

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA  
SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

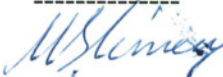
Ahmet AKKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA ANABİLİM DALI

-----  
M. Şemseddin ÇİMEN  
(Danışman)

-----  
Makina Müh. Yrd. Doç. Dr.  
(Bölümü-Ünvanı)

-----  
  
(İmzası)

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, Jürimiz tarafından, Makina Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. M. Semsetdin ÇİMEN *M. Çimen*  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali PINARBAŞI *Ali Pinarbaşı*  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Burhan SELÇUK *Burhan Selçuk*  
Üye : .....  
Üye : .....

### ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../1998

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

*N. Çelik*  
Prof. Dr. Necati ÇELİK



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'nce hazırlanan ve yayınlanan "Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa No</b>
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii

### BÖLÜM I

#### GİRİŞ

1.1. Konunun Önemi ve Kullanılan Yöntem	1
1.2. Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi İçin Kullanılan Metotlar ve Çalışmalar	2
1.2.1. Termal ve Metalografik Metotlar	3
1.2.2. Analitik Yöntemler	4
1.2.3. Nümerik Çözümler	5

### BÖLÜM II

#### KAYNAK VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Giriş	7
2.2. Kaynağın Tanımı	8
2.3. Kaliteli Bir Kaynak İçin Gerekli Şartlar	10
2.4. Kaynağın Sınıflandırılması	12
2.5. Kaynak Kabiliyeti	14
2.5.1. Ergitme Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	16
2.5.2. Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	22



## BÖLÜM III

### ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

3.1. Giriş	25
3.2. Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi	26
3.3. Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri	26
3.4. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı	27
3.4.1. Nokta Direnç Kaynağının Uygulama Alanları	28
3.4.2. Kaynak Çevrimi	30
3.4.3. Direnç Kaynağında Meydana Gelen Isı	32
3.4.4. Kaynak Bölgesinde Oluşan Elektriksel Direnç	37
3.4.5. Nokta Kaynağı Değişkenlerinin İncelenmesi	41
3.4.5.1. Elektrot bileşimi ve şeklinin ısınma üzerine etkisi	42
3.4.5.1.1. Elektrot bileşiminin etkisi	42
3.4.5.1.2. Elektrot şeklinin etkisi	42
3.4.5.1.3. Elektrotların malzemesi ve boyutları	43
3.4.5.2. Kaynak akımının ısınma üzerine etkisi	46
3.4.5.3. Kaynak zamanının ısınma üzerine etkisi	47
3.4.5.4. Kaynak kuvvetinin ısınma üzerine etkisi	51
3.4.5.5. İş parçasının malzemesi	52
3.4.5.6. Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin ısınma üzerine etkisi	53
3.4.5.7. Kaynaklı noktalar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi	54
3.4.6. Isı Kaybı	55
3.4.7. Kaynak Noktasının Mukavemeti	56
3.4.8. Nokta Kaynağı Yönteminin Isıl Modeli	57
3.4.9. Temas Direncinin Isı Oluşumu Üzerindeki Rolü	58
3.4.10. Soğuma Zamanı	60
3.4.11. Nokta Direnç Kaynağında Zamanlama	61

3.4.12. Seri Kaynak	61
3.5. Elektrik Direnç Dikiş Kaynağı	62
3.6. Projeksiyon (Kabartma) Kaynağı	63
3.7. Yakma Alın Kaynağı	65
3.8. Basınçlı Alın (Dövme, Yığma) Kaynağı	66

## **BÖLÜM IV**

### **NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

4.1. Giriş	67
4.2. Deney Düzenegi	68
4.3. Deneyin Yapılışı	69
4.4. Elde Edilen Değerler ve Grafikler	71
4.5. Kaynak Akımındaki Değişimin Sıcaklık Dağılımına Etkisi	77
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	80
6. KAYNAKLAR	83
7. ÖZGEÇMİŞ	85

**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA SICAKLIK DAĞILIMININ  
İNCELENMESİ**

Ahmet Akkuş

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Şemseddin Çimen

Elektrik nokta direnç kaynağı, yalnızca karbon çeliklerinin değil aynı zamanda paslanmaz çeliklerin, ısıya dayanıklı alaşımların, alüminyum, bakır alaşımlarının ve reaktif metallerin levha kaynağında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Özellikle yüksek operasyon hızı, mekanizasyondaki kolaylık, bindirme birleştirmelerden dolayı kalınlık için elektrot sallama hareketine gerek olmaması, kaynak ağzı ve dolgu metaline ihtiyaç duyulmaması bu yöntemin cazip özellikleridir.

Direnç kaynağında, iş parçaları ısı ve basınç enerjisi kullanarak birbirlerine birleştirilirler. Isı, Joule kanununa göre akım geçişine gösterilen direnç yardımıyla oluşturulur. En yüksek sıcaklık, parçalar arasındaki temas yüzeyindedir. Levhalar arasındaki, kaynak noktasının olduğu ve dolayısıyla ısıya gerek duyulan yerdeki temas direnci, kaynak işlemlerinin ilk anları için en önemli dirençtir.

Nokta kaynağında, soğuma hızı çok yüksektir. Bu hızlı soğumanın sonucunda, özellikle kalın parçaların kaynağında sıcaklık yüksek olduğundan malzeme iç yapısında bazı değişiklikler oluşabilir. Bu nedenle nokta direnç kaynağında soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı oldukça önemlidir. Eğer kaynak zamanı sabit ise, ısı oluşumunu etkileyen en önemli faktörler, levha kalınlığı ve akım şiddetidir.

