelik üretimi için yapılan tipik bir işlem Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Soğuk haddelenen çelik 15 °C/sn hızla kritik sıcaklıklar arasına ısıtılır ve bu sıcaklıkta 60 saniye tutulduktan sonra 10-20°C/sn hızla soğutulur ve 200°C'nin altında rulo olarak sarılır. Soğutma gaz-jet sistemiyle yapılmaktadır[98].



Şekil 3.10. Sürekli tavlama hattında HSLA çeliğinde dual fazlı çelik üretimi için uygulanan ısıl işlem

Yavaş soğuma ile dual faz mikroyapısı kazandırılan çeliklerin kimyasal bileşim sınırları Tablo 3.2'de verilmiştir. A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub> sıcaklıkları arasında oluşan ostenitin sertleşme kabiliyeti yüksek olduğu için yavaş soğutma hızında (10 °C/sn) da dual faz mikroyapısı elde edilmektedir. Bu çeliklerin sünekliği yeteri kadar yüksek olduğundan sünekliğin artırılması için temperleme işlemi gerekmemektedir.



Tablo 3.2. Yavaş soğutma metodu ile üretilen dual fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Al
% Ağırlık	0.05 - 0.15	0.9 - 2	0.5 - 1.5	0 - 0.5	0 - 0.1	0 - 0.2	0.04

### 3.4.3.3. Hızlı soğutma metodu

Alaşımli çeliklerin yanı sıra, alaşımsız düşük karbonlu çeliklerde de dual faz mikroyapısı elde etmek mümkündür. Bu çelikler %0,05 – 0,15 C ile %0,3-0,6 Mn ihtiva ederler. Isıl işlem sürekli tavlama hattında yapılır. Hızlı soğutma metodunda soğuk haddelenmiş çeliğin kritik sıcaklıklar arasına ısıtılma hızı ve bu sıcaklıkta tutma süresi yavaş soğutma metodundaki değerlere yakındır. Ancak oluşan östenitin sertleşme kabiliyeti düşük olduğu için soğutma hızı 1000°C / sn'den daha büyük olmaktadır. Su verme işleminden sonra dual fazlı çeliklerde sünekliğin artırılması için 500°C'nin altında kısa süreli temperleme yapılır[99].

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

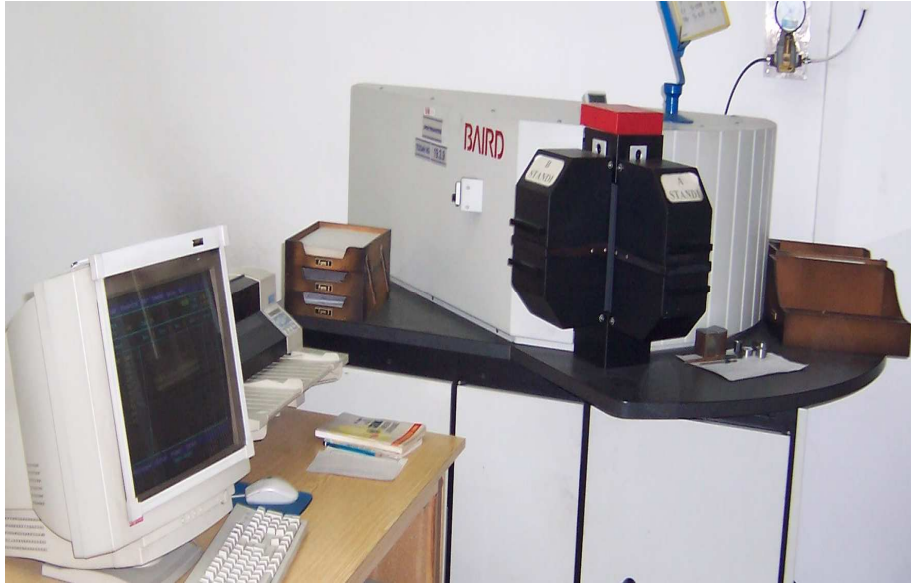
### **4.1. Genel**

Bu çalışmada son yıllarda otomotiv sektöründe kullanımı yaygınlaşan dual-faz çelik grubunun DP 600 serisi seçilerek elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Deneylerde, sektörde ağırlıklı olarak kullanım alanına sahip olan 1 mm ve 1,2 mm kalınlığındaki saclar ele alınmıştır. Elektrik direnç nokta kaynak işlemi sırasında elektrot formu, elektrot malzemesi, soğutma suyu giriş hızı ve elektrot kuvveti sabit kabul edilerek önceden belirlenen kaynak akımı ve kaynak zamanı değerleri ile numuneler üretilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların dayanım değerlerini tespit etmek için bütün numuneler çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerine tabii tutulmuştur. Ayrıca mikroyapı incelemesi için üretilmiş olan numuneler bakalite alınarak zımparalama, parlatma ve dağlama işleminden sonra mikroskopta incelenmiş ve mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.

### **4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler**

Deneylerde kullanılan saclar çift tarafı galvaniz kaplamalı 1 mm ve 1,2 mm kalınlığındaki DP 600 serisi saclardır. Galvaniz tabakasının kalınlığı bir yüzeyde 7,5µm olmak üzere iki yüzey için toplam 15 µm' dir. Kullanılan sacların spektrometrik analizleri optik emisyonlu Baird marka, 16 element kapasiteli cihaz (Şekil 4.1) ile yapılmış olup elde edilen elementel analiz değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Spektrometre Cihazı ( BAIRD )

Tablo 4.1. Deneyleerde kullanılan 1.0 mm kalınlığındaki sacın kimyasal kompozisyonu

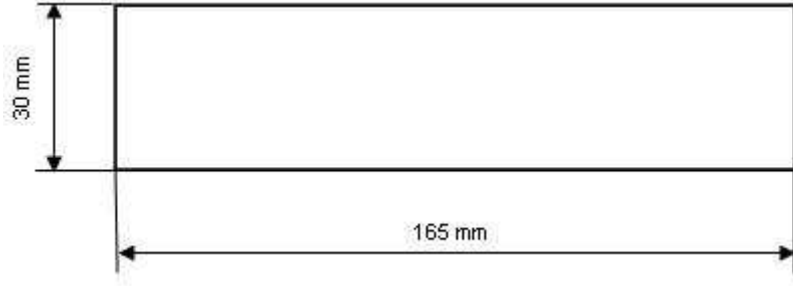
Elementler (ağ. %)									
DP600 1 mm	C	P	Mo	Co	Ti	Sn	Si	S	Ni
		0,0421	0,0147	0,119	0,0096	0,00152	0,0071	0,157	0,0115
1 mm	Cu	V	Mg	Fe	Mn	Cr	Al	Nb	W
	0,0184	0,0034	0,0010	97,79	1,680	0,0959	0,033	0,0020	0,0050

Tablo 4.2. Deneyleerde kullanılan 1.0 mm kalınlığındaki sacın kimyasal kompozisyonu

Elementler (ağ. %)									
DP600 1,2mm	C	P	Mo	Co	Ti	Sn	Si	S	Ni
		0,0544	0,0174	0,115	0,0054	0,0013	0,0043	0,158	0,0128
1,2mm	Cu	V	Mg	Fe	Mn	Cr	Al	Nb	W
	0,0212	0,0059	0,0010	97,63	1,840	0,0967	0,0277	0,0020	0,0050

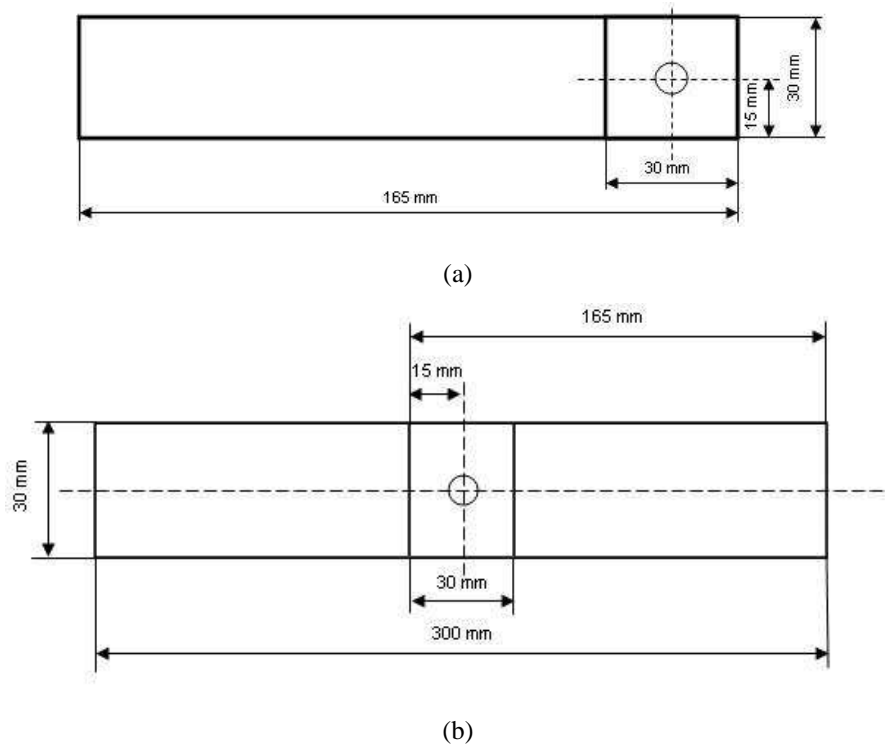
### 4.3. DeneY Numunesinin Boyutları

DeneYlerde kullanılan 1 mm ve 1,2 mm kalınlığındaki sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan sac numunesinin boyutları aşağıda Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



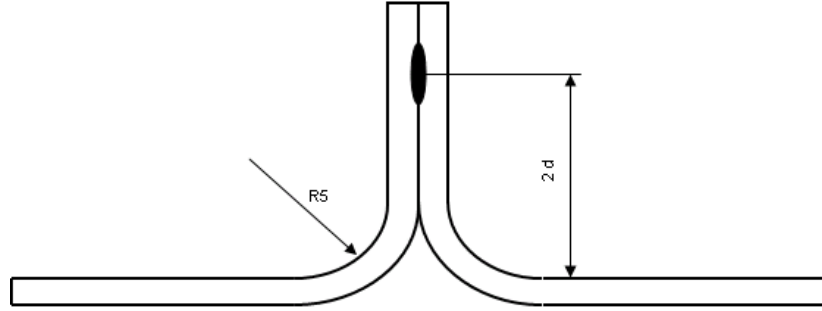
Şekil 4.2. Kaynak işlemi için hazırlanmış numune

Nokta kaynağı yapıldıktan sonraki numune boyutları ise Şekil 4.3 (a)-(b)’de verilmiştir.

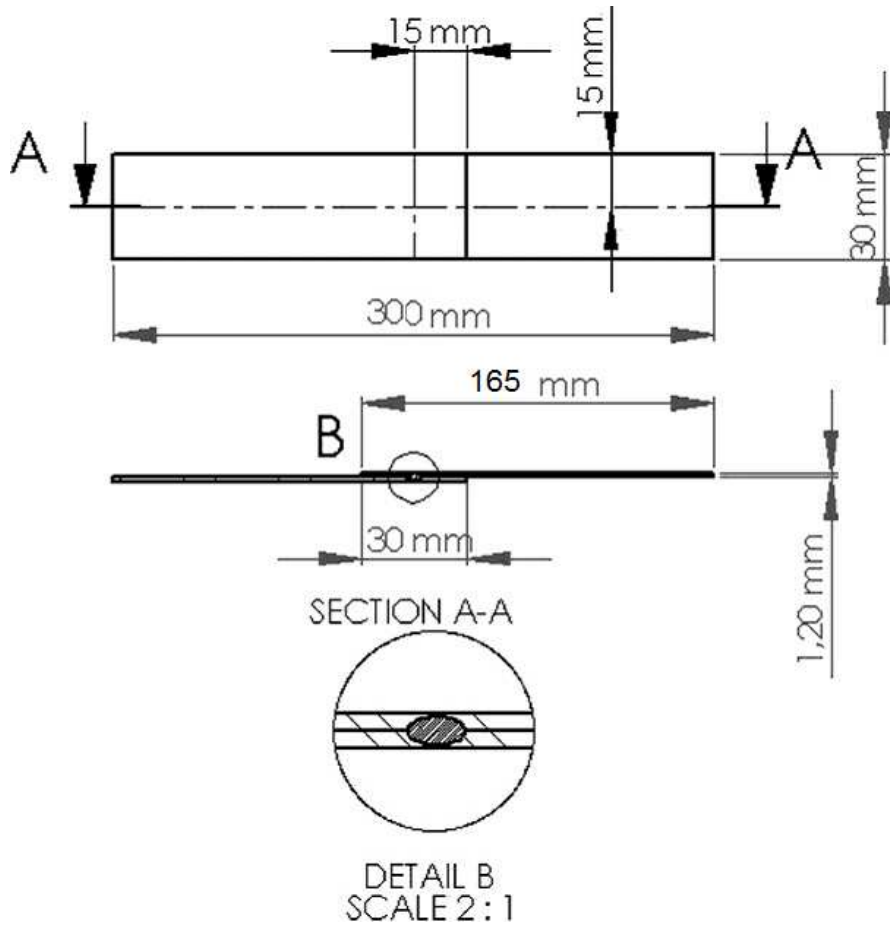


Şekil 4.3 (a) Nokta kaynağı sonrası ortaya çıkan çekme-sıyırma numunesi, (b) Nokta kaynağı sonrası ortaya çıkan çekme-makaslama numunesi

Hazırlanan bu numuneler çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde kullanılmışlardır. Çekme-sıyırma deneyi için numune boyutları aşağıda Şekil 4.4'te, çekme-makaslama deneyi için belirlenen numune boyutları ise Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çekme-sıyırma deneyleri için hazırlanan numune boyutları



Şekil 4.5. Çekme-makaslama deneyleri için hazırlanan numune boyutları

#### 4.4. DeneY Numunelerinin Hazırlanması

DeneY numuneleri, giyotin makas ile Şekil 4.2’de gösterilen boyutlarda kesildikten sonra karışık şekilde kutu içersine dağıtılmış ve yüzeylerindeki yağ, pas gibi kaynak işlemini olumsuz etkileyecek bulaşmaları arındırmak için etil alkol içinde ultrasonik olarak yıkanmış ve temizlenmiştir.

#### 4.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak İşlemleri

Elektrik direnç nokta kaynak işlemleri zaman ve akım kontrollü, 120 kVA kapasiteli, çift kollu, pnömatik bir nokta kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. DeneYler sırasında elektrot basma kuvveti sürekli olarak ölçülmüş ve kontrol edilmiştir. Ayrıca makinenin kolu üzerine yerleştirilmiş bir ampermetre ve akım dönüştürücüsü aracılığıyla kaynak akım değerleri kontrol edilmiş ve ölçülmüştür. Kaynak zamanı, tutma zamanı ve sıkıştırma zamanı makinenin elektronik ekipmanı tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. DeneYlerde nokta kaynak bağlantısını elde etmek için 16 mm küre çaplı küresel uçlu elektrotlar kullanılmıştır.

Şekil 4.2’deki gibi boyutlandırılan ve ultrasonik olarak temizlenen sac numuneler 30 mm bindirme mesafesi gözetilerek üst üste getirilmiş ve elektrik direnç nokta kaynağı yapılmışlardır. Kaynak akım zamanları 5, 10, 15, 20 ve 25 periyot olarak seçilmiş, kaynak akım şiddetleri 4, 5, 6, 7 ve 8 kA olarak belirlenmiştir. Elektrot basıncı 6 kN’da sabit tutulmuştur. Elektrik direnç nokta kaynaklarının yapıldığı makine Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Kaynaklı bağlantıların yapıldığı çift kollu direnç nokta kaynak makinesi

#### 4.6. Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Deneyleri

Elektrik direnç nokta kaynağı ile elde edilen bağlantılar laboratuvar koşullarında çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen çekirdeklerin, çekirdek boyut oranlarının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımına etkileri araştırılmış, elde edilen diyagramlar üzerinde uygun kaynak akım şiddetleri ve kaynak zamanları tespit edilmiştir. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma mukavemetleri olarak ifade edilen değerler, bağlantılara ait test makinesinin skalasında okunan maksimum değerlerdir.

Çekme-makaslama deneylerine ait fotoğraflar Şekil 4.7(a)-(g)'de, çekme-sıyırma deneylerine ait fotoğraflar da Şekil 4.8(a)-(g)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



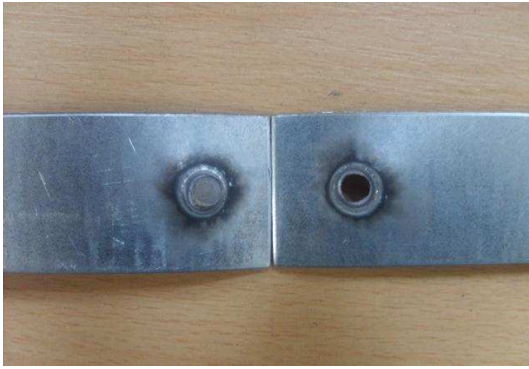
(c)



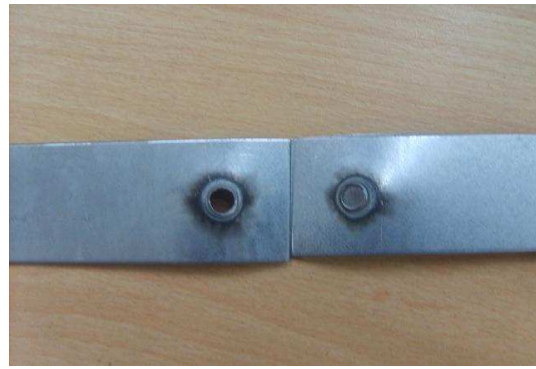
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 4.7(a)Çekme-makaslama deney cihazı, (b)-(g) Çekme-makaslama deneyine ait numuneler



(a)





(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 4.8(a)Çekme-sıyrma deney cihazı, (b)-(g) Çekme-sıyrma deneyine ait numuneler

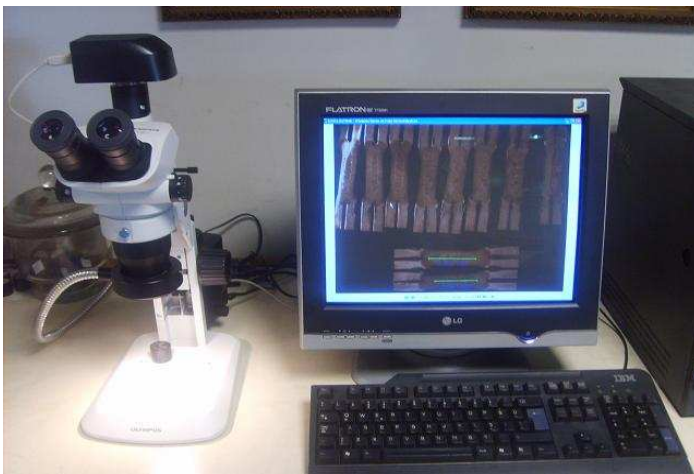
#### 4.7. Optik Mikroskopi

Bu çalışmada direnç nokta kaynağı yapılmış DP 600 dual-fazlı çelik sac malzemelerden kesit numuneler çıkarılmış ve bunların metalografik inceleme sonucunda mikroyapıları incelenmiştir. Numuneler sırasıyla 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarda zımparalandıktan sonra  $Al_2O_3$  –alümina ile parlatılmış daha sonra numuneler % 2'lik Nital çözeltisi ile dağlanmıştır.

Mikroyapı incelemesi aşağıda Şekil 4.9 'da görülen Olympus PME 3 marka optik mikroskopta yapılmıştır. Kaynak çekirdek çapları ise Şekil 4.10'da görülen stereoskopta ölçülmüştür.



Şekil 4.9. Mikro yapı tespitlerinde kullanılan optik mikroskop ( Olympus PME 3 ).



Şekil 4.10. Çekirdek çaplarının ölçümünde kullanılan stereo-mikroskop (Olympus)

#### 4.8. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri ve EDS-Analizleri

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen numunelerde kaynak çekirdeği, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme ile mikroyapı incelemelerinde rastlanılan boşluklar taramalı elektron mikroskopu yardımıyla incelenmiştir. Bunun için JEOL JSM-6390 LA marka SEM cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.11. X ışınları çekiminde ve EDS analizinde kullanılan JEOL marka SEM cihazı

#### 4.9. Sertlik

Nokta kaynaklı parçaların mikrosertlik ölçümleri, Şekil 4.12’de görülen Tronic marka mikrosertlik cihazı kullanılarak 1 kg ağırlıkta yapılmıştır.



Şekil 4.12. Mikrosertlik ölçümünde kullanılan vickers ölçüm cihazı (TRONIC)

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR**

### **5.1.Genel**

Dual-fazlı DP 600 saçlar kalınlıklarına göre; 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm ve 1,0 mm - 1,2 mm şeklinde üç farklı kombinasyonda direnç nokta kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Her üç kombinasyona da hem çekme-makaslama hem de çekme-sıyırma deneyleri uygulanmış, sonuçlar grafik olarak aşağıda verilmiştir.

