

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA ARA BAĞLAYICININ BİRLEŞME
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zeki ALMUS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2006
ANKARA**

Zeki ALMUS tarafından hazırlanan NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA ARA BAĞLAYICILARIN BAĞLANTI ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

.

Üye: :

.

Üye: :

.

Üye: :

.

Üye: :

.

Tarih :/...../.....

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Zeki ALMUS

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA ARA BAĞLAYICILARIN BAĞLANTI
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**
(Yüksek Lisans Tezi)

Zeki ALMUS

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2006

ÖZET

Bu çalışmada titanyum ve düşük karbonlu çelik levhalar nokta direnç kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmişlerdir. Birleştirmeler ara bağlayıcı ve ara bağlayıcı kullanılmaksızın gerçekleştirilmiş ve ara bağlayıcı olarak da A1306 gümüş alaşımı folyo kullanılmıştır. Birleştirme işlemlerinin tümü argon koruyucu gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri esnasında kaynak akım ve basınç değerleri sabit seçilmiş, kaynak süreleri ise değiştirilmiştir. Kaynaklı numunelere çekme ve sertlik testleri ile mikro yapı çalışmaları uygulanmıştır.

Çekme testleri sonucunda titanyum-çelik birleştirmelerinde en iyi sonuç ara bağlayıcı birleştirmelerden elde edilirken, titanyum-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcının birleşme mukavemetini olumlu yönde etkilediğine dair bir bulguya rastlanmamıştır. Sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerleri ITAB’ da ölçülürken bunu sırasıyla kaynak çekirdek merkezi ve ana malzeme takip etmektedir.

Bilim Kodu	: 710.3.019
Anahtar Kelimeler	: Az karbonlu çelik, titanyum, argon gazı, baskı kuvveti, mekanik özellikler, kaynak zamanı.
Sayfa Adedi	: 89
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

**EFFECT OF BINDER ON BONDING PROPERTIES IN SPOT RESISTANCE
WELDING**

(M.Sc.Thesis)

Zeki ALMUS

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2006

ABSTRACT

In this study titanium and low carbon steel were welded by using spot welding method. Bondings were carried out with and without binder. Which is A 1306 silver alloy folio. Bandings were carried out under Argon atmosphere. Different weld durations were tried by holding welding current and pressures constant. Welded parts were characterized by means of tensile strength, hardness and microstructure.

While binder increases the welding performance of titanium steel welding in titanium-titanium welding, binder does not effect the weld performance. The highest hardness value was measured from HAZ and second highest hardness value was measured from weld core region. The base metal gave the lowest hardness value.

Science Code : 710. 3.019
Key Words : Spot resistance welding, Argon, titanium, steel, silver folio.
Page Number : 89
Adviser : Asis. Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunun belirlenmesi ve hazırlanması esnasında beni değerli fikirleri ve katkılarıyla yönlendiren kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ' e, deneylerin yapımında araç-gereç ve imkanlarını esirgemeyen BUĞRA A.Ş. firması yetkililerine ve özellikle makine mühendisi Mustafa PITLAK' a, mekanik ve metolografik testlerin gerçekleşmesinden yardımlarını esirgemeyen Dr. Ahmet DURGUTLU hocama, mekanik ve sertlik deneylerinin yapımında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN hocama, tezlerin yazılımlarında yardımcı olan Ziraat Mühendisi Barış DENGE' ye, tez çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen sevgili eşim Meral ALMUS' a Powerpoint'in hazırlanmasında emeği geçen sevgili oğlum Furkan Ginaz ALMUS'a ve yaramazlıklarıyla bize neşe katan küçük afacan Talha Alhaz ALMUS'a da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. DİRENÇ KAYNAĞININ PRENSİBİ VE YÖNTEMLERİ	3
3. NOKTA KAYNAĞI	5
3.1. Nokta Direnç Kaynağı Oluşumu	5
3.2. Kaynak Çevirimi	8
3.3. Nokta Direnç Kaynağı Çeşitleri	12
3.3.1. Nokta direnç kaynağı tipleri	12
3.3.2. Kaynak çevrimi	14
3.3.3. Kaynak değişkenleri	14
3.3.4. Elektrot baskı kuvveti	16
3.3.5. Kaynak akımı	16
3.3.6. Kaynak zamanı	22
3.3.7. Kaynak değişkenlerine bağlı olarak çeşitli uygulamalar	23

Sayfa

3.4. Nokta Kaynağı Değişkenlerinin İncelenmesi.....	26
3.4.1. Elektrik direnç nokta kaynağında direnç faktörü	26
3.4.2. Kaynak akımı ve kaynak süresi.....	28
3.4.3. Elektrot kuvveti ve kaynak akımı	28
3.4.4. İş parçasının malzemesi	33
3.4.5. İş parçasının yüzey durumu	34
3.5. Kaynak Bölgesinde Isı Oluşumu.....	34
3.5.1. Isı oluşumuna kaynak ayar parametrelerinin etkileri	36
3.6. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri.....	42
3.6.1. Kaynak akımı	42
3.6.2. Kaynak süresi.....	46
3.6.3. Elektrot malzemesi ve boyutları	47
3.6.4. Elektrot kuvveti.....	49
3.6.5. Esas metalin kimyasal bileşimi	50
3.6.6. Esas metalin gördüğü ısı ve mekanik işlemler.....	51
3.6.7. Esas metalin yüzey durumu	51
3.6.8. Kaynak noktası sıklığı.....	53
3.6.9. Elektrot ve iş parçasının temas durumları.....	54
3.6.10. Kaynak programları	55
3.7. Nokta Kaynak Parametreleri.....	58
3.8.1. İç hatalar.....	61
3.8.2. Dış hatalar	63
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	67

Sayfa

4.1. Malzeme	67
4.1.1. Birleştirilen malzemeler	67
4.1.2. Ara bağlayıcı	68
4.2. Deneysel Metod	68
4.2.1. Kaynak makinesi	68
4.2.2. Elektrodlar	68
4.2.3. Direnç nokta kaynağının yapılışı	69
4.2.4. Çekme makaslama deneyi	70
4.2.5. Sertlik deneyi	70
4.2.6. Metalografik inceleme	71
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	72
5.1. Çekme-Makaslama Deney Sonuçları ve Tartışma	72
5.2. Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma	75
5.3. Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. St 1010 çeliklerin sınıf 2 elektrotları ile tek impulsu nokta kaynağı ile ilgili bazı pratik bilgiler(1 periyot = 1/60 sn).	17
Çizelge 3.2. Orta karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin, sınıf 2 elektrotlarıyla, son ısıtma (Postheating) yöntemiyle nokta kaynağına ait pratik değerler	18
Çizelge 3.3. St 1010 çeliklerin, Sınıf 2 elektrotları ile çok impulsu kaynak akımı uygulayarak, nokta kaynağına ait pratik değerler.	19
Çizelge 3.4. Hafif alaşımlı çeliklerde nokta kaynağı orta kalite (Uzun zaman düşük akımlı kaynak) uygulamaları	20
Çizelge 3.5. Hafif alaşımlı çeliklerde nokta kaynağı Yüksek kalite (kısa zaman yüksek akımlı kaynak) uygulamaları	21
Çizelge 3.6. Paslanmaz çeliklerde nokta kaynağı uygulamaları	22
Çizelge 3.7. Elektrot malzeme ve özellikleri	30
Çizelge 3.8. Değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları	42
Çizelge 3.9. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları	48
Çizelge 3.10. Kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri	56
Çizelge 3.11. Paslanmaz çelik, alaşımsız çelik, hafif metallerin nokta kaynak değerleri	59
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan levhaların kimyasal bileşimi	67

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1 Çelik-Titanyum çekme makaslama deney sonuçları	72
Çizelge 5.2 Titanyum-Titanyum çekme makaslama deney sonuçları	73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Başlıca direnç kaynak yöntemlerinin şematik olarak gösterilmesi.	4
Şekil 3.1. Akım sırasında oluşan direnç birleşenleri.....	6
Şekil 3.2. Akım uygulanması sırasında oluşan direnç bileşenleri ve ısı bölgeleri.	6
Şekil 3.3. Nokta direnç kaynağı işleminde oluşan sıcaklığın parçalar üzerindeki değişimi.	7
Şekil 3.4. Direnç nokta kaynağı aşamaları.....	9
Şekil 3.5. Nokta kaynak çevrimleri.....	10
Şekil 3.6. Direk tek nokta kaynağı uygulamaları.....	12
Şekil 3.7. Direk çok nokta kaynağı uygulamaları.....	13
Şekil 3.8. En direk çok nokta kaynağı uygulamaları.	13
Şekil 3.9. Farklı kalınlıktaki sacların kaynağında referans sacın tespiti.....	15
Şekil 3.10. Kaynak süresince uygulanan çeşitli akım değişkenleri.	25
Şekil 3.11. İki yüzey arasındaki temas direnci değerinin değişimi.....	27
Şekil 3.12. Çok yüksek elektrot kuvvetleri ve yüksek kaynak akım şiddetlerinde	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.13. Farklı metallerin direnç nokta kaynağında ısı dengeyi sağlamak için uygulanan yöntemler.....	31
Şekil 3.14. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrot formları.....	31
Şekil 3.15. Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı.....	35
Şekil 3.16. Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları.....	40
Şekil 3.17. Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 3.18. Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fişkırtma ve kesit görünümü.	43
Şekil 3.19. Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri.	44
Şekil 3.20 Kaynak kabiliyeti diyagramı.	45
Şekil 3.21. Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekler.	55
Şekil 3.22. Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar.	55
Şekil 4.1. Deney numunelerinin şematik gösterimi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.2. Sertlik ölçümü alınan noktaların şematik gösterimi.....	70
Şekil 5.1. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyolu)	75
Şekil 5.2. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyolu)	75
Şekil 5.3. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyosuz)	76

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyosuz)	76
Şekil5.5. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyolu)	77
Şekil 5.6. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyolu)	77
Şekil 5.7. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyosuz)	78
Şekil 5.8. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyosuz)	78

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Birleştirilen numunelerin görüntüsü	69
Resim 5.1. Ara bağlayıcılı çelik-titanyum birleştirmesi	80
Resim 5.2. Ara bağlayıcısız çelik-titanyum birleştirmesi	80
Resim.5.3. Ara bağlayıcılı titanyum-titanyum birleştirmesi	81
Resim 5.4. Ara bağlayıcısız titanyum-titanyum birleştirmesi.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D_n	Çekirdek çapı
I	Akım
I_k	Kaynak Akımı
J	Joule
Q	Isı
R	Ohmik direnç
t	Süre
t_e	Ergime Sıcaklığı
t_k	Kaynak Süresi

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
AWS	Amerikan Kaynak Cemiyeti
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge

1. GİRİŞ

Metalsel malzemelerin mamul duruma dönüştürülmesinde kullanılan tekniklerden en önemlisi kaynaktır. Kaynak tekniği son yüz yılda büyük bir gelişme göstermiştir. İlk kaynak işlemi günümüzde sanatsal bir anlam taşıyan demirci kaynağıdır. Kaynak tekniğinde gelişim, 1802–1849 yılları arasında elektrik ark kaynağı ile başlamıştır. 1867 yılında elektrik direnç kaynağı bulunmuştur. Diğer kaynak çeşitleri günümüze kadar gelişerek devam etmektedir. Bu gelişim süreci içinde, bir yandan yeni esaslara dayalı kaynak yöntemleri ortaya çıkarken bilinen yöntemlerinde geliştirilmesi ve otomatik hale dönüştürülmesi günümüzde devam etmektedir [1].

Elektrik direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın tatbiki ile yapılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi için iki elektrot arasına yerleştirilen malzeme, devreden geçirilen yüksek akım şiddetine gösterdiği dirençle ısınmaktadır. İşlemden, temas noktalarındaki kontak direnci nedeni ile açığa çıkan ısıdan da yararlanılmaktadır. Yöntemde uygulanan akım şiddeti ve basma kuvveti, işlemin ana etkenleridir [1].

Direnç kaynağı gerçekte oldukça eski bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem 1867 yılında ABD’de bir rastlantı sonucu bulunmuş ve birinci dünya savaşına kadar endüstride çok az kullanılmıştır. İkinci dünya savaşından sonra günümüze kadar direnç kaynağı yöntemlerinde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur.

Elektrik direnç kaynağı seri imalata uygun ve oldukça yaygın bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makineyi devreye sokma ve devreden çıkarma yeteneğine sahip operatörler tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Öte yandan, direnç kaynağı makineleri, diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleri ile karşılaştırıldığında, daha pahalıdır. Direnç kaynağını uygulamada ekonomik hale

getirmek, yani düşük birim-işçilik masrafı ile birlikte uygun birim-makine maliyeti elde etmek için çok sayıda aynı veya benzer birleştirme gerekmektedir. İnce malzemelerin kaynağı diğer kaynak teknikleri ile zordur. Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerekmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde uçak ve otomotiv endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır [1,2,3].

Sanayide Titanyum (Ti), Bakır (Cu), Paslanmaz çelik (SS) ve çeliğin (Fe) birbirleriyle birleştirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada farklı metallerin birleştirilmelerinin zorluğu nedeniyle ara yüzeyde gümüş folyo kullanılmıştır.

2. DİRENÇ KAYNAĞININ PRENSİBİ VE YÖNTEMLERİ

Direnç kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği elektrik direncinden elde edilen ısı ve kaynak bölgesinde uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Ayrıca bir dış ısı kaynağı yoktur. Isı, birleşme yerinde “Joule” kanununa göre oluşur.

$$Q = K \cdot I^2 \cdot R \cdot t \quad [2.1]$$

Burada Q üretilen ısı, K bir sabit, I kaynak akımı, R kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı, t kaynak akımının devrede kalma zamanıdır. “Doğal olarak, üretilen bu ısının bir kısmı kondüksiyon ve radyasyon yoluyla kaybolur” [1]. İfadesindeki direncin değeri düşük olduğundan, gerekli kaynak ısını üretebilmek için yüksek şiddette akımlara ihtiyaç vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, aynı zamanda kaynak akımını da ileten elektrotlar vasıtasıyla uygulanır. Bu kuvveti hidrolik, pnömomatik veya mekanik düzenleyiciler sağlar.

Direnç kaynağı yöntemleri şunlardır.

- Nokta kaynağı
- Kabartılı kaynak
- Dikiş kaynağı
- Alın kaynağı

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlenmesini gerektirir. Akım kapalı bir devre boyunca akar. Akımın sürekliliği, kullanılan yonteme uygun tarzda şekillendirilmiş elektrotların uyguladığı basma kuvveti sayesinde gerçekleşir. Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası en genel halde şu şekilde ifade edilebilir; önce, sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına olanak sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikiş meydana getirecek

kadar yüksek ise, yine kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir temperleme işlemine ihtiyaç duyulacaktır [4,5].

Direnç kaynağı yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır

1. Nokta kaynağı

- * Normal nokta kaynağı
- * Kabartılı nokta kaynağı

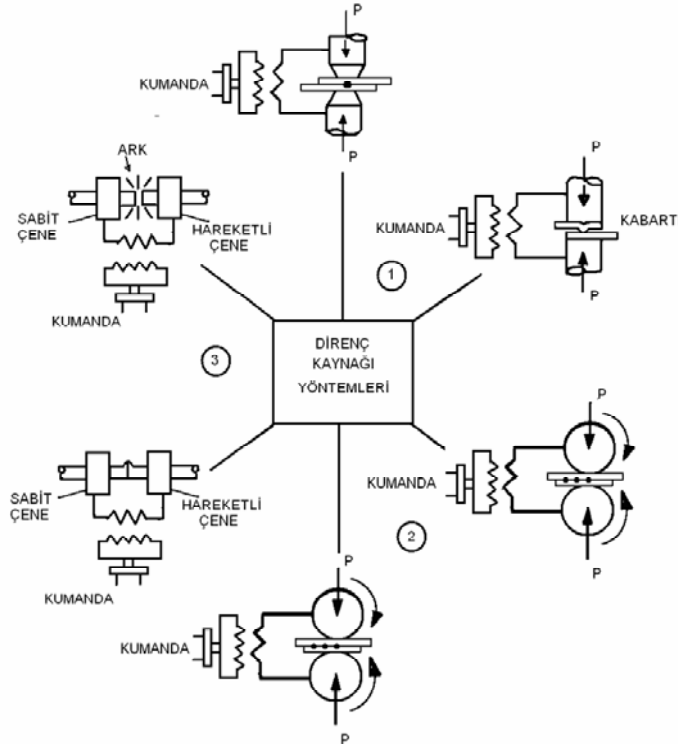
2. Dikiş kaynağı

- * Sürekli dikiş kaynağı
- * Aralıklı dikiş kaynağı

3. Alın direnç kaynağı

- * Basınçlı alın kaynağı
- * Yakma alın kaynağı

Şekil 2.1’ de direnç kaynak yöntemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Başlıca direnç kaynak yöntemlerinin şematik olarak gösterilmesi [6].

3. NOKTA KAYNAĞI

3.1. Nokta Direnç Kaynağı Oluşumu

Nokta direnç kaynağı; iki elektrot arasına sıkıştırılan parçaların, düşük gerilimde ve yüksek akım şiddetinde geçirilen akımın, Joule kanununa göre ısıya dönüşmesi sonucu meydana gelen bölgesel ergime neticesinde birleştirilmesidir. Isının oluşum hızı çevreye yayılma hızından fazla olmalıdır. Parçalardan geçirilen elektrik akımı, karşılaştığı direnç sonucu yüksek ısıya erişerek parçaları o bölgede eriterek, birleştirir. Ayrıca bir dış ısı kaynağı yoktur. Eriyen bölge her iki sacda da ortaktır. Akım şiddeti, elektrot kuvveti ve zamanlamanın otomatik kontrolü ile yüksek imalat hızlarında birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilebilir.

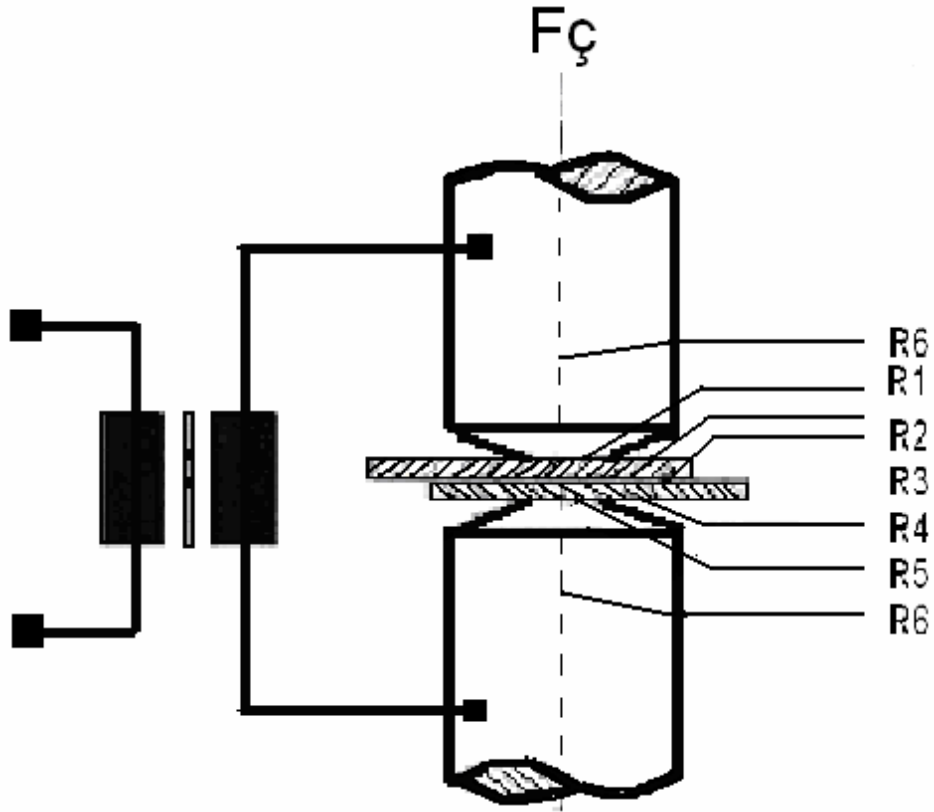
Nokta direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim (5-20 volt) ve yüksek akım şiddetindeki (2000-5000amper) elektrik gücü transformatörden basınç ise hidrolik, mekanik ve pnomatik donanımlarla sağlanır. Yaklaşık 3mm kalınlığa kadar olan sac levhalar üst üste bindirilerek birleştirilebilir. Özel yöntemlerle 6 mm ve daha kalın sacların birleştirilmesinde de kullanılabilir. Ancak ekonomik olmaz.

Elektrotlar arasındaki direnç R ise ve kaynak akımı I , T zamanı kadar uygulandıysa açığa çıkacak enerji aşağıdaki formül ile verilebilir [5].

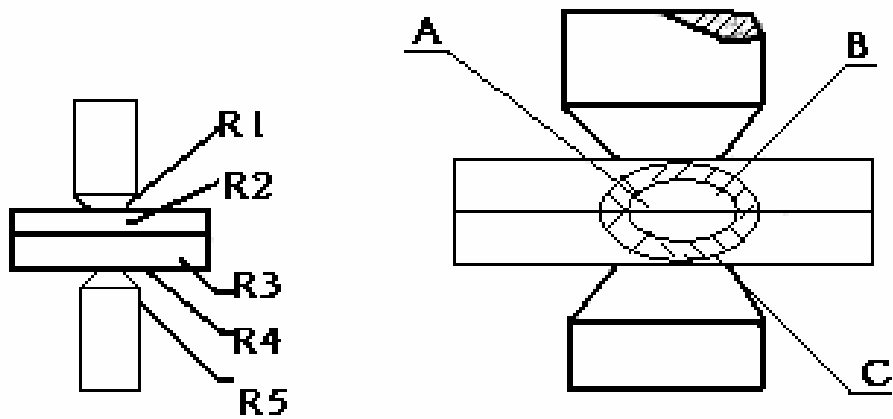
$$Q=RxI \quad (3.1)$$

R direnci elektrotlar arasındaki toplam dirençtir ve bileşenleri Şekil 3.1 gösterilmiştir.

$$R=R_1+R_2+R_3+R_4+R_5 \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. Akım sırasında oluşan direnç birleşenleri [5]



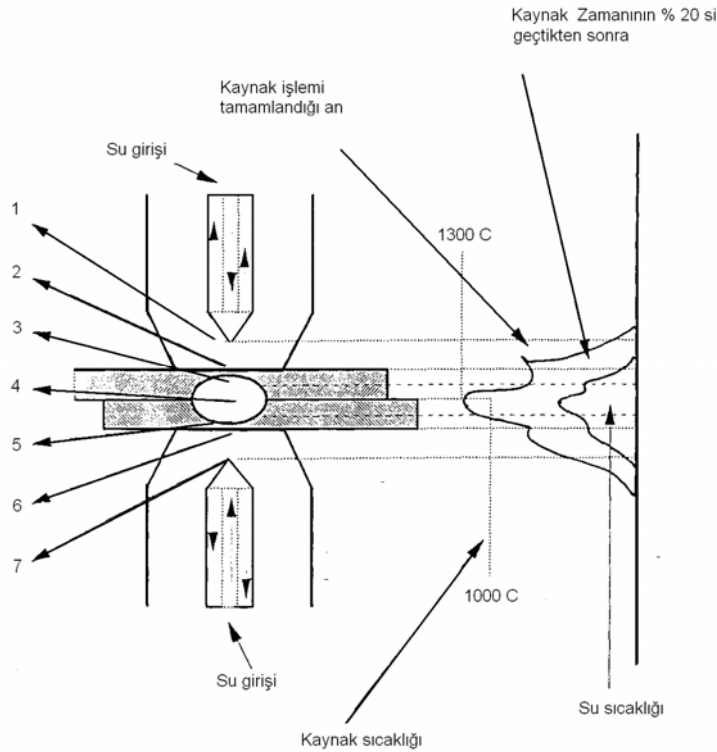
Şekil 3.2. Akım uygulanması sırasında oluşan direnç bileşenleri ve ısı bölgeleri [5].

Burada kaynak oluşumu için gerekli direnç R_3 tür. R_3 direnci ne kadar artarsa termik olarak kaynak kabiliyeti de o kadar artar. Eğer kaynatılacak yüzeyler arasında yeterli direnç yoksa kaynak yapılamaz. R_3 direnci diğerlerine göre büyüktür ve en fazla ısı

Şekil 3.2. b' de A bölgesinde oluşur. Isının yayılma hızına bağlı olarak akımın devamıyla çok kısa sürede ergimiş B bölgesi ve onu çevreleyen plastik boğaz oluşur. B bölgesinde her iki sacın eriyiği birbirine karışır [6,7].

Temas yüzey direnci kuvvetle ters orantılı olarak değişir. Dolayısıyla fazla elektrot kuvveti, R3 direncini küçültür. Bu durumda aynı ısıyı elde etmek için kaynak akımını arttırmak gerekir. Kuvvet küçük olursa, direnç büyür ve elektrodun temas dirençleri de büyüdüğü için aşırı kıvılcımlaşmalar oluşur. Yani elektrotlar parçalara yeterli akımı vermemeye başlar.

Akımın geçişinden itibaren bütün dirençler ısı kaynağı oluşturur. Birleştirilecek parçaların temas yüzeylerinde oluşan direnç, devredeki diğer temas dirençlerinden fazla olmalıdır. Şekil 3.3'de kaynak süresi boyunca birleşimin tüm noktalarında sıcaklık değişimi gösterilmiştir [7].



Şekil 3.3. Nokta direnç kaynağı işleminde oluşan sıcaklığın parçalar üzerindeki değişimi.

1. Üst elektrot, 2. Üst elektrot - saç teması, 3.DKP saç, 4. Saç - saç teması, 5. Alt saç, 6. Alt elektrot - saç teması, 7. Alt elektrot

Nokta direnç kaynağı; ikiden fazla metal levhaların, bileşimi ve kalınlıkları farklı metallerin veya başka bir metalle kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılır.

Kaynak işlemi boyunca, elektrotların birleştirilen parçalara basınç tatbik etmesi sağlanır. Metaller arasından geçirilen elektrik akımı kesilince eriyen metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam eder. Gerekli basınç, kaynak işlemi boyunca sabit tutulabilir veya kaynak kalitesini yükseltmek için kaynaktan sonra arttırılabilir. Kaynak işlemi genelde 1 saniyeden daha kısa bir sürede tamamlanır.

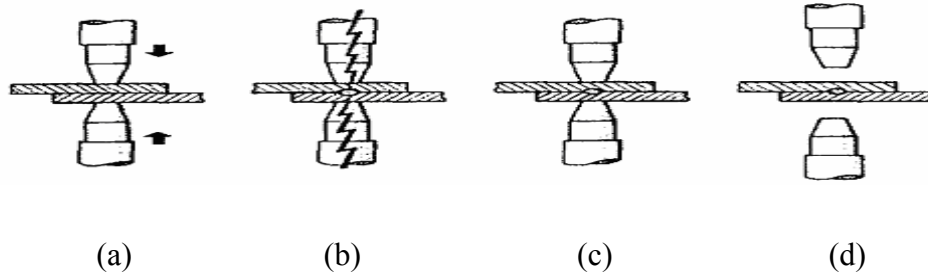
Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu, elektrot ucunun boyutu ve çevresiyle belirlenir. Kaynak çekirdeği, iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere erişmez. Uygun bir kaynak çekirdeğinin kesiti oval biçimdedir.

Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak edilen noktadan eriyik metalin kıvılcım şeklinde sıçramasını önlemek için kenarlardan yeterince uzak olmalıdır. Ayrıca, parça üzerinde kaynak edilen noktanın haricinde paralel akım geçişlerini önlemek için ardışık kaynak noktaları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır [5,8].

3.2. Kaynak Çevirimi

Bütün direnç kaynağı metotları, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesini gerektirir. Kaynak bölgesinin ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

Genel olarak nokta kaynağı, dört periyottan meydana gelir; basma, kaynak, tutma ve ölü süre. Bu sürelerle ilgili olarak direnç nokta kaynağı aşamaları Şekil 3.4. 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Direnç nokta kaynağı aşamaları [9]. a) Basma süresi, b) Kaynak süresi, c) Tutma süresi, d) Ölü süre.

a) Basma süresi: Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir. Bu aralık, solenoid hareketli silindir valfinin 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.

b) Kaynak süresi: 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.

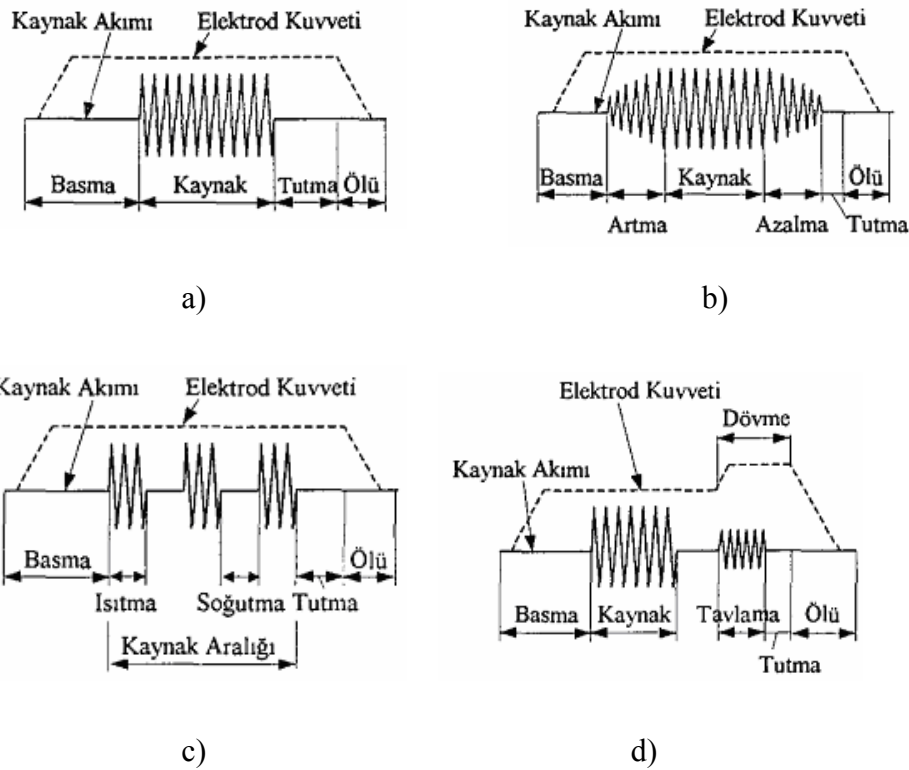
c) Tutma süresi: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşıp kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır. Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır. 25 ile 50 arasındaki periyot sayılarında ($1/2$ ile 1 sn), bu malzemeler çekme deneylerinde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

d) Ölü süre: 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 3.5.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 3.5.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 3.5. Nokta kaynak çevrimleri [1].

Azalan akım, kaynak akımının aniden kesilmesi yerine, düşük bir değere kademeli olarak düşürülmesine izin verir ve soğutma süresi gradyanını uzatarak ısıtma işlemi

uygun metallerin bazı tiplerinde iyi kaynakların elde edilebilmesine yardımcı olur. Özellikle karbon miktarının % 0,15' i aşmadığı düşük karbonlu çeliklerin kaynağında nadiren ihtiyaç duyulmakla birlikte, sertleştirilebilir çeliklerin kaynağında olduğu gibi soğutma hızının sınırlı olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3 mm'den daha kalın sacların kaynağı için gerekli olan yüksek kaynak akımları ve uzun kaynak süreleri, elektrotların aşırı ısınmasına neden olabilir. Bu ısınma, Şekil 3.5.c'de görüldüğü gibi, akımı kaynak zamanı boyunca darbeli (puls) olarak uygulamakla minimize edilebilir. Isı, iş parçalarına oranla elektrotlardan daha hızlı uzaklaşmaktadır. Bu yüzden, soğuma zamanı sırasında, kaynak akımı kesikken, iş parçaları ısının çok azını kaybederken, elektrotlar ısılarının çoğunu uzaklaştırır. Her biri diğerini soğuma periyoduyla takip eden bir seri darbe ile elektrot sıcaklığı güvenli bir seviyede kalarak, iş parçaları kaynak sıcaklığına getirilir. Bu çok darbeli teknikte, ilk darbe metali ısıtır ve deforme eder. Bunu takip eden darbeler ise kaynağı tamamlar.

Bir kaynak çevrimine eklenebilecek diğer iki eleman dövme ve sonradan tavlama (Şekil 3.5. d). Her ikisi de, sertleştirilebilir karbon ve alaşım çeliklerinde çoğunlukla tanecikleri inceltmek için kullanılmakta ancak düşük karbonlu çelikte kullanılmamaktadır. Kaynaktan sonra, temperleme akımının uygulanmasından önce, kaynağın soğumasını sağlayan kısa bir gecikme ya da akım kesme periyodu mevcuttur. Akımın düşük bir değerde olduğu sonradan tavlama bir tutma süresi takip etmektedir. Sonradan tavlama boyunca elektrot kuvveti Şekil 3.5.d'de gösterildiği gibi arttırılabilir. Bu artan kuvvet dövme kuvveti adını alır ve sonradan tavlama ve tutma süreleri boyunca uygulanır. Kaynak kuvveti çoğunlukla sonradan tavlama akımı uygulanana kadar elde edilmekte ve tavlama sonrası dövme kuvvetine çıkarılmaktadır.

Yukarıda belirtilen çevrimlere ek olarak ön tavlama ile kaynak da uygulanmaktadır. Levhalara, kaynak akımından önce, kaynak akımından daha düşük bir şiddette bir ön tavlama akımı uygulanır. Böylece kaynak bölgesi kaynak sıcaklığının altında bir sıcaklığa ulaşır. Bu işlem yüksek mukavemetli, dolayısıyla yüksek elektrot kuvveti gerektiren levhaların daha düşük elektrot kuvvetinde kaynak yapılabilmesini sağlar.

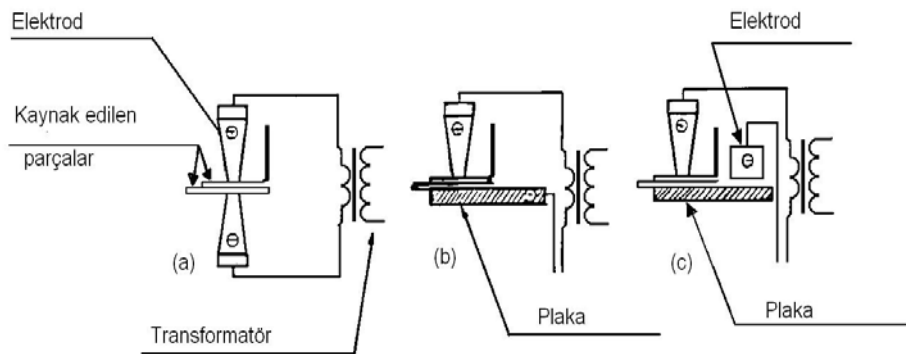
Ayrıca bu işlem kaynak akımı sonrası soğuma hızlarını düşürmede oldukça etkilidir [1,4,8].

3.3. Nokta Direnç Kaynağı Çeşitleri

3.3.1. Nokta direnç kaynağı tipleri

Nokta direnç kaynağının sekonder devresinde elektrotların ve kaynatılacak parçaların durumu, kaynağın direk veya en direk oluşunu tayin eder [5,8].

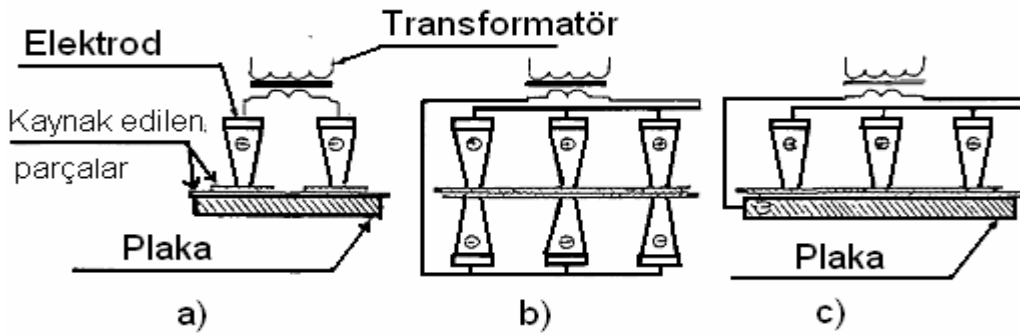
a) Direk Tek Nokta Kaynağı: Tek nokta kaynağı, direk kaynak ile yapılır. Şekil 3.6. 'da direk kaynak ile ilgili bir takım örnekler verilmiştir. Bu şekilde görülen düzenlemeler ile bir sekonder devresi bir nokta kaynağı yapar. Şekil 3.6. a'da görülen düzenleme, kaynak edilecek iki parçanın, karşılıklı yerleştirilmiş alt ve üst elektrotların arasında bulunduğu en basit ve en çok kullanılanıdır. Şekil 3.6. b'de alt elektrot olarak büyük temas yüzeyi olan iletken bir plaka kullanılır. Böylece, alt kısımdaki parçanın üzerinde meydana gelen kaynak izinin azaltılması ve kaynağın daha hızlı bir şekilde soğuması sağlanır. Şekil 3.6. c'de ise, alttaki iletken levha, ikinci üst elektrotla birlikte aynı amaç için kullanılır. Bu ikinci üst elektrot kaynak için değil de temas sağlamak için kullanıldığından dolayı aşırı ısınmayı önlemek için büyük boyutlu tutulabilir.



Şekil 3.6. Direk tek nokta kaynağı uygulamaları [5,8].

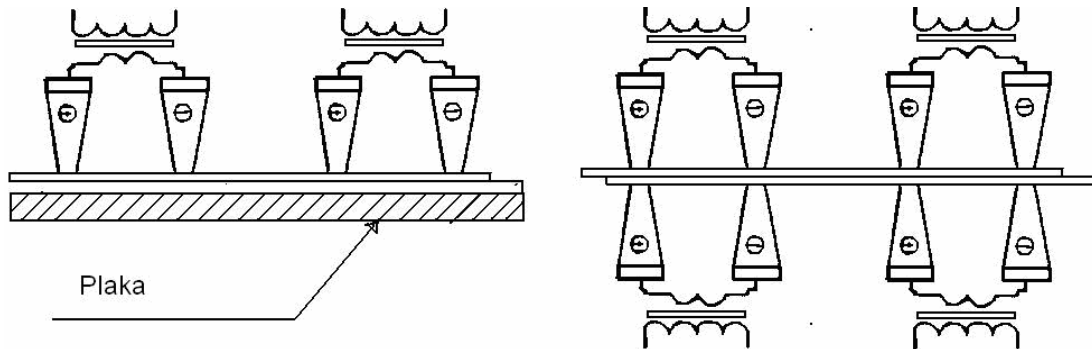
b) Direk Çok Nokta Kaynağı: İki veya daha fazla nokta kaynağının yapılabilirdiği bu yönteme ait uygulamalar, Şekil 3.7.'de verilmiştir. Şekil 3.7. a'da tek transformatör

ile aynı anda iki adet nokta, kaynak edilebilmektedir. Bu tip kaynakta alt plakanın iletken olmasına gerek yoktur. Şekil 3.7. b’de tek transformatör kullanılarak iki veya daha fazla sayıda nokta kaynağı eldesinin bir türü görülmektedir. Bu tip kaynak işleminde, her noktanın direnci aynı olmalıdır. Aksi halde üniform bir akım geçişi sağlanamaz. Her elektrodun uç tipi ve yüzey durumu aynı olmalıdır. Ayrıca elektrotlara uygulanan kuvvet te her biri için aynı olmalıdır Şekil 3.7. c’de kullanılan iletken plaka ile daha düzgün kaynak noktası yüzeyleri elde edilebilir.



Şekil 3.7. Direk çok nokta kaynağı uygulamaları [5,8]. a) Direk nokta kaynağı, b) Direk çok nokta kaynağı, c) En direk çok nokta kaynağı.

c) En direk çok nokta kaynağı: Çok noktadan kaynak yapabilme imkanı sunan en direk çok nokta kaynağı uygulama örnekleri, Şekil 3.7.’de verilmektedir. Şekil 3.8. a’da. iki adet sekonder devre ve transformatör kullanılarak aynı anda her bir sekonder devre için iki adet kaynak noktası elde edilebilmektedir, Şekil 3.8. b’de ise dört adet sekonder devre kullanılarak, dört adet nokta kaynağı yapılabilir.



Şekil 3.8. En direk çok nokta kaynağı uygulamaları [5,8].

3.3.2. Kaynak çevrimi

Nokta direnç kaynağı işlemini dört ana safhaya ayırmak mümkündür:

Sıkma (Yakma) Zamanı: İşlemin başlatılması ile kaynak akımının arasında geçen zamandır. Parçalar sıkıştırılarak gerekli elektrot kuvvetine erişilir. Verilen kaynak zamanı; Devreden akımın geçtiği süredir.

Tutma Zamanı: Kaynak akımı kesildikten sonra, kaynak çekirdeğinin katılaşması için elektrotlar bir süre kaynak noktası üzerinde tutulur. Böylece kaynak ısısı etrafa yayılmadan su sirkülasyonu ile soğutulan elektrotlara aktarılmış olur. Hemen basıncın kalkacağı düşünülürse, o anda kaynakta boşluk ve çatlama tehlikesi oluşur. En az akım geçme periyodu kadar süre verilir.

Ayrılma Zamanı: Tekrarlı çalışmada ikinci kaynak için pensenin taşınma zamanıdır. bir sonraki çevrimin yaklaşma zamanının başlangıcına kadar devam eder. Otomatik çevrimde, elektrotların geri çekilmesi ve parçanın alınması veya yeniden pozisyonlanması için geçen süredir. Kesikli çevrimde ise bu süre kontrol cihazı tarafından tayin edilmediğinden dolayı, operatörün yeni çevrimi başlatmak için

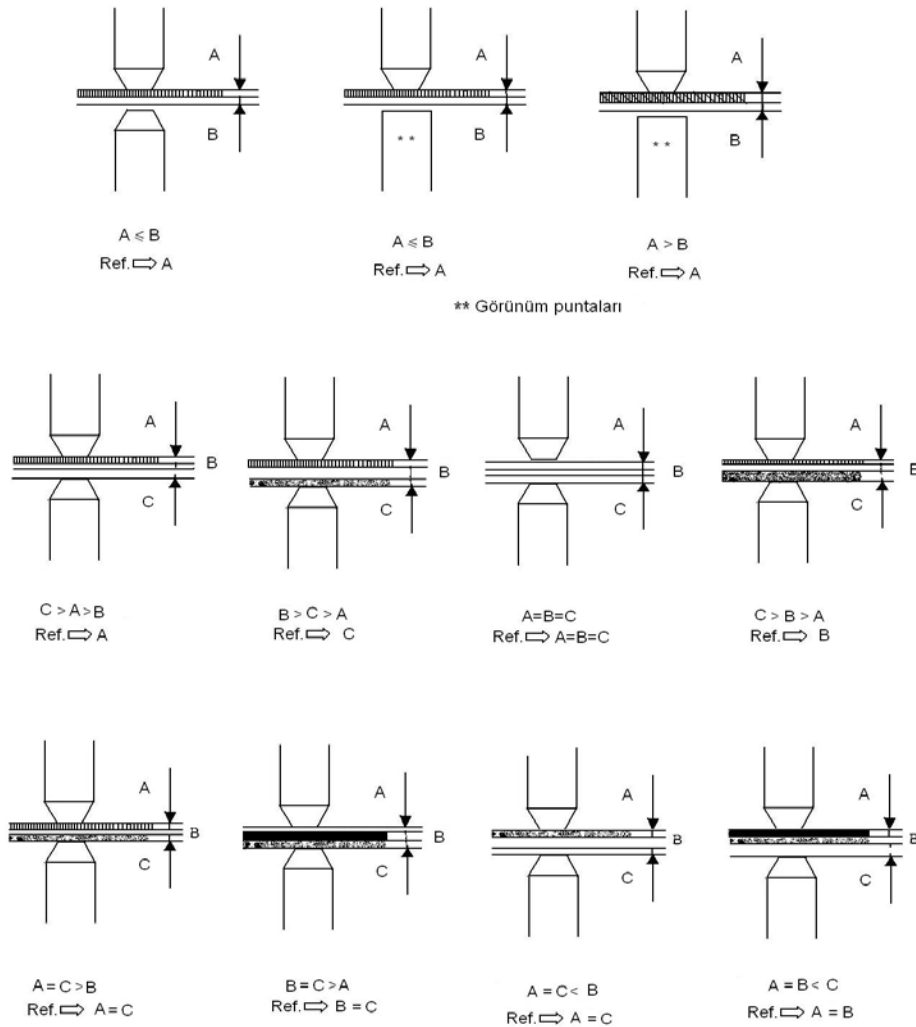
Ölü Zamanı: Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve iş parçasının kılavuzlandığı, kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir.

3.3.3. Kaynak değişkenleri

Kaynak işlemi sırasında ki akım ve zamanlama çok önemlidir. En iyi kaynak, bu üç değişken arasında en iyi uyumun sağlanması ile elde edilecektir. Kaynak makinelerinde değişkenlerin kontrolü ve makinenin otomasyonu için elektronik kontrol ünitesi kullanılır. İstenilen kaynak çekirdeği çapı; akım şiddeti ve zamanın uygun bir şekilde ayarlanmasıyla elde edilir. Zaman kısa tutulursa kaynak çapı küçülür; aksine uzun tutulursa eriyen hacim fazlalaşır ve eriyik dışarı çıkar. Bu parametreler yavaş ve hızlı kaynak diye iki grup kaynak anlayışını ortaya çıkarmıştır. İlk zamanlarda yüksek güçte elektrik enerjisi olmadığı için uzun süreli düşük akım, düşük kuvvetli kaynaklar yapılmıştır. Bu tür kaynakta düşük kuvvet uygulanmasına rağmen elektrot uzun süre tutulduğu için fazla batar ve kaynak civarındaki renk

değişim bölgesi geniş olur. Nokta başına enerji de daha çoktur. Teknolojinin ilerlemesi ile yüksek kuvvet ve akım uygulanmasıyla kaynak teknikleri gelişmiştir. Puntalar daha sağlam, daha kısa sürede ve daha az enerji ile yapılabilir olmuştur.

Direnç nokta kaynağında, yapılacak kaynağın sağlamlığı için kaynak değişkenleri her zaman birleştirilecek sac parçaların ince kalınlıkta olanına göre ayarlanır. Bu durum Şekil 3.9’ da gösterilmektedir [7].



Şekil 3.9. Farklı kalınlıktaki sacların kaynağında referans sacın tespiti [9].

3.3.4. Elektrot baskı kuvveti

Elektrotlar birbirine yaklaşır ve sıkıştırma sağlandıktan sonra kuvvetin statik hale gelmesiyle kaynak işlemi başlatılır. Kaynak için gerekli temas direnci genellikle kuvvetle ters orantılıdır. Baskı kuvveti arttırılınca, temas direnci düşer. Düşme eğilimi malzemeye göre değişir. Bu nedenle direnç çok küçülürse, gerekli ısı oluşmamaktadır. Kaynak türüne göre (hızlı, orta, yavaş) optimum kuvvet değeri uygulanır.