### **5.2. Bağlantıların Çekme–Makaslama Dayanımına Kaynak Parametrelerinin Etkisi**

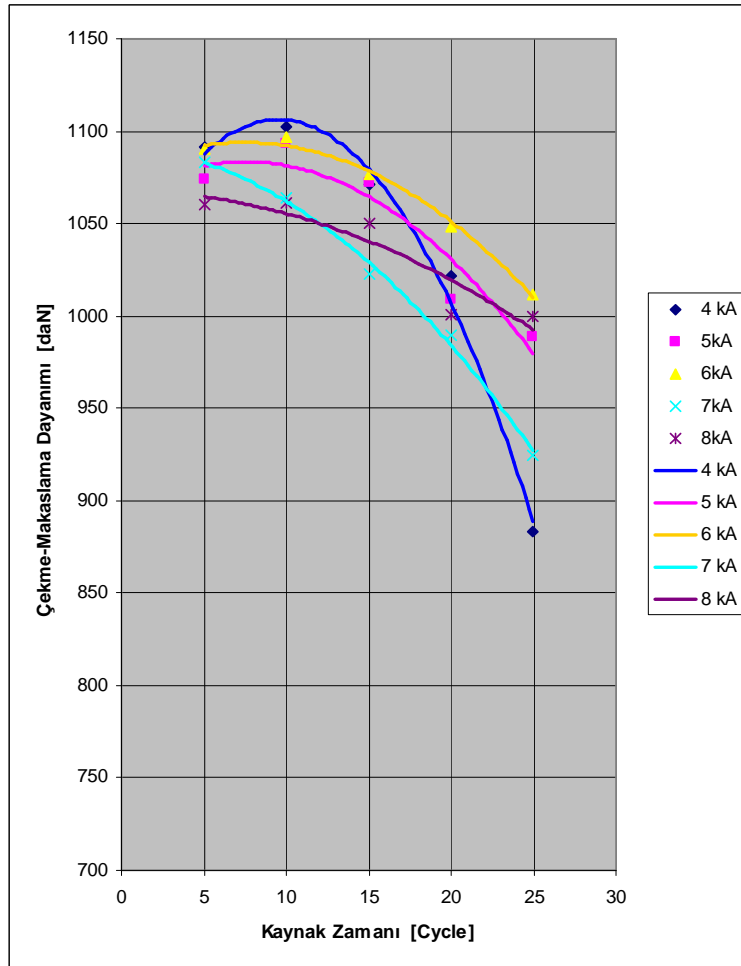
Bu çalışmada “kaynak zamanı” ve “kaynak akım şiddeti” bağlantıların mukavemetini etkileyen iki önemli parametre olarak ele alınmıştır. Aşağıda Şekil 5.1 - 5.6.’da bu parametrelerin bağlantının çekme-makaslama mukavemetine olan etkileri grafik olarak gösterilmiştir.

Bu diyagramlar incelendiğinde 1,0 mm - 1,0 mm kalınlıktaki bağlantılarda en yüksek çekme-makaslama kuvveti değerine 10 periyot kaynak zamanı ve 4 kA kaynak akım şiddetinde; 1,2 mm - 1,2 mm kalınlıklarda ise maksimum çekme-makaslama kuvvetine 12 periyot kaynak zamanı ve 7 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülür. Bu değerlerden sonra çekme-makaslama kuvveti hızla düşmektedir. Bunun nedeninin, malzemeye elektrot kuvvetinin etkisiyle elektrotun dalması ve sıçramaların fazlaşması olduğu düşünülmektedir. Kaynak zamanının artmasıyla ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile kaynak bölgesinde sıçramalar çoğalır; diğer bir deyişle kaynak bölgesinde malzeme kayıpları artar. Bu da çekirdek çapının büyümesine ve çekirdek yüksekliğinin azalmasına neden olur. Bundan dolayıdır ki mukavemet hesaplamalarında çekirdek yüksekliği/ çekirdek çapı oranı kullanılır.

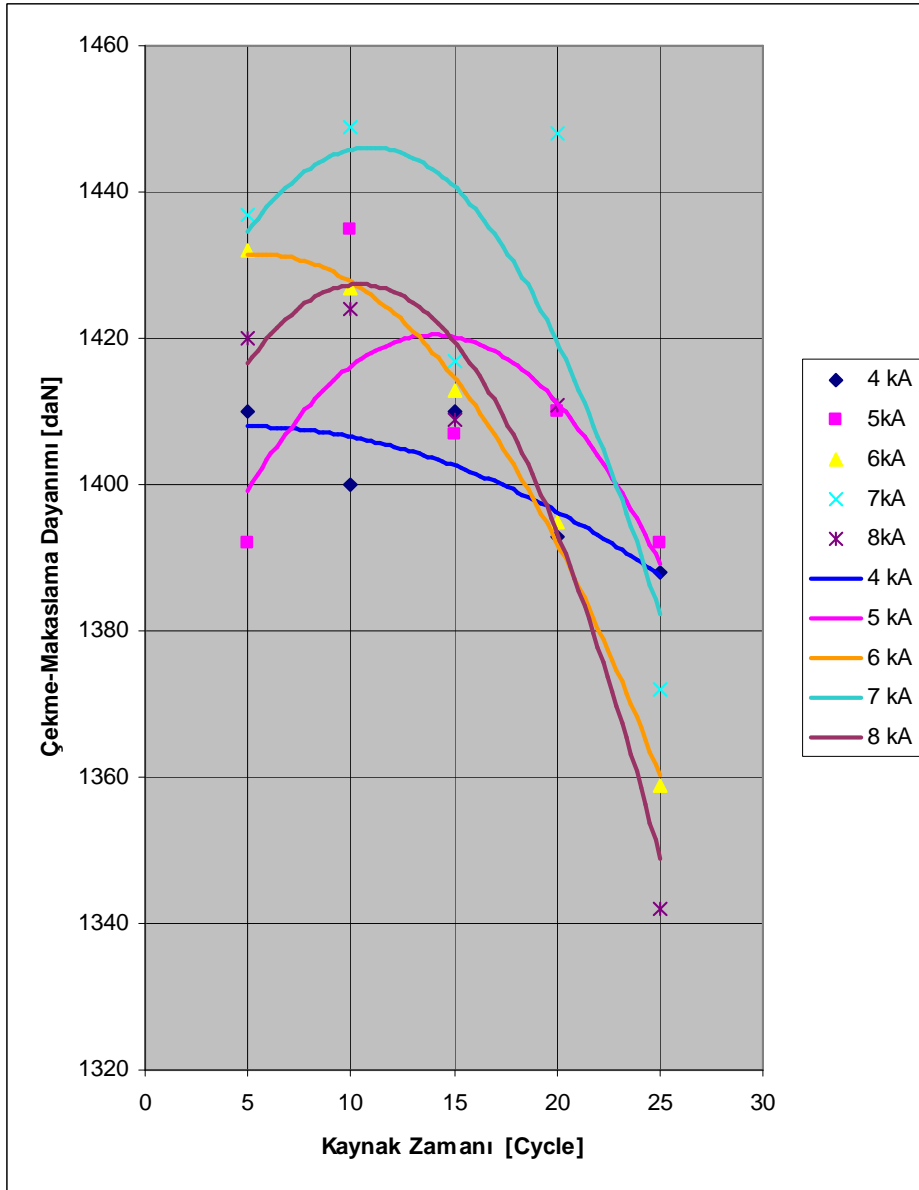
1,0 mm - 1,2 mm kalınlıklarla elde edilen bağlantıda en yüksek çekme-makaslama kuvvetine ise 11 periyot kaynak zamanında ve 8 kA kaynak akım şiddetinde erişildiği görülmektedir. Burada önemli olan husus farklı kalınlıktaki saclarla çalışıldığı için çekirdek geometrisinde bozulma olduğu ve simetrisinin değiştiğidir. Bu durum ayrıntılı olarak mikroyapı incelemelerinde verilmiştir.

### 5.2.1. Bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak zamanının etkisi

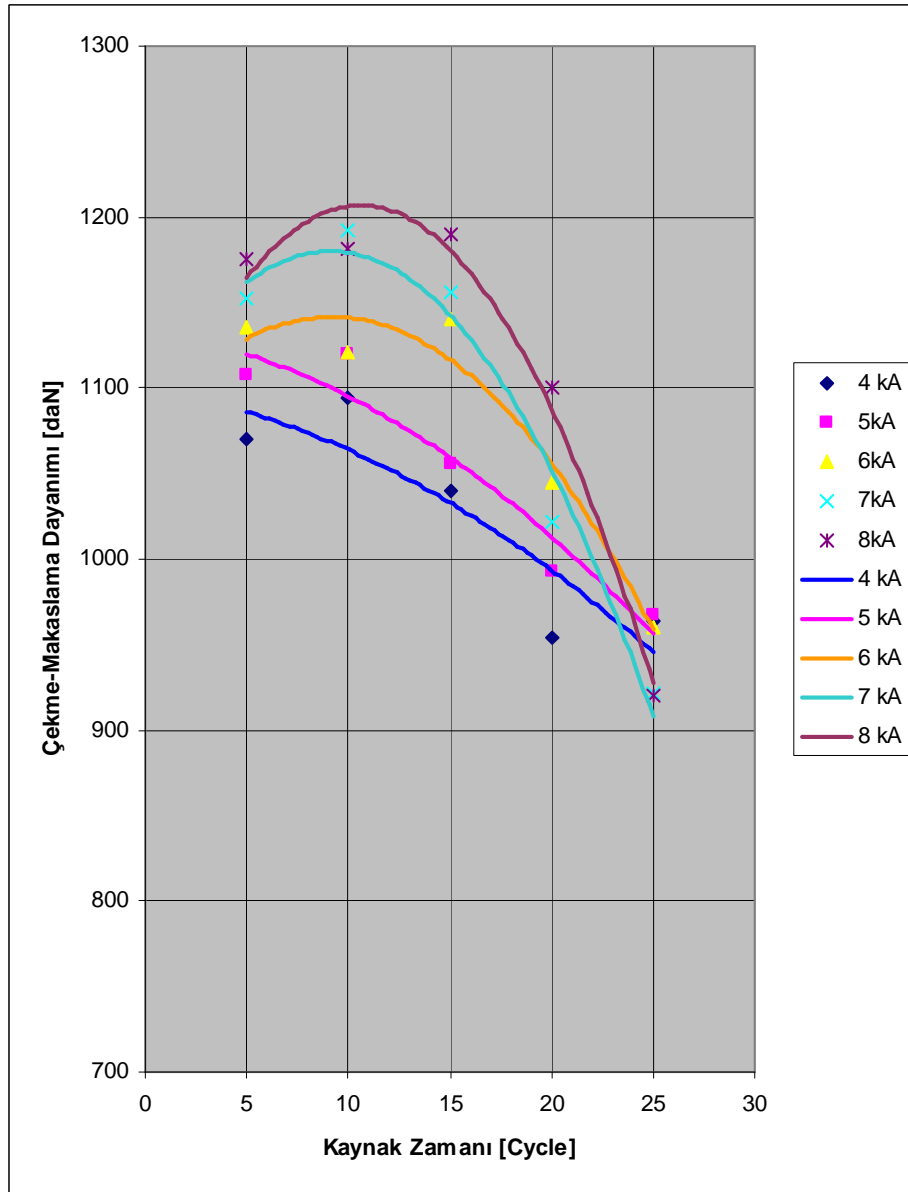
Dual-fazlı DP 600 saclarında kalınlıklarına göre; 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm ve 1,0 mm - 1,2 mm bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama mukavemetine olan etkileri Şekil 5.1 - 5.3'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi



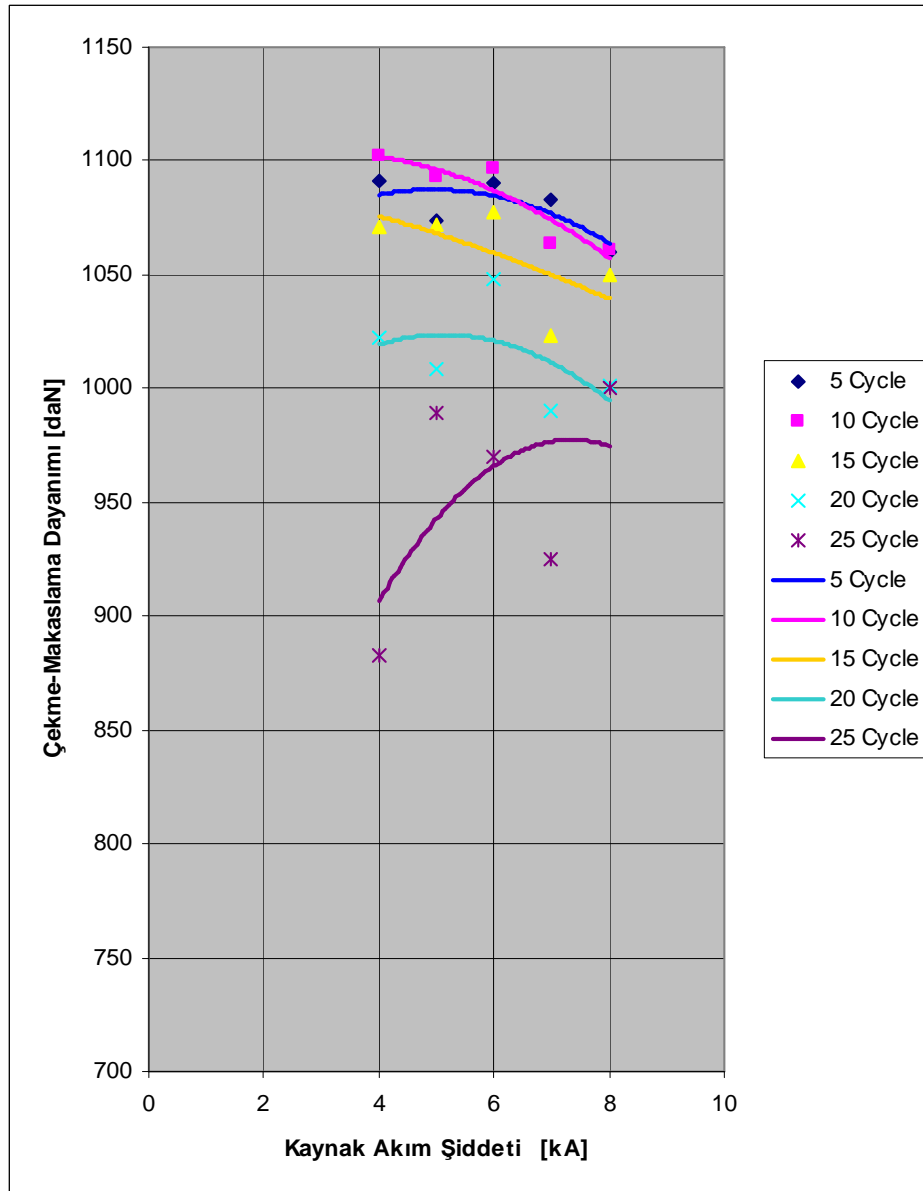
Şekil 5.2. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.3. 1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

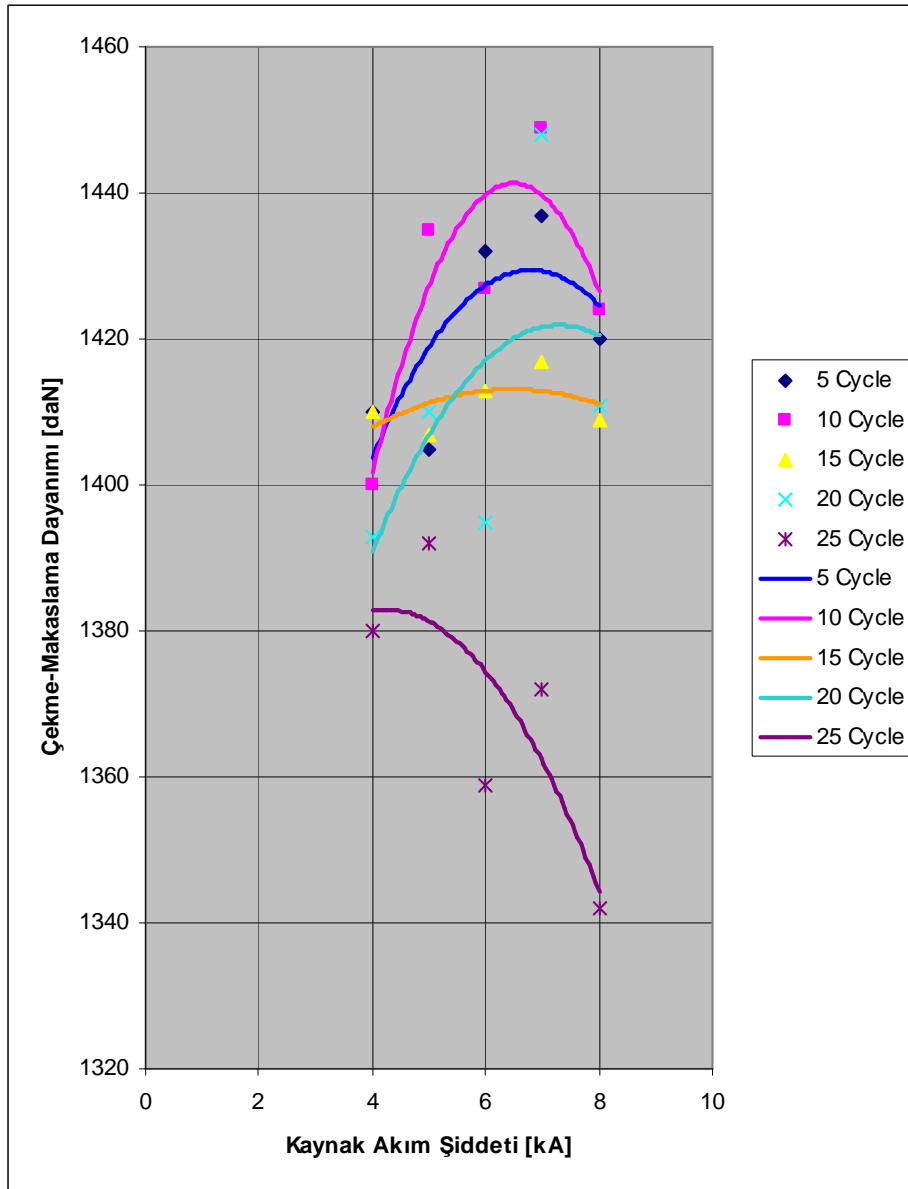
### 5.2.2. Bağlantıların çekme-makaslama dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi

Dual-fazlı DP 600 saçlarda kalınlıklarına göre; 1,0 mm-1,0 mm, 1,2 mm-1,2 mm ve 1,0 mm-1,2 mm bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama mukavemetine olan etkileri Şekil 5.4 - 5.6'da grafik olarak gösterilmiştir.

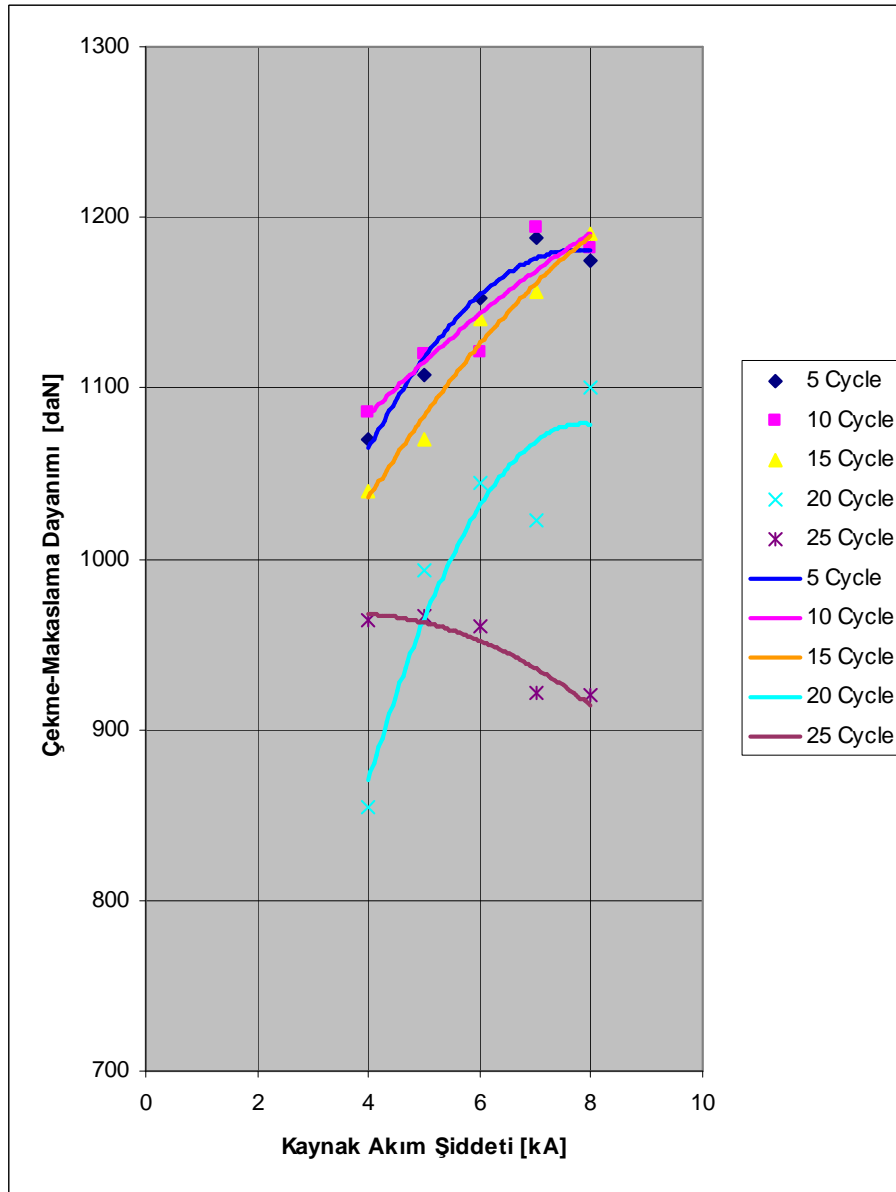


Şekil 5.4. 1 mm – 1 mm DP 600 saçların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi





Şekil 5.5. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi



Şekil 5.6. 1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

### 5.3. Bağlantıların Çekme-Sıyırma Dayanımına Kaynak Parametrelerinin Etkisi

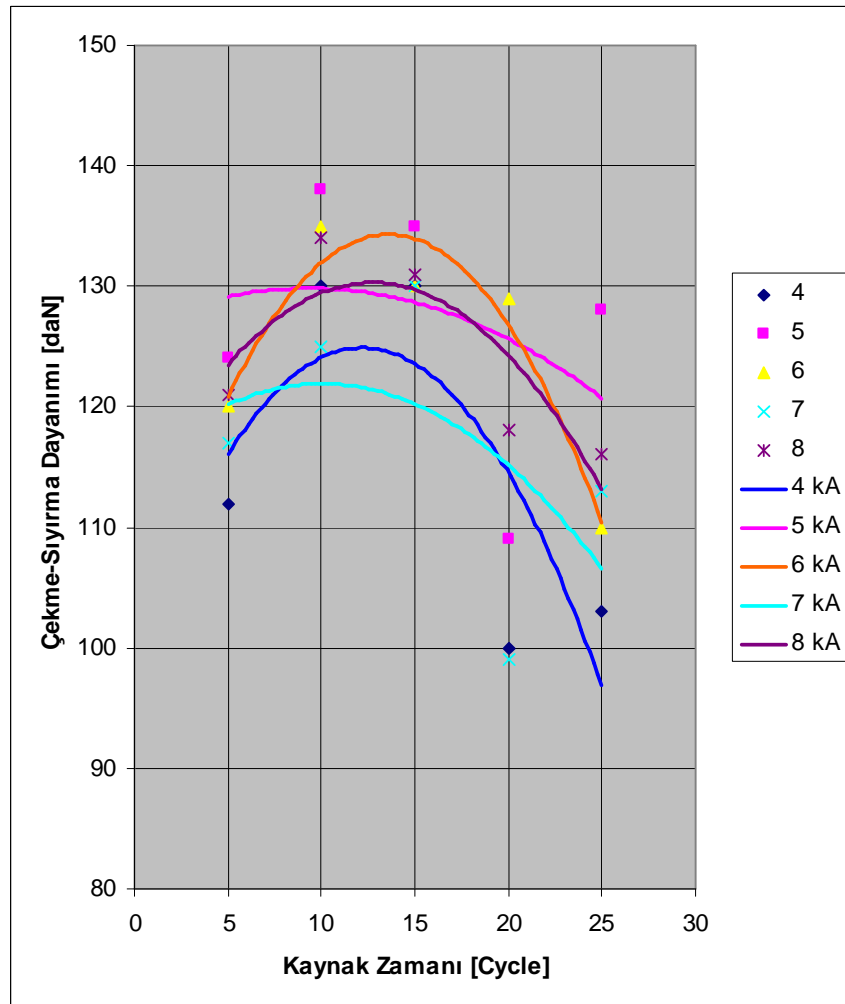
Aşağıda Şekil 5.7-5.12.'de kaynak zamanı ve kaynak akımı parametrelerinin, bağlantının çekme-sıyırma mukavemetine olan etkileri grafik olarak gösterilmiştir.