Çekirdek tamamen katı metalle çevrili olduğundan, hemen basıncın kalkacağı düşünülürse, o anda kaynakta boşluk ve çatlama tehlikesi oluşur. Bundan dolayı ergimiş malzeme üzerinde elektrotların basıncı soğuma sırasında devam ettirilir veya arttırılarak ısının çabuk dağılmasına ve aynı zamanda kaynağın dövülmesine imkân tanınır.

Elektrot uç alanına en az 700kg/cm basınç uygulanmalıdır. İstenilenden fazla olması durumunda, elektrot ucu aşınması ve malzemenin ezilmesi istenilenden fazla olur [9].

3.3.5. Kaynak akımı

Isıyı, kaynak edilecek noktada oluşturan en önemli büyüklüktür. Kaynak akımı az olursa uzun süreli kaynak türü olur ve ısıtılan bölge genişler, yeterli ısıya erişilemez. Kaynak akımı fazla olursa elektrotlardan malzemeye akım geçişindeki zorluktan dolayı ark ve kıvılcımlar oluşabilir ve bu da o bölgenin yanması anlamına gelir.

Çizelge 3.1- Çizelge 3.3'te ise düşük ve orta karbonlu, hafif alaşımlı çeliklerin nokta kaynağına ait bazı değerler verilmiştir. Bu değerler, optimum nokta kaynağı ayarlarını bulabilmek için başlama noktası olarak kullanılabilir. İstenilen kaynak kalitesi, bu değerler etrafında pratik uygulamalar yapılarak bulunabilir. Çok özel kaynaklarda ise, geniş bir araştırma ile hangi parametre neyi değiştiriyor, incelenip istenilen şartların nasıl sağlanacağı tespit edilir. Çizelge 3.4-Çizelge 3.6'da yine nokta kaynağına ait çeşitli uygulama örnekleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. St 1010 çeliklerin sınıf 2 elektrotları ile tek impulsu nokta kaynağı ile ilgili bazı pratik bilgiler(1 periyot = 1/60 sn) [5].

En ince dış sac kalınlığı (mm)	elektrot gövde çapı (mm)	elektrot uç çapı (mm)	elektrot kuvveti (kg)	Kaynak zamanı periyot	Kaynak akımı A	Min bindirm miktarı (mm)	Min nokta aralığı (mm)	Yaklaşık çekirdek çapı (mm)
0,25	9,53	3,18	90	4	4000	9,53	6,35	2,54
0,53	9,53	4,76	135	6	6500	11,11	9,53	3,3
0,79	9,53	4,76	10	8	8000	11,11	12,7	4,06
1,02	12,7	6,35	225	10	9500	12,7	19,05	4,83
1,27	12,7	6,35	295	12	10500	14,29	22,23	5,59
1,57	12,7	6,35	360	14	12000	15,88	25,4	6,35
1,9	15	7,94	500	17	14000	17,46	31,75	7,37
2,39	15,88	7,94	590	20	15500	19,05	38,1	7,87
2,77	15,88	9,53	720	23	17500	20,64	41,28	8,13
3,18	22,23	9,53	810	26	19000	22,23	44,45	8,38

- a) Dıştaki en ince sacın kalınlığı kaynak şartlarını belirler. Bu değerler kalınlıklar arasındaki maksimum oranın 3/1'den fazla olmaması durumundadır.
- b) Sivri uçlu, eksantrik, kesik koni uçlu ve 76,2 mm'lik (3 inch) yuvarlatma yarıçaplı küresel uçlu elektrotlar içindir.
- c) Paralel akım geçişlerini (Shunting) önlemek için verilen nokta değerleri % 30 arttırılmalıdır aralıkları iki parça içindir.

Çizelge 3.2. Orta karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin, sınıf 2 elektrotlarıyla, son ısıtma (Postheating) yöntemiyle nokta kaynağına ait pratik değerler (1 periyot 1/60 sn) [5].

Minimum Kopma Kuvveti (Makaslama) (kg)	615	705	900	955	490	1730	6160	550	1910	5945	180
Min Nokta Aralığı (mm) c	25,4	25,4	25,4	25,4	19,05	38,1	63,5	19,05	38,1	63,5	15,88
Mm. Bindirme Miktarı (mm)	12,7	12,7	12,7	12,7	11,11	9,53	22,23	11,11	15,88	22,23	11,11
Kaynak Akımı (A)	16000	14200	13800	13000	8250	13900	21800	8650	12800	21800	3900
Son Isıtma Akımı Süresi (periyot)	6	6	6	6	4	10	90	4	10	90	3
Kaynak Süresi (periyot)	6	6	6	6	4	10	45	4	10	45	3
Elektrot Kuvveti (Kaynak ve Son Isıtma) kg	665	665	665	665	410	900	2480	360	810	2030	160
Elektrot Ucu Yuvarlatma Yarıçapı (mm)	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	2540	152,4	152,4	254	152,4
Elektrot Uç Çapı (mm)	6,35	6,35	6,35	6,35	4,77	7,94	15,88	4,76	7,94	15,88	3,18

a)HR: Sıcak haddelenmiş(Hot Rolled); N-T:Normalize edilmiş ve Temperlenmiş (Normalized-Tempered).

b)Eşit kalınlıklarda iki parça için geçerli değerlerdir.

c)Paralel akım geçişlerini (Shunting) önlemek için gerekli nokta aralıkları [5,6].

Min kopma kuvveti (kg)	2250	2250	2250	4500	4500	4500	6750
Min bindirme miktarı (mm)	22,23	22,23	22,23	28,58	28,58	28,58	34,93
Komşu noktalar arası 50,8–101,6 mm için impuls sayısı B	4	4	4	14	14	14	18
Komşu noktalar arası 25,4–50,8 mm için impuls sayısı B	5	5	5	20	20	20	24
Tek kaynak için impuls sayısı B	3	3	3	6	6	6	12
Elektrot kuvveti (kg)	810	810	810	880	880	880	970
Elektrot uç çapı (mm) a	11,11	11,11	11,11	12,70	12,70	12,7	14,2
Birleştirilecek sac kalınlıkları (mm)	3,18-3,18	3,18-4,76	3,18-6,35	4,76-4,76	4,76-6,35	4,76-7,94	6,35-6,35
Kaynak akımı A	18000	18000	18000	19500	19500	19500	21500

Çizelge 3.3. St I010 çeliklerin, Sınıf 2 elektrotları ile çok impulsu kaynak akımı uygulayarak, nokta kaynağına ait pratik değerler [5].

- Sivri uçlu, eksantrik, kesik koni uçlu ve 76,2mm'lık (3inch) yuvarlatma yarıçaplı küresel uçlu elektrotlar içindir.
- Çok impulsu kaynak işleminde; akım geçişi periyot, soğutma:5 periyottur (60 periyot= 1 sn)
- Çekme dayanımı 483Mpa'dan küçük çelikler içindir [4].

Çizelge 3.4. Hafif alaşımlı çeliklerde nokta kaynağı orta kalite (Uzun zaman düşük akımlı kaynak) uygulamaları [5].

Parça kalınlığı (mm)	elektrot kuvveti (dN)	Kaynak akımı (KA)	Kaynak zamanı (periyot)	D (mm) Elektrot çapı	d (mm) Elektrot Uç çapı	R (mm) Tekerlek dış çapı	Kaynak çekirdeği d (mm)
0,5	60	4	10	10	4	50	3,5
1	100	5	20	12	6	75	4,5
1,5	150	6	40	16	6	75	5,5
2	200	7	50	16	7	75	6,5
2,5	250	8	75	19	8	75	7,5
3	300	9	100	19	9	100	8,5
4	380	10	165	25	11	100	10,5
5	450	12	225	25	13	150	12,5
6	550	14	325	30	15	150	14

Çizelge 3.5. Hafif alaşımlı çeliklerde nokta kaynağı Yüksek kalite (kısa zaman yüksek akımlı kaynak) uygulamaları [5].

Parça kalınlığı (mm)	elektrot kuvveti (dN)	Kaynak akımı (KA)	Kaynak zamanı (periyot)	D (mm) Elektrot çapı	d mm Elektrot Uç çapı	R mm Tekerlek dış çapı	Kaynak çekirdeği d (mm)
0,5	150	6,5	3	10	4	50	3,5
1	100	9	6	12	6	75	4,5
1,5	150	11	10	16	6	75	5,5
2	200	14	15	16	7	75	6,5
2,5	250	16	25	19	8	75	7,5
3	300	18	30	19	9	100	8,5
4	380	22	45	25	11	100	10,5
5	450	25	70	25	13	150	12,5
6	550	29	100	30	15	150	14

Çizelge 3.6. Paslanmaz çeliklerde nokta kaynağı uygulamaları [6].

Endüstriyel kalite grad A							
Parça kalınlığı (mm)	Elektrot kuvveti (dN)	Kaynak akımı (KA)	Kaynak zamanı (periyot)	D mm Elektrod çapı	d mm Elektrod uç çapı	R mm Tekerlek dış çapı	Kaynak çekirdeği d (mm)
0,5	180	18	5	16	4	50	3,5
0,75	230	24	6	16	6	50	4,5
1	250	30	7	16	6	50	5,5
1,5	320	35	9	19	7	100	6,5
2	400	40	10	19	8	100	7,5
2,5	520	49	11	19	9	100	8,5
3	600	58	12	25	11	100	10,5
Endüstriyel kalite grad B							
Parça kalınlığı (mm)	elektrot kuvveti (dN)	Kaynak akımı (KA)	Kaynak zamanı (periyot)	D (mm) Elektrod çapı	d (mm) Elektrod uç çapı	R (mm) Tekerlek dış çapı	Kaynak çekirdeği d (mm)
0,5	180	18	5	16	4	50	3,5
0,75	230	24	6	16	6	50	4,5
Paslanmaz çelik							
Parça kalınlığı (mm)	Elektrot kuvveti (dN)	Kaynak akımı (KA)	Kaynak zamanı (periyot)	D (mm) Elektrod çapı	d (mm) Elektrod uç çapı	R (mm) Tekerlek dış çapı	Kaynak çekirde d (mm)
0,5	175	3,8	4	16	4	50	3,5
0,75	230	6	5	16	4,5	75	4
1	250	7,6	7	16	5	75	4,5
1,5	320	11	10	19	6	75	5,5
2	400	14	13	19	7	100	6,5
2,5	520	16	16	19	7,5	100	7
3	600	18	19	19	8,5	100	8

3.3.6. Kaynak zamanı

Kaynak süresi çok kısa olursa kaynak tutmayabilir veya kaynak çekirdeğinin çapı çok küçük kalabilir. Kaynak süresi uzun olunca da ergimiş bölge fazla büyüyeceği için baskı altında patlar, aradan malzeme fişkirır ve çok derin izler oluşur.

Kaynak esnasında lokal bir bölgenin eritilmesi söz konusu olduğundan, eriyik civarında malzemenin kristal yapısında önemli değişiklikler olur. Kaynak işleminden sonra elektrotlar hemen kaldırılırsa kaynak bölgesindeki ısı alınamadığı için geniş bir halka şeklinde etrafa yayılır ve elektrot temas yüzeyi siyah veya menevişli olabilir. Kaynaktan sonra elektrot bir süre bekletilirse (tutma zamanı), malzemedeki ısı, su ile soğur elektrotlar tarafından uzaklaştırılacağı için kaynak izi küçük ve beyaz olur [28].

3.3.7. Kaynak değişkenlerine bağlı olarak çeşitli uygulamalar

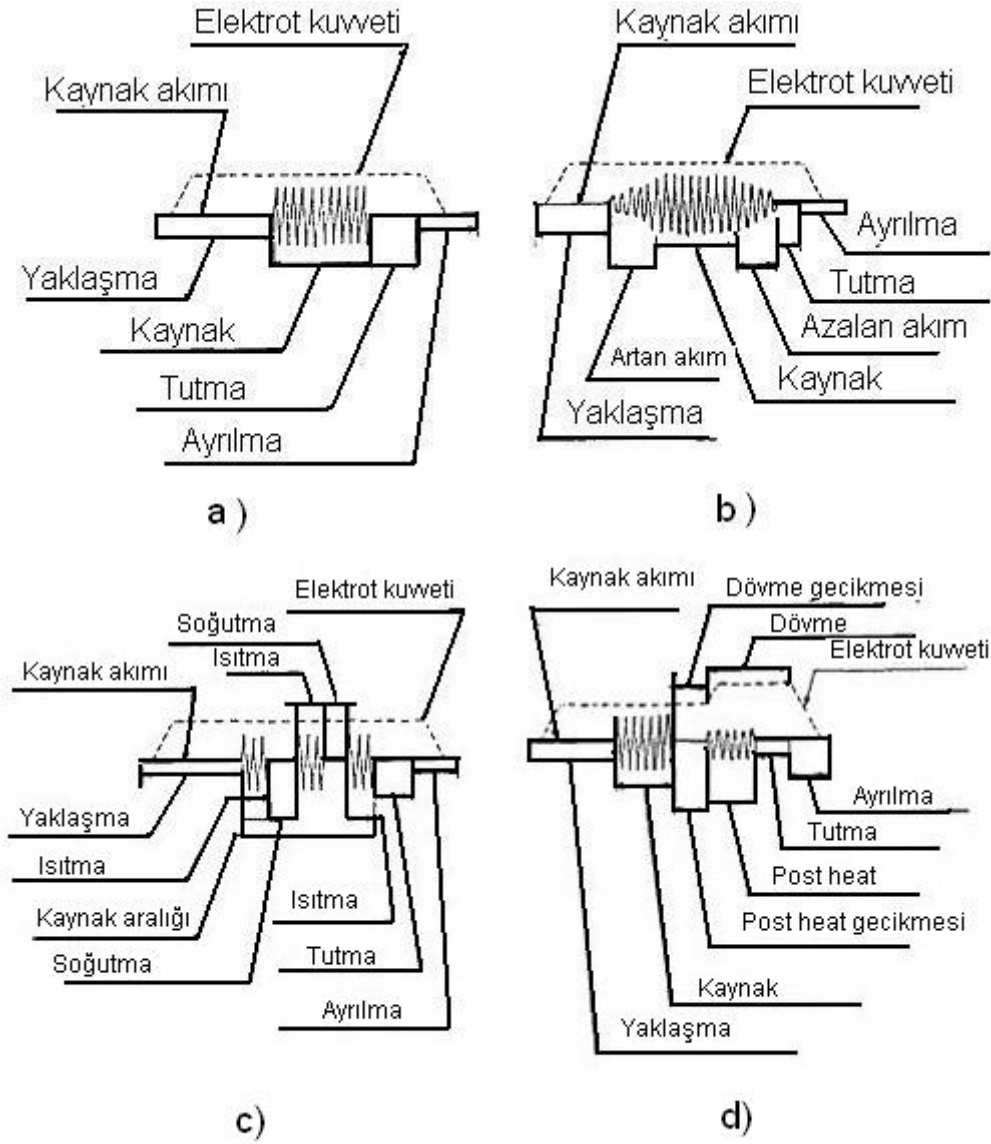
Basit bir kaynak çevriminde, işlem boyunca, muntazam bir kaynak akımı ve elektrot kuvvet, tatbik edilir (Şekil 3.10 a). Kaynak süresince akım ve basınçta değişiklik yapılabilir. Sisteme eğer akım kontrolörü (Slope control) ilave edilirse, kaynak akımının şiddeti değiştirilebilir. Böylece bir kaynak çevriminde kaynağın başında önce akım arttırılmakta ve kaynağın sonunda da azaltılabilmektedir [2,10].

Artan akım kontrolü (Up Slope), kaynak akımının ani olarak öngörülen değer yerine, akımın bir kaç periyot içinde kademeli artarak kaynak için gerekli değere ulaşmasını sağlar. Düşük başlangıçtaki kaynak akımı, akımın ilk tatbikatında oluşan kıvılcım sıçramalarını azaltır veya tamamen ortadan kaldırır. Artan akım kontrolü, yüksek akım değerlerinde yapılan kaynaklarda (kaplanmış metallerde) kullanılır. (Şekil 3.10 b).

Azalan akım kontrolü (Down Slope), akımın ani olarak kesilmesi yerine, kademeli olarak düşürüldükten sonra kesilmesini sağlar. Böylece soğuma hızı yavaşlatılarak kaynak sonrasında oluşabilecek hatalar en aza indirgenir. Azalan akım kontrolü, özellikle %0,1-1,5'den az karbon içeren düşük karbonlu çeliklerin kaynağında nadiren kullanılır. Ancak, kaynak sonrası sertleşebilen çeliklerde olduğu gibi soğuma hızının kontrol altında tutulması gereken hallerde mutlaka kullanılmalıdır (Şekil 3.10 b).

Yüksek akım şiddetine ve uzun kaynak zamanına ihtiyaç olduğu hallerde, örneğin 3mm'den daha kalın sacların kaynağı durumunda, elektrotlar aşırı ısınabilir ve elektrotların ömürleri kısalmır. Bu durum, kaynak süresince akımın kesintili olarak

birkaç defa tatbiki ile ortadan kaldırılabilir. Kesintili akım tatbiki ile, aralıklı olarak soğutma için zaman sağlanmış olur. Isı, kaynak edilen saclara nazaran elektrotlardan daha büyük bir hızla uzaklaşır ve böylece kaynak edilen saclar fazla soğumadan elektrotlardan uzaklaştırılmış olur, seri halde akım tatbiki ile elektrotların sıcaklık limitleri aşılmadan, kaynak edilecek saclar için gerekli sıcaklık değerine erişilir (Şekil 3.10 c.).Kaynak çevriminde dövme ve son ısıtma (Post heat) yöntemleri de kullanılabilir. Bu yöntemler düşük karbonlu çelikler için kullanılmayıp, sertleşme eğilimli olan karbonlu ve alaşımlı çeliklerde tane ufaltmak için kullanılır. Kaynaktan sonra tavlama akımı tarif edilmeden önce kaynağın soğuması için kısa bir bekleme veya akım kesme peryodu uygulanır. Son ısıtmanın sağlandığı düşük değerli akımın tatbikini, tutma zamanı takip eder. Son ısıtma sırasında elektrot kuvveti arttırılabilir (Dövme kuvveti). Kaynak kuvveti genellikle son ısıtma (Post heat) akımı uygulanıncaya kadar sabit tutulur ve sonra arttırılarak tutulur (Şekil 3.10 d).



Şekil 3.10. Kaynak süresince uygulanan çeşitli akım değişkenleri. a) Tek impulslu kaynak çevrimi, b) Tek impulslu artan ve azalan kaynak çevrimi (Upslope-Downslope), c) Çok impulslu kaynak akımı, d) Son ısıtma (Postheat) ve dövme kuvveti tatbik edilen tek impulslu kaynak çevrimi [5,10,11].

3.4. Nokta Kaynağı Değişkenlerinin İncelenmesi

Kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri şu şekilde sıralanabilir:

- a) Elektrik direnç nokta kaynağında direnç faktörü.
- b) Elektrotların malzeme ve boyutları.
- c) Kaynak akımı.
- d) Kaynak zamanı.
- e) Elektrot kuvveti.
- f) İş parçasının malzemesi.
- g) İş parçasının yüzey durumu [11,12]

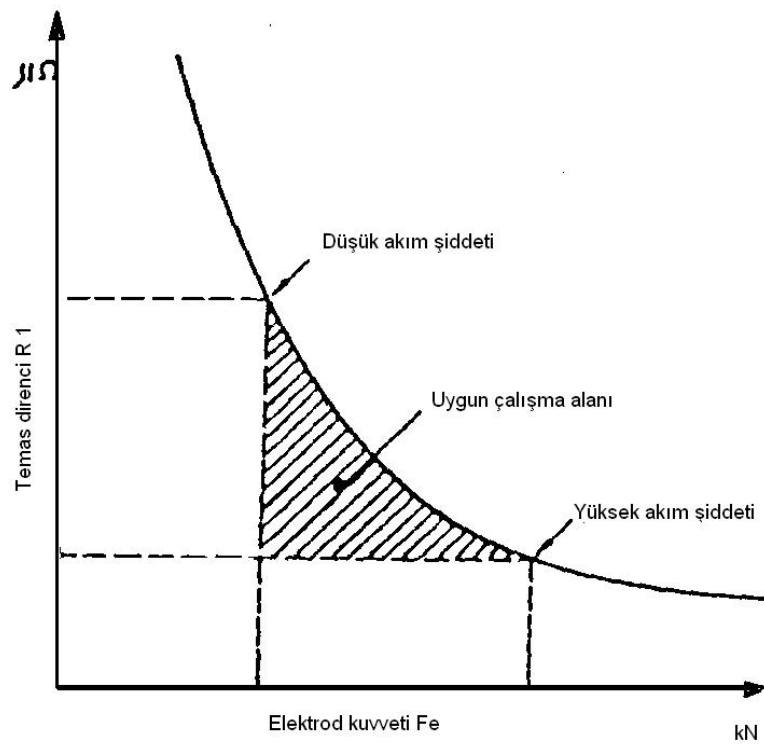
3.4.1. Elektrik direnç nokta kaynağında direnç faktörü

Yöntemde kaynak ısını oluşturarak elektriksel direnç R_t kaynak akımının geçtiği devre üzerinde karşılaştığı dirençlerin toplamıdır ve elektrot malzeme, malzeme-malzeme çiftleri arasındaki temas dirençleri ile kaynak yapılan malzemelerin ve elektrotların dirençlerinden oluşmaktadır [2].

Kaynak akım yolu üzerinde bulunan kablo ve diğer bağlantı elemanlarının dirençleri, çok küçük oldukları için göz ardı edilmektedir.

Kaynak işleminde en düşük ısı, oldukça düşük özgül dirençleri ve suyla soğutulmaları nedeniyle elektrotlarda oluşmaktadır. Malzemelerin kendilerinde oluşan ısı biraz daha fazla olmasına karşın, bu ısı, malzemelerin yüzeyinden suyla soğutulan elektrotlar aracılığıyla transfer olur. Malzeme-elektrot çiftlerinin temas noktalarında oluşan ısı da yüksektir. Ancak yüksek elektrot basınç kuvveti temas direncini azalttığından, ayrıca oluşan ısının bir kısmı da soğutma suyuna aktarıldığından, bu ısı miktarı sınırlı kalmaktadır. Kaynak işleminde en yüksek ısı malzeme-malzeme çifti arasındaki temas direncinde oluşmakta ve kaynak çekirdeğinin oluşması için gerekli ilk sıcaklığı vermektedir [2,12,13].

İki yüzey arasındaki temas direnci ise, birleştirilecek malzemelerin yüzey pürüzlülüğünden ileri gelen daralma ve yüzey film dirençlerinin toplamıdır. Temas direnci, akım yoğunluğuna, elektrot kuvvetine, sıcaklığa ve birleştirilecek malzemelerin deformasyon özelliklerine bağlı olarak akım süresinin yaklaşık 1/4'ü kadar bir süreyle etkili olur. Bu süre içinde maksimum değerine ulaşır ve hızla azalır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. İki yüzey arasındaki temas direnci değerinin değişimi [2]

Bu davranışın nedeni, kaynaktan önce parça ve elektrotların yüzeyindeki mevcut pürüzlülük ve yüzey filmidir. Hızla yükselen temas direncinin ısı etkisi ve elektrotların uyguladığı kuvvet sonucu pürüzlülük düzelir ve yüzey filmi de parçalanır. Böylece kaynak akımı, elektrot çapına kadar büyüyen bir temas kesitinden dirençle karşılaşmadan akmaya başlar. Temas dirençleri de, kaynak çekirdeğinin oluşması için gerekli ilk ısıyı vererek görevini tamamlamış olur [2].

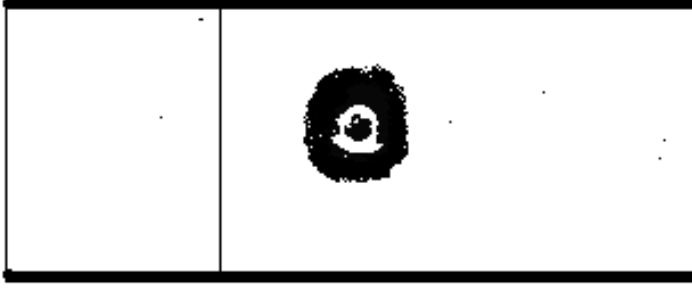
3.4.2. Kaynak akımı ve kaynak süresi

Belirli bir elektrot kuvveti, malzeme türü ve kalınlığı için gerekli ısı miktarını sağlamak üzere değişik kaynak akımı ve süresi seçilebilir. ancak bu değerlerin seçiminde, ısı kaybının zamana bağlı olması nedeniyle kaynak akımından kazanç sağlamak için kaynak süresini uzatmak, noktanın çevresinde sıcaklığın yükselmesine ve elektrotların birleştirilen parçalara gömülerek derin izler bırakmasına neden olur.

Ayrıca akım yoğunluğunun minimum değerinin altında olması halinde de ergime ve birleşme olmaz. Buna karşılık, minimum kaynak süresinde çalışmak amacıyla kaynak akım şiddetini, başka bir deyişle akım yoğunluğunu artırmakla ani ergime, hatta buharlaşmaya ve fişkırmaya yol açar. Genellikle ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağında, kaynak süresinin uzamasıyla çevreye yayılan ısı miktarı artacağından kısa süreli kaynak tercih edilir [11,12].

3.4.3. Elektrot kuvveti ve kaynak akımı

Kaynak yapılacak parçaların bir arada tutulabilmesi ve homojen akım geçişinin sağlanabilmesi amacıyla, birleştirilecek parçalara elektrotlar aracılığıyla bir basınç kuvveti uygulanır. Elektrot kuvveti olarak adlandırılan bu kuvvet, özellikle temas direncinin uygun bir değerde olmasını ve kaynak sırasında sıvı haldeki çekirdeği katı haldeki metal hacmi içinde basınç altında tutarak dışarı fişkırmasını önler. Çok düşük elektrot kuvvetleriyle çalışılması halinde, malzeme-malzeme temas direnci çok yüksek olacağından ani sıcaklık yükselmesi sonucu yerel ergimeler ve fişkirmalar görülür. Çok yüksek elektrot kuvvetlerinde, temas direnci çok azalacağından ya kaynak noktası oluşmaz ya da yüksek kaynak akımıyla çalışılması gerekir (Şekil 3.12). Bu da istenmeyen çarpılmalara, kaynak noktasında ezilmelere ve renklenmelere neden olur [2,13,14].



Şekil 3.12. Çok yüksek elektrot kuvvetleri ve yüksek kaynak akım şiddetlerinde kaynak noktası ve çevresinde oluşan ezilme ve renklenmeler.

Yüzey durumu

Kaynak yapılacak malzemelerde yüzey durumu, temas direnciyle yakından ilgili olan; yüzey pürüzlülüğü, parçaların yüzeyindeki filmler ve yüzey kirlilikleridir. Yüzey kirliliği çeşitli kimyasal ve mekanik yöntemlerle giderilmelidir. Çünkü yüzeydeki kirlilik ve homojen olmayan bir yüzey pürüzlülüğü, heterojen ve kalitesiz bir kaynak noktasının oluşmasına neden olur [2].

Malzemenin fiziksel özellikleri

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilecek malzemelerin kaynak kabiliyeti, söz konusu malzemelerin özgül elektrik direnci, ısı iletim katsayısı, özgül ısı, ergime noktası ve yoğunlukları ile belirlenir. Genellikle özgül elektrik direncinin artması ve ısı iletim katsayısının küçülmesiyle malzemenin elektrik direnç nokta kaynağı kabiliyeti artar [15,16,17].

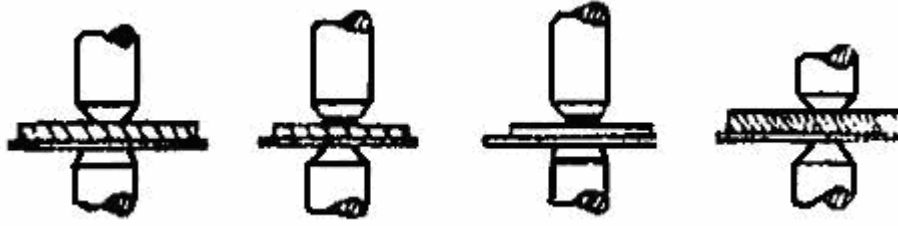
Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotlar

Çizelge 3.7 'de elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan başlıca elektrot malzemeleri ve özellikleri verilmiştir [2,16].

Çizelge 3.7. Elektrot malzeme ve özellikleri

Malzeme	Bileşim (%)	Elektrik iletkenliği (Ω mm ² / m)	Brinell sertlik değ. (daN / mm ²)
Elektrolitik Bakır	99,9 Cu	56	85-105
Gümüş Bakır	2-Ag	50-29	80-120
Kadmiyum Bakır	0,9-1,2 Cd	50-45	100-120
Krom Bakır	0,7 Cr	47	150-170
Berilyum Bakır	0,6-1,3 Be 0,3 Ni	53-30	136-290
Tungsten Bakır	4-5 W	25-22	225

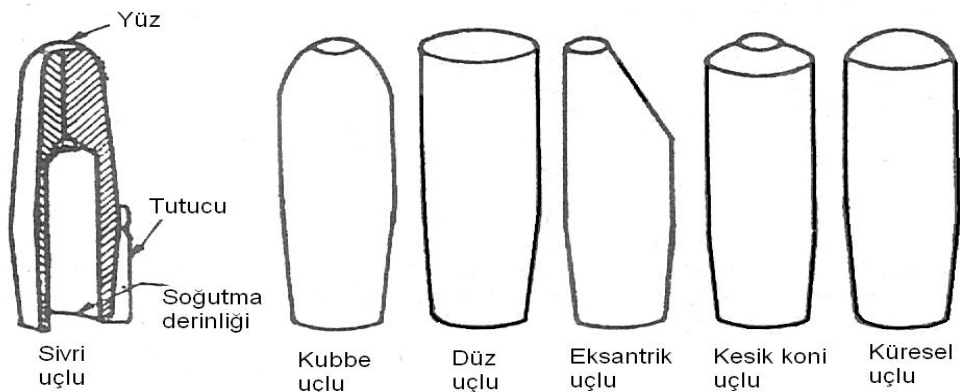
Ticari saf bakır en iyi iletkendir. Saf bakır elektrotlar; üstün mekanik özelliklerinin yanında iyi bir elektrik iletkenliğine sahip malzemelerdir. Direnç kaynağı elektrodu olarak tercih edilme sebeplerinden biride yüksek akım şiddetinin gerekmesidir. Yüksek akım yanında, yüksek basınç ve kaynak hızının artması, kullanılan yöntemlerin gelişmesi, bakırın saf elektrot malzemesi olarak kullanılmasını durdurmuştur. Elektrolitik bakır, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olduğundan, hafif metallerin kaynağında tercih edilir. Gümüş-bakır, kadmiyum-bakır ve krom-bakır esaslı elektrotlar elektrik iletkenliklerinin yanında sertlikleri ile tanınırlar. Daha sert özelliğe sahip berilyum-bakır elektrotlar ise, yüksek elektrik dirençli sert malzemelerin kaynağı için önerilir. Tungsten-bakır ve molibden-bakır esaslı elektrotlar ise genellikle gümüş, bakır ve farklı metal çiftlerinin birleştirilmesinde, yüksek kaynak değerleri ile çalışma koşullarında, seri işlemlerde ve özel bir tür olan kabartılı direnç kaynağı uygulamaları için tavsiye edilmektedir. Şekil 3.13 de farklı metallerin elektrik direnç nokta kaynağında ısı denge sağlamak için uygulanan yöntemler belirtilmiştir.



Şekil 3.13. Farklı kalınlıktaki metallerin direnç nokta kaynağında ısı dengeyi sağlamak için uygulanan yöntemler.

Şekil 3.13.a yüksek iletkenliğe sahip malzeme tarafına daha küçük temas yüzeyine sahip elektrot konularak bu taraftaki akım yoğunluğu artırılmış ve her iki parçada da eşit derecede ergime sağlanmıştır. Şekil 3.13.b’de yine aynı malzemelerde bir başka yöntem kullanılarak ısı denge sağlanması gösterilmiştir. Burada yüksek iletkenlik teki malzeme ile temasta olan elektrodun temas yüzeyi, molibden ve tungsten gibi yüksek ısı dirence sahip malzeme den yapılmıştır. Şekil 3.13.c, her iki yöntemin bir arada uygulanışını göstermektedir. Şekil 3.13.d’de yüksek iletkenliği dengelemek için malzemenin kalınlığı artırılarak gerçekleştirilen yöntem görülmektedir.

Elektrodun şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının şekil ve boyutlarına göre belirlenir. Standart elektrot türleri içinde en çok kesik koni uçlu ve küresel uçlu elektrotlar kullanılır. Diğer elektrot formları ise sivri, düz ve eksantriktir (Şekil 3.14.) [4].



Şekil 3.14. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrot formları.

1- Küresel uçlu elektrotlar

$$r = K_1 \cdot s + K_2 \quad (3.3)$$

r (mm): Küresel ucun çapı

s (mm): Sac kalınlığı

K_1, K_2 Malzeme sabitleri

$K_1 = 20$ Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için

$K_1 = 60$ Alüminyum ve alaşımları için

$K_2 = 50$ Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için

$K_2 = 20$ Alüminyum ve alaşımları için

2- Sivri, düz, eksantrik ve kesit koni uçlu elektrotlar

$$d_e = 5 \cdot s \quad s < 3 \text{ mm için} \quad (3.4)$$

$$d_e = 2s + K \quad s > 3 \text{ mm için} \quad (3.5)$$

s (mm): Sac kalınlığı

d_e (mm): elektrot çapı

K : Malzeme sabiti:

$K = 2 \quad s < 7,5 \text{ mm için}$

$K = 3 \quad s > 7,5 \text{ mm için}$

Kaynak noktasının etüdü

Kaynak noktası, Eş.2.1 uygun olarak, Q ısısının etkisi ile ergiyen bölge (kaynak çekirdeği) ve ısıнын tesiri altında kalan bölge (ITAB)' dan oluşmaktadır. Gerek kaynak çekirdeğinin, gerekse ITAB'nin boyutları ve formu kaynak parametrelerine bağlıdır. Diğer taraftan kaynak parametreleri değiştirilmediği sürece kaynak çekirdeği ve ITAB'nin boyutları yüzey hazırlama koşullarından etkilememekte, ancak metal özellikleri önemli bir rol oynamaktadır [16,17].

Kaynak Çekirdeği

Kaynak çekirdeğinin sıcaklığı, kaynak parametrelerine ve malzemenin fiziksel değerlerine bağlı olarak katı-sıvı faz sıcaklık aralığına ulaşmakta, hatta bazı durumlarda sıvı faz sıcaklığı değerinin üstüne çıkarak çekirdekte ergime oluşmaktadır. Kaynak işlemi sonunda katılaşma başlamakta, çekirdekte silindirik kristalli ve iri taneli bir yapı oluşmaktadır. Kaynak işleminin tutma periyodunda, elektrotlar üzerinden hızlı bir soğuma ile birlikte yine elektrotlar aracılığıyla uygulanan kuvvetle tanelerde küçülme sağlanmaktadır [17,18].

Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

Kaynak periyodu sırasında oluşan ısının büyük bir kısmı kaynak çekirdeğinin oluşumuna harcanırken, bir bölümü de çekirdeğin yakın çevresinde sıcaklık dağılımına bağlı olarak bazı metalurjik oluşumlara yol açmaktadır. Bu bölgeye de ergitme kaynağı yöntemindeki gibi Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) adı verilmektedir [18].

3.4.4. İş Parçasının Malzemesi

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği Joule kanunundaki R değeri yoluyla verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını saptayan bir faktördür. Metallerde elektrik ve ısı iletkenlik, genelde aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle, yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla 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 sıcaklıklarına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı mertebededir. Örneğin alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali erime sıcaklıklarına getirebilmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı gerekir. Bununla beraber, alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliği, paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve

on defa büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için gerekli olan akımdan oldukça fazladır [2,5].

3.4.5. İş parçasının yüzey durumu

Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu Şekil 3'deki, 2 ve 4 temas dirençleri yoluyla ısı değişimini etkiler. Eğer yüzey temiz ise, belirli bir uygulamada, daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzeyi üzerinde oksit, pul gibi şeyler olan iş parçası değişik kalitede kaynak noktalarının oluşumuna yol açar. Parça üzerinde mevcut yağ, kir, pas gibi maddeler akım iletimini zorlaştıracak gibi, elektrotların yüzeyine yerleşerek, elektrot ömrünü azaltır. Bu gibi hallerde, çeşitli malzemeler için tavsiye edilen yağ giderme ve yüzey temizleme işlemlerine başvurulmalıdır [2,19].

3.5. Kaynak Bölgesinde Isı Oluşumu

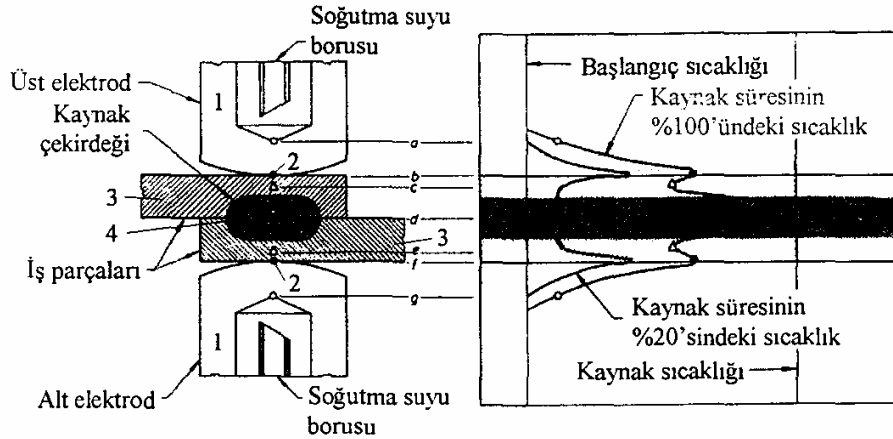
Kaynak bölgesinde kaynak işlemi için gerekli ısı miktarı, sadece I , R ve t' nin Joule etkisine bağlı olmayıp, aynı zamanda malzemenin kaynağa uygunluk şartına da bağlıdır. Verilen kaynak akımı ve bu akımın uygulanma süresinde oluşan ısı miktarı, aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- Malzemelerin ve elektrotların ısı iletim kabiliyetleri.
- Temas noktalarının, yani elektrot ve malzemelerin pürüzlülük ve temizlik gibi yüzey şartları [5,16,17].

Isı oluşumunu sağlayan yedi ayrı direnç söz konusudur. Bunlar:

- a) Üst elektrodun direnci
- b) Üst elektrot ile üst parça arasındaki kontak direnci
- c) Üst parçanın direnci
- d) Üst parça ile alt parça arasındaki kontak direnci
- e) Alt parçanın direnci
- f) Alt elektrot ile alt parça arasındaki kontak direnci
- g) 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 [18]. Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı Şekil 3.15' de verilmiştir.



Şekil 3.15. Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı [21].

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

Q_1 : Kaynak sırasında oluşan,

Q_2 : Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen,

Q_3 : Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan,

Q_4 : Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı miktarları olarak

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (3.6)$$

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

$$Q_2 = 0,24 \cdot I_k^2 \cdot R_{top} \cdot t_k (\text{cal}) \quad (3.7)$$

Burada;

I_k : Kaynak akımı

R_{top} : Toplam mak. direnç

t_k : Kaynak süresi

şeklinde, noktanın oluşumunda kullanılan ısı ise,

$$Q_3 = 0,24C_1.G.T + C_2.G \text{ (cal)} \quad (3.8)$$

Burada:

G (g): Kaynak çekirdeğinin kütlesi

T (K): Malzemenin ergime sıcaklığı

C₁ (J/g K): Malzemenin özgül ısısı

C₂ (cal /g): Malzemenin özgül ergime ısısı
ve parça içine dağılan ısı ise

$$Q_4 = 0,24T.L_t.t_k \text{ (cal)} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada:

L_t (m): Deney parçasının toplam uzunluğu

t_k (periyot): Kaynak süresi

T (°K): Malzemenin ergime sıcaklığı

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli şart, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesidir. 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 [4,19,20].

3.5.1. Isı Oluşumuna Kaynak Ayar Parametrelerinin Etkileri

Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi

$Q=I^2.R.t$ Joule kanununda ısıya etki eden en önemli faktör, I kaynak akımıdır. Alternatif akım devresinde sekonder U gerilimi;

$$I=(U/(\sqrt{R^2+ \omega^2L^2})), \text{dır} \quad (3.10)$$

Burada:

L: Toplam endüktivite

R (Q): Sekonder devredeki toplam mak direnç

ω (1/f): Devre frekansı

Sabit sekonder gerilimde kaynak akımı, artan dirençle ve artan endüktivite ile azalmaktadır. Sekonder devredeki kol açıklığının büyüklüğüne ve bunun içindeki manyetikleşebilen malzemelere bağlı olarak, endüktivite değişik değerler alabilmektedir. Kaynak bağlantısına etki eden, olabildiğince sabit kaynak akımı, sadece sabit direnç ve endüktivite ile sağlanmaktadır.

Belirli değerlerin altında kalan ısı enerjisi, istenen bağlantıyı oluşturamaz. Çok fazla kaynak akımı ise, kısmi sıvı metal fışkırmalarına, gözenek ve çatlak oluşumuna ve çekme - makaslama dayanımının düşmesine neden olmaktadır [8,19,20].

Isı oluşumuna elektrot kuvvetinin etkisi

Yetersiz elektrot kuvvetleri, temas direncinin düzensiz dağılımına neden olmaktadır. Bu ise, farklı kaynak akımlarına yani farklı kaynak noktası dayanımlarına neden olur. Yeterince büyük elektrot kuvvetlerinde ince yüzey tabakaları hafifçe ezilmekte ancak elektrot temas yüzeyi büyük olmaktadır. Sac kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot temas yüzeyinin seçimi yapılır.

Çoğu durumda malzemenin kaynak yapılacak yüzeyi yabancı maddelerden (yağ, kir, pas v.s) arındırılmalıdır.

Bu,

- Mekanik yöntemler (zımparalama, fırçalama vs.)
- Kimyasal yöntemler (Redükleyici atmosferde taşlama) yoluyla yapılır [8,22].

Isı oluşumuna kaynak zamanının etkisi

Yüksek ısı iletimi durumunda, gerekli ısı miktarını kısa sürede üretmek yerine, daha düşük gücü uzun süre uygulamak daha uygun olmaktadır [6].

Kaynak süreleri, kaynak akımı süresince birkaç periyottan başlayarak kalın kesitli parçalarda azami birkaç saniyeye kadar ulaşır [16].

Artan kaynak süresi, kaynak bölgesindeki erimiş metal miktarını büyütmede, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) büyümekte ve yumuşamış malzeme miktarı artmaktadır. Böylece fışkırma oluşumu, gözenek oluşumu ve malzeme yüzeyinin elektrot ucuna gelen kısmında istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. 3 mm. den kalın iş parçalarında süreklilik isteyen kaynak süresi yerine, kısa süreli impulslarla çalışmak daha doğru olmaktadır. Böylece kaynak yerinde malzeme - elektrot temas noktasında iyi ısı iletimi elde edilir ve suyla soğutulan elektroddan da ısı sağlanarak kaynak çekirdeği çevresinde yüksek sıcaklıklara erişmiş bir bölge oluşmaktadır [16].

Yüzey pürüzlüğünün ısı oluşumuna etkisi

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 [16,17].

Kaynak çekirdeğinin oluşumu

Kaynak noktasının oluşumundaki temel prensip (2.1) formülü ile verilen Joule yasasıdır. Bu formülde verilen R, kaynak akımının bir elektroddan diğerine geçerken karşılaştığı elektrik dirençlerinin toplamıdır. Şekil 3.15’de elektrotlar arasındaki çeşitli dirençler gösterilmiştir. Bu dirençler, (1) elektrot direnci, (2) elektrot-levha arası temas ‘ (3) levha direnci ve (4) levhalar arası temas direncidir. Uygulanan akıma karşı sistemde ortaya çıkan dirençler esas olarak iki türdür:

a) Kullanılan malzemelerin dirençleri (R_m).

b) Temas dirençleri (R_d).

Malzeme dirençleri (R kaynak yapılacak malzemenin özellikleri, elektrot çapı, levha kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak akım yolunun büyüklüğüne, akım yolundaki sıcaklığa ve elektrotların öz direncine bağlıdır. Alaşım elemanları metalin özgül direncini saf haline oranla oldukça artırır. Fakat bu etki yüksek sıcaklıklarda görünür şekilde azalır. Çok yüksek sıcaklıklarda alaşım ile saf metalin özgül dirençleri arasındaki fark kaybolur. Özgül direnç, soğuk şekil verme ve su verme ile yükselir, tavlama veya temperleme ile ilk değerine kadar düşebilir.

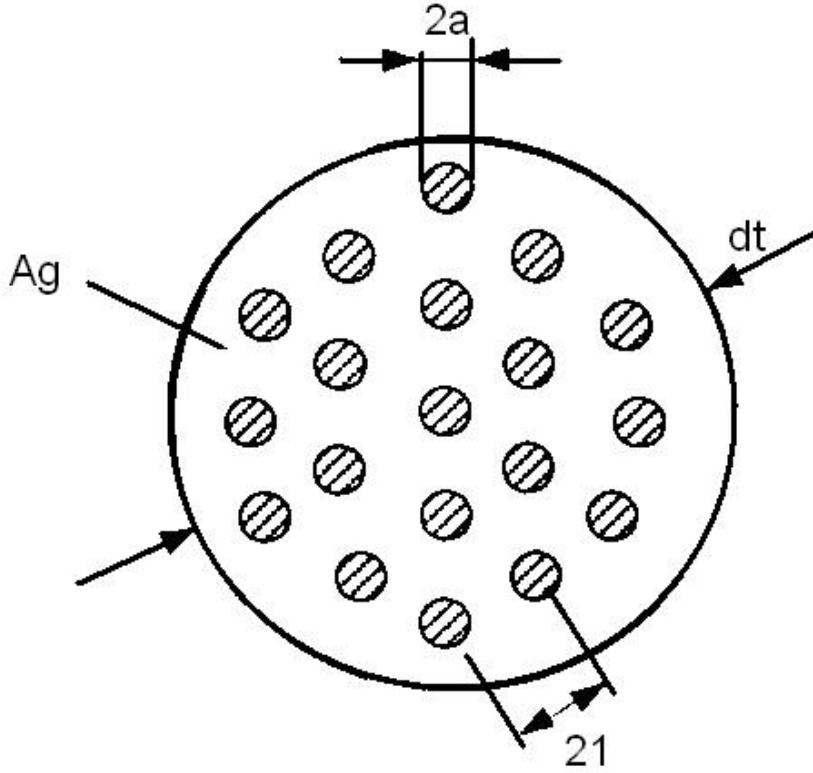
Gerçekte, levhaların temas çapı elektrot çapına eşit olmamakla birlikte, iki levha için kaynak işlemi başında toplam malzeme direnci aşağıdaki formül ile ifade edilebilir:

$$R_d = \left[\frac{P}{\pi \cdot n \cdot a} \arctan \frac{(l^2 - a^2)^{1/2}}{a} - 4,8 \frac{P(l^2 - a^2)^{1/2}}{\pi \cdot d_t^2} \right] \quad (3.11)$$

Burada, s: levha kalınlığı (m p: malzemenin özgül direnci (mm) d: akım yolu çapı (elektrot çapı (mm), b: kesik koninin taban çapıdır (mm).İki metalin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci (R iki farklı bileşenden meydana gelmiştir:

1. Yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle, akım yolunun gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralması ile ortaya çıkan daralma direnci (R_d).