Her üç birleştirmede elde edilen çekme-sıyırma mukavemeti sonuçları incelendiğinde; maksimum çekme-sıyırma kuvveti değerlerine 1,0 mm - 1,0 mm

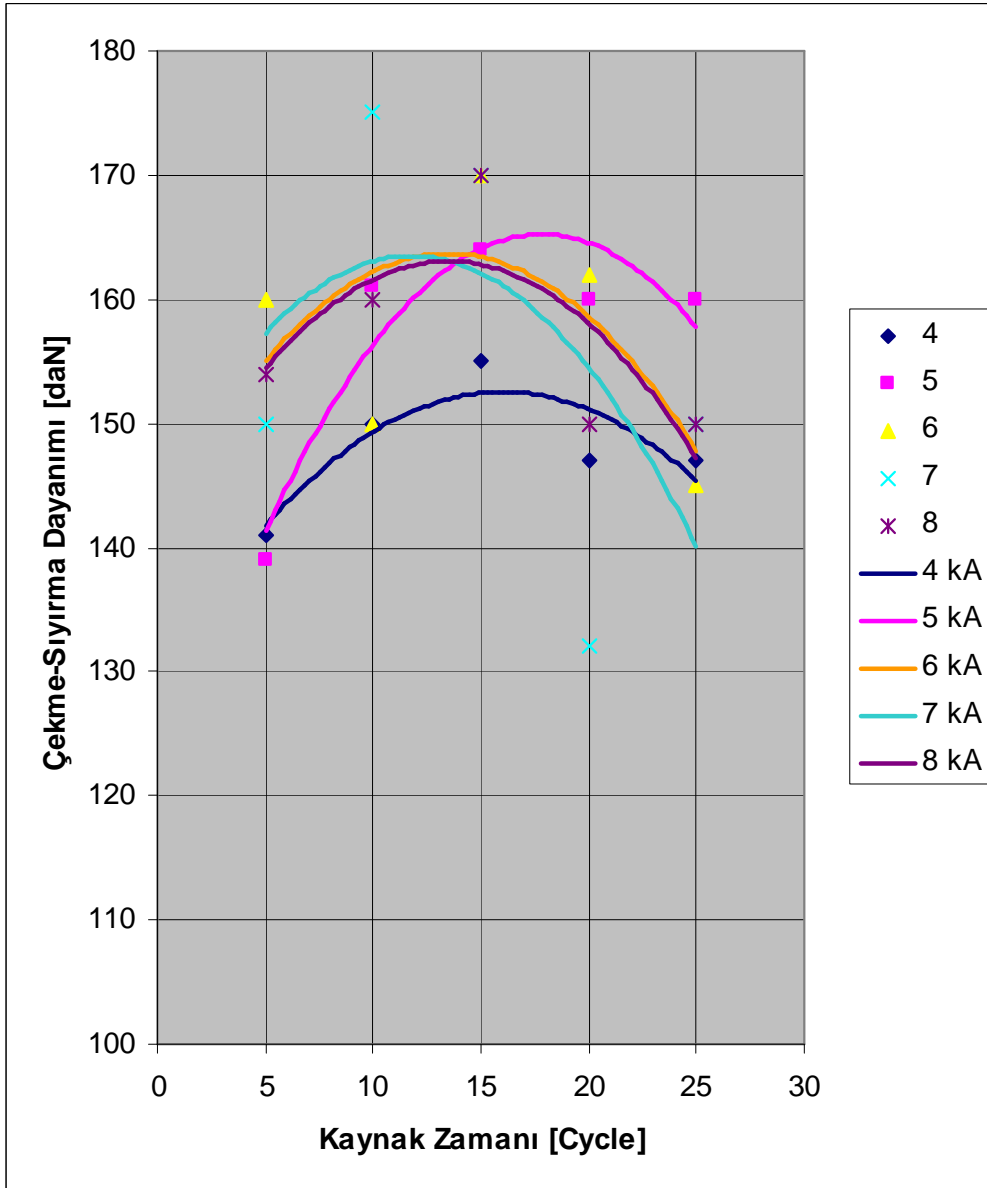
birleştirmede 12 periyot kaynak zamanında 7 kA kaynak akım şiddetinde; 1,2 mm - 1,2 mm birleştirmede 15 periyot kaynak zamanında 7 kA kaynak akım şiddetinde ve son olarak da farklı kalınlıktaki 1,0 mm - 1,2 mm bağlantıda 15 periyot kaynak zamanında 6 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülmüştür.

### 5.3.1. Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak zamanının etkisi

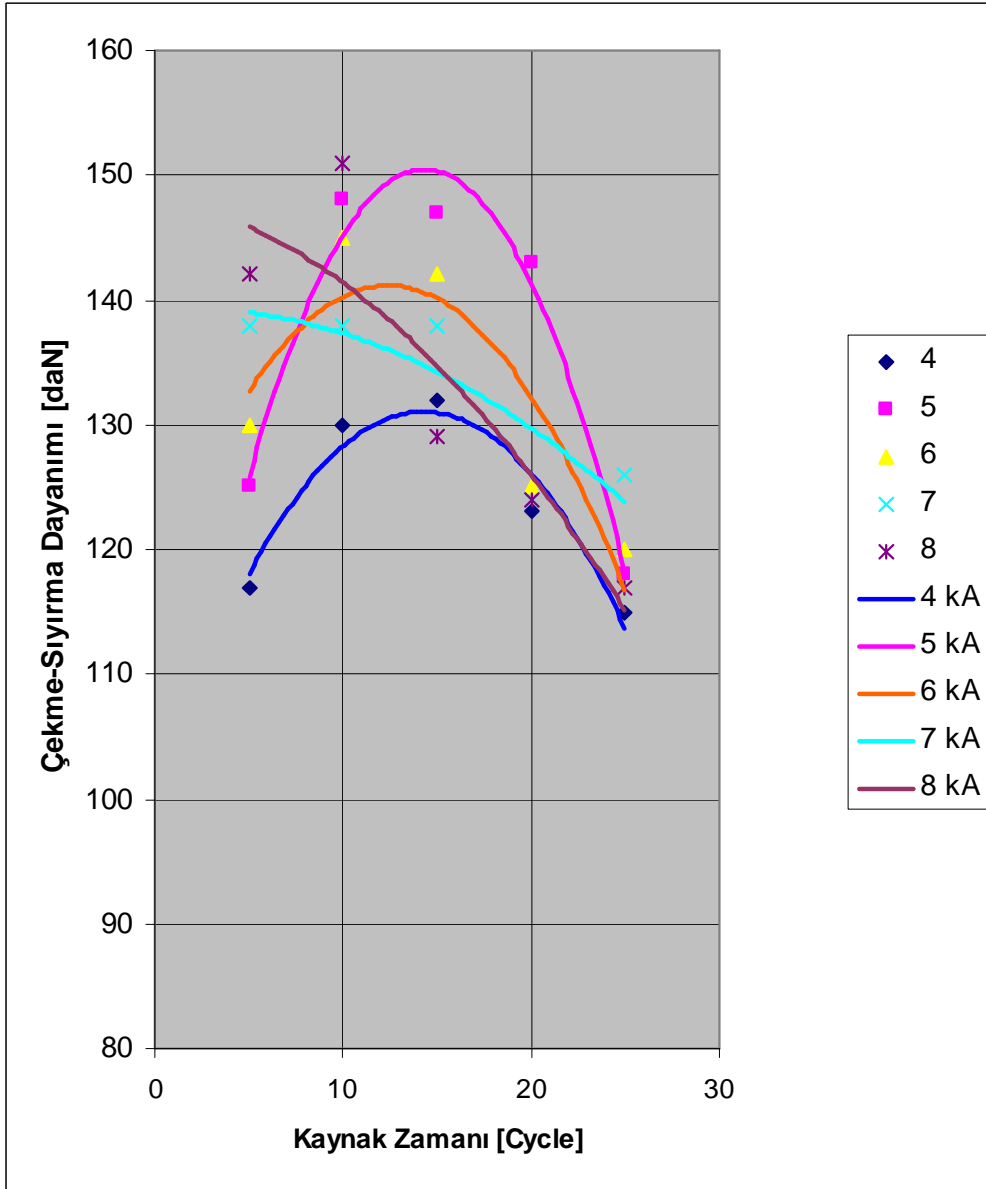
Dual-fazlı DP 600 saçlarda kalınlıklarına göre; 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm ve 1,0 mm - 1,2 mm bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma mukavemetine olan etkileri şekil 5.7 - 5.9'da grafik olarak gösterilmiştir.



şekil 5.7. 1 mm – 1 mm DP 600 saçların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi



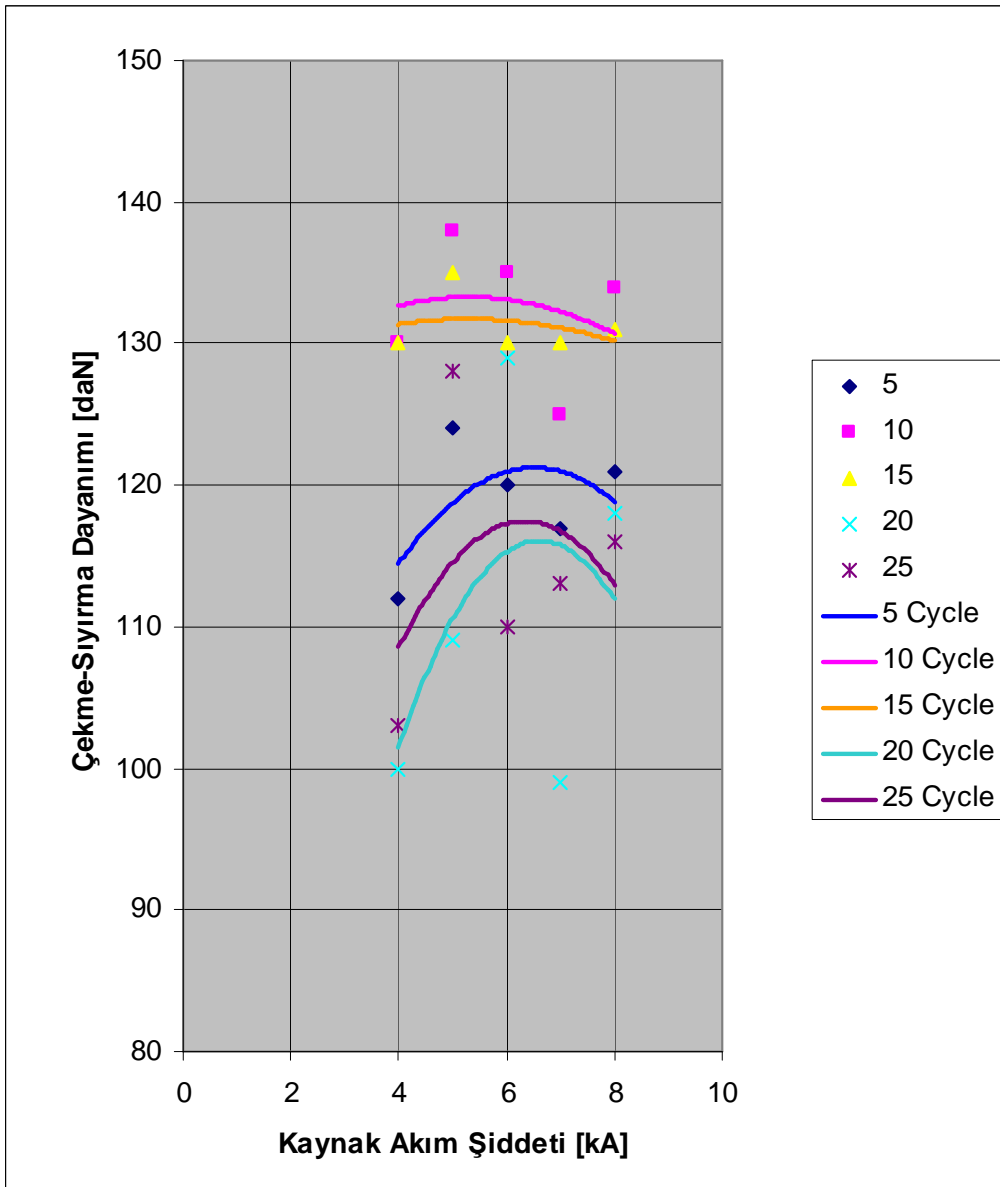
Şekil 5.8. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi



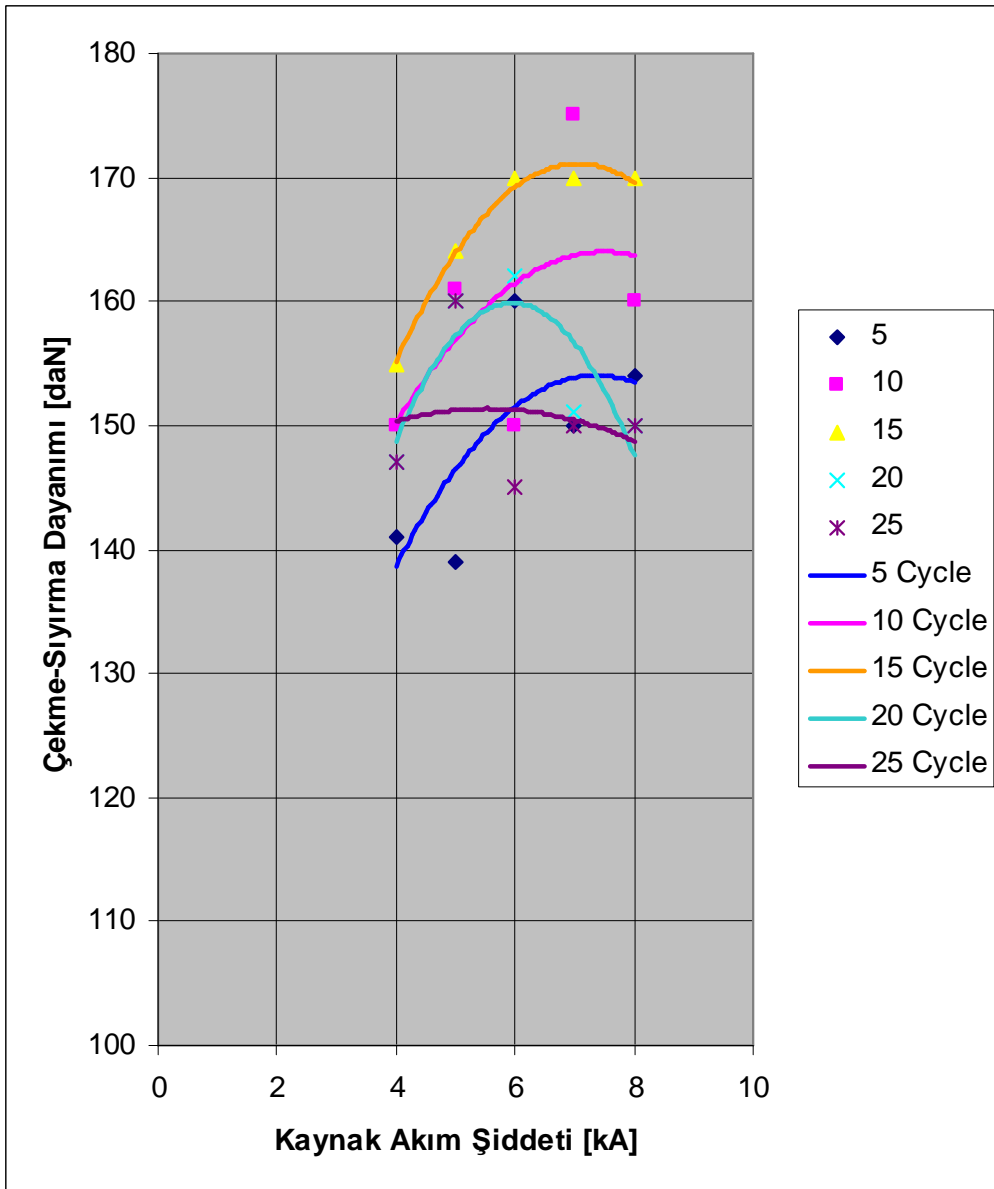
Şekil 5.9. 1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

### 5.3.2. Bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına kaynak akım şiddetinin etkisi

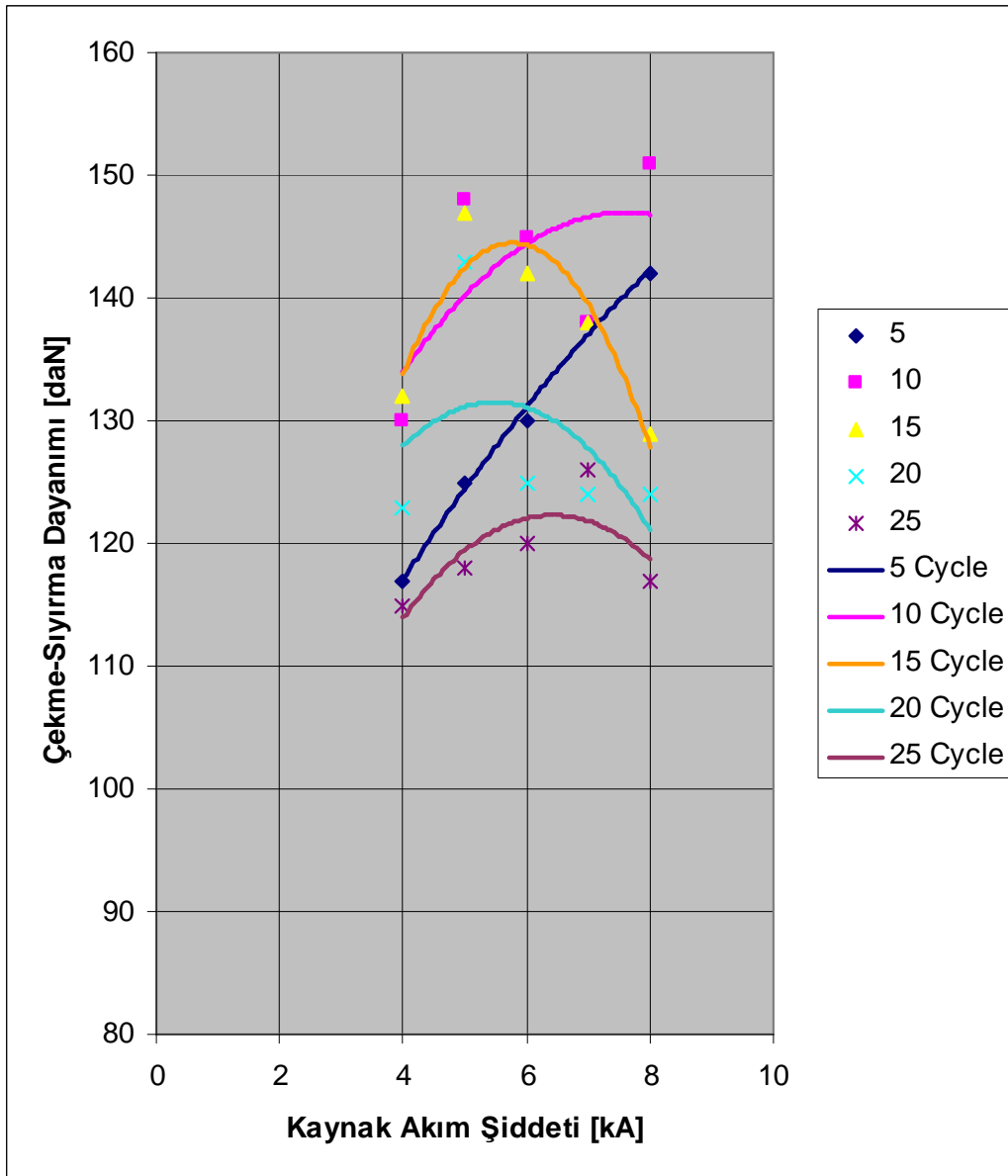
Dual-fazlı DP 600 saçlarda kalınlıklarına göre; 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm ve 1,0 mm - 1,2 mm bağlantılarda kaynak akım şiddetinin, çekme-sıyırma mukavemetine olan etkileri Şekil 5.10 - 5.12'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