Bu denklemde, p: malzemenin özgül direnci (mm a: temas noktalarının ortalama yarıçapı (mm), n: nokta sayısı, l: temas noktalarının merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı (mm) ve d görünür temas yüzeyinin çapıdır (mm) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları [2].

2. İletkenlerin yüzeyleri üzerinde mevcut olan filmlerin meydana getirdiği film direnci (R_f).

Sonuç olarak, temas direnci genel halde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

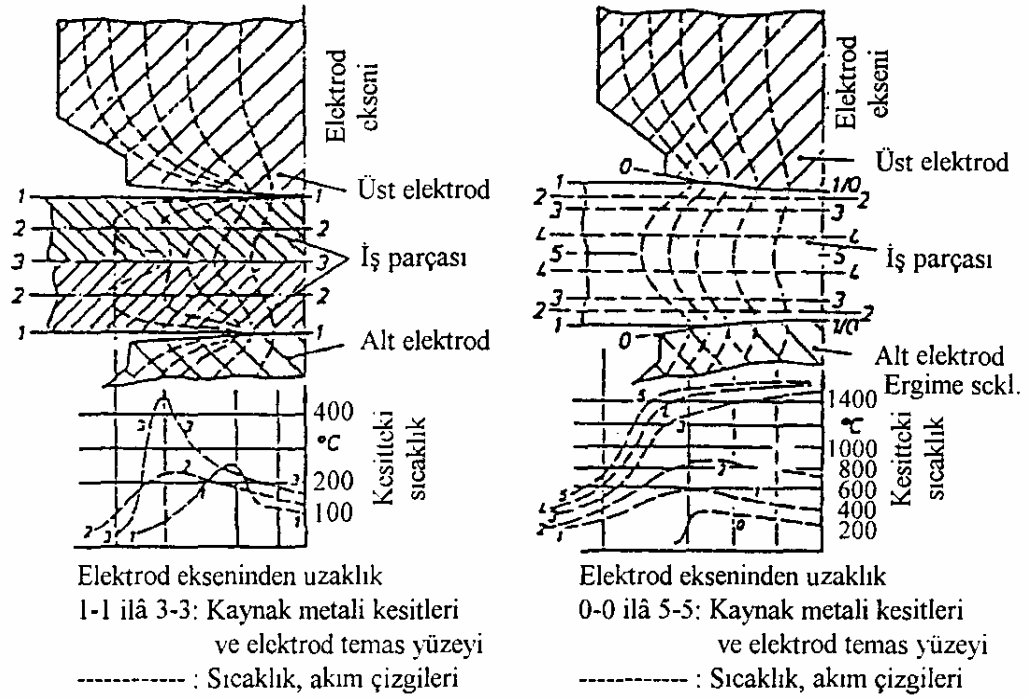
$$R_t = R_d + R_f \quad (3.12)$$

Kaynak akımı uygulanmadan önce ölçülen toplam direnç (R aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R_t = R_d + R_m \quad (3.13)$$

İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci sadece sıcaklığa ve malzemeye değil, aynı zamanda yüzey şartlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ile parça yüzeyleri üzerinde mevcut olan oksit

filmlerinin meydana getirdiği film direncinin toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrot kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır [4,23].

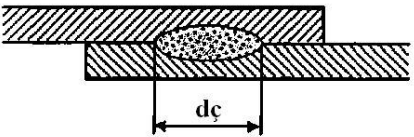


Şekil 3.17 Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı [24].

Isı, Şekil 3.17'deki bölgelerin her birinde akım yoğunluğu bölgenin direnciyle orantılı olarak üretilmektedir. Bu dirençlerden en büyüğü, levhalar arası temas direnci olduğundan, başlangıçta en fazla ısı burada üretilir. Bu bölgede sıcaklığın yükselmesi bölgenin iç direncini de arttırdığından, ısı üretim hızı diğer bölgelere oranla daha yüksek olur. Bu nedenle, erime ilk defa levhalar arası temas yüzeyinde başlar ve levha içine doğru gelişir. Kullanılan elektrotların yüksek ısı iletkenliğe ve düşük elektrik direncine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle, elektrotlarla levhalar arasındaki temas yerinde herhangi bir erime meydana gelmez. Şekil 3.17'da kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı verilmiştir [24].

Yukarıda bahsedilen esasa dayanarak oluşan kaynak çekirdeklerinin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına bağlı olarak boyutları değişmektedir. Çizelge 3.8’ de değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları verilmektedir.

Çizelge 3.8. Değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları (25)

Tek sacın kalınlığı	mm	0,5	1,0	1,5	2,0
	Çekirdek çapı (dç)				
	En Büyük	6,0	9,0	10,0	13,0
	En küçük	2,5	4,0	5,0	7,0

3.6. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri

3.6.1. 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:

$$Q=K.I \quad (3.14)$$

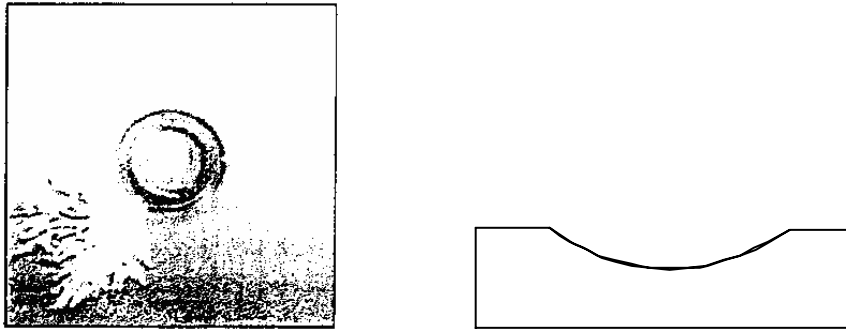
Burada, Q: ısı (enerji) (Watt-sn ya da Joule), I: akım (A), R: direnç (Ohm) ve t: akımın geçtiği süredir (sn). Isının bir bölümü elektrotlardan ve iş parçalarından iletim, taşınım ve ısınım yoluyla kaybolur. Bu kayıpların büyüklüğü genelde bilinmemektedir.

Çeliğin ısı iletimi yaklaşık olarak bakırın ısı 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.

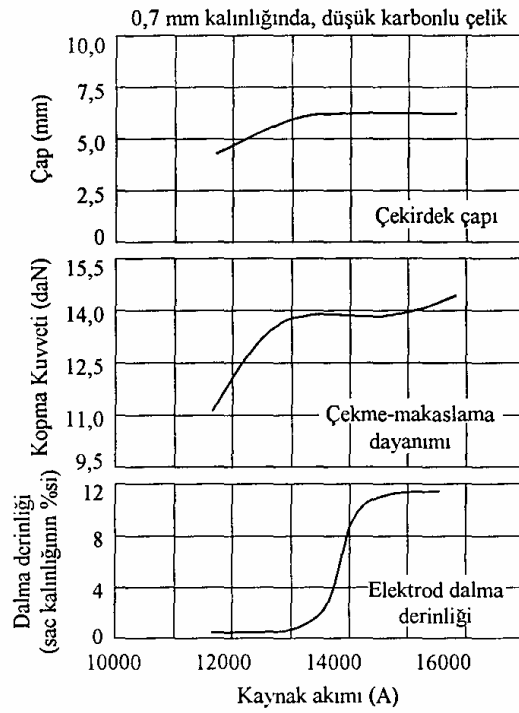
Kaynak akımı için bir de üst sınır mevcuttur. Kaynak akımı çok yüksek ise, elektrotlar arasındaki metalin tamamı, kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşmasıyla, plastik bölgeye kadar ısınmış olur ve elektrotlar derinlemesine metale gömülür. Elektrotların dış yüzeyleri aşırı ısınabilir yada yanabilir. Bu, özellikle, akım fişkırmaya sebep olacak kadar yüksekse gerçekleşir. Bu üst sınırın üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fişkırır (Şekil 3.18). 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.



Şekil 3.18 Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fişkırmaya ve kesit görünümü [26].

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

Kaynak akımı, bağlantı çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliğinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi Şekil 3.19 'da gösterilmiştir. Akım 13500 A'ın 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'ın biraz üzerine çıktığında dayanım biraz düşmektedir. Dalma derinliği, 13500 A'lık kaynak akımında sac kalınlığının %2'sinden, 14000 A'ın biraz üstünde %10 civarına kadar çıkmaktadır.

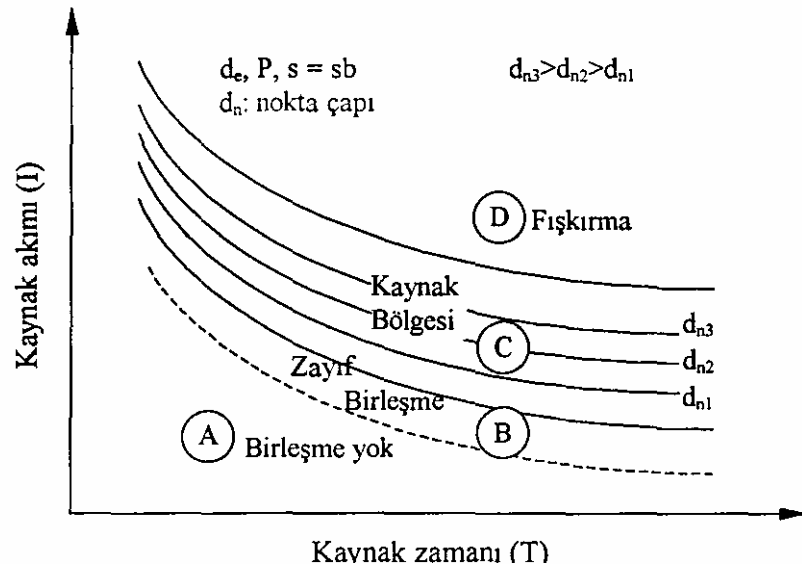


Şekil 3.19. Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri (5)

Belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrot uç çapı ve verilmiş bir elektrot kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür (Şekil 3.20).

Bu diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır. A bölgesinde herhangi bir erime ve birleşme yoktur. B bölgesinde basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan zayıf bir birleşme meydana gelir. C bölgesi erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge

içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı d elektrot çapı d yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akım ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın kalacak şekilde seçilir. D bölgesi fişkıma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fişkıma başlar [5,18].



Şekil 3.20 Kaynak kabiliyeti diyagramı [2,18].

Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, dikkatlice kontrolünü gerektirmektedir. Akım değişimlerine şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinesinin sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer yandan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki metalik temas noktalarından kısa devre olması sonucunda ortaya çıkar. Kısa devre nedeniyle nokta çapı yeterli bir değere erişemez. Ayrıca, kullanım sırasında, çeşitli sebeplerden dolayı uç çapı büyümüş elektrotlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olur [5].

3.6.2. Kaynak süresi

Nokta kaynağı sırasında iş parçaları ve elektrotlardaki ısı dağılımı üzerinde sürenin etkisi Şekil 3.15’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 bölgelerdekinden daha düşük olduğunu göstermektedir [23].

Isı (enerji) formülü $Q=K.I$, toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi parçasında oluşan ısıнын 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 yükseltirise yükseltsin, 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:

$$T=8.s \quad (3.15)$$

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 [1,5].

3.6.3. Elektrot malzemesi ve boyutları

Ticari saf bakır en iyi iletkendir. Saf bakır elektrotlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilene kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek elektrot kuvveti ve daha yüksek kaynak hızı kullanan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrot malzemesi olarak kullanımını engellemiştir. Soğuk çekilmiş bakır, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf bakırın istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Direnç kaynağında kullanılan başlıca elektrot alaşımları ve özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir [1].

Çizelge 3.9..Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları (1)

Alaşım	Brinell Sertliği	İletkenlik (%Cu)	Yumuşama Sıc. (°C)	Kullanıldığı Yer
Bakır (soğuk çek.)	95	90	150	Alüminyum
Tellür-Bakır	100	90	175	Alüminyum
Kadmiyum-Bakır	110	85	250	İnce yum. çelik sac
Krom-Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten-Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve bakır alaşımları

Genellikle, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısı direnci artırır. Bu yüzden, herhangi bir uygulama için belli bir elektrot alaşımının seçimi, onun mekanik özelliklerine göre değişen ısı ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleşir. Örneğin, alüminyumun kaynağında kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Buna karşılık, paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrotlarda, maksimum basma mukavemeti elde etmek için iletkenlikten fedakârlık edilmelidir.

Elektrotların şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının cinsine, şekil ve boyutlarına göre saptanır. Standart elektrotlar içinde en çok kullanılanlar, kesik koni uçlu ve küresel olanlardır.

Standart elektrot uç şekilleri ile levha kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot temas yüzeyi (uç) çaplarının seçimi Şekil 3.14’de verilmiştir.

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında, elektrot temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak, hassas bir biçimde ayarlanması gerekmemektedir. Bu nedenle, küresel uçlu elektrot, üst elektrodun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektroddur. Bu elektrot mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksek olduğundan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılır [1,5].

3.6.4. Elektrot kuvveti

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, kaynak çevrimi boyunca elektrotlar tarafından iş parçalarına uygulanan kuvvettir. Çoğunlukla statik bir değer olarak ölçülen ve ifade edilen elektrot kuvveti, operasyonda dinamik kuvvettir ve kaynak makinesinin hareketli parçalarının sürtünme ve ataletinden etkilenmektedir.

Nokta kaynağı yapılacak iş parçaları kaynak noktasında akımın geçişini sağlayacak şekilde sıkıca tutulmalıdır. elektrot kuvvetinin artırılması iş parçasının temas direncini azaltacağı ve böylece kaynak akımı tarafından iş parçalarının kaynak bölgesindeki yüzeyleri arasında açığa çıkan toplam ısıyı düşüreceği için, elektrot kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Ayrıca, çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlara neden olur.

Malzeme ve levha kalınlığına (s: mm) bağlı olarak elektrot kuvveti (P: kN), aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenebilir:

$$\text{Alaşımsız çelikler için } P = 2.s \quad (3.16)$$

$$\text{Yüksek alaşımlı çelikler için } P = 3,5.s \quad (3.17)$$

$$\text{Alüminyum için } P = 2.s \quad (3.18)$$

Elektrot kuvveti, cihazın kapasitesi dahilinde ki bir kaynak akım ile uyumlu olmalı ve tekrar oluşmasına yetecek kadar uzun kaynak zamanının kullanımına müsaade etmelidir. Ayrıca, iş parçaları kaynak alanında aşırı elektrot kuvvetine maruz kalmadan oldukça yakın temasta olmalıdır. İş parçaları, kaynak bölgesindeki temas çok yakın olmayacak şekilde deforme olmuşsa, deformasyonu yenebilmek için çok yüksek kuvvet gerekebilir. Özellikle pres parçaların, şekilli iş parçalarının veya iş metalinin kalın kesitlerinin nokta kaynağında, kaynak dayanımı ve kalitesindeki farklılıklar, iş parçalarını uygun bir şekilde bir araya getirmek için gereken elektrot kuvvetindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu, özellikle ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında geçerlidir. Bu malzemelerin yüksek dayanımından dolayı, oldukça yüksek geri yaylanmaya sahiptirler ve bu yüzden basit karbonlu çeliğe oranla daha yüksek elektrot kuvveti gerektirirler [1].

Bazen, iş parçalarını bir arada tutabilmek için normalde kullanılan daha uzun bir sıkma süresi gerekmektedir. Ayrıca, geri yaylanma olasılığından dolayı, tutma süresi kaynak metalinin katılaşmasına imkân tanıyacak kadar uzun olmalıdır. Elektrot kuvvetindeki farklılıkların direnç ve ısınmada değişikliklere sebep olmasından dolayı, bu kuvvet kaynak kabiliyeti diyagramındaki eğrilerin boyut ve lokasyonunda ve akım seviyesinde değişikliklere neden olabilir. Artan elektrot kuvvetleri, eğrileri daha yüksek akım seviyelerine kaydırır. Eğrilerdeki bu adıma, bir elektrot kuvvetinde kabul edilebilir kaynak çekirdekleri sağlamış kaynak akımı ve kaynak süresi kombinasyonlarının, yeni elektrot kuvvetinde daha fazla kabul edilebilir kaynak çekirdekleri üretmeyebileceğini belirtmektedir. Bu yüzden, özellikle, akma dayanımları 700 MPa'ın üzerindeki ince taneli yapı çeliklerinin bazıları gibi, kısmen kabul edilebilir kaynak akımı sınırına sahip alaşımlarda, elektrot kuvvetinde değişiklik yaparken dikkat edilmelidir [2,4].

Elektrot kuvveti, kaynak işleminin üç safhasında da önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 3.21). Basma safhasında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, levhaların, elektrotlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirlemektedir. Elektrot kuvveti, kaynak safhasında, levhalar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, bu fışkırmayı engellemektedir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu dövme kuvveti yoluyla önlemektedir [4].

3.6.5. Esas metalin kimyasal bileşimi

Çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerinde karbon içeriğinin çok büyük etkisi vardır. Kaynak sertliği karbon içeriğindeki ufak artışlarla hızlı şekilde artar. Bu yüksek sertlik çekirdek içi yırtılmalara ve çekirdek bozulmasına sebep olur. Kabul edilebilir kaynak performansı için karbon miktarı, s (mm) levha kalınlığı olmak üzere, $0,10\% + 0,1 \cdot 2s$ 'nin altında tutulmalıdır. Bu değer üstündeki malzemeler için kaynak sonrası temperleme gerekli olabilir [18].

Metalin bileşimindeki diğer maddelerin de kaynak kabiliyetine etkisi vardır. Fosfor ve kükürt genellikle çekirdek ara yüzeyinde yırtılmayı ilerletici rol oynamaktadır. Titanyum içeriğini arttırmak çoğunlukla çekirdek çapını, çekme-makaslama dayanımını ve kaynak akım sınırını düşürmektedir Azot, ara yüzeyde basıncı ilerletici rol oynamaktadır. Yüksek oksijen seviyeleri, ara yüzeyde hasara neden olmaktadır. Bunların dışında, yüzey yağlarından yayılan hidrojen de kaynak metali hasarını teşvik etmektedir [5].

3.6.6. Esas metalin gördüğü ısı ve mekanik işlemler

Çelik levhalar ek dayanım elde etmek için farklı şekillerde işlem görebilir. Bir malzemenin mukavemetini arttırmanın bir yöntemi soğuk haddelemedir. Genellikle soğuk haddelenmiş malzeme sünek değildir. Normalde, sünekliği sağlamak için tavlayıcı ısı işlemler uygulanmaktadır, ancak bu aynı zamanda dayanımını düşürmektedir. Soğuk işlenmiş yapının yeniden kristalleşmeyi tamamlamadan toparlanması için tasarlanan ısı işleme toparlanma tavlama adı verilmektedir. Bu işlem, oldukça yüksek dayanım seviyeleri sağlamakla birlikte bir miktar süneklik kazandırmaktadır. Dayanım arttırıcı diğer yöntemler, hadde östenitlemesini takiben sulama ve martenzitik ya da beynitik mikro yapılar elde etmek için yapılan temperleme işlemleridir [27,28].

3.6.7. Esas metalin yüzey durumu

Yüksek kalitede nokta kaynakları elde etmek için, elektrotlarla temas eden iş parçası yüzeyindeki direnç minimumda tutulmalıdır. Bu, düzgün, temiz iş metali yüzeylerine sahip olarak ve elektrot kuvveti kontrol edilerek yapılabilir. Elektrotlarla temas halindeki iş parçası yüzeyleri çok yüksek temas direncine sahipse, bu yüzeylerdeki sıcaklık artışı kaynak bölgesindeki yüzeylerdeki kadar hızlıdır. Ayrıca, temas direncindeki değişimler ve buna bağlı olarak kaynak akımının oluşması için geçen süredeki değişimlerden dolayı tutarsız sonuçlar elde edilebilir. Metal levhaların yüzeyleri mikro ölçekte düzgün değildir ve düşük elektrot basınçları kullanıldığında, gerçek metal-metal temas bölgesi tüm temas bölgesinin sadece küçük bir yüzdesi olabilir. Elektrot kuvveti arttırıldıkça, yüksek noktalar bastırılarak gerçek metal-

metale temas bölgesi artar ve böylece elektrik direnci düşer. Artan elektrot kuvveti iş parçasının ara yüzeyindeki direnci düşürür. Elektrot malzemesinin iş parçasından daha yumuşak olduğu durumlarda, belli bir elektrot kuvvetinin uygulanması elektrotlar ve iş parçaları arasındaki temas yüzeylerinde, iki iş parçasının ara yüzeyine oranla daha iyi bir temas sağlar.

Elektrot kuvveti, ısı formülünde Eş.3.11 direkt olarak yer almamasına rağmen elektrik direnci üzerindeki etkisi kaynak akımı üzerinde direkt olarak etkilidir. Yüzey direnci elektrot kuvvetiyle ters orantılıdır.

a) Yüzey Hazırlama: Çeliğin nokta kaynağı için önerilen parametre değerleri iş metalinin hadde cürufu, oksit, boya ve yağdan arınmış olması durumunda geçerlidir. Kaynak yapılacak iş metali ya da en azından kaynak bölgesindeki yüzeyler kaynakların inklüzyonsuz olmasını sağlayacak şekilde temizlenmelidir. Kaynakların iyi yüzey görünümüne sahip olmalarını sağlamak için elektrodla temas edebilecek kir, cüruf, pas ve oksit filmi temizlenmeli ya da azaltılmalıdır. İş parçası yüzeylerinden yabancı maddelerin temizlenmesi elektrot alaşımlaşmasını azaltır ve bunun neticesinde elektrot ömrünü arttırır.

İş parçalarının yüzeylerinden kir ya da yağ tabakası buharlı yağ gidericiler ve kimyasal banyolar ile temizlenebilir; yine de, nokta kaynağı yapılacak yüzeylerin dikkatlice elle temizlenmesi de yeterli olabilir. Oksit tabakaları mekanik yöntemlerle temizlenebilir. İşlem, tabakayı kesecek kadar fakat bozuk ya da çizilmiş bir yüzey oluşumuna neden olmayacak kadar şiddette olmalıdır.