Şekil 5.11. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi



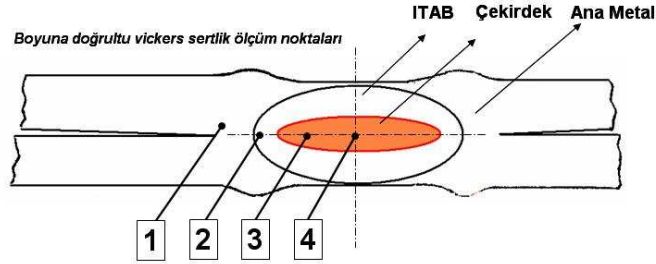
Şekil 5.12. 1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

#### 5.4. Bağlantıların Sertlik Değerleri

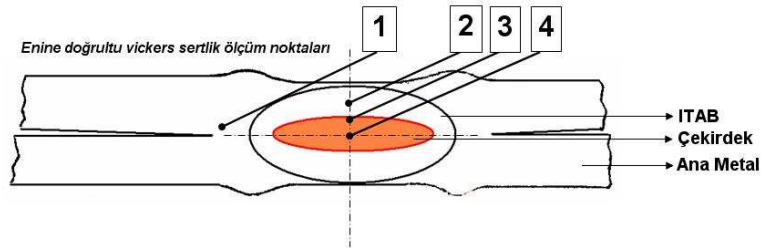
Nokta kaynağı yapılmış 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm kalınlıklardaki bağlantılarda, Şekil 5.13 - 5.14'de şematize edildiği biçimde, 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıklardaki bağlantılarda ise, Şekil 5.15'de şematize edildiği biçimde ana metalden, ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeğinden enine ve boyuna doğrultuda



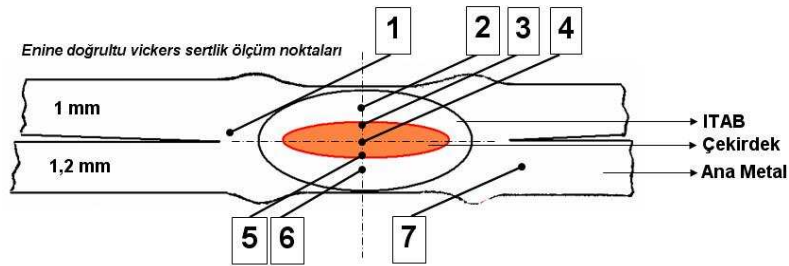
0,5 mm aralıklarla mikrosertlik değerleri ölçülmüş, ve oluşan grafikler Şekil 5.16 - 5.42'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Tüm bağlantılarda boyuna doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları

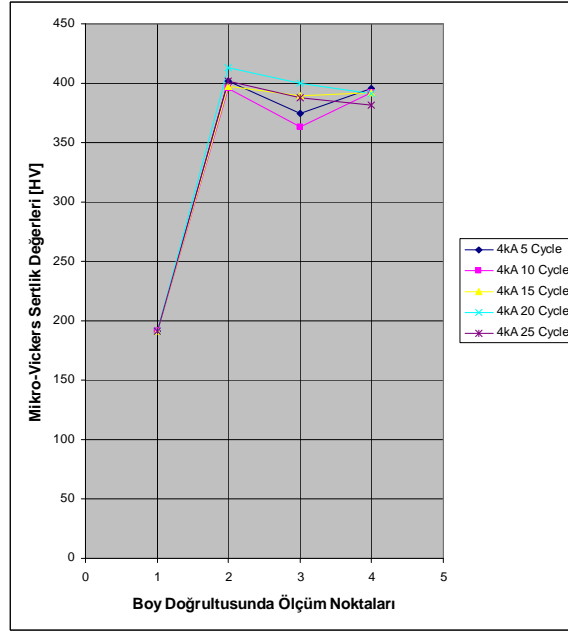


Şekil 5.14. 1 mm – 1 mm ve 1,2 mm – 1,2 mm bağlantılarda enine doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları

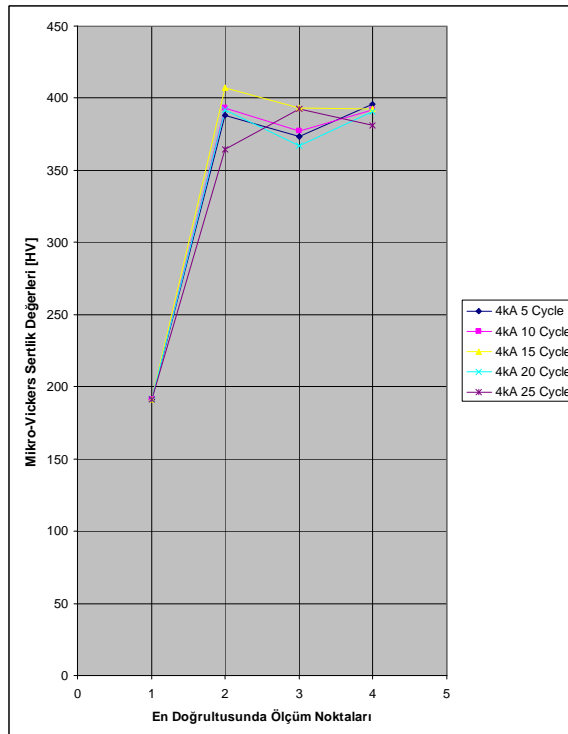


Şekil 5.15. 1 mm – 1,2 mm bağlantılarda enine doğrultuda yapılan mikrosertlik ölçüm noktaları

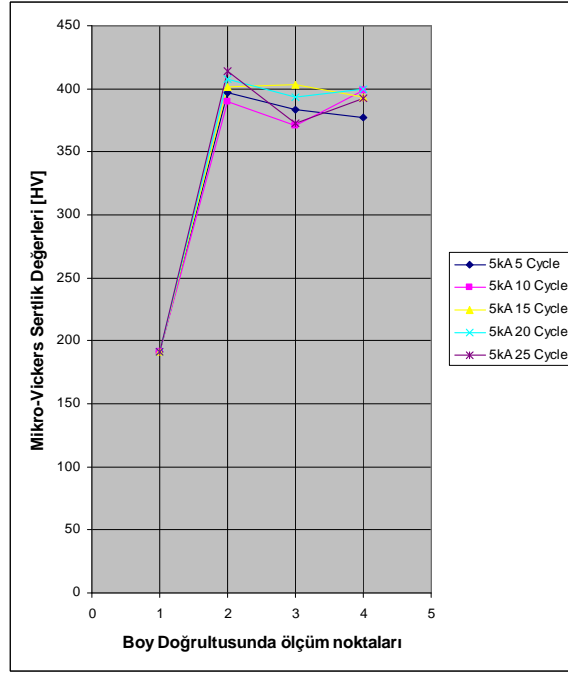
Numunelerin her üç kombinasyonunda yapılan direnç nokta kaynaklarında sertlik, esas metal bölgesinde yaklaşık 197 Hv değerlerinde ölçülmüşken kaynak çekirdeğine gidilirken gittikçe artmış ve kaynak bölgesinde yaklaşık 400 Hv olarak ölçülmüştür.



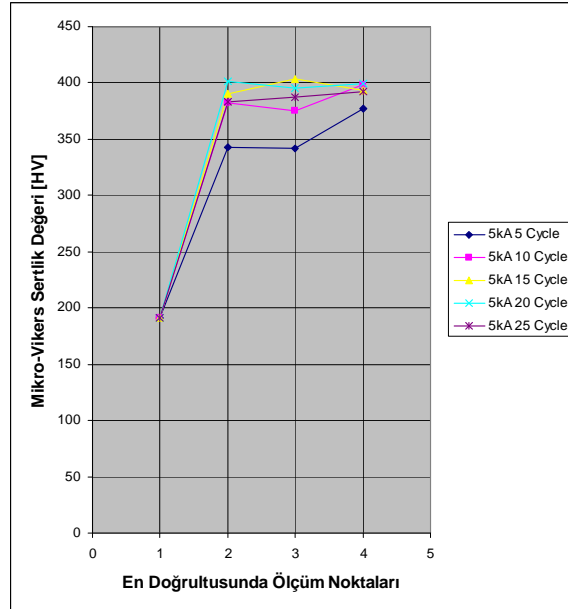
Şekil 5.16. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



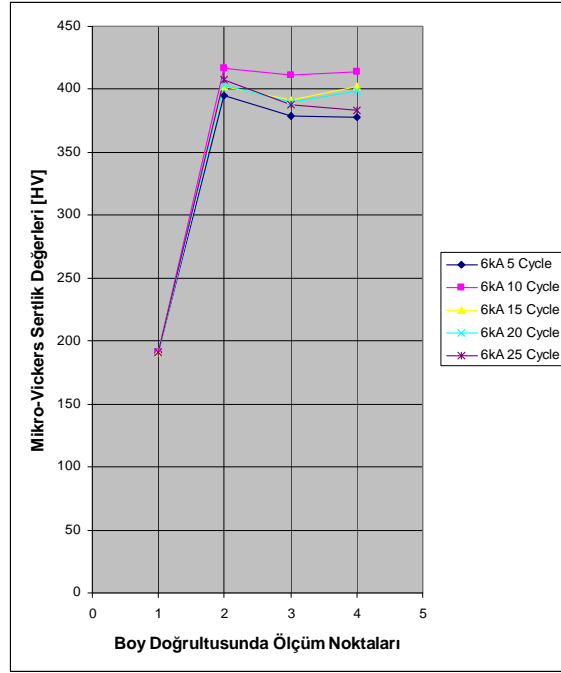
Şekil 5.17. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



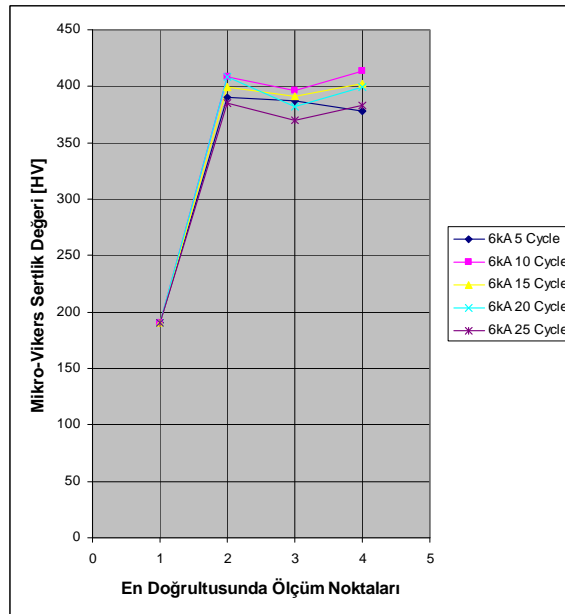
Şekil 5.18. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



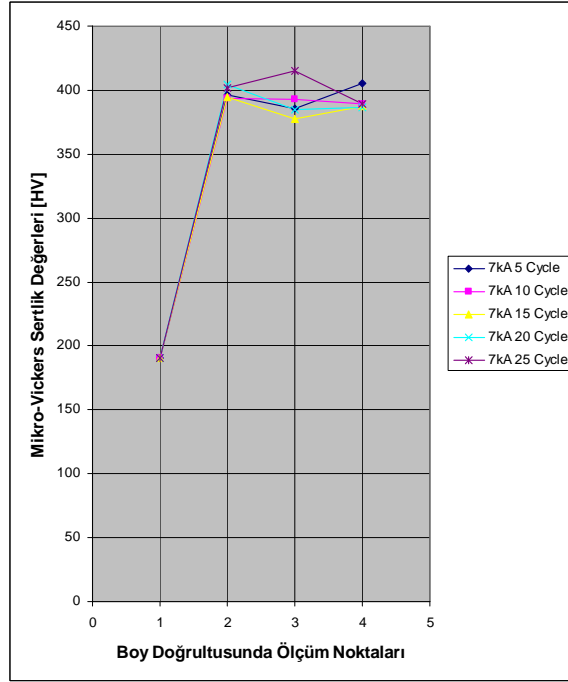
Şekil 5.19. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



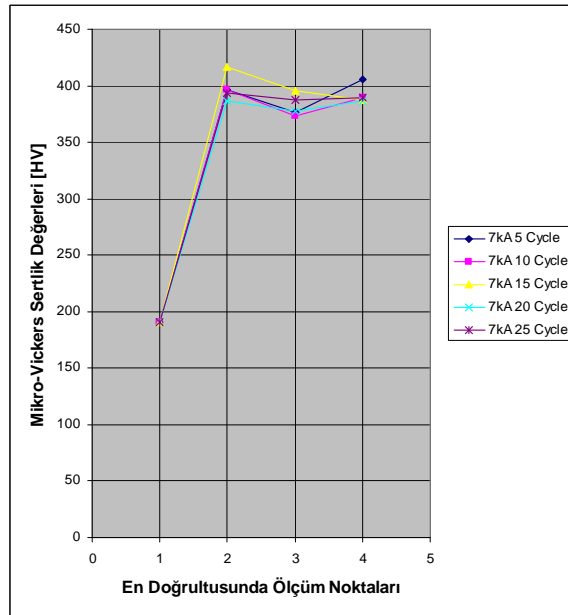
Şekil 5.20. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



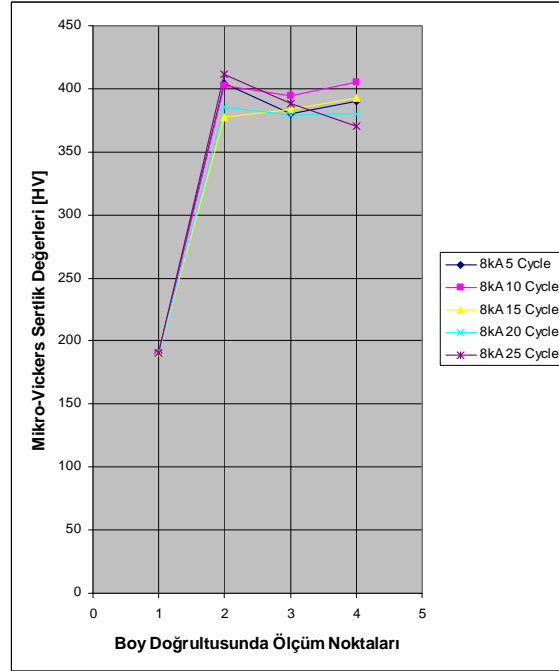
Şekil 5.21. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



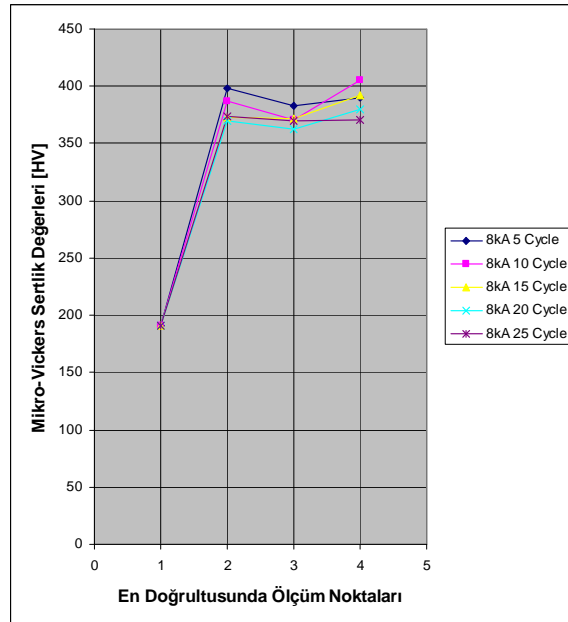
Şekil 5.22. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



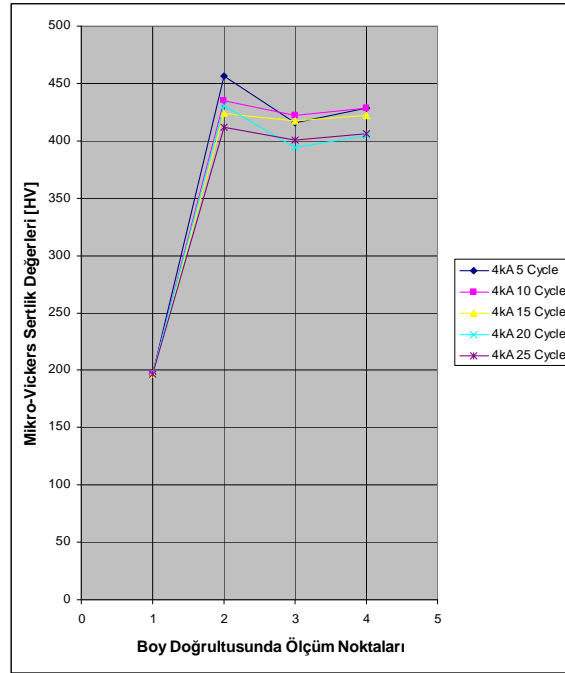
Şekil 5.23. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



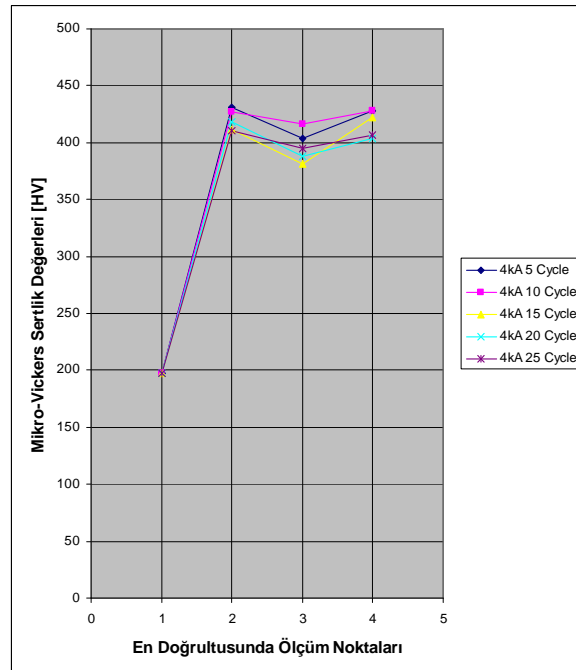
Şekil 5.24. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



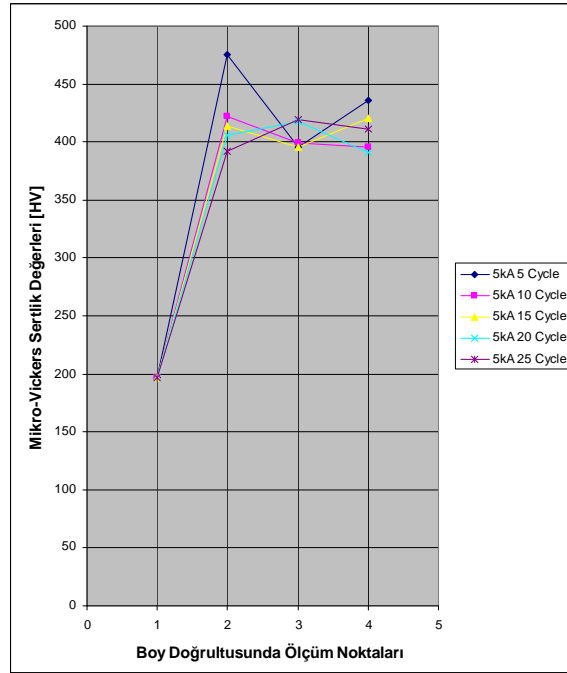
Şekil 5.25. 1 mm – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



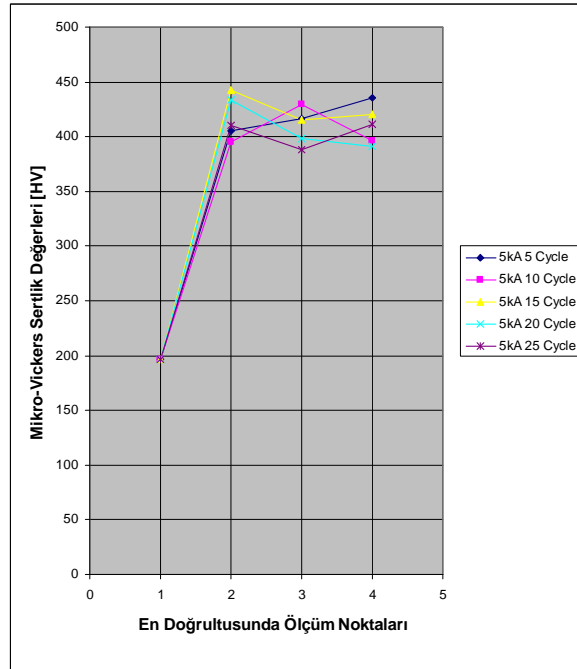
Şekil 5.26. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



Şekil 5.27. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri

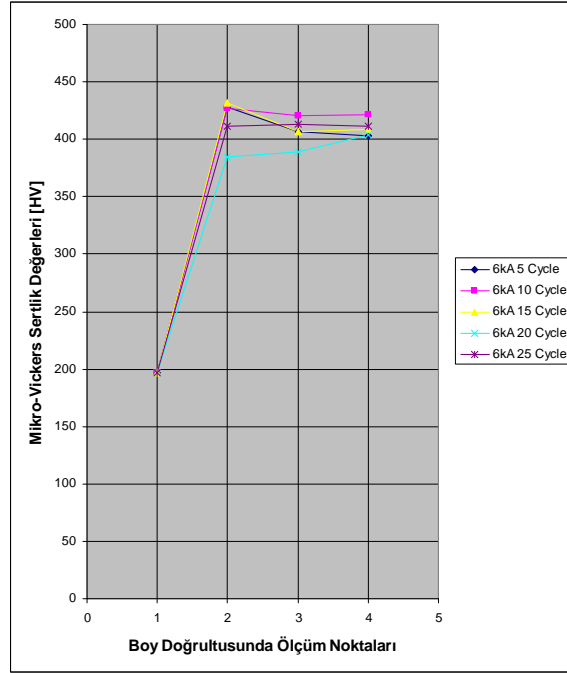


Şekil 5.28. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri

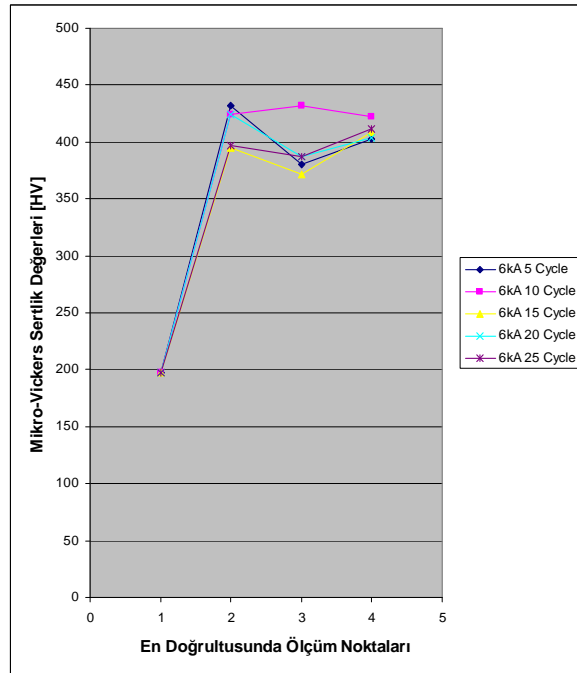


Şekil 5.29. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri

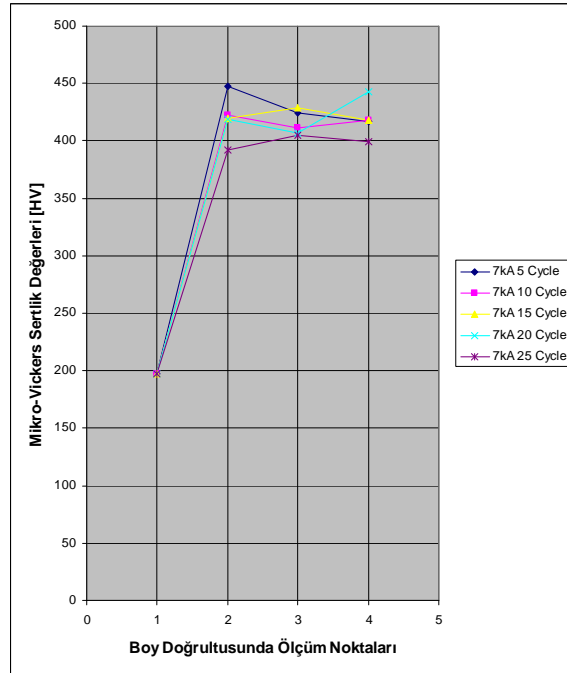




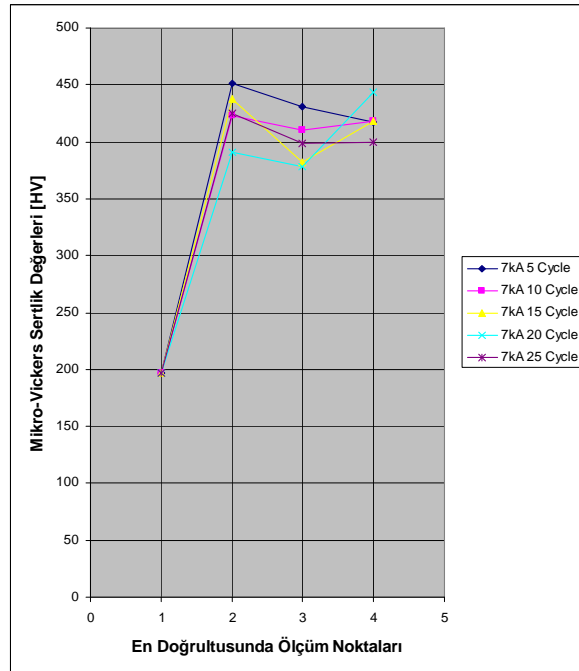
Şekil 5.30. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



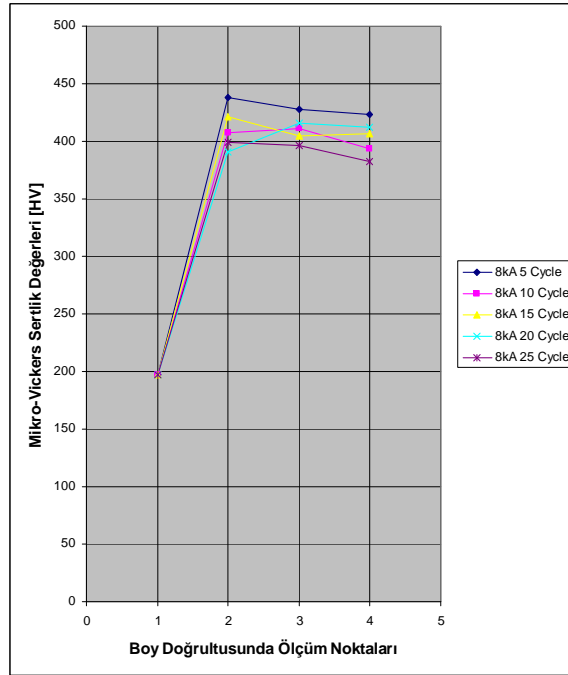
Şekil 5.31. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



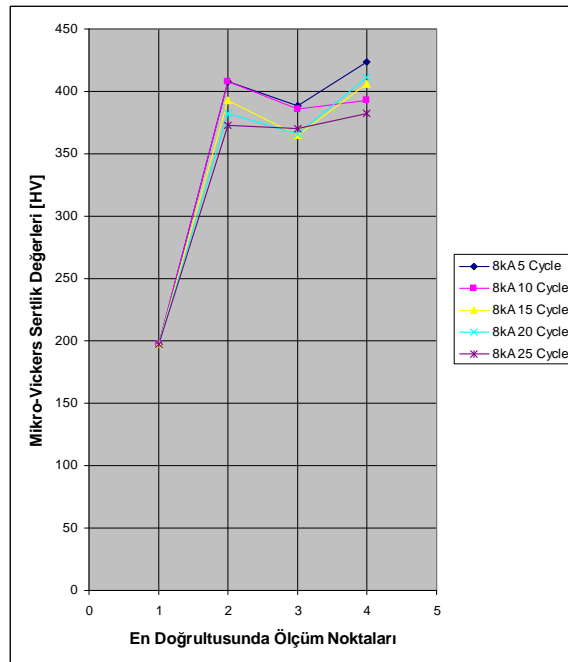
Şekil 5.32. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



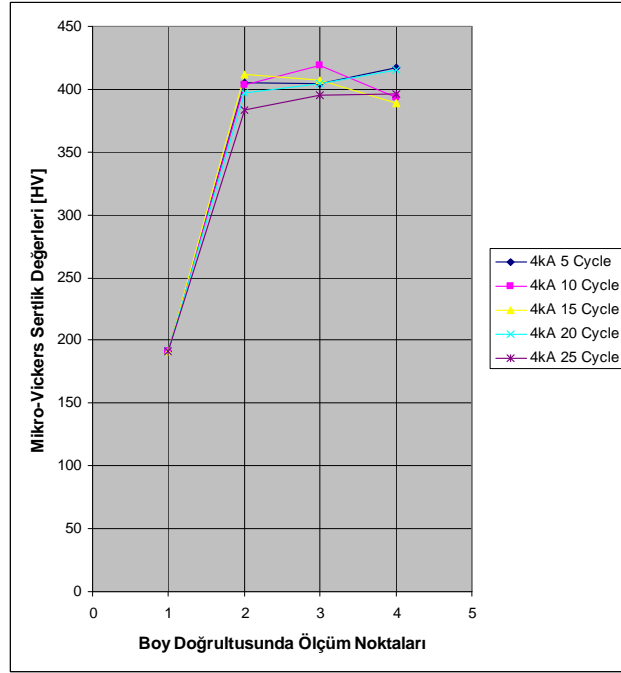
Şekil 5.33. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



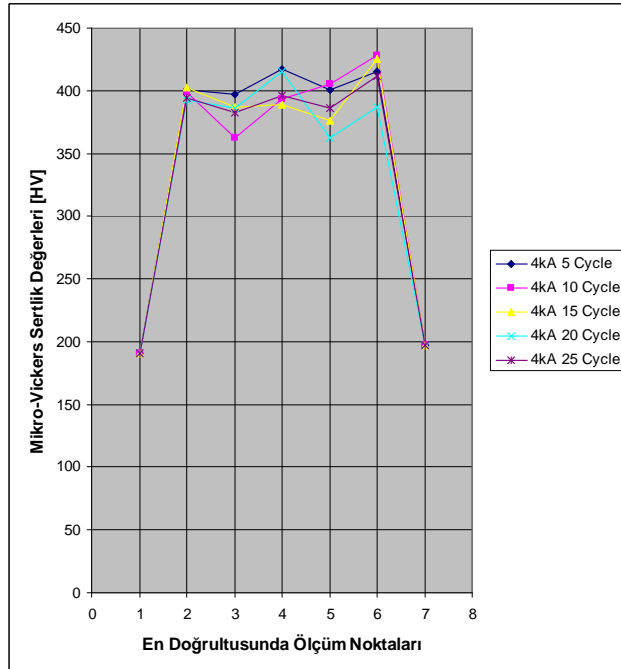
Şekil 5.34. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



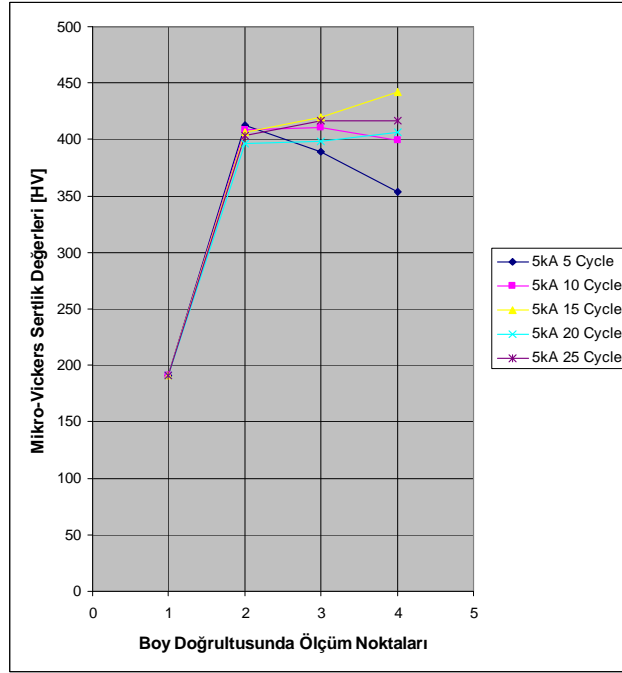
Şekil 5.35. 1,2 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



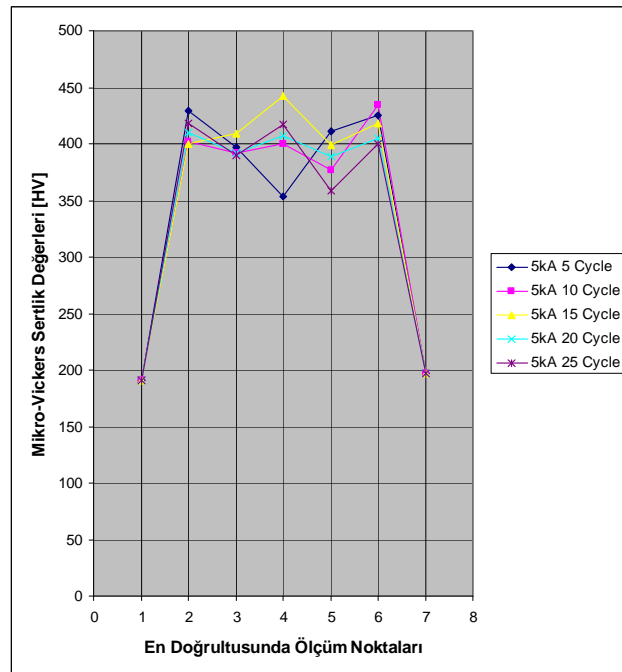
Şekil 5.36. 1 mm – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



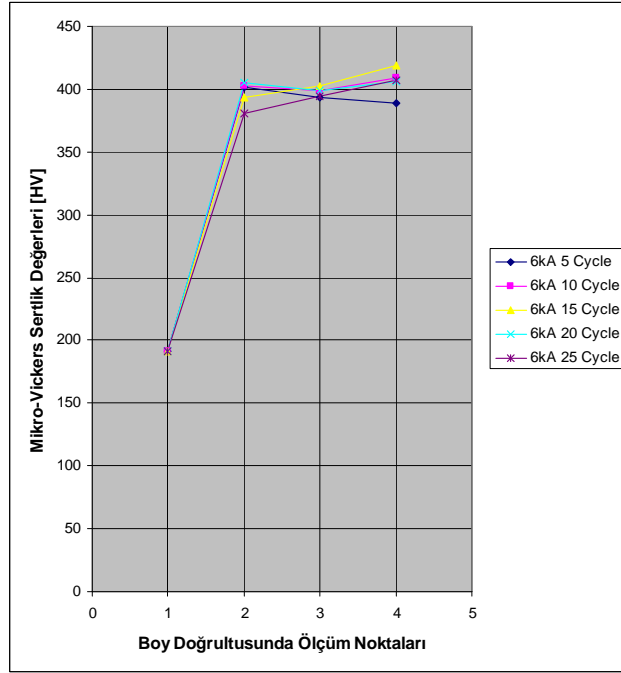
Şekil 5.37. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



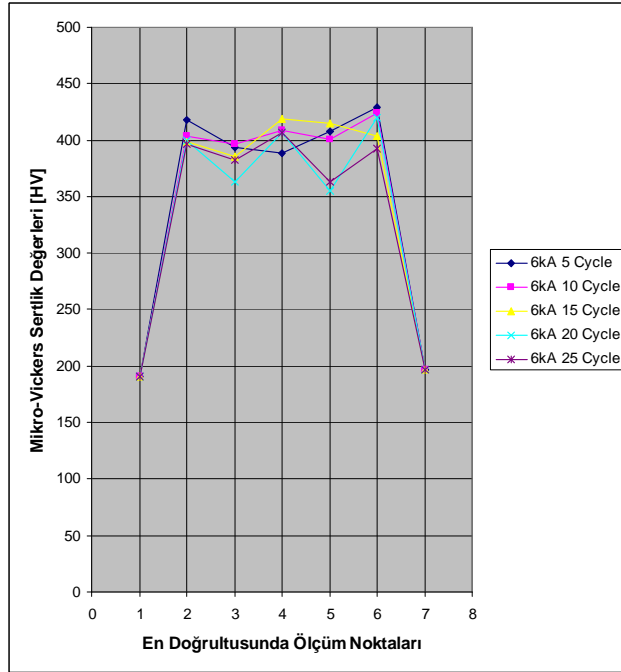
Şekil 5.38. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



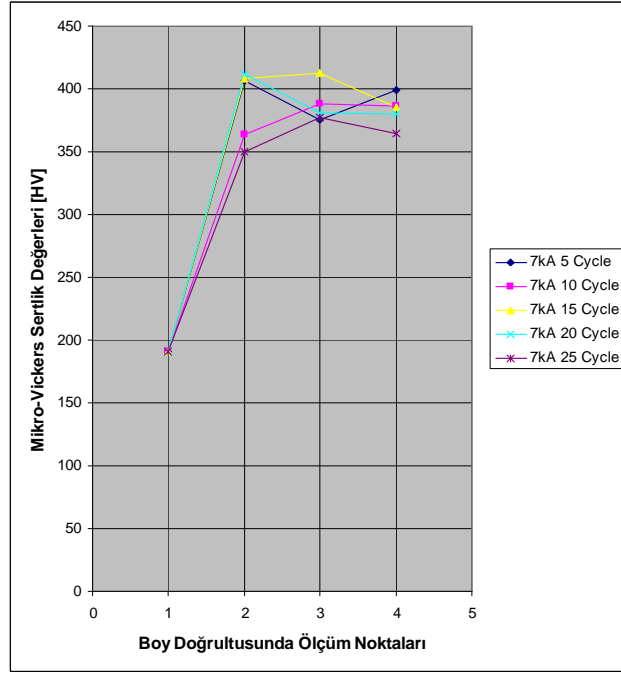
Şekil 5.39. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



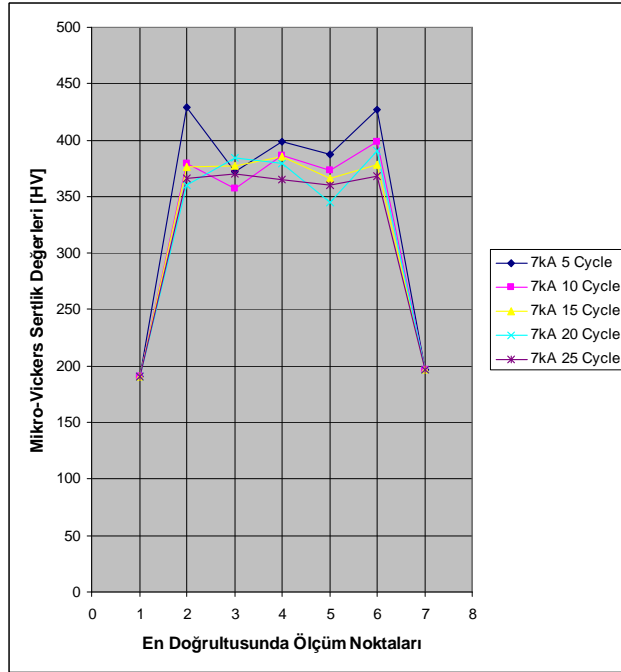
Şekil 5.40. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



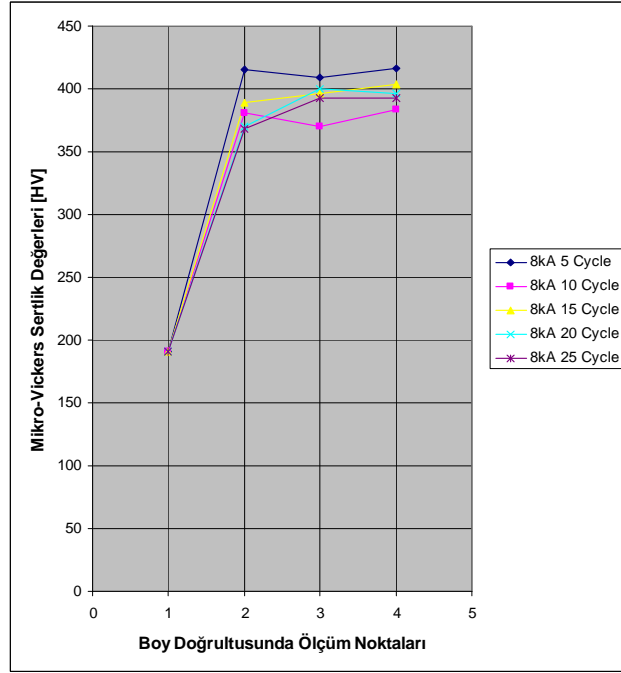
Şekil 5.41. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



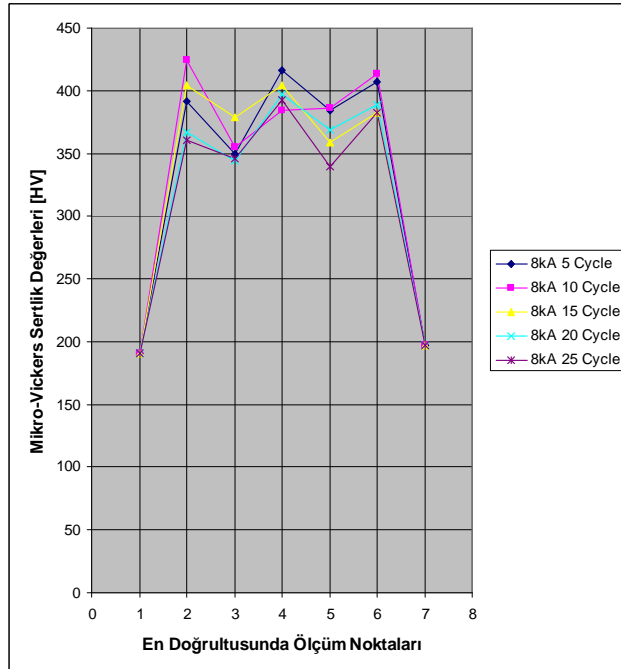
Şekil 5.42. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



Şekil 5.43. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 7kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



Şekil 5.44. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının boyuna doğrultuda sertlik değerleri



Şekil 5.45. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde kaynaklı bağlantının enine doğrultuda sertlik değerleri



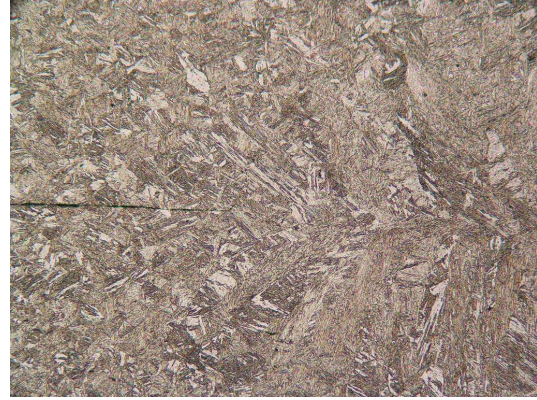
## 5.5.Mikroyapı Sonuçları

### 5.5.1. Optik mikroskopi

Nokta kaynağı yapılmış 1,0 mm - 1,0 mm, 1,2 mm - 1,2 mm ve 1 mm - 1,2 mm kalınlıklardaki bağlantılarda, x50 ve x100 büyütmelerde çekilen mikroyapılar Şekil 5.46 - 5.65'te verilmiştir.