Kum, kumtaşı veya bilye gibi aşındırıcı partiküller püskürtülerek temizleme yöntemleri genellikle tatmin edici değildir çünkü yüzeyde kum veya cüruf parçacıkları kalabilir. Ufak taneli, ince çelik tozu bazı uygulamalarda tatmin edicidir [1,4,25].

b) Yağ Kaplamalarının Etkisi: Yüzeydeki ince yağ kaplamalarının, nokta kaynaklarının kalitesinde az miktarda etkisi vardır. Fazla miktardaki yağ silinmeli veya yağ giderici ile temizlenmelidir [4,10,28].

c) Pas, Hadde Cürufu veya Oksidin Etkisi: Pas, hadde cürufu veya ısı yolla meydana gelen siyah veya mavi oksit tabakaları ile kaplanmış çeliğe direnç nokta kaynağı yapılabilir ancak kaynakların kalite ve sürekliliği bu kaplamalardan arındırılmış çeliğe yapılan oranla daha düşüktür. Düşük ve düzgün elektrik direncine sahip ince filmler kaynakta en az etkiye sahiptir. Çok kalın ve düzgün olmayan bir cürufu kaplı çelik bundan arındırılmadan pratik imalatla kaynak edilemeyebilir. Fazla miktarda cürufu veya oksit tabakasına sahip metal kaynak edildiğinde kaynak bölgesindeki yüzeyde bulunanların çoğu ya da hepsi, akım, yüzey dirençleri veya elektrot basıncı ne olursa olsun, kaynak içinde kalır. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, bazen belirlenmesi zor olan boşluklar veya diğer iç kusurlara neden olabilir [4,10,29].

3.6.8. Kaynak noktası sıklığı

İkinci nokta kaynağı, kaynak akımının birinci kaynaktan ya da ikinci kaynak noktasında elektrotlar arasındaki metalden akmasına neden olacak kadar, birinciye yakın yapılırsa şönt akımı (atlama) meydana gelir. Kaynak akımı iki yolun direnciyle ters orantılı olarak akan akım bölünmesi, ikinci kaynak noktasında, esas metal direncinin ara yüzey direncine oranına bağlıdır.

İkinci ve bunu takip eden kaynaklar yapıldığında, elektrotlar arasındaki metal bölünmüş devre olur; akımın bir bölümü metalden bir önceki kaynağa doğru hareket ederken, kalanı ikinci kaynak noktasındaki elektrot uçları arasındaki metalden akar. İlk nokta kaynağına olan mesafe yeterince büyükse, metalden direkt olarak akanla karşılaştırıldığında ilk nokta kaynağı boyunca olan yolun direnci yüksektir ve şöntlenme etkisi ihmal edilebilir. İlk nokta kaynağına olan mesafe kısa ise akımın önemli bir kısmı ilk nokta kaynağına atlar. Bu atlama (kısa devre) nedeniyle, nokta çapı yeterli bir değere erişmez. Bunu önlemek için, d nokta çapı olmak üzere, nokta merkezleri arasındaki uzaklık $3d$ 'den büyük olmalıdır [2].

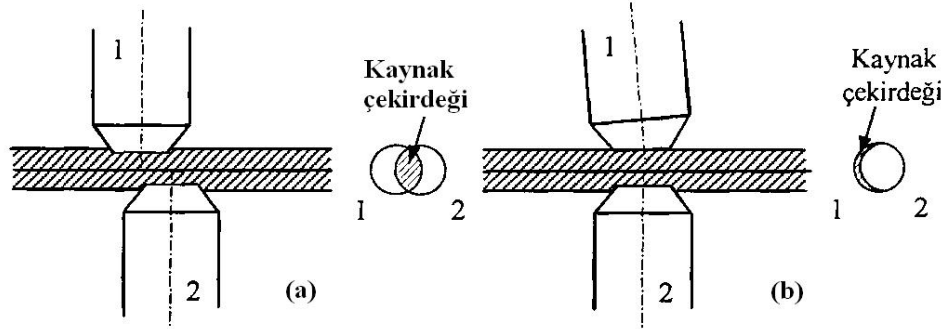
Elektrot uçları arasındaki metalin sıcaklığı artınca o noktadaki direnç artar ve böylece şöntlenme etkisine eklenir. Yüksek elektrik direncine sahip metaller düşük dirençli metallere oranla şöntlenme etkisinden daha az etkilenirler.

Düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında minimum aralık, metalin kalınlığı, erimiş bölgenin çapı ve kaynak bölgesindeki yüzeylerin temizliğine bağlıdır. Daha yüksek akım ve elektrot kuvveti, daha kısa kaynak süresi ve hızlı takip ile kaynaklar, önemli bir atlama olmadan, çeşitli tablolarda tavsiye edilen kaynak aralığından daha düşük bir değerde yapılabilir.

Kaynaklar levhanın kenarına ya da flanşa çok yakın yapılırsa, elektrot basıncı ve ısıya dayanabilecek esas metal hacmi yetersiz kalır. Bu kaynaktan sıcak metalin uzaklaştırılmasına sebep olacak şekilde, kenar boyunca etkili kuvvette düşüşe ve eşit olmayan ısınmayla sonuçlanır. Nokta kaynaklarına dikey flanşa veya yan duvara çok yakın yapıldığında, elektrot ve iş parçası arasında arklanma meydana gelebilir ya da kıvrılma açısından dolayı kaynak bölgesindeki yüzeylerde zayıf bir oturma meydana gelebilir. Metal kalınlığından dolayı büyük çaplı elektrotlar gerektiğinde eksantrik veya ofset uçlar kullanılabilir. İki metal parça arasındaki temas eden minimum bindirme, bir dereceye kadar elektrot çapı ve erimiş bölgenin çapını etkileyen metal kalınlığına bağlıdır [2,19,30].

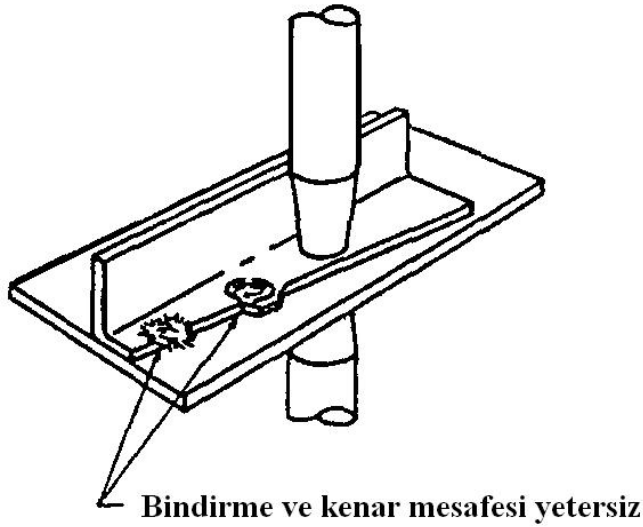
3.6.9. Elektrot ve iş parçasının temas durumları

Kaynak kalitesi ve kabiliyetini etkileyen bir diğer faktör elektrotların ve iş metallerinin birbiriyle temas etme durumudur. Elektrotlar, iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine paralel olmalıdır. Ancak iyi bir kaynak için bu koşul yeterli değildir. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrodun aynı ekseninde olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrotlarla yapılan kaynaklarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi, kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir. Şekil 3.21. (a)' da görülen kaynak bölgesi, gerekli alanın yaklaşık olarak üçte biri olup gerekli basıncın üç katına çıkmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.21 (b)'de ise birbirine paralel olmayan iki ucun meydana getirdiği kaynak görülmektedir.



Şekil 3.21 Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekler [31].

Yukarda belirtilen durumların yanı sıra bindirme ve kenar mesafelerinin de kaynak kalitesinde önemli rolü vardır. İyi bir kaynak elde edebilmek için nokta kaynağının kenara uzaklığı en az çekirdek çapının yarısı kadar olmalıdır. Şekil 3.22’ de yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan kaynak hataları görülmektedir [9,32].



Şekil 3.22. Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar [33].

3.6.10. Kaynak programları

Düşük karbonlu çelik, zaman, akım ve elektrot kuvvetinin geniş sınırlarında tatmin edici bir biçimde nokta kaynağı yapılabilir. Makine kapasitesinden dolayı bu değişkenlerden herhangi birindeki sınırlamalar diğerlerinde uygun ayarlamalar yapılarak telafi edilebilir. Toplam kalınlığı 0,8 mm’den 6,0 mm’ye kadar olan iki

kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen değerler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Bu ve bunun gibi tablolardaki verilerden, daha önce denenmemiş iş parçalarının kaynağında optimum ayarlamaların yapılması için, başlangıç noktaları olarak ve direnç nokta kaynağının imalat uygulamalarından beklenen sonuçlara yaklaşık bir rehber olarak yararlanılmaktadır. Bu veriler, ayrı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli değişikliklere maruz kalabilmektedir.

Çizelge 3.10. Kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri [4,23,34].

Toplam kalınlığı 0,4 mm'den 6,0 mm'ye kadar olan iki kaplamasız düşük karbonlu sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri								
Tek sacın kalınlığı		Elektrot uç çapı	Kaynak koşulları					
>	≤		Orta kuvvet orta süre			Yüksek kuvvet kısa süre		
			Elektrot kuvveti	Kaynak süresi	Kaynak akımı	Elektrot kuvveti	Kaynak süresi	Kaynak akımı
mm	mm	mm	daN	Periyot	KA	daN	Periyot	KA
0,4	0,6	4	0,9	5	5	1,3	5	6
0,6	0,8	4	0,9	7	6	1,3	6	7
0,8	1	5	1,4	9	6,5	2,1	7	8
1	1,2	5	1,4	11	7,5	2,1	7	10
1,2	1,6	6	2	14	8,5	3	8	12
1,6	2	7	2,7	18	9,5	4	10	14
2	2,5	8	3,5	22	10,5	5,3	12	16
2,5	3	9	4,5	28	12	6,7	15	18

Daha önce denenmemiş direnç nokta kaynağı uygulamaları için en tatmin edici koşulların belirlenmesinde faydalanılan adımların sırası aşağıda verilmiştir. 1. ve 4. adımlardaki tatmin edici kaynak için olağan kriterler, penetrasyon, uygulamaya uygun çekirdek çapı ve dalma derinliğinin yanı sıra, gözeneklilik, çatlak, aşırı fışkırma gibi büyük kusurların olmamasıdır.

1. Elektrot kuvvetinin ilk seçimi: Bu, kaynak edilecek parça ve kullanılacak elektrotlar için seçilir. Tavsiye edilen değerlerin yer aldığı çizelge 3.10 bu seçim için başlangıç noktaları sağlamakla birlikte, elektrot kuvvetinin bu ilk seçimini doğrulamak veya düzeltmek için yapılan denemelerde; kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi ilk değerlerinin seçilmesinde rehber olarak da kullanılmaktadır.

2. Kaynak süresi ve tutma süresinin belirlenmesi: Belli sayıdaki kaynak süresi ve tutma süresi kombinasyonlarının her biri için çeşitli akım seviyelerinde yapılan deneme kaynaklarının değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Basma süresi kaynak denemelerinde kritik değildir ve çoğunlukla geniş sınırlardaki deney şartlarına imkan tanıyacak kadar uzun olacak uygun bir değerde sabit tutulur.

3. Elektrot kuvvetinin seçimi: Kaynak zamanı ve tutma süresinin belirlenmiş kombinasyonlarından yararlanarak ve geniş bir kuvvet sınırı kapsayacak sayıdaki elektrot kuvveti değerlerini kullanarak, farklı akım seviyelerinde kaynaklar yapılır.

4. Kaynak akımının seçimi: Belirlenmiş kaynak süresi, tutma süresi ve elektrot kuvveti kullanılarak, geniş bir akım sınırını kapsayacak akım seviyelerinde deneme kaynakları yapılır.

5. Şartların seçiminin doğrulanması: 1. ve 4. adımlarda belirlenen kaynak şartlarında, bu seçimleri doğrulamak ve kaynak kalitesi ve proses kontrolünde kullanımının güvenilirliği ile ilgili referans verisi oluşturmak için, deneme kaynakları yapılır. 1. ve 4. adımlardakine oranla tamamlanmış bir değerlendirme bu adımda gerçekleştirilmektedir. 5. adımdaki deneme çalışmalarının sonuçları tatmin edici değilse, deney sonuçlarının gösterdiği şekilde kaynak değişkenleri değiştirilerek, prosedür tekrar edilir. Teçhizat, elektrot malzemesi ve elektrot tasarımındaki

değişiklikler bu aşamada yapılabilir ve prosedür, yada kısaltılmış versiyonu, kabul edilebilir sonuçlar elde edilene kadar tekrar edilir.

Bu beş adım, sadece, her kaynak değişkeni için optimum değerler belirlemekle kalmaz, tatmin edici değerlerin sınırlarını ve her değişkenin kritikliğini de belirler. Bir direnç nokta kaynağı programının yapılmasında takip edilen basamakların sırası, teçhizat veya işin farklı durumları, benzer tip işlerle deneyimin arttırılması ve müşteri ya da uygulanabilir şartnamelerin gerektirdiklerine bağlı olarak, farklılık gösterebilir. Kaynak şartlarının başlangıçta ya da üretim sırasında ayarlanması gerektiğinde, ayarlama, çoğunlukla uygun ve etkili olan kaynak süresi, tutma süresi ya da akım üzerinde yapılır [5,35-36].

3.7. Nokta Kaynak Parametreleri

Nokta kaynağında kaynak kalitesi, elektrot malzemesi elektrot biçimi ve akım şiddetinin dışında, kaynak süresi ile elektrot kuvvetine de bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Alaşımsız ve paslanmaz çeliklerle hafif metallere ait çalışma değerleri Şekil 2.1.'de örnek olarak verilmektedir. Kaynak makinelerinin sahip oldukları özelliklere göre, bu değerlerde de farklılıklar olabileceğinin dikkate alınması gerekmektedir.

Bir kaynak sisteminde sekonder devredeki toplam direnç ve sekonder gerilim, akım şiddetinin yüksekliğini belirler. İşlemde yararlanılan efektif akım, ayrıca birleştirilen malzeme ve yan devre kayıplarına da bağlıdır.

Nokta veya dikiş kaynak makinelerinde, kol açıklığı ile kol aralıkları, pencere boşluğu olarak adlandırılan bir etkeni de tanımlamaktadır. Bu etkenlerin, sekonder devrenin görünür direnci etkilemektedir. Eş kaynak değerleri ile çalışma koşullarında bu çerçevenin büyütülmesiyle görünen direnç artarak kaynak akım ve makinesinin gücü küçülmüş olmaktadır. Bu durum kaynak noktası boyutlarının küçülmesi ve dayanımının azalması şeklinde yansımaktadır. Kaynak noktalarında eşit dayanımların sağlanması için, her kol açıklığına uyan, optimal kaynak değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. [33,36].

Çizelge 3.11. Paslanmaz çelik, alaşımsız çelik, hafif metallerin nokta kaynak değerleri [18,37]

Alaşımsız Çelikler					
Kalınlık(mm)	elektrot çapı	Kuvvet (daN)	Akım şiddeti A	Kaynak sür. sn	Kay. Çap mm
0,5	4	60- 150	2000- 4000	0,2- 0,04	4
1	5	100- 250	3000- 8000	0,4- 0,1	5
2	7	200- 500	5000- 14000	1,0- 0,3	6,5
3	9	300- 800	8000- 19000	2,0- 0,6	8,5
4	11	380- 1250	10000- 24000	3,2- 0,9	10,5
5	13	450- 1700	12000- 28000	4,5- 1,4	12,5
Paslanmaz Çelikler					
Kalınlık(mm)	elektrot çapı	Kuvvet (daN)	Akım şiddeti A	Kaynak sür. sn	Kay. Çap mm
5	4	175	3750	0,04	3,5
1	5	400	7600	0,14	4,5
1,5	6	650	11000	0,2	5,5
2	7	900	14000	0,24	6,5
2,5	7,5	1200	16000	0,2	7

Çizelge 3.11. (Devamı) Paslanmaz çelik, alaşımsız çelik, hafif metallerin nokta kaynak değerleri [18,37]

Hafif Metaller					
Kalınlık(mm)	elektrot çapı	Kuvvet (daN)	Akım şiddeti A	Kay. Süresi sn	Kay. Çap mm
0,5	75	180	15000	0,04	2,8
1	110	250	30000	0,06	4,5
1,5	150	320	40000	0,06	6,2
2	180	400	50000	0,03	8
2,5	210	520	55000	0,1	9

Yan akımın devreleri, birçok nedenlerden akımın kararlılığını etkileyerek, kaynak kalitesine olumsuz yönde yansımaktadır. Seri yapılan nokta kaynağında, yan devrenin etkisiyle kaynak noktası çapının küçülmesi ortaya çıkmaktadır. Oluşan yan devre nedeni ile, uygulanan akım şiddetinin bir kısmı yan devreden akmaktadır. Malzeme iletkenliği ve parça kalınlığının artması, bu olayın oluşum eğilimi ve hızını artırmaktadır. Bu nedenle, iş parçasının biçim ve dayanımı müsaade ediyorsa, uygun nokta aralıkları ile çalışılması gerekli bulunmaktadır. (21,38,39).

3.8. 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 (34,40).

3.8.1. İç hatalar

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

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 müsade edilir. Minimum ve maksimum sınırları aşan kaynaklar, kaynak mukavemetinde istenmeyen değişmeye sebep olabilirler (4,34).

Yetersiz nüfuziyet

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

Yetersiz nüfuziyete aşağıdaki faktörlerden bir veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Yetersiz kaynak akımı.
- b) Aşırı kaynak basıncı.
- c) Uygun olmayan ısıl denge.
- d) Çok büyük elektrot ucu.
- e) Uygun olmayan yüzey durumu (4,23,34).

Aşırı nüfuziyet

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

Aşırı nüfuziyete aşağıdaki faktörlerin biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Uygun olmayan yüzey durumu.
- b) Çok küçük elektrot ucu.
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı.

- d) Yeterli olmayan kaynak basıncı.
- e) Yeterli olmayan elektrot soğutulması (2,34).

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:

- a) Elektrotların yanlış hizalanması.
- b) Çok küçük elektrot ucu.
- c) Uygun olmayan yüzey durumu.
- d) Uygun olmayan kaynak programı.
- e) 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 (4,26,33).

Gaz kabarcıkları ve gözeneklilik

- a) Fıskırma gaz kabarcıkları genellikle fıskırma şiddetli olduğu zaman medyana gelir.
- b) Uygun olmayan kaynak basıncı.
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı.
- d) Uygun olmayan kaynak akımı yükselme hızı (5,34).

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.

- a) Yetersiz kaynak basıncı.
- b) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı.
- c) Elektrotların aynı hizada olmamaları.
- d) Aşırı kaynak akımı.
- e) Elektrotların yana kayması.
- f) Yetersiz elektrot soğutulması (26,34).

3.8.2. Dış hatalar

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

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:

- a) Çok seyrek elektrot temizlenmesi.
- b) Uygun olmayan yüzey durumu.
- c) Yetersiz kaynak basıncı.
- d) Aşırı kaynak akımı.
- e) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi.
- f) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı.
- g) Elektrotların yana kayması.
- h) Yetersiz elektrot soğutulması.
- ı) Uygun olmayan elektrot malzemesi (34).

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.

- a) Aşırı kaynak basıncı.
- b) Bir hizada olmayan elektrotlar.
- c) Çok küçük elektrot ucu.
- d) Fıskırma.
- e) Aşırı kaynak akımı.
- f) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi.
- g) Aşırı kaynak zamanı (5,34,35).

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:

- a) Uygun olmayan yüzey şartları.
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı.
- c) Aşırı kaynak akımı.
- d) elektrot ucunun çok küçük olması.
- e) Elektrotların bir hizada olmamaları.
- f) Elektrotların yana doğru kaymaları (4,35,38).

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.

- a) Elektrodun yana kayması.
- b) Aşırı kaynak basıncı.
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi.
- d) Uygun olmayan kenar mesafesi.
- e) Fıskırma.
- g) Aşırı kaynak akımı (4,34).

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:

- a) Çok küçük elektrot ucu.
- b) Aşırı kaynak basıncı.
- c) Aşırı kaynak akımı.
- d) Fıskırma.
- e) Aşırı nüfuziyet.
- f) Aşırı yüzey ısınması.
- g) Uygun olmayan dövme periyodu (34,35).

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 çatlaması aşırı ise azalacaktır.

Dış çatlaklara aşağıdaki faktörlerden biri veya bir kaç sebep olabilir:

- a) Elektrotların yanlış hizalanması.
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı.
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi.
- d) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı.
- e) Aşırı nüfuziyet.
- f) Aşırı kaynak akımı.
- g) Yetersiz elektrot soğutulması (26,35,37).

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:

- a) Uygun olmayan yüzey hazırlama seçimi.
- b) Çok seyrek elektrot temizliği.
- c) Elektrot uçlarındaki rutubet.
- d) Aşırı kaynak akımı.
- e) Yeterli olmayan kaynak basıncı (2,34).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, nokta direnç kaynağı yöntemi ile 1,5 mm kalınlığa sahip çelik levha ve yine aynı kalınlıktaki titanyum levhalar farklı parametreler dahilinde argon koruyucu atmosferi altında birleştirilmişlerdir. Deneyler esnasında nokta direnç kaynağı yönteminin önemli parametrelerinden olan akım ve basınç sabit tutulmuş zaman değiştirilmiştir. Yine deneyler esnasında, bir kısım birleştirme numunelerinde ara bağlayıcı kullanılmış ve kullanılan bağlayıcının birleşmeye olan etkisi araştırılmıştır. Farklı parametreler dahilinde elde edilen birleştirmelerin arayüzey ve metalurjik özellikleri incelenmiştir.

Bu tezde deneysel çalışmalara ilave olarak ayrıca pnömatik kontrollü nokta direnç kaynak makinası imal edilmiştir. İmal edilen makineye ait görüntü ve teknik bilgiler tezin sonunda ek'ler kısmında verilmiştir.

4.1. Malzeme

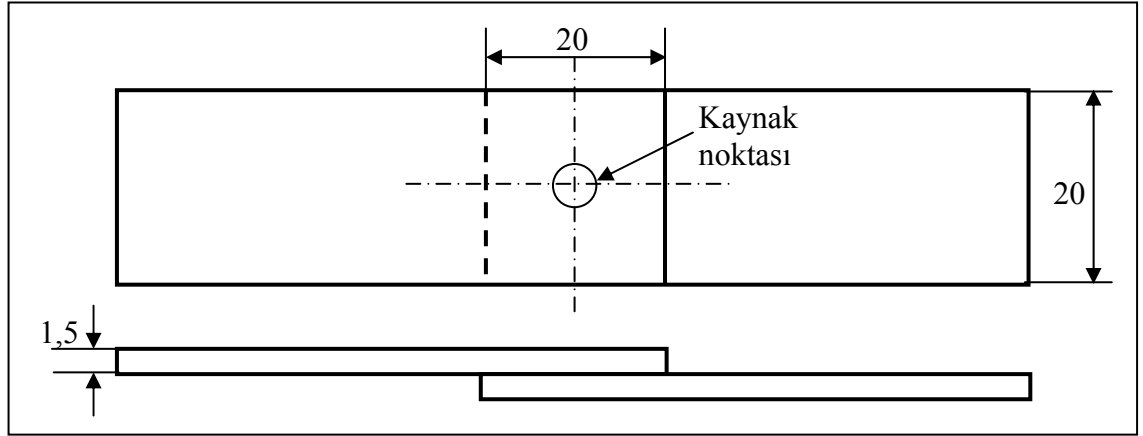
4.1.1. Birleştirilen malzemeler

Birleştirme işlemlerinde, kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de verilen ve şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilen 90x20x1,5 mm ebatlarında çelik levha ve aynı ebatlarda ticari saflıktaki titanyum levhalar (ASTM Grade 2) kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan levhaların kimyasal bileşimi

Çelik	Element	Mn	P	Ti	Cr	Mo	C	Fe
levha	% Ağırlık	0,270	0,013	0,0001	0,001	0,001	0,42	99,6
Titanyum	Element	C	V	Fe	N ₂	O ₂	H	Ti
	% Ağırlık	0,10	3,5	0,30	0,03	0,25	0,015	Kalan

Kullanılan çelik levhanın atom ağırlığı 55,84gr, yoğunluğu 7,86gr/cm³ olup, titanyum levhanın yoğunluğu 4,5 gr/cm³, akma dayanımı ise 126kg/mm² dir.