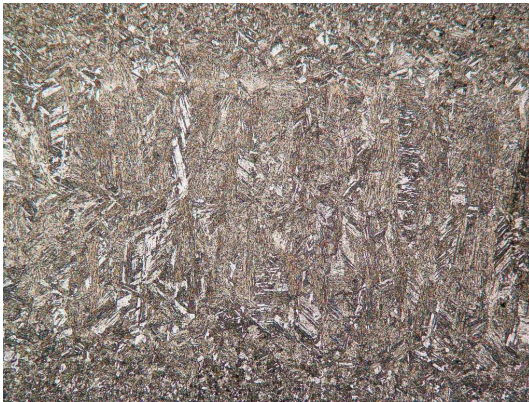


(a) x50



(b) x100

Şekil 5.46. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



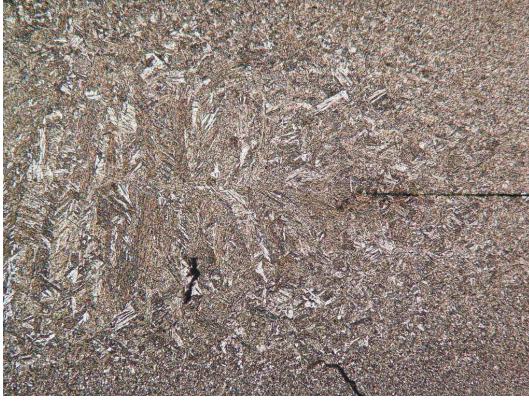
(a) x50



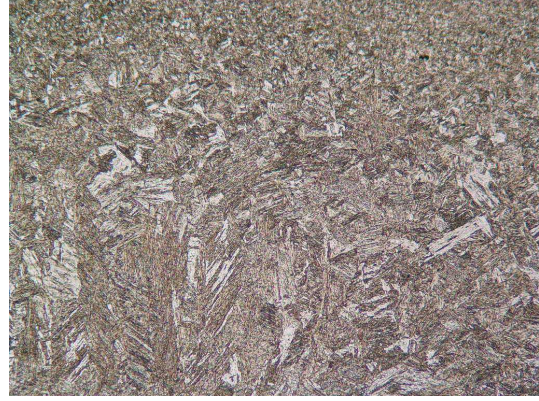
(b) x100

Şekil 5.47. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



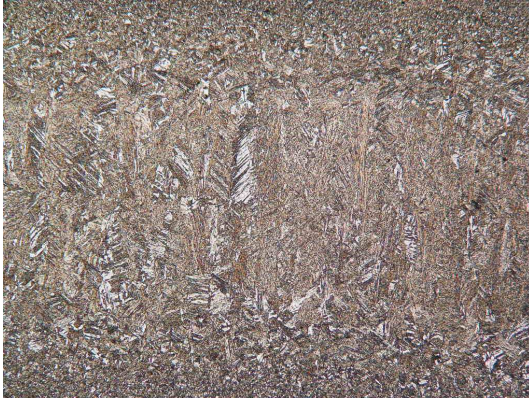


(a) x50

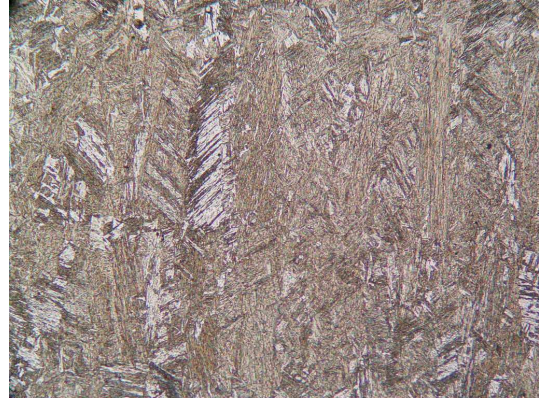


(b) x100

Şekil 5.48. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 10 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50

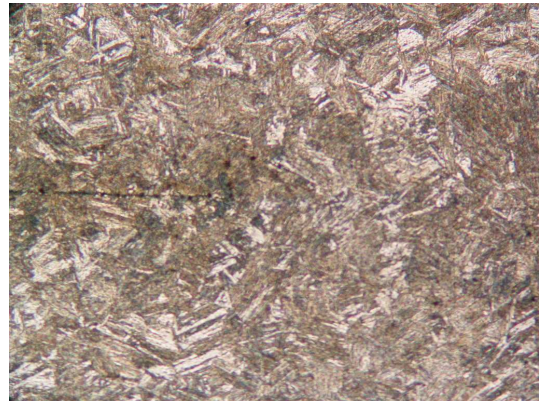


(b) x100

Şekil 5.49. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 10 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50



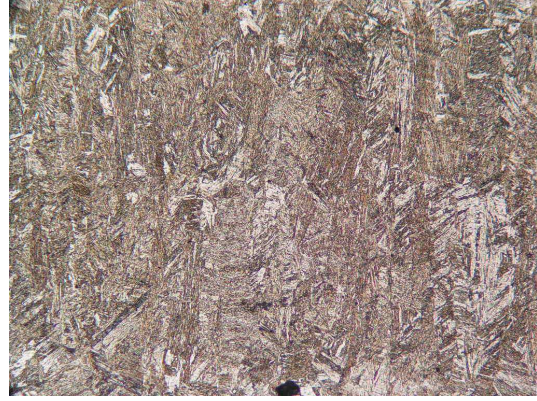
(b) x100

Şekil 5.50 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 15 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



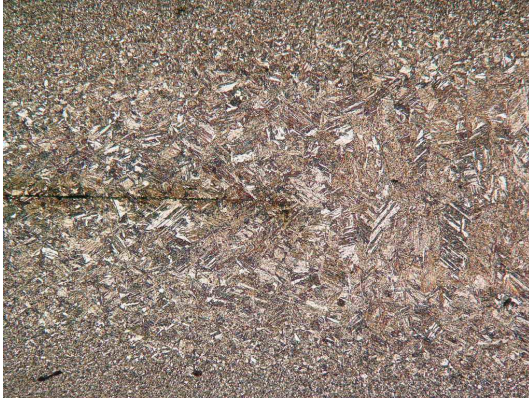


(a) x50

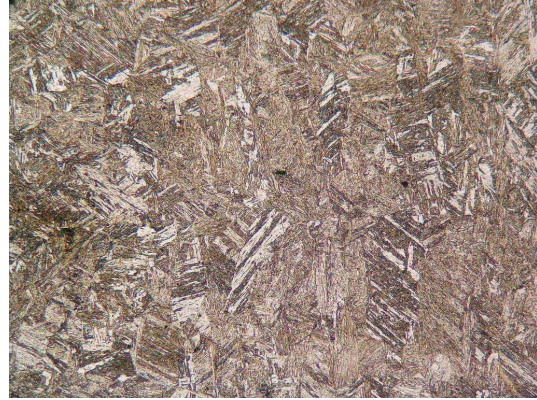


(b) x100

Şekil 5.51. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 15 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı

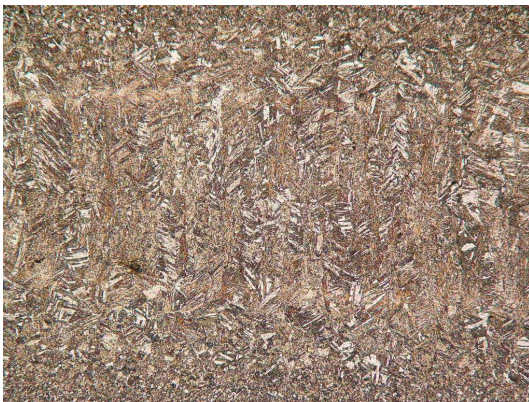


(a) x50

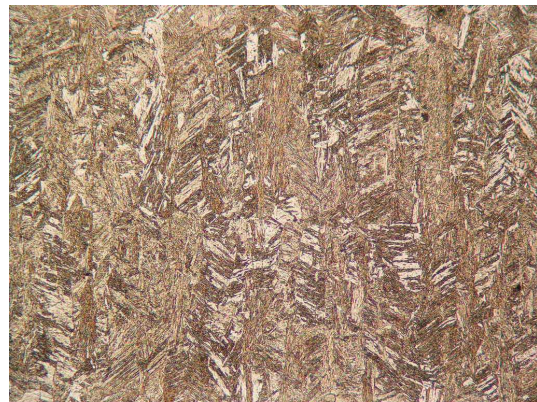


(b) x100

Şekil 5.52 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50



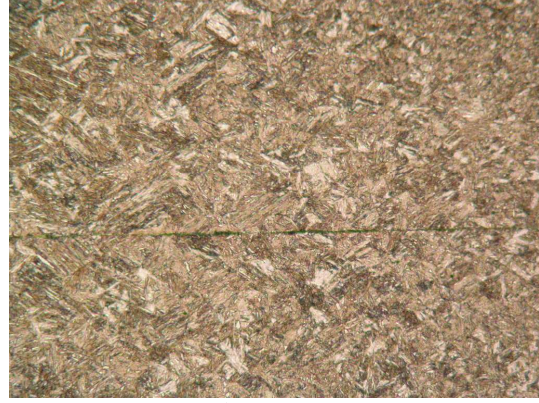
(b) x100

Şekil 5.53. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı





(a) x50

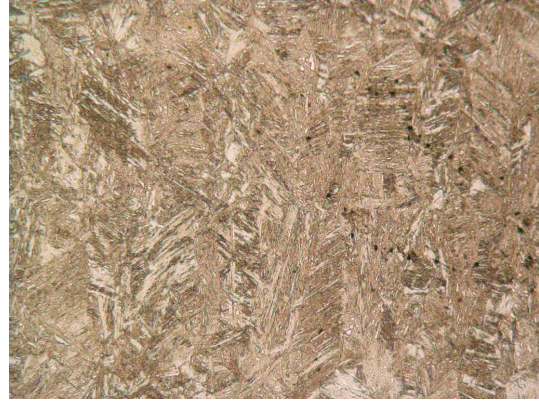


(b) x100

Şekil 5.54 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 25 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50

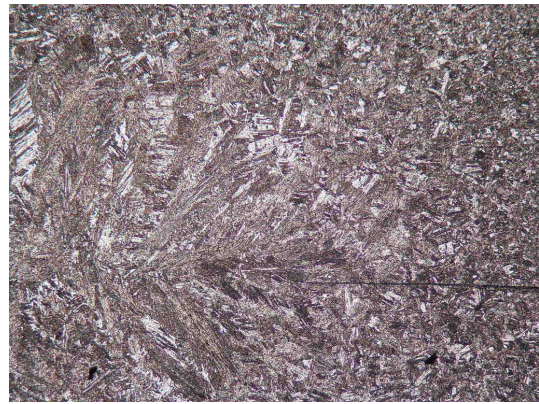


(b) x100

Şekil 5.55. 1 – 1 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 25 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50



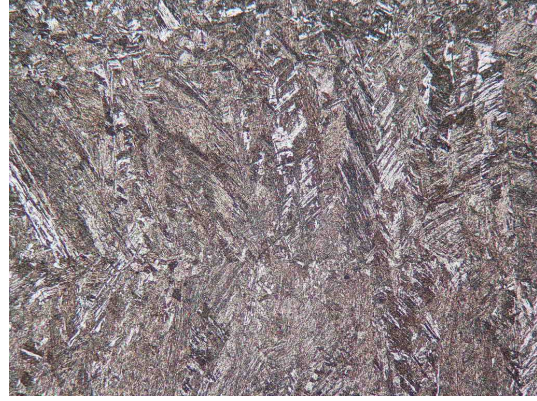
(b) x100

Şekil 5.56 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



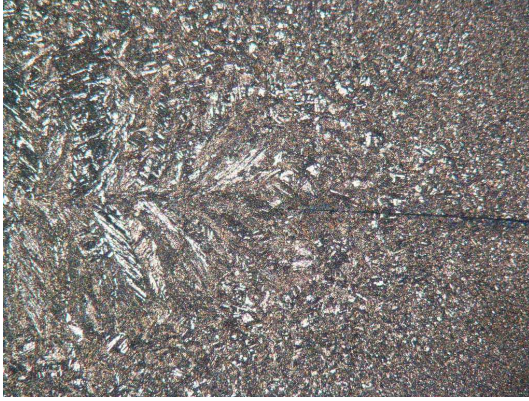


(a) x50

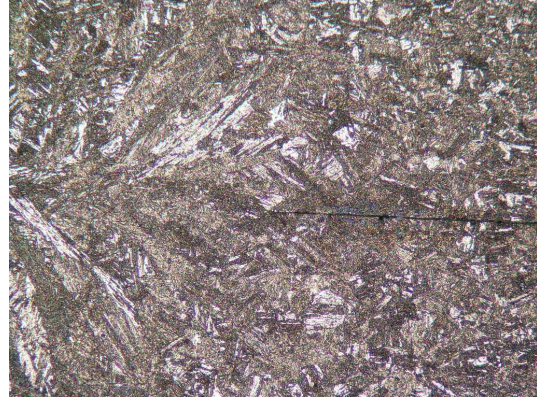


(b) x100

Şekil 5.57. 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 5kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı

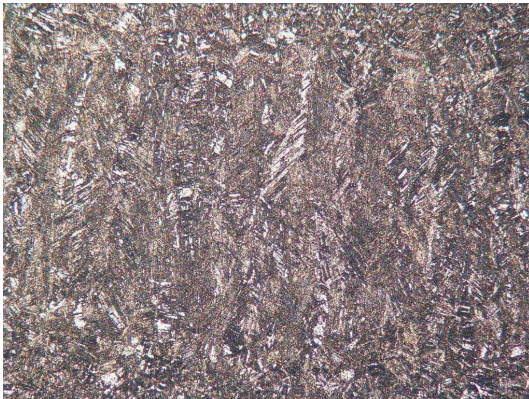


(a) x50

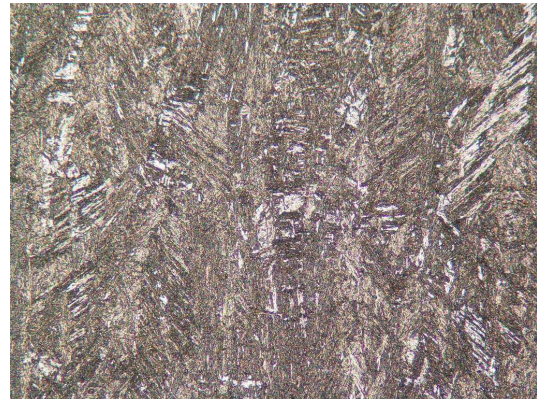


(b) x100

Şekil 5.58. 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı



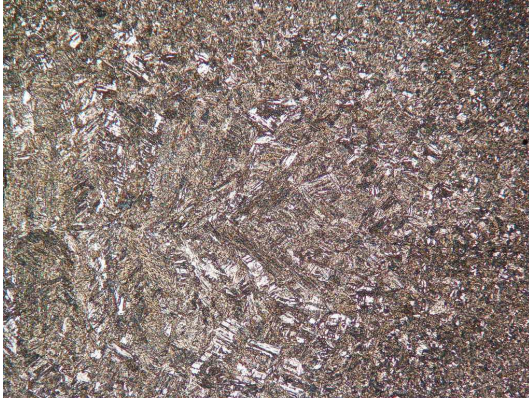
(a) x50



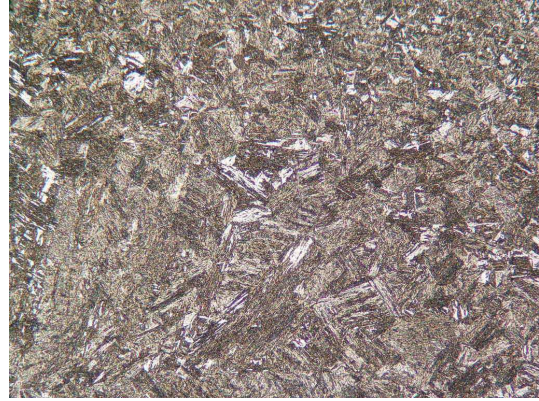
(b) x100

Şekil 5.59. 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



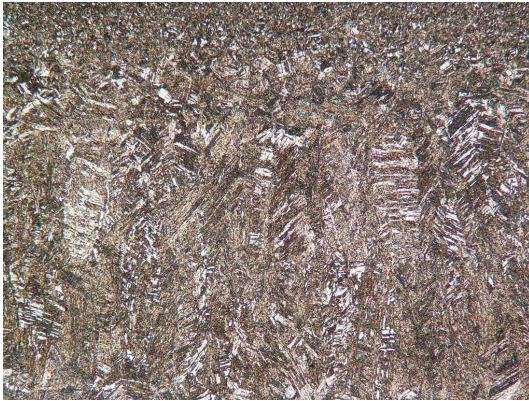


(a) x50

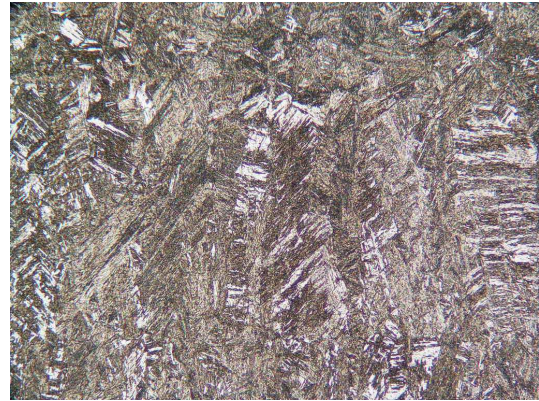


(b) x100

Şekil 5.60 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı

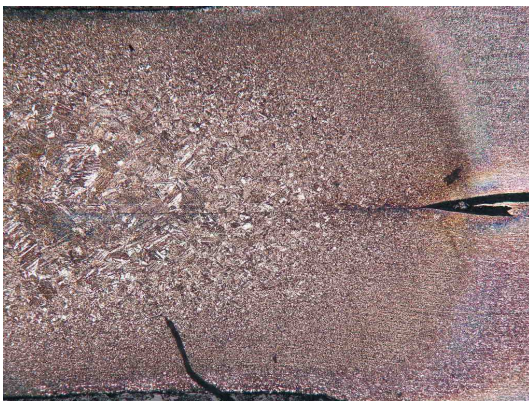


(a) x50

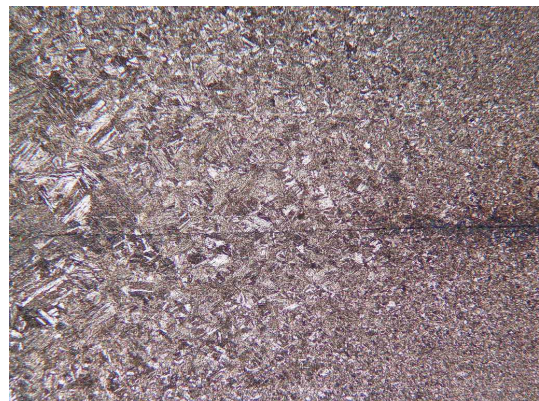


(b) x100

Şekil 5.61. 1,2 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 5 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50



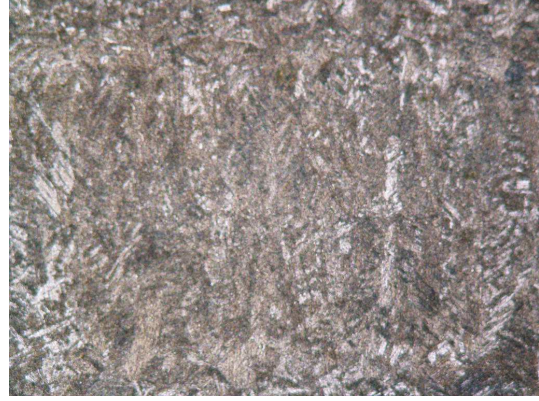
(b) x100

Şekil 5.62 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı





(a) x50

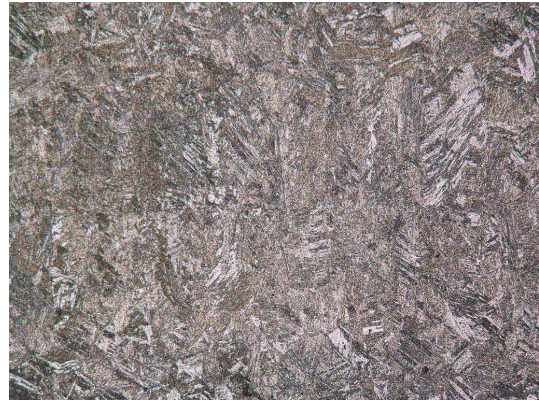


(b) x100

Şekil 5.63. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 4kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50