Şekil 4.1. Deney numunelerinin şematik gösterimi

4.1.2. Ara bağlayıcı

Birleştirme işlemlerinde bir kısım numunelerde 0,30 mm kalınlığında ve %95 ticari saflıkta ara bağlayıcı gümüş folyo kullanılmıştır. Gümüş malzemenin atom ağırlığı 107,87 gr, yoğunluğu $10,5 \text{ gr/cm}^3$, ergime noktası ise $961,9^\circ\text{C}$ dir.

4.2. Deneysel Metod

4.2.1. Kaynak makinesi

Deneysel çalışmada, 60 kVA gücünde, SPP60 elektronik kumandalı Baykal marka akım ve zaman kontrollü, su soğutmalı, pnomatik basma donanımlı elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Elektrod baskı kuvveti kaynak makinesi üzerindeki dinamometre ile ölçülmüştür. Kaynak akım şiddeti ve süresi makinenin kendi donanımı ile 3 değişik akım şiddeti ve süresi olacak şekilde ayarlanmıştır.

4.2.2. Elektrodlar

Deneylerde, konik uçlu, uç çapı 8 mm olan ticari saflıkta bakır elektrodlar kullanılmıştır. Kullanılan elektrodların uçları sık sık kontrol edilip aşındıklarında tekrar ölçü değerlerine getirilmiştir.

4.2.3. Direnç nokta kaynağının yapılışı

Deneysel çalışmada kullanılacak numuneler Şekil 4.1’de gösterilen boyutlarda hazırlanıp direnç nokta kaynağı için elverişli hale getirildikten sonra 20 mm lik kısımları üst üste bindirilerek orta noktalarından birleştirilmişlerdir. Birleştirme işlemlerinden önce direnç kaynağı uygulanacak bölgeler zımpara ile iyice temizlenmiş ve kaynak için olumsuz etki yapacak yağ, pas gibi olumsuzluklardan arındırılmıştır. Kaynak işlemleri sabit akım değeri (50 A) ve sabit basınç değerinde (3,5 bar) olacak şekilde 3 farklı kaynak süresinde yapılmıştır. Birleştirme işlemleri Ti-Ti olacak şekilde 5 adet folyolu ve 5 adet’te folyosuz olarak gerçekleştirilmiş buna ilave olarak ta yine 5’er adet St-Ti folyolu ve folyosuz olarak yapılmıştır. Birleştirme işlemleri esnasında titanyumun oksijen, azot ve diğer olumsuz gazlara olan etkisini gidermek amacı ile argon koruyucu gazı atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Birleştirme sonrası numuneler normal hava şartlarında soğumaya bırakılmıştır. Deneysel çalışmada birleştirilen numunelerin görüntüsü aşağıda Resim 4.1’de verilmiştir.



Resim 4.1. Birleştirilen numunelerin görüntüsü

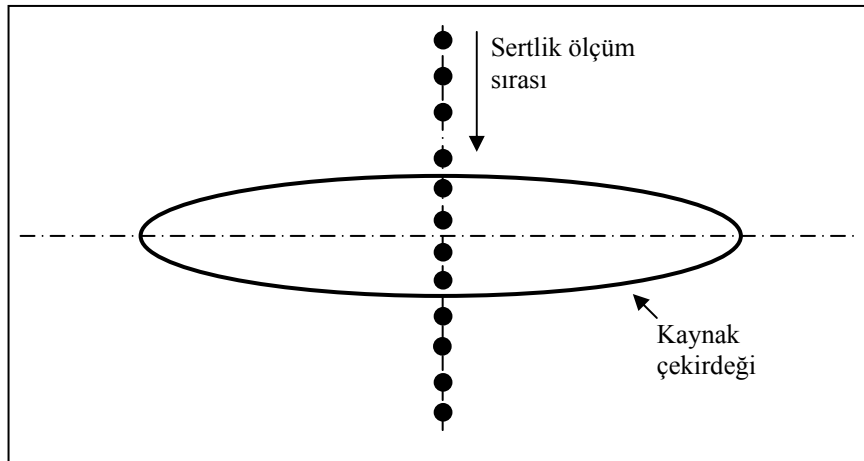
4.2.4. Çekme makaslama deneyi

ASTM D 3165-95'e göre hazırlanan deney numunelerine farklı birleştirme sürelerinde kaynak işlemleri uygulanmıştır. Her farklı birleştirme parametresinden olacak şekilde 3'er adet numune çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçların ortalama değerleri çekme-makaslama mukavemeti olarak verilmiştir. Çekme-makaslama deneyleri ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde Zwick/Roell Z050 Bilgisayar kontrollü cihaz ile 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

4.2.5. Sertlik deneyi

Sertlik deneyleri Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümünde bulunan "HVM Microhardness Tester Shimadzu" marka DIATESTOR 7551 tip sertlik ölçme cihazında HV cinsinde 200 gr. yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçme işlemleri kaynak çekirdeği boyunca dikey doğrultuda aşağıda Şekil 4.2'de şematik olarak gösterildiği biçimde yapılmıştır.



Şekil 4.2 Sertlik ölçümü alınan noktaların şematik gösterimi

4.2.6. Metalografik inceleme

Birleştirilen deney numuneleri, kaynak yapılmış noktalardan (kaynak çekirdeği merkezinden), birleştirmenin enine paralel olarak kesilmiş ve metalografik muayene için soğuk gömme işlemine tabi tutulmuşlardır. İncelenecek olan yüzeyler standart metalografik numune hazırlama işlemlerine uygun olarak hazırlandıktan sonra 0,2µm elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler 15 ml HCl, 5 ml HF ve 80 ml saf su ile oluşturulan kimyasal ile dağlanarak gerekli bölgelerinden mikroyapı fotoğrafları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde Bulunan PRIOR marka optik mikroskop ile çekilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı parametreler dahilinde birleştirme işlemlerine tabi tutulan 1,5 mm kalınlığa sahip çelik ve titanyum levhalar argon koruyucu gaz atmosferi altında nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Elde edilen bu birleştirmelere ait deney sonuçları aşağıda sırası ile verilmiştir.

5.1. Çekme-Makaslama Deney Sonuçları ve Tartışma

Akım ve basınç değerleri sabit tutularak 3 farklı zaman diliminde ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcı kullanılmadan birleştirilen numunelerin hepsinde birleşme elde edilmiştir. Birleştirilen numunelere uygulanan çekme-makaslama deney sonuçları aşağıda çizelge halinde verilmiştir. Çizelge 5.1 çelik-titanyum birleştirmeleri folyolu ve folyosuz çekme-makaslama deney sonuçlarını, Çizelge 5.2 ise titanyum-titanyum birleştirmeleri folyolu ve folyosuz çekme-makaslama deney sonuçları içermektedir.

Çizelge 5.1 Çelik-Titanyum çekme makaslama deney sonuçları

Numune	Bağlayıcı durumu	Akım (A)	Zaman (t)	Basınç (Bar)	Çekme-makaslama sonucu (N)	Aritmetik Ortalama (N)
St-Ti 1	Folyolu	50	40	3,5	4278	5061
St-Ti 2	Folyolu	50	50	3,5	4873	
St-Ti 3	Folyolu	50	60	3,5	6034	
St-Ti 1	Folyosuz	50	40	3,5	3870	4440
St-Ti 2	Folyosuz	50	50	3,5	4329	
St-Ti 3	Folyosuz	50	60	3,5	5123	

Çizelge 5.2 Titanyum-Titanyum çekme makaslama deney sonuçları

Numune	Bağlayıcı durumu	Akım (A)	Zaman (t)	Basınç (Bar)	Çekme-makaslama sonucu (N)	Aritmetik Ortalama (N)
Ti-Ti 1	Folyolu	50	40	3,5	8969	9200
Ti-Ti 2	Folyolu	50	50	3,5	9232	
Ti-Ti 3	Folyolu	50	60	3,5	9401	
Ti-Ti 1	Folyosuz	50	40	3,5	9538	9638
Ti-Ti 2	Folyosuz	50	50	3,5	9662	
Ti-Ti 3	Folyosuz	50	60	3,5	9715	

Çizelge 5.1'deki çekme makaslama deney sonuçlarına bakıldığında St-Ti birleştirmelerinde ara bağlayıcı kullanılarak gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde kullanılan ara bağlayıcı birleştirmelerin dayanımını arttırdığı görülmektedir. Burada, kullanılan ara bağlayıcı kaynak işlemi esnasında ergiyerek her iki taraftaki malzemeye nüfuz etmiş ve arada bir bağ oluşturmuştur. Böylece farklı metalurjik özelliklere sahip olan çelik ve titanyum malzemelerinin mekanik dayanımı nokta direnç kaynağı uygulamalarında daha sağlıklı sonuçlar verebilmektedir.

Ara bağlayıcı olarak gümüş folyo kullanıldığında akım değeri 50 A ve kaynak zamanı 0,8 sn olan birleştirme işleminden 4278 N değerinde bir çekme-makaslama mukavemeti elde edilirken, aynı birleştirme şartlarında folyo kullanılmadığında 3870 N değerinde bir dayanım elde edilebilmektedir. Mukavemetteki bu artış çelik-titanyum birleştirmelerinde kullanılan diğer kaynak parametrelerinde de ortaya çıkmaktadır. Yine akım değeri sabit kalmak şartı ile kaynak süresi 1,2 sn'ye çıkartıldığında ara bağlayıcı kullanılan birleştirmeden ortalama 6034 N değerinde bir çekme-makaslama dayanımı elde edilirken, ara bağlayıcı kullanılmadan aynı kaynak süresinde yapılan birleştirme işleminden ortalama 5123 N değerinde bir dayanım elde edilmiştir.

Yukarıda verilen bu sonuçlara bakıldığında, çelik-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcı olarak gümüş folyo kullanımı birleştirmenin dayanımını arttırdığı açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 5.2’de verilen Ti-Ti birleştirmelerinin sonuçlarına bakıldığında ise kullanılan ara bağlayıcının birleştirmelerin çekme-makaslama dayanımlarını düşürdüğü açıkça görülebilmektedir. Ti-Ti nokta direnç kaynağı birleştirmelerinde kaynaklı birleştirme için gerekli ön temizlik işlemleri yerine getirildiğinde ve koruyucu atmosfer oluşturulduğunda ara bağlayıcının kullanımına gerek olmadığı yapılan çalışmalarımız sonucunda görülebilmektedir.

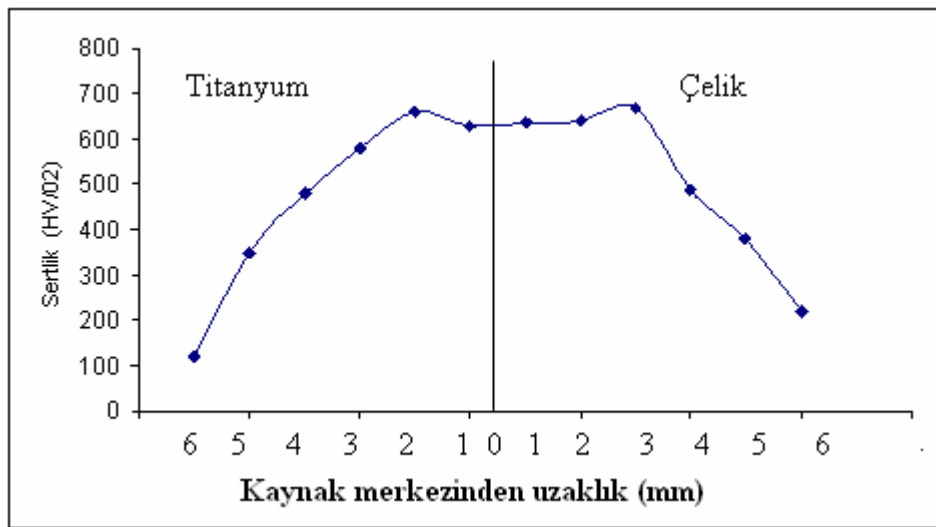
Gerçekleştirilen Ti-Ti birleştirmelerinde, akım değeri sabit kalmak şartı ile, kaynak süresi 0,8 sn olarak seçildiğinde ara bağlayıcı kullanılan numuneler ortalama 8969 N değerinde bir çekme-makaslama dayanımı verirken, aynı kaynak süresinde ara bağlayıcısız gerçekleştirilen birleştirme numuneleri ortalama 9538 N değerinde bir çekme-makaslama dayanımı vermiştir. Hem ara bağlayıcı kullanılarak hem de ara bağlayıcısız gerçekleştirilen Ti-Ti birleştirmelerinde aynı akım değerinde kaynak süresinin artması ile, elde edilen çekme-makaslama değerlerinin de arttığı deneysel çalışmalar sonucunda görülebilmektedir. Yine aynı akım değerinde kaynak süresi 1,2 sn’ye çıkartıldığında ara bağlayıcılı birleştirmelerden ortalama 9401 N değerinde bir dayanım elde edilirken, ara bağlayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen birleştirme numunelerinden ortalama 9715 N değerinde bir dayanım elde edilmiştir.

Genel olarak kaynak zamanı arttıkça plakalar arasında difüzyon daha iyi gerçekleşmiş ve mukavemette de bir artış olduğu görülmüştür. Kaynak yapılacak iş parçalarının akım geçişini sağlayabilmeleri için kaynak bölgesinde basınç altında bir arada tutulmaları gerekmektedir. Basınç miktarı belirli dereceye kadar elektrodlar arasındaki toplam direnci ve bu sebeple kaynak bölgesinden akan akım miktarını etkilemektedir.

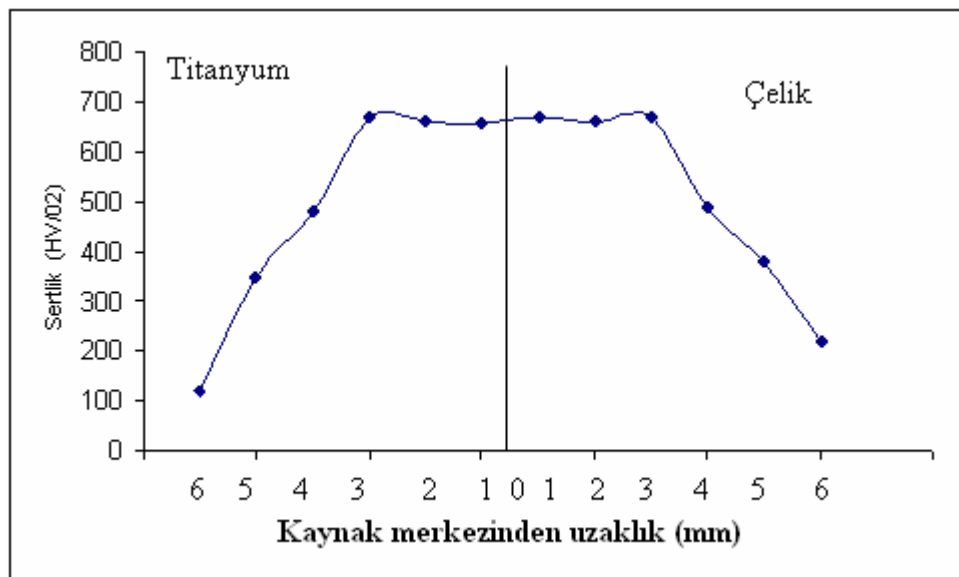
Kaynak süresi arttıkça ısı girdisi de artmakta olup kullanılan ara bağlayıcı birleştirilen parçalara daha fazla nüfuziyet etmekte ve ara bağlayıcı kalınlığı azalmaktadır. Buda sonuç olarak çekme makaslama dayanımlarını artırmaktadır.

5.2. Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma

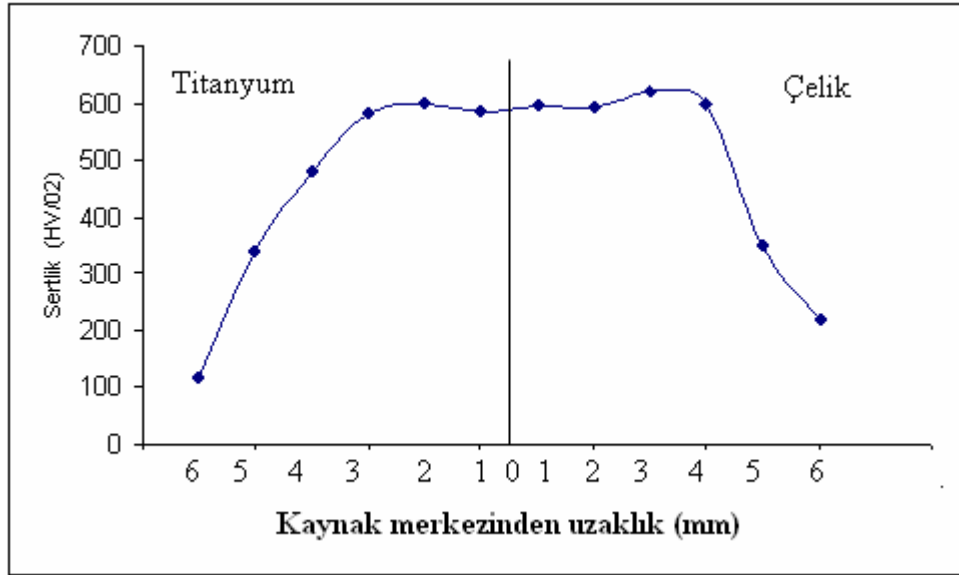
Birleştirilen deney numunelerinin kaynak bölgelerinden HV yöntemi ile 200 gr. yük kullanılarak elde edilen sertlik sonuçları aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Birleştirme işlemlerinde akım değeri ve baskı miktarı sabit olduğundan farklı birleştirme sürelerindeki sertlik grafikleri verilmiştir.



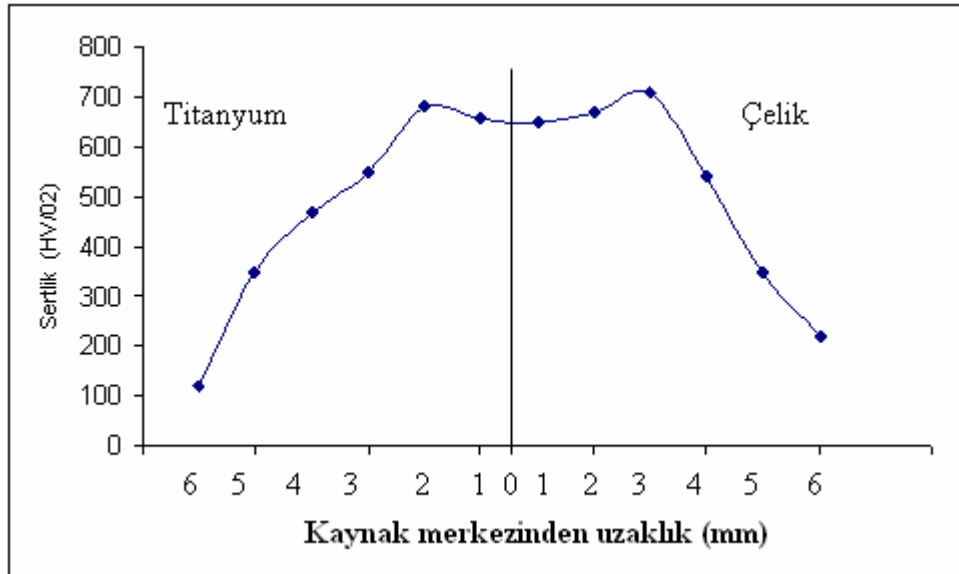
Şekil 5.1. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyolu)



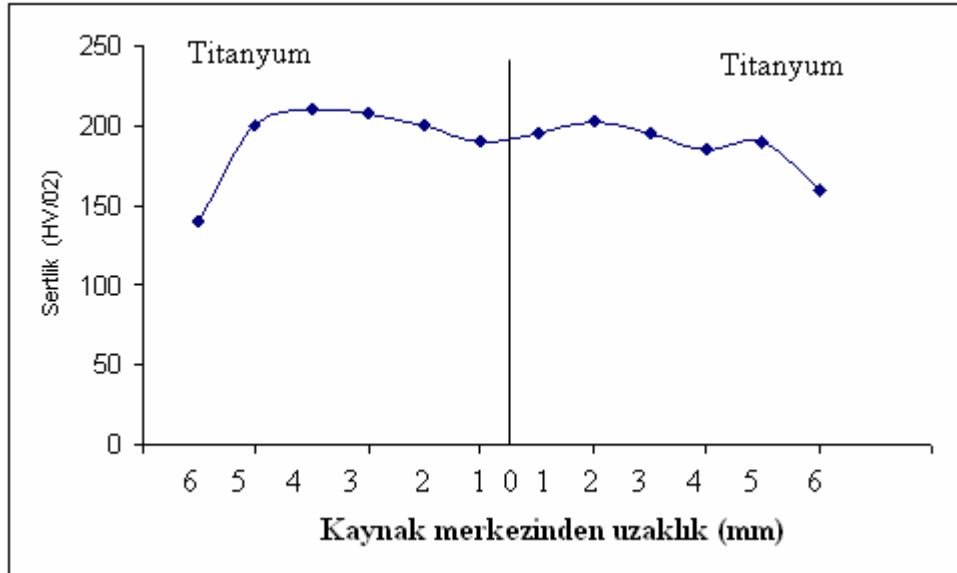
Şekil 5.2. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyolu)



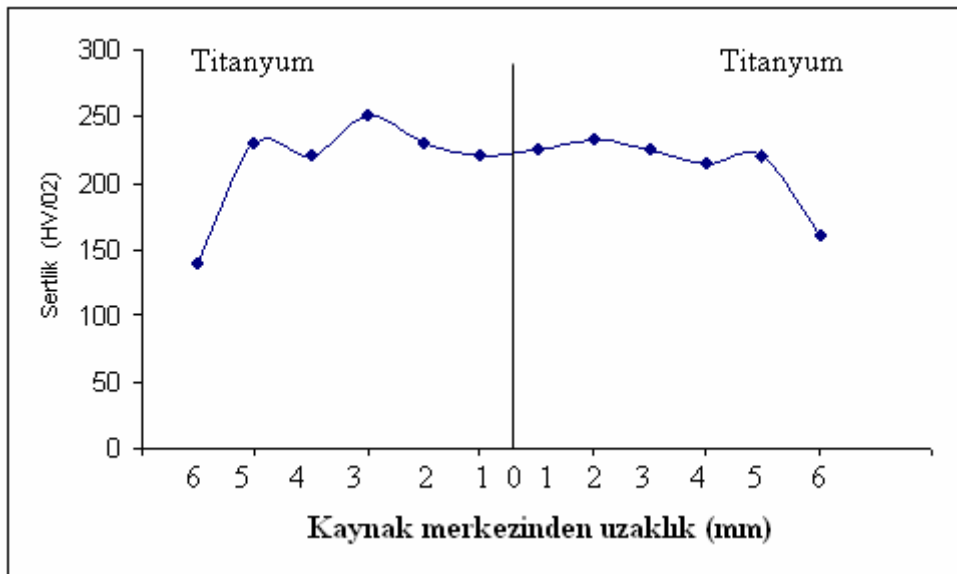
Şekil 5.3. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyosuz)