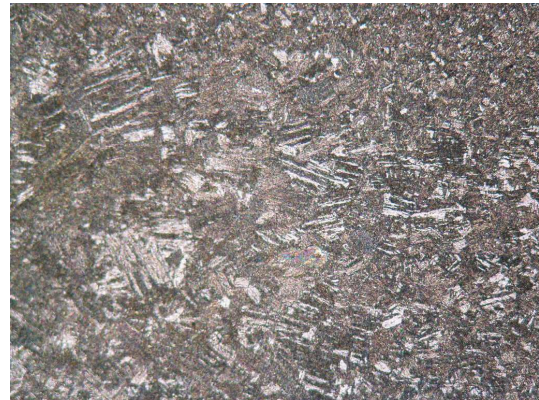


(b) x100

Şekil 5.64. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 6kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında çekirdek bölgesinde oluşan mikroyapı



(a) x50



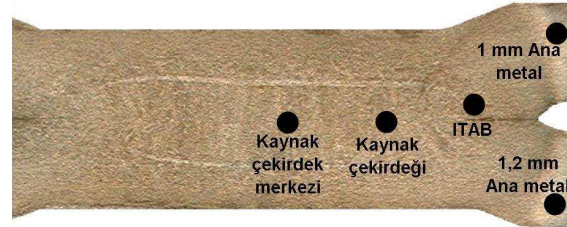
(b) x100

Şekil 5.65. 1 – 1,2 mm DP 600 sacların elektrik direnç nokta kaynağında 8kA kaynak akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı

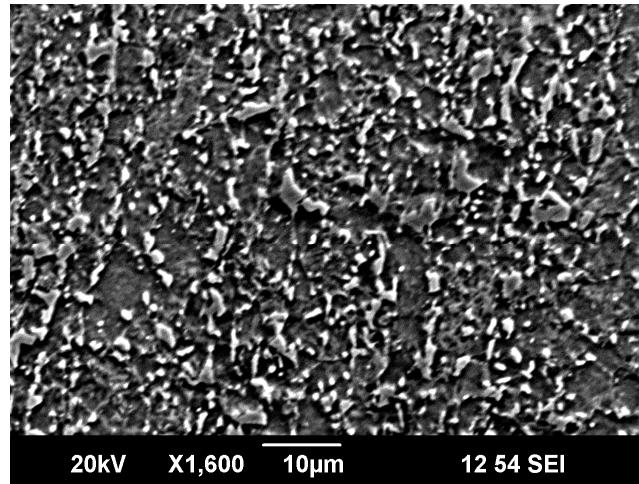


### 5.5.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDS analizleri

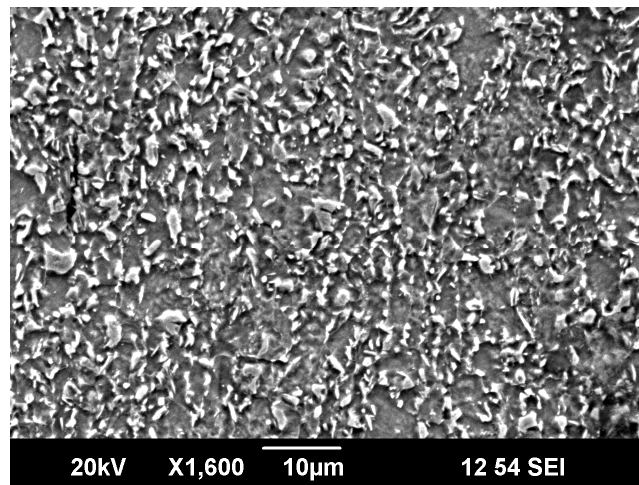
Şekil 5.67-5.71' de 1 mm ve 1,2 mm kalınlıklarındaki ana metalin, ısı tesiri altındaki bölgenin ve kaynak çekirdek bölgesinin SEM görüntüleri görülmekte olup görüntülenen noktalar şekil 5.66 da şematize edilmiştir.



Şekil 5.66. SEM çekimlerinde görüntülenen noktalar

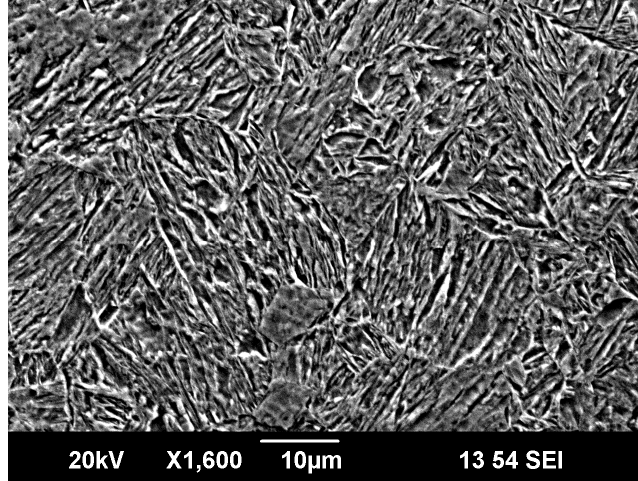


Şekil 5.67. 1,2 mm DP600 ana malzemenin SEM görüntüsü

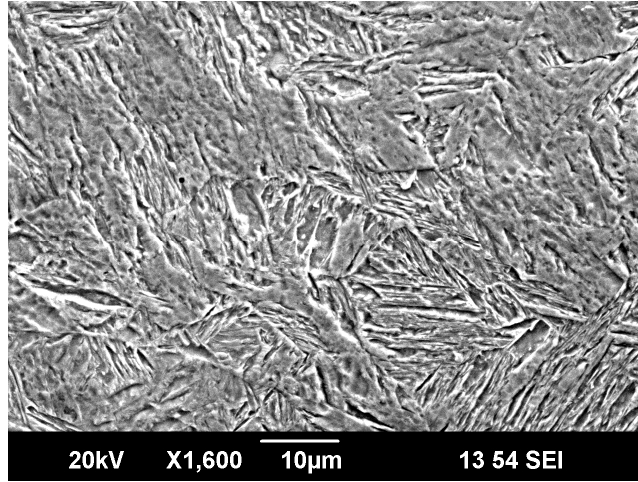


Şekil 5.68. 1 mm DP600 ana malzemenin SEM görüntüsü

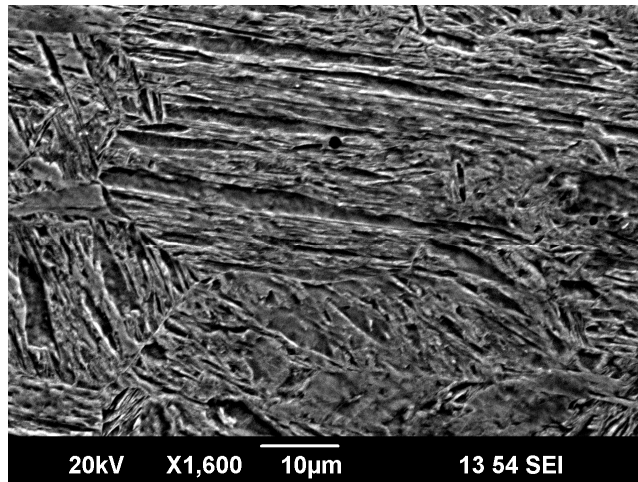




Şekil 5.69. 1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının ITAB bölgesi SEM görüntüsü

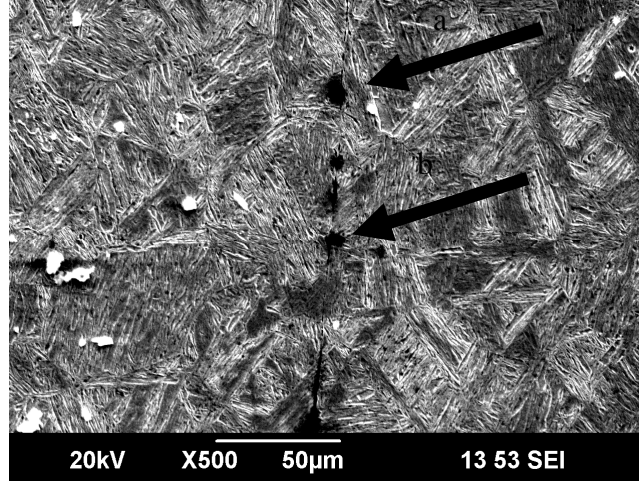


Şekil 5.70. 1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının kaynak çekirdeğine yaklaşıldıkça ortaya çıkan SEM görüntüsü

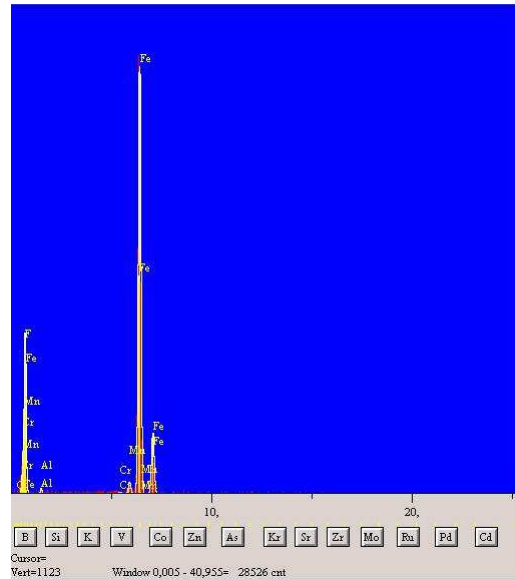


Şekil 5.71. 1 mm – 1,2 mm kaynaklı bağlantının kaynak çekirdek merkezi SEM görüntüsü

Mikroyapı incelemelerinde rastlanan kaynak hataları taramalı elektron mikroskopunda çeşitli büyümeler altında incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır.



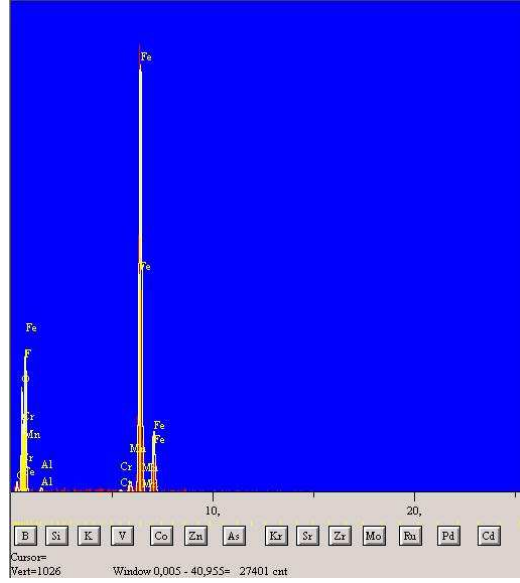
Şekil 5.72. ITAB'da, iki metalin temas bölgesinde rastlanan boşluklu mikroyapının SEM görüntüsü



Şekil 5.73. Şekil 5.72 (a) noktasında görüntülenen impüritenin EDS analizi

Tablo 5.1. Şekil 5.72 (a) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

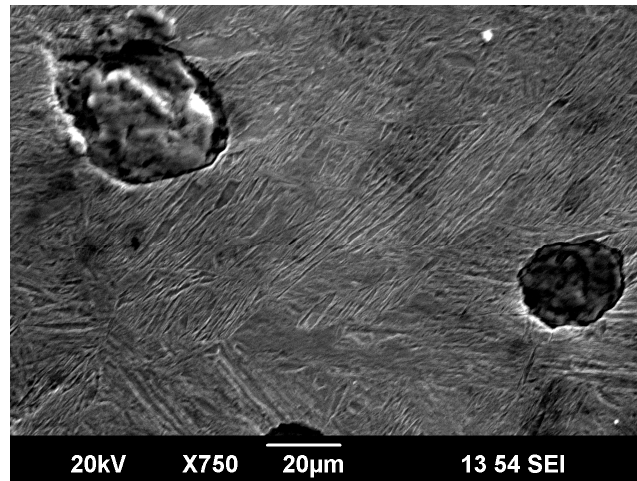
El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	0,05	0,063	0,051	wt. %
F	Ka	28,75	1,517	6,476	wt. %
Al	Ka	2,84	0,477	0,711	wt. %
Cr	Ka	1,22	0,312	0,151	wt. %
Mn	Ka	8,32	0,816	1,820	wt. %
Fe	Ka	333,26	5,163	90,791	wt. %
				100,000	wt. % Total



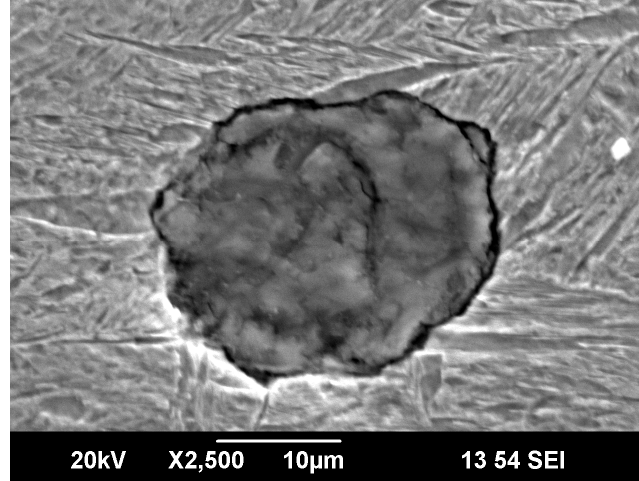
Şekil 5.74. Şekil 5.72 (b) noktasında görüntülenen impüritenin EDS analizi

Tablo 5.2. Şekil 5.72 (b) noktasında gösterilen yapının kimyasal içeriği

Elm.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	4,24	0,582	3,773	wt. %
O	Ka	31,32	1,583	10,347	wt. %
F	Ka	17,21	1,173	4,931	wt. %
Al	Ka	2,25	0,424	0,506	wt. %
Cr	Ka	1,56	0,353	0,191	wt. %
Mn	Ka	7,03	0,750	1,477	wt. %
Fe	Ka	303,78	4,929	78,774	wt. %
				100,000	wt. % Total

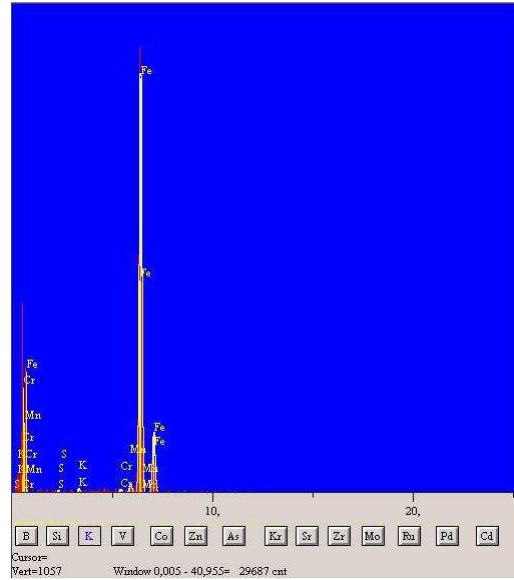


(a)



(b)

Şekil 5.75. Mikroyapı incelemelerinde çekirdek bölgesinde dağınık olarak gözükten boşlukların SEM görüntüsü (a ve b)



Şekil 5.76. Şekil 5.75'de görüntülenen impüritenin EDS analizi

Tablo 5.3. Şekil 5.75'de verilen yapının kimyasal içeriği

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc
C	Ka	4,24	0,582	3,773 wt.%
O	Ka	31,32	1,583	10,347 wt.%
F	Ka	17,21	1,173	4,931 wt.%
Al	Ka	2,25	0,424	0,506 wt.%
Cr	Ka	1,56	0,353	0,191 wt.%
Mn	Ka	7,03	0,750	1,477 wt.%
Fe	Ka	303,78	4,929	78,774 wt.%
				100,000 wt.% Total

Element analizi sonuçları incelendiğinde, boşlukların içerisinde krom karbür bileşikleri bulunduğu, flor elementi bulunmasının ise SEM ölçüm cihazı ortamından kaynaklandığı düşünülmektedir.

## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

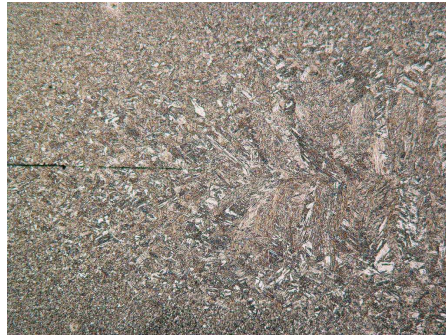
1. Çekme - makaslama diyagramları incelendiğinde; 1,0 mm - 1,0 mm kalınlıktaki bağlantılarda en yüksek çekme-makaslama kuvveti değerine 10 periyot kaynak zamanı ve 4 kA kaynak akım şiddetinde; 1,2 mm - 1,2 mm kalınlıklarda ise maksimum çekme-makaslama kuvvetine 12 periyot kaynak zamanı ve 7 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülür. Bu değerlerden sonra çekme-makaslama kuvveti hızla düşmektedir. Bunun nedeninin, malzemeye elektrot kuvvetinin etkisiyle elektrotun dalması ve sıçramaların fazlaşması olduğu düşünülmektedir. Kaynak zamanının artmasıyla ve kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile kaynak bölgesinde sıçramalar çoğalır; diğer bir deyişle kaynak bölgesinde malzeme kayıpları artar. Bu da çekirdek çapının büyümesine ve çekirdek yüksekliğinin azalmasına neden olur. Bundan dolayıdır ki mukavemet hesaplamalarında çekirdek yüksekliği/ çekirdek çapı oranı kullanılır. 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıklarla elde edilen bağlantıda en yüksek çekme-makaslama kuvvetine ise 11 periyot kaynak zamanında ve 8 kA kaynak akım şiddetinde erişildiği görülmektedir. Burada önemli olan husus farklı kalınlıktaki saclarla çalışıldığı için çekirdek geometrisinde bozulma olduğu ve simetrisinin değiştiğidir.

2. Çekme - sıyırma diyagramları incelendiğinde; her üç birleştirmede elde edilen çekme-sıyırma mukavemeti sonuçları incelendiğinde; maksimum çekme-sıyırma kuvveti değerlerine 1,0 mm - 1,0 mm birleştirmede 12 periyot kaynak zamanında 7 kA kaynak akım şiddetinde; 1,2 mm - 1,2 mm birleştirmede 15 periyot kaynak zamanında 7 kA kaynak akım şiddetinde ve son olarak da farklı kalınlıktaki 1,0 mm - 1,2 mm bağlantıda 15 periyot kaynak zamanında 6 kA kaynak akım şiddetinde ulaşıldığı görülmüştür.

3. Numunelerin her üç kombinasyonunda yapılan direnç nokta kaynaklarında sertlik, esas metal bölgesinde yaklaşık 197 Hv değerlerinde ölçülmüşken kaynak çekirdeğine

gidilirken gittikçe artmış ve kaynak bölgesinde yaklaşık 400 Hv olarak ölçülmüştür. Literatürde kaynak çekirdeği (weld nugget) için öngörülen sertlik değeri 350 Hv civarındadır. Bu çalışmada 50 Hv fazla sertlik görülmesinin sebebinin, kaynak işlemine başlanmadan numunelere hiç ön-tavlama yapılmaması olduğu düşünülmektedir. Ön-ısıtma ile kaynak çekirdeğinde sertlik değeri bir miktar düşürülerek daha sünek bir dikiş elde edilebilir.

4. Şekil 6.1’de sacların esas metal bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölgesi (ITAB) birlikte görülmektedir. Solda ortada saclar arası birleşme bölgesi görülmektedir. Sağa doğru ilerlendiğinde tane irileşmesi gözlenmektedir. Bunun nedeni kaynak yapabilmek için malzemeye yüksek ısı verilmesidir. Kaba taneli yapı ince taneli yapıya göre daha düşük mukavemet gösterir. Kaynaklı bağlantılara uygulanmış olan çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde kopmaların ince taneli kaynak çekirdeğinden değil de kaba taneli, çekirdeğe çok yakın ITAB bölgesinden olması da bu yüzden diye düşünülmektedir.



Şekil 6.1.4 kA, 5 periyotta nokta kaynağı yapılmış parçada esas metalden ITAB’a geçiş bölgesi (x50)

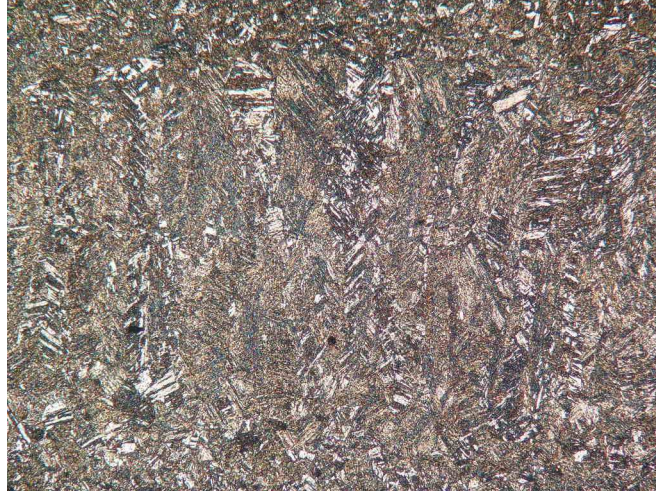
Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde ideal kaynak akım şiddeti ve kaynak akım zamanı değerleri belirlenmiş idi. Bu değerlerde nokta kaynağı yapılan numunelerin mikroyapı fotoğrafları da burada örnek olarak verilmiştir. Şekil 6.2’de 1,0 mm - 1,0 mm kombinasyonunda 4 k A kaynak akım şiddetinde 10 periyot kaynak akım zamanında yapılan kaynakta elde edilen çekirdek bölgesi (weld nugget) görülmektedir.



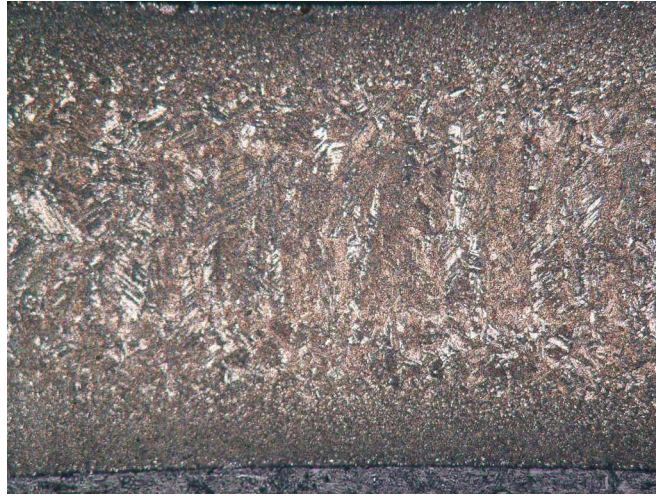


Şekil 6.2.1, 1,0 mm - 1,0 mm sacda 4 kA, 10 periyotta nokta kaynağı yapılmış parçada kaynak bölgesi  
(x50)

Şekil 6.3'te 1,2 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde kaynak çekirdeğinin içi görülmektedir. 7 kA kaynak akım şiddetinde 12 periyot kaynak akım zamanında nokta yapılmış numunenin çekirdeğinde yine dendritik katılaşma sonucu oluşan martenzitik tane yapısı göze çarpmaktadır. Şekil 6.4'te ise 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde ideal kaynak parametresi olarak belirlenen 8 kA akım şiddetinde 11 periyot zamanda yapılan nokta kaynak bölgesi görülmektedir. Martenzit iğneciklerinin etrafında beyaz renkte görülen bölgeler ferrit fazıdır. Kaynak banyosunun soğuması ile döküm imalat yönteminin katılaşması arasında benzerlik vardır. Şekil 6.5'te ise yine 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde 8kA, 10 periyotta kaynak bölgesinde meydana gelen simetri bozulması görülmektedir. Parçalar farklı kalınlıkta olduğunda kaynak işlemi sırasında elektrot baskı kuvveti sacları farklı oranlarda sıkıştırmakta bu da nokta geometrisini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 6.3. 1,2 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde kaynak çekirdeği (x50)



Şekil 6.4. 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde 8 kA, 10 cycle kaynak çekirdeği (x50)



Şekil 6.5. 1,0 mm - 1,2 mm kalınlıktaki numunelerde 8 kA, 10 periyot kaynak parametresinde kaynak çekirdeği çevresinde simetrik çekirdek geometrisinin bozulması (x50)



5. Eğer dual faz çelikler otomotiv sektöründe kullanılacak ise kullanım yerinin çok iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Yüksek dayanım istenen yerlerde üst parametrelerin tercih edilmesi önerilir. Tercih edilen üst parametrelerde, malzeme yüzeyinde derin elektrot izleri olmasına rağmen dayanımın yüksek olması tercih sebebidir. Görünüm özelliği olan bölgelerde ise alt parametrelerin kullanılması önerilir. IIW'nin kabul ettiği elektrot dalma derinliği malzeme kalınlığının %20'sidir.

6. Yapılan incelemeler sonucunda çekme-sıyırma dayanımlarının, çekme-makaslama dayanımlarının yaklaşık %50'si civarında olduğu tespit edilmiştir. Çekme-sıyırma dayanımına maruz kalan bölgelerde dual faz çelikler kullanılacak ise parametrelerin buna göre seçilmesi gerekir.

7. Bu alışmalar ışığında kaynak parametrelerinin çekirdek çapına, çekirdek çap boyut oranına ve çekirdek yüksekliğine etkileri incelenebilir. Kullanıcılar için Weld lob diyagramları çıkarılabilir.

8. Dual faz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi dışında, otomotiv sektöründe kullanılan diğer kaynak yöntemlerinin de incelemeleri ve karşılaştırmaları yapılabilir.

9. Dual faz çeliklerin bu parametrelerde yorulma davranışları incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] FALLAHI, A., “Microstructure-Properties Correlation of Dual Phase Steels Produced by Controlled Rolling Process”, J. Mater. Sci. Technol, V01.18 No.5, 2002
- [2] CHAKRABORTI, P.C., MITRA, M.K., “Microstructure and tensile properties of high strength duplex ferrite-martensite (DFM) steels”, Materials Science and Engineering, 123-133, 2007
- [3] ZHANG, X.Q., CHEN, G.L., ZHANG, Y.S., “Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels”, Materials and Design, Volume 29, Issue 1, 279-283, 2008
- [4] MA, C., CHEN, D.L., BHOLE, S.D., BOUDREAU, G., LEE, A. BIRO, E., “Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel”, Materials Science and Engineering: A, in-press
- [5] SENKARA, J., ZHANG, H., HU, S.J., Welding Journal Int., 83, 123-132, 2004
- [6] ZHANG, H., Welding Research Supp., 11, 373-380, 1999
- [7] TANG, H., HOU, W., HU, S.J., “Influence of welding machine mechanical characteristics on the resistance spot welding process and weld quality”, Welding Journal Int., 5, 116-124, 2003
- [8] HOLIDAY, R., PARKER, J., WILLIAMS, N.T., “Relative contribution of electrode tip growth mechanisms in spot welding zinc coated steels”, Weld World, 37(4), 186-193, 1996
- [9] CHATTERJEE, K.L., WADDELL, W., “Electrode wear during spot welding of coated steels”, Welding Materials Fabrication, 3, 110-114, 1996
- [10] FUKUMOTO, S., LUM, I., BIRO, E., BOOMER, D.R. “Effects of electrode degradation on electrode life in resistance spot welding of aluminum alloy”, Welding Journal Int., 11, 307-312, 2003
- [11] GÜNDÜZ, S., “Static strain ageing behaviour of dual phase steels, Materials Science and Engineering: A, in-press

- [12] HUH, H., KIM, S.B., SONG, J.H., LIM, J.H., “ Dynamic tensile characteristics of TRIP-type and DP-type steel sheets for an autobody”, International Journal of Mechanical Sciences, in-press
- [13] WANG, T.S., ZHANG, F.C., ZHANG, M., LV, B., “A novel process to obtain ultra-fine grained low carbon steel with bi-modal grain size distribution for potentially improving ductility”, Materials Science and Engineering: A, in-press
- [14] ABOUEI, V., SAGHAFIAN, H., KHEIRANDISH, S., RANJBAR, K., “An investigation of the wear behaviour of 0.2 % C dual phase steels”, J. of Materials Processing Technology, in-press
- [95] OKAYASU, M., SATO, K., MIZUNO, M., HWANG, D.Y., SHIN, D.H., “Fatigue properties of ultra-fine grained dual phase ferrite/martensite low carbon steel International Journal of Fatigue, in-press
- [16] KHONDKER, R., MERTENS, A., McDERMID, J.R., “Effect of annealing atmosphere on the galvanizing behavior of a dual-phase steel”, Materials Science and Engineering: A, Volume 463, Issues 1-2, 15, 157-165, 2007
- [17] CHOWDHURY, S.G., PERELOMA, E.V., SANTOS, D.B., “Evolution of texture at the initial stages of continuous annealing of cold rolled dual-phase steel: Effect of heating rate Materials Science and Engineering: A, Volume 480, Issues 1-2, 540-548, 2008
- [18] ABOUNEI, V., SAGHAFIAN, H., KHEIRANDISH, S., “Dry sliding oxidative wear in plain carbon dual phase steel”, Journal of Iron and Steel Research, International, Volume 14, Issue 4, Pages 43-48, 2007
- [19] ABOUNEI, V., SAGHAFIAN, H., KHEIRANDISH, S., “Effect of microstructure on the oxidative wear behavior of plain carbon steel”, Wear, Volume 262, Issues 9-10, 1225-1231, 2007
- [20] MODI, O.P., PANDIT, P., MONDAL, D.P., PRASAD, B.K., YEGNESWARAN, A.H., CHRYSANTHOU, A., “High-stress abrasive wear response of 0.2% carbon dual phase steel: Effects of microstructural features and experimental conditions”, Materials Science and Engineering: A, Volume 458, Issues 1-2, 303-311, 2007
- [21] SAGHAFIAN, H., KHEIRANDISH, S., Correlating microstructural features with wear resistance of dual phase steel”, Materials Letters, Volume 61, Issues 14-15, 2007
- [22] KANG, J., OSOSKOV, Y., EMBURY, D., WILKINSON, D.S., “ Digital image correlation studies for microscopic strain distribution and damage in dual phase steels”, Scripta Materialia, Volume 56, Issue 11 ,1999-1002, 2007

- [23] DELINCE, M.Y., EMBURY, E.D., GEERS, M.D., JACQUES, P.J., PARDOEN, T., "Structure–property optimization of ultrafine-grained dual-phase steels using a microstructure-based strain hardening model", *Acta Materialia*, Volume 55, Issue 7, 2337-2350, 2007
- [24] AL-ABBASI, F.M., NEMES, J.A., "Characterizing DP-steels using micromechanical modeling of cells", *Computational Materials Science*, Volume 39, Issue 2, 402-415, 2007
- [25] PARK, K.S., PARK, K.T., LEE, D.L., LEE, C.S., "Effect of heat treatment path on the cold formability of drawn dual-phase steels", *Materials Science and Engineering: A*, V:449, 1135-1138, 2007
- [26] THIESSEN, R.G., SIETSMA, J., PALMER, T.A., ELMER, J.W., RICHARDSON, I.M., "Phase-field modelling and synchrotron validation of phase transformations in martensitic dual-phase steel", *Acta Materialia*, Volume 55, Issue 2, 601-614, 2007
- [27] YOSHIZAWA, M., IGARASHI, M., "Long-term creep deformation characteristics of advanced ferritic steels for USC power plants", *Int. J. of Pressure Vessels and Piping*, Volume 84, Issues 1-2, 37-43, 2007
- [28] TAYANÇ, M., AYTAÇ, A., BAYRAM, A., "The effect of carbon content on fatigue strength of dual-phase steels", *Materials and Design*, 6, 1827-1835, 2007
- [29] CHAO, Y.J., WARD, J.D., SANDS, R.G., "Charpy impact energy, fracture toughness and ductile–brittle transition temperature of dual-phase 590 steel", *Materials and Design*, 28, 551-557, 2007
- [30] TEKELİ, S., GÜRAL, A., ÖZYÜREK, D., "Dry sliding wear behavior of low carbon dual phase powder metallurgy steels", *Materials and Design*, 28, 1685-1688, 2007
- [101] KANG, H.T., DONG, P., HONG, J.K., "Fatigue analysis of spot welds using a mesh-insensitive structural stress approach", *Int. J. of Fatigue*, Volume 29, Issue 8, 1546-1553, 2007
- [32] LONG, X., KHANNA, K., "Fatigue properties and failure characterization of spot welded high strength steel sheet", *Int. J. of Fatigue*, Volume 29, Issue 5, 879-886, 2007
- [33] PADMANABHAN, R., BAPTISTA, A.J., OLIVEIRA, M.J., MENEZES, L.F., "Effect of anisotropy on the deep-drawing of mild steel and dual-phase steel tailor-welded blanks", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 184, Issues 1-3, 288-293, 2007

- [34] GÜRAL, A., BOSTAN, B., ÖZDEMİR, A.T., “Heat treatment in two phase region and its effect on microstructure and mechanical strength after welding of a low carbon steel”, *Materials and Design*, 28, 897-903, 2007
- [35] N.N., *Widerstandschweissen von stählen bis 3 mm einzeldicke Punktschweisseignung*, Merkblatt DVS 2902, Teil 2, März 1990
- [36] ANIK,S., *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, Kansu Matbaacılık,1991
- [37] N,N., *Welding Handbook, Vol.4 Metals and Their Weldability*, 7.Ed., AWS,1982
- [38] N.N., *Widerstandschweisstechnik, T.G.A. Resistance Welding Technology*
- [39] ERYÜREK, B., *Elektrik Direnç Kaynağı Mühendis ve Makine*, Sayı 279, s22/31, 1983
- [40] FRITZ,H., SCHULZE, G., *Fertigungstechnik*, VDI, verlag, 1991,
- [41] GÜLTEKİN, N., “*Kaynak Tekniği*” Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1-27, 1985
- [42] *Metals Handbook, “Welding Brazing, and Soldering, Resistance Spot Welding”*, Ninth Edition ASM, U.S.A., 469-493, 1983
- [43] GOULD, E., “An examination of nugget development during spot welding, using both experimental and analytical techniques”, *Welding Journal Research Supplement* 66 (1): 1-10, 1987
- [44] KRAUSE, H.J., Simon, G., “Ergaenzung der modellvorstel zur linsenbildung am beispieldes wider von weichen unlegierten staehlen”, *Schweissen und Schneiden*, H.1 , 20-24, 1982
- [45] HOWARD, C. , “Welding galvanized steel”, *Modern Welding Technology* 4 th edition, Troy, Oh, 123-138, 1998
- [46] ANIK, S., “*Kaynak tekniği el kitabı, yöntemler ve donanımlar*”, Gedik Holding Yayını, İstanbul 124-131, 1991
- [47] ASLANLAR, S., “*Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında uygun hasar modunun tespiti*”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-80, 1999

- [48] ERYÜREK, B., “Elektrik Direnç Kaynağı ”, İstanbul Teknik Üniversitesi,  
İstanbul,1-15, 1995
- [49] VURAL, M., “Galvanizli çelik saçların karbonlu ve ferritik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-45, 1992
- [50] ATMACA, H.İ., Basınç Esaslı Kaynak Yöntemleri, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003
- [51] N,N., Kaynak tekniği, Yıldız üniversitesi yayını
- [52] ASLANLAR, S. “Otomotiv sektöründe kullanılan kaynak yöntemleri”, Sakarya Üniversitesi, 2007
- [53] CEYHUN, V., “Ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklerin karbonlu çelik ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının çekme-makaslama dayanımına ve taneler arası korozyona etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-50, 1992
- [54] N.N., Metals Handbook Vol.6, ASM,1980
- [55] YASA, S., “Metallerin elektrik direnç nokta kaynak özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-38, 1996
- [56] DEMIRKESEN, İ., “Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik ve alüminyum alaşımı sacların nokta kaynağı ve yapıştırma ile kombinasyon bağlantıları” Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul,  
13-37, 1997
- [57] ERYÜREK, B., “Elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin etüdü”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 10-46, 1976
- [58] PECKNER, D., Bernstein, I.M., “Handbook of stainless steels”, Mc Graw Hill, U.S.A, 234-256, 1977
- [59] WEIMUCLLER. C.R, “How top fabricators resistance weld galvanized steel”, Welding DeL, A. Fabr. 51(9): 84–89, 1978
- [60] ROLLASON , E.C., “Metallurgy for engineers ” Fourth Edition English Language Book Society , London ,76-81, 1985

- [61] HINGGINS, R.A., "Engineering metallurgy 1- applied physical metallurgy ,part 1 ", The English Universities Pres Ltd , London ,46-49, 1975
- [62] COMMITTEE, A., "Welding Handbook", V.4.7. Edition AWS, U.S.A, 23-34, 1984
- [63] N.N., Welding handbook, vol 3 welding processes resistance welding and solid-state welding and other joining processes, 7.Ed., Aws Miami 1980
- [64] SPEICH, G.R.. Phycial Metallurgy of Dual Phase Steels, Fundamentals of Dual-Phase Steels, ed. by; R.A. Kot, B.I. Bramfit, AIME, p. 279-304, 1981
- [65] Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines Version 3, International Iron & Steel Instute Committee on Automotive Applications, Sept 2006
- [66] PIPLANI, R.K. , RAGHAVAN, G.. Microstructure and Its Corelation with Properties in Dual-Phase Steels, Steel India, vol.4, p. 1-21, 1981
- [67] RASHID, M.S. elationship Between Steel Microstructure and Formability, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. By: Davenport A.T. , AIME, p. 1-26., 1977
- [68] FURUKAVA, T., Deformation For Manufacture: Forming And Shaping, Strength of Metals and Alloys, ed. by: R.C. Gifking, Pergamon Pres, New York, p.1165-1179, 1983
- [69] LLEWELLYN, D.T., HILLIS, D.J. Dual-Phase Steels. Rewiew, Ironmaking and Steelmakin, vol. 23, p.471-478., 1996
- [70] ÇİMENOĞLU, H. Alaşımsız Dual-Fazlı Çeliklerde Mikroyapı-Mekanik Özellik ilişkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1984
- [71] DEMETRI, M.Y. Met. Trans. Pp. 1187-1196, 1981
- [72] OKOMAMOTO, A. , HAYASHI, Y. , TAKASHI, M. , SUGISAWA, S. Bake Hardenable Al-Killed Steel for Automotive Body Panels, SAE Technical Paper Series, 820018, 1982
- [73] NAKAOKA, K. , ARAKI, K. , KURUKARA, K. Strength Ductility and Aging Properties of Continously Annealed Dual-Phase High Strength Steel Sheets, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. by: A.T. Davenport, Aime, p. 128-143, 1977
- [74] DEMİRKOL, M. Mekanik Metalurji Ders Notları. İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1991.

- [75] COLDREN, A.P. , ELDIS, G.D. The Journal of Molybdenum Technology. P 2-5, 1980
- [76] LLOYD, E. Aug.1980. Sheet Metal Includrics. p. 706-714.
- [77] Marder, A.R., Factors Affecting The Ductility of Dual-Phase Alloys, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. by: Davenport A.T. , AIME, p.87-89, 1977
- [78] KIM, N.J., THOMAS, G. Effects of Morphology on the Mechanical Behaviour of a Dual-Phase Fe/2 Si/0,1 C Steel. Met. Trans, Vol. 12 A, p. 483-489, 1981.
- [79] TAMURA, I., TOMATA, Y. , AKAO, A. , On the Strength and Ductility of Two Phase Iron Alloys, Transactions of ISIJ, 13, p. 283-296, 1973.
- [80] IZAR, N. Çelik Seçimi ve Sertleşebilme, M.M.O. Yayın No: 58., 1971.
- [81] DIETER, G.E. Mechanical Metallurgy, SI Edition, Mc Graw-Hill, Singapore, 1988.
- [82] DAVIES, R.G. Influence of Martensite Composition and Content on the Properties of Dual-Phase Steel, Met. Trans., vol.9, p.671-679, 1978
- [83] BERNARD, S.J., SMITH, G.D.W., SARIKAYA, M. Carbon Atom Distribution in a Dual Phase Steel an Atom Probe Study, Scripta Metall, p.35-46., 1981
- [84] YÜKLER, İ., ÜÇİŞİK, A.H. , SAFOĞLU, R.A. Çeliklerde Dual Faz Yapısı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, S.D.M.M.A. Dergisi, s.61-72, 1981
- [85] THOMAS, G., KOO, J.Y. Developments in Ductile Duplex Ferritic-Martensitic Steels, ed. by: R.A. Kot and J.W. Morris, AIME, p. 183-201, 1979
- [86] DAVIES, R.G. On The Ductility of Two-Phase Steels, Formable HSLA And Dual Phase Steels, ed.by: Davenport A.T., AIME, p. 25-39., 1977
- [87] SPEICH, G.R., MILLER, R.L., Mechanical Properties of Ferrite-Martensite Dual-Phase Steels, ed. by: R.A. Kot, J.W.Morris, AIME, p145-181, 1979
- [88] BALLIGER, N.K., GLADMAN, T. Work Hardening of Dual-Phase Steels, Met.Sci., vol.15, p. 95-108, 1981



- [89] RIGSBEE, J.W., VAN DER AREND, D.J., Laboratory Studies of Microstructures And Structure Property Relationship in Dual-Phase HSLA Steels, Formable HSLA And Dual-Phase Steels, Ed.By: A.T. Davenport, Aime, s:56-86. , 1977
- [90] MOULD, P.R. , SKENA, C.C. Structure and Properties of Cold-Rolled Ferrite-Martensite Steels, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. by: Davenport A.T. , AIME, p.128-143, 1977
- [91] ÇİMENOĞLU,H., KAYALI, E.S. Çift Fazlı Çeliklerde Deformasyon Davranışı Analizi İ.T.Ü., cilt 48, sayı 2., 1990
- [92] TOMITA, Y. Effect of Morphology of Second-Phase Martensite on Tensile Properties of Fe-0.1C Dual-Phase Steels, Journal of Mater. Sci., 25, p. 5179-5184, 1990
- [93] RAMOS, L.F., MATLOCK, D.K., KRAUSS, G. On the Deformation Behaviour of Dual-Phase Steels, Met. Trans., 10 A, p.259-261, 1979.
- [94] PARUZ, H. , The Strain Hardening Behaviour of Dual-Phase Steel, Mat. Sci. And Eng. , A132, p.67-74, 1989
- [95] CRIBB, W.R. , RIGSBEE, J.M. Work Hardening Behavior And Its Relationship to The Microstructure And Mechanical Properties of Dual-Phase Steels, ed. by: R.A. Kot And J.W. Morris, Aime, s. 91-117, 1979
- [96] HAYAMI, S. And FURUKAVA, T. Mikro Alloying 75, Proc. of on Int. Symp. On High Strength Low Alloy Steels Held in Washington, D.C. in 1975, Union Carbide Corporetion, 39 th floor, 270 Park Avenue, New York, NY., p.311-321, 1977
- [97] MATSUOKA, T., YAMOMORI, K. Metallurgical Aspects of Cold Rolled High Strength Steel Sheets. Met.Trans., 6(A), 1613-1622, 1975
- [98] ASAMURA, S. Automotive HSLA Steels Produced by Nippon Steels, Paper Presented at Vanitec Dual-Phase Steels Seminars at Berlin, 1978
- [99] YUKLER, A.İ Alaşımısız Dual Fazlı Çeliklerin Mekanik ve Nokta Kaynağı Özellikleri, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası., 1983

## ÖZGEÇMİŞ

26.08.1981 tarihinde BURSA' da doğdu. İlköğrenimini 1987-1995 yılları arasında Bursa-SETBAŞI İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra ortaöğrenimini 1995-1998 yılları arasında Bursa-DEMİRTAŞPAŞA Endüstri Meslek Lisesi Elektronik bölümünde tamamladı. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılı sonunda askerlik hizmetini tamamladı. 2006 yılı şubat ayından beri otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren Ermetal Şirketler grubunda çalışmaktadır.