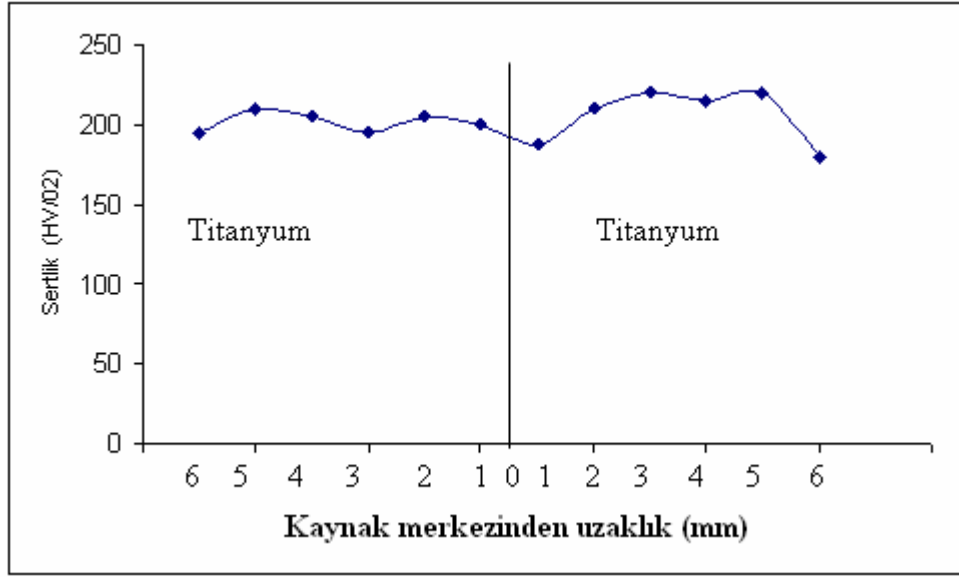
Şekil 5.4. Çelik- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyosuz)



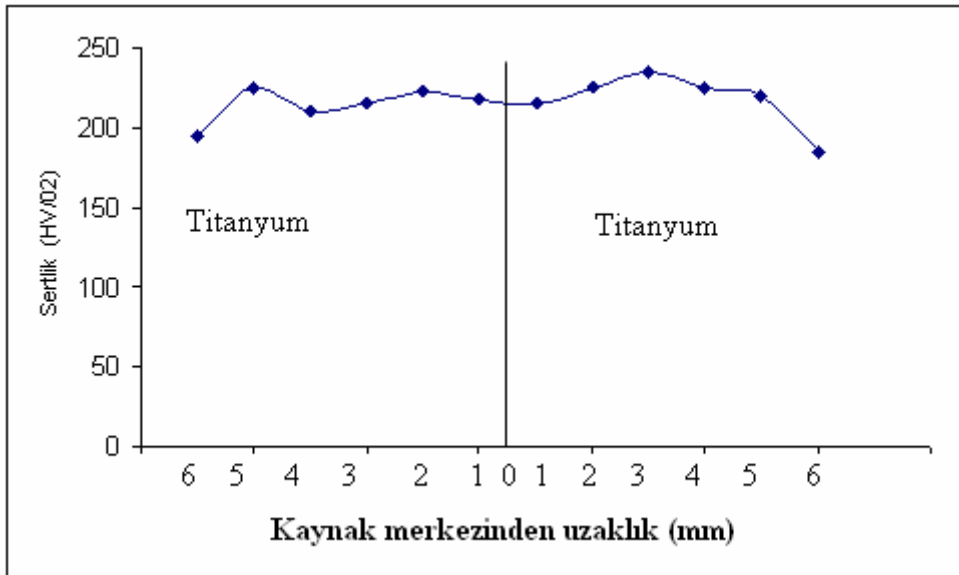
Şekil5.5. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyolu)



Şekil 5.6. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyolu)



Şekil 5.7. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=40, Folyosuz)



Şekil 5.8. Titanyum- Titanyum birleştirmesi (t=60, Folyosuz)

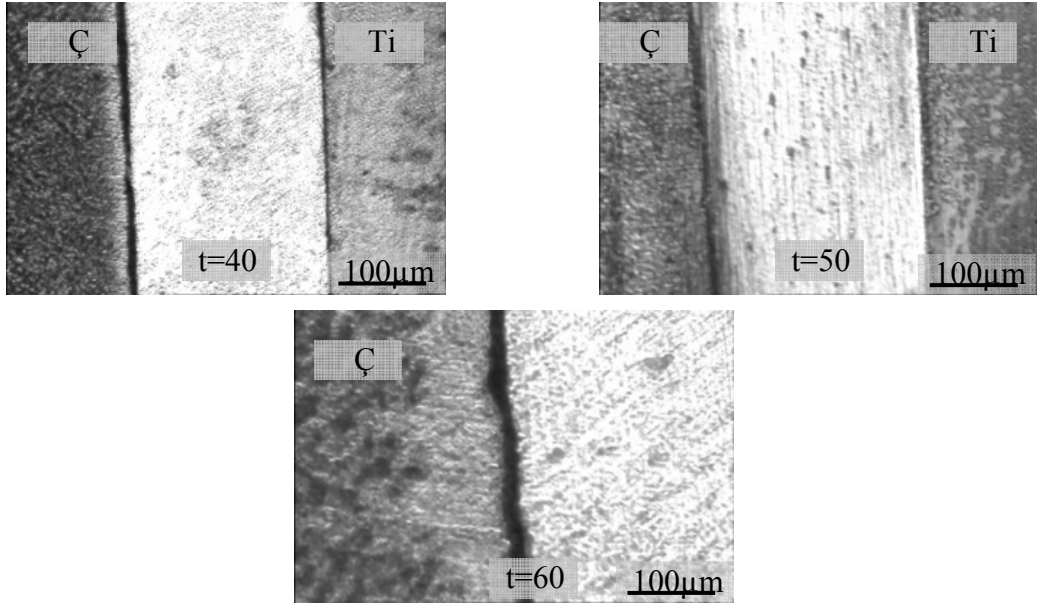
Yukarıda verilen grafiklerden de görüldüğü üzere bütün birleştirmelerde kaynak çekirdeklerindeki sertlik değerlerinde bir düşüş olmaktadır. Bununla beraber kaynak çekirdeği ile ana malzeme arasında kalan bölgedeki (ITAB) sertlik değerlerinde ise bir artış gözlenmektedir. Esas malzemedeki sertlik değerlerinde fazlaca bir değişim görülmemektedir.

Birleştirme işlemlerinde parçalara uygulanan ısı girdisi soğuk olan ana malzeme tarafından hızla çekildiği için kaynak çekirdeği hızlı bir soğumaya maruz kalmıştır. Bunun sonucu olarakta kaynak çekirdeği bölgelerindeki sertlik değerlerinde de bir artış gözlenmektedir. ITAB daki en sert bölge ise iri taneli yapıya sahip olan kısımda gözlenmiştir. Buradaki sertlik artışının bir sebebi de elektrod dış çapı ile ITAB başlangıç noktasında oluşan plastik deformasyona bağlıdır.

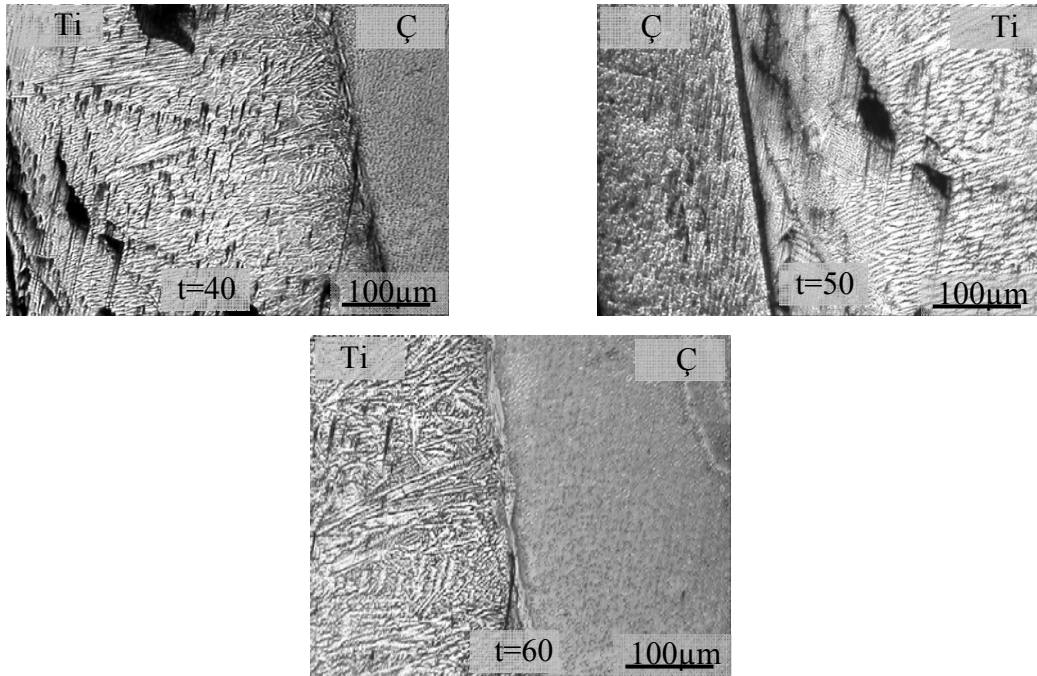
Çelik-titanyum ve titanyum-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcı kullanılarak veya kullanılmadan gerçekleştirilen kaynak işlemlerindeki sertlik değerleri karşılaştırıldığında sertlik değerlerinde fazlaca bir değişimin olmadığı görülmektedir. Kullanılan ara bağlayıcı birleştirmelerin sertlik değerlerine fazlaca bir etkide bulunmamaktadır sadece birleştirme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.

5.3. Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma

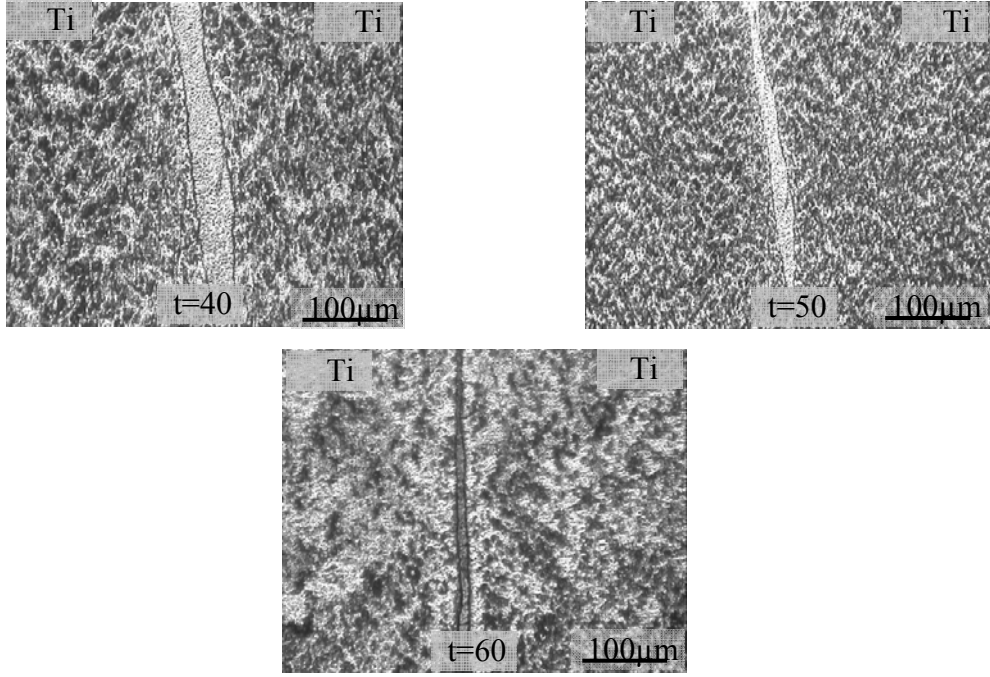
Deneysel çalışmalarda, nokta direnç kaynağı ile birleştirilen bütün numunelerde (folyolu ve folyosuz) kaynak akımı ve uygulanan basınç sabit tutulmuş, sadece kaynak zamanı değiştirilmiştir. Kaynak zamanının değiştirilmesi ile gerçekleştirilen birleştirmelerden elde edilen numunelere ait mikroyapı fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



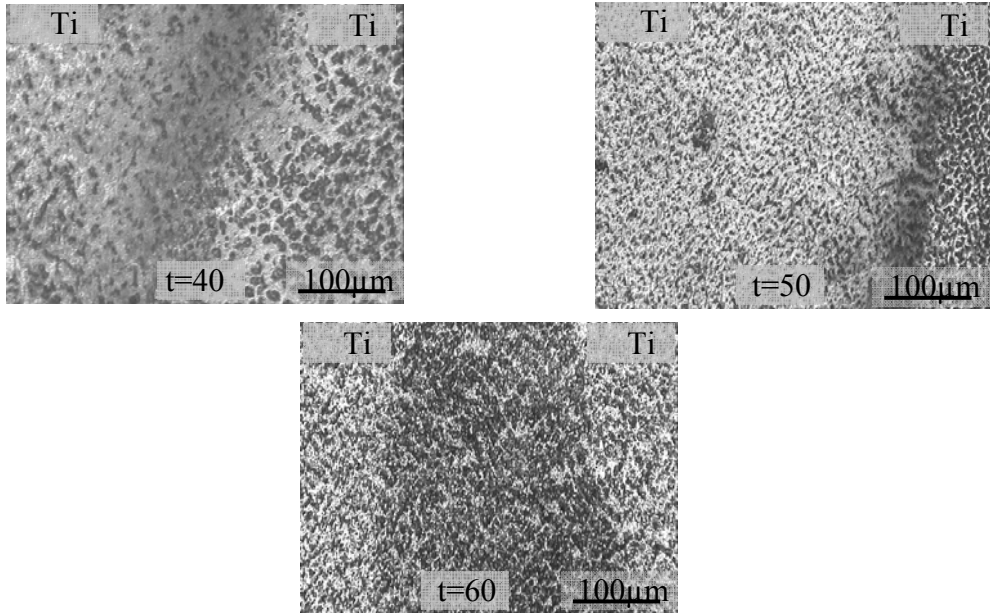
Resim 5.1. Ara bağlayıcı çelik-titanyum birleştirmesi



Resim 5.2. Ara bağlayıcı çelik-titanyum birleştirmesi



Resim.5.3. Ara bağlayıcılı titanyum-titanyum birleştirmesi



Resim 5.4. Ara bağlayıcısız titanyum-titanyum birleştirmesi

Yukarıda verilen ara bağlayıcı ve ara bağlayıcı kullanılmadan gerçekleştirilen numunelerin mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında bütün numunelerde birleşmenin sağlandığı görülmektedir. Yine mikroyapı fotoğraflarından, birleştirmelerin hiç birinde ara bölgede birleşmenin sağlanmadığı bölge olmadığı durum söz konusu değildir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, çelik-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcı kullanıldığında birleşmenin mukavemetinin arttığı çekme-makaslama deneyi sonuçlarında görülmüştür. Yine çekme-makaslama deney sonuçlarından görüldüğü üzere titanyum-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcının mukavemeti az da olsa düşürdüğü tespit edilmiştir.

Mikroyapı fotoğraflarında da görüldüğü gibi çelik-titanyum birleştirmelerinde birleşme ara yüzeyi net bir şekilde görülürken, titanyum-titanyum birleştirmelerinde birleşme ara yüzeyi açık bir şekilde görülememektedir. Bu da titanyum-titanyum birleşmelerinde sağlıklı bir birleşme arayüzeyinin gerçekleştiğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sabit basınç ve akım altında, farklı birleştirme sürelerinde gümüş folyo ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız gerçekleştirilen Çelik-Titanyum ve Titanyum-Titanyum birleştirmelerinin yapıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Sabit akım ve basınçta farklı sürelerde birleştirilen numunelerin hepsinde birleşme gerçekleşmiştir.
2. Çelik-Titanyum birleştirmelerinde kullanılan ara bağlayıcı birleştirmeyi kolaylaştırıp dayanımı arttırmıştır.
3. Çelik-Titanyum birleştirmelerinde kullanılan ara bağlayıcı birleşme süresinin artmasıyla doğru orantılı olarak dayanımı arttırmaktadır.
4. Ara bağlayıcısız gerçekleştirilen Çelik-Titanyum birleştirmelerinde sürenin artmasıyla beraber dayanım artmakta fakat genel olarak ara bağlayıcılı birleştirmeye göre dayanım bir miktar azalmaktadır.
5. Titanyum-Titanyum birleştirmelerinde kullanılan gümüş ara bağlayıcı birleştirmelerin mekanik dayanımlarını düşürmektedir.
6. Ara bağlayıcılı ve ara bağlayıcısız gerçekleştirilen Titanyum-Titanyum birleştirmelerinde kaynak süresinin artmasıyla beraber malzemelerin dayanımı da artış göstermektedir.
7. Bütün birleştirmelerde kaynak çekirdeğindeki sertlik değeri ITAB dan daha düşük değerlerde bulunmuştur.
8. Birleştirme işlemlerinde kullanılan ara bağlayıcı malzemelerin sertlik değerlerinde fazlaca bir değişime neden olmamıştır.
9. Kaynak süresinin artmasıyla beraber artan ısı girdisinin etkisiyle, birleştirmelerde tane büyümesi gerçekleşmiştir.

Yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ışığında bu konuda bundan sonra yapılacak olan araştırmalar için şu öneriler yapılabilir:

1. Farklı ara bağlayıcı türleri kullanılarak bunların birleştirilebilirliğe etkileri araştırılabilir.

2. Nokta direnç kaynağında farklı baskı ve akım değerlerinin birleştirilebilirliğe etkileri incelenebilir.
3. Farklı kalınlıklara sahip malzemelerin nokta direnç kaynağı üzerine deneysel çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gültekin, N., “Kaynak Tekniği” *Yıldız Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 1-27 (1985).
2. Eryürek, B., “Elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin etüdü”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 10-46 (1976).
3. Agwan, V.S., “Resistance Welding-A Reliable Technology for Productivity”, *Tool and Alloy Steels*, July-August, 243-247 (1989).
4. Eryürek, B., “Elektrik Direnç Kaynağı ”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-15, (1995).
5. Metals Handbook, , “Welding Brazing, and Soldering, Resistance Spot Welding”, *Ninth Edition ASM*, U.S.A., 469-493 (1983).
6. Anık , S., “Kaynak Tekniği”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 3: 227-256 (1981).
7. Vatansever, Z., “Oyak Renault Kaporta Departmanı Nokta Direnç Kaynağı”, *Oyak*, , Bursa Ekim 3-5 (1996).
8. Güçalp, A. , “Oyak Renault Karoseri Montaj Elektrik Direnç Nokta Kaynağı”, *Oyak, Bursa*, Bülten 1010–1011 (1982).
9. Eryürek, İ.B., Bodur O., Dikicioğlu A., “Kaynak Teknolojisinin Esasları”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 192-196 (1996).
10. Yener ,S., “Otomotiv sanayinde kullanılan direnç nokta kaynak elektrodu ömrünün deneysel analizi” Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 13–37 (1999).
11. Strassburg, F.W., “Schweissen nichtrostender Staehle”, *DVS*, Dusseldorf 67.Band. 200-212 (1976).
12. Anık,S., Eryürek B, “Effects of contact resistance in resistance spotwelding”, *IW/IIS* , Doc 11 : 563-567 (1977).
13. N, N., “Welding handbook ,welding process –resistance and solid-state welding and other joining process ”, *Seventh Edition AWS* ,Miami, 75-77 (1980).
14. Kaluç, E., “Ferritik-östenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve taneler arası korozyona etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-100 (1988).

15. Chakalev, A.A., Kazakov, S.M., Erofeev, V.A., “Seif regulation of the resistance welding process”, *Welding Production*, August, 3-6 (1986).
16. Gould, E., “An examination of nugget development during spot welding, using both experimenta and anaiytical techniques”, *Welding Journal Research Supplement* 66 (1): 1-10 (1987).
17. 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).
18. Howard, C. , “Welding galvanized steel”, *Modern Welding Technology 4 th edition*, Troy, Oh, 123-138 (1998).
19. 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).
20. 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).
21. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı, yöntemler ve donanımlar”, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul 124-131 (1991).
22. Karabaş, V., “Otomotiv sektöründe kullanılan saçların elektrik direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 25-45 (1999).
23. 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).
24. N.N., “ Taschenbuch markblaetter widerstandschweisstechnik fachbuchreihe schweisstechnik”, *DVS-Verlag*, Dusseldorf Band, 68-111 (1993).
25. Yükler İ., “Alaşımsız dual fazlı çeliklerin mekanik ve nokta kaynak özellikleri” Doktora Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* ,İstanbul 23-47 (1993).
26. Peckner, D., Bernstein, I.M., “Handbook of stainless steels”, *Mc Graw Hill*, U.S.A, 234-256 (1977).
27. Cottrell, A., “An Introduction to Metallurgy ”,*Second Edition English Language Book Society*, London, 17-26 (1985).

28. Anık,S.,Dorn L,. “ Metallphysikalische Vorgänge beim schweißen hoch legierter insbesondere rostbeständiger stähle” *Schweißen And Scheidn* , H.11 : 530-534 (1982).
29. Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, *Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi, Eğitim Ve Uygulama Merkezi*, Kocaeli, 34-46 (1998).
30. Çimen, M.Ş., Akkuş, A., “Nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımının incelenmesi”, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, Ankara, 85-96 (1999).
31. Niebel, B.V., Draper, A.B., “Modern manufacturing process engineering ”, *First Editrion Mc Grawettill* , Singapur, 7-8 (1984).
32. Gazioğlu, H., “Farklı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında temas dirençlerinin bağlantının dayanımı üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 12-34 (1993).
33. Weimueller. C.R, “How top fabricators resistance weld galvanized steel”, *Welding DeL, A. Fabr.* 51(9): 84–89 (1978).
34. Yasa, S., “Metallerin elektrik direnç nokta kaynak özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-38 (1996).
35. Rollason , E.C., “Metallurgy for engineers ” Fourth Edition English Language Book Society , London ,76-81 (1985).
36. Anık. S, Oğur. A, Aslanlar. S, “Galvaniz kaplanmış kromatlı mikro alaşımlı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımına etkisi”, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, Ankara*, 25–29 (1999).
37. Committee, A.,“Welding Handbook”, *V.4.7. Edition AWS*, U.S.A, 23-34 (1984).
38. Hınggins, R.A., “Engineering metallurgy 1- applied physical metallurgy ,part 1 ”, *The English Universities Pres Ltd* , London ,46-49 (1975).
39. Honeycombe,R.W.K., “Steels –microstuructre and properties ”, *Second Edition Edward Arnald Publishing* ,London ,186-201 (1982).
40. Demirkese, 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).
41. Tekin, E., “Çelikler ve çelik standartları” *Mühendis ve Makine* 292: 3–11 (1982).

42. Callister, W.D. “Materials science and engineering” *John Wiley and sons Inc*, Published in Singapore ,76 (1985).
43. Gammel. G., “Svetsning an rostfria ferritska kromstal ”, *Sveiseteknik* , November, 6 (125):12 (1982).
44. Çoşkunöz “Nokta direnç kaynak makinesi kataloğu ” *Çoşkunöz holding*, Bursa , (2001).
45. TSE 138 “Nokta direnç kaynağı deney kaynak boyutları ” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2001).
46. TSE 6062 “Nokta direnç kaynak elektrotları ” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ALMUS, Zeki
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 13.04.1962 Zile
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0312 476 52 79

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	G.Ü. Teknik Eğt. Fak.	1991
Lise	Zile Endüstri Mes.Lisesi	1984

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1991	Viranşehir End. Mes.lisesi	Öğretmen
1993	İskitler End. Mes.lisesi	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tekvando, futbol, seyahat, müzik.