Bu çalışmada, levha kalınlıklarının ve akım şiddetinin, soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun için, termal metot olarak adlandırılan deneysel bir yöntem kullanılarak, kaynak bölgesinde, zamana bağlı olarak sıcaklıklar ölçülmüştür.

Sonuç olarak, kaynak akımı ve levha kalınlıklarına bağlı deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri grafikler halinde sunulmuştur. Bu çalışmada bulunan sonuçlar, diğer metotlarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, bu sonuçların birbirlerine çok yakın oldukları gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kaynak / Nokta Kaynağı / Direnç Kaynağı

Isı Oluşumu / Sıcaklık Dağılımı

**SUMMARY**

M. Sc. Thesis

**THE INVESTIGATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN  
RESISTANCE SPOT WELDING**

Ahmet AKKUŞ

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. M. Şemseddin ÇİMEN

The method of electric resistance spot welding has an extensive application in the joining of sheet metals not only in mild steels but also in stainless steels, heat resisting alloys, aluminium and copper alloys and reactive metals. Particularly attractive features of this process are the high speed of operation, ease of mechanization, the self jiggling nature of the lap joint and the absence of edge preparation or filler metal.

The workpieces are joined to each other in resistance welding by using pressure and heat. The heat is generated by the resistance to the passage of the current according to the Joule's law. Temperature is the highest at the contact surface between the pieces. The contact resistance between sheets where the nugget and, therefore, the heat is required is the most important resistance in early period of the welding.

In resistance spot welding, the cooling speed is very high. As a result of this rapid cooling, some changes can occur at the material of the workpieces. That's why, cooling speed and temperature distribution are very important in resistance spot welding. The most important parameters which effect heat generation in the welding region, are current density and sheet thicknesses, if welding time is constant.



In this study, effect of sheet thicknesses and current density to cooling speed and temperature distribution in the welding region of the workpieces were investigated. For this purpose, temperatures on the various points in the welding region of the workpieces was measured depending on time by using an experimental method as called thermal method.

As a result, temperature values depend on welding current and sheet thicknesses were illustrated as graphics in figures. It was shown that the results found in this study are very similar by comparing them with the results found by another methods.

KEY WORDS: Welding / Spot Welding / Resistance Welding  
Heat Generation / Temperature Distribution

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında değerli eleştiri, katkıları ve her türlü yardımları ile beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Şemseddin ÇİMEN'e teşekkür ederim.

Ahmet AKKUŞ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 1.1. Sıcaklık ölçümü için termal yöntem	3
Şekil 2.1: Temel kaynak mekanizmaları	9
Şekil 2.2: Bir kaynak damlasındaki sıcaklık dağılımı	15
Şekil 2.3: Kaynak kabiliyetinin malzeme, imal usulü ve konstrüksiyona bağlı olarak ifade edilmesi	18
Şekil 2.4: Bir alın ve köşe birleştirmesinde segregasyon bölgeleri	21
Şekil 3.1: Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi	28
Şekil 3.2: Elektrik nokta direnç kaynak makinası	29
Şekil 3.3: Kaynak çevriminin safhaları	30
Şekil 3.4: Nokta direnç kaynağında tipik sıcaklık dağılımı	33
Şekil 3.5: Nokta direnç kaynağında tüketilen ısının dağılım bileşenleri	35
Şekil 3.6: Nokta direnç kaynağında süre - toplam direnç ilişkisi	36
Şekil 3.7: Çelik bileşiminde bulunan karbon yüzdesi - özgül direnç ilişkisi	37
Şekil 3.8: Saf demirde sıcaklığa bağlı olarak özgül direncin değişimi	39
Şekil 3.9: Nokta direnç kaynağında oluşan temas yüzeyleri	40
Şekil 3.10: Elektrot kuvvetine bağlı olarak temas direncinin değişimi	41
Şekil 3.11: Standart elektrotların uç şekilleri	44
Şekil 3.12: Kaynak bölgesinin geometrisi	45
Şekil 3.13: Kaynak kabiliyeti diyagramı	49
Şekil 3.14: Kaynak akımının bir önceki kaynak noktasından kısa devre olması	51
Şekil 3.15: Konstrüksiyonun neden olduğu yan devre	51
Şekil 3.16: Nokta kaynağına uygulanan mukavemet deneyleri	56
Şekil 3.17: Seri kaynak	62
Şekil 3.18: Dikiş kaynağının prensibi	63
Şekil 3.19: Projeksiyon kaynağı	64



Şekil 3.20: Yakma alın kaynağı	65
Şekil 4.1: Üst parçaya kanal açılarak bir araya getirilmiş deney numuneleri	69
Şekil 4.2: Deney düzeneği ve deneyin yapılışı	70
Şekil 4.3: Zamana göre sıcaklık dağılımı	71
Şekil 4.4: Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı	72
Şekil 4.5: Zamana göre sıcaklık dağılımı	73
Şekil 4.6: Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı	73
Şekil 4.7: Zamana göre sıcaklık dağılımı	74
Şekil 4.8: Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı	75
Şekil 4.9: Sac kalınlığına göre kaynak merkezindeki sıcaklık dağılımı	75
Şekil 4.10: Kaynak bölgesinde sıcaklık dağılımı	76
Şekil 4.11: Sıcaklığın akım şiddetine göre değişimi	78

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 2.1: Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti	23
Çizelge 2.2: Bazı alaşımların fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti	24
Çizelge 3.1: Bazı metalsel malzemelerin oda sıcaklıklarında özgül direnç ve sıcaklık katsayıları	39
Çizelge 3.2: Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları	43
Çizelge 4.1: 0.8 mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri	71
Çizelge 4.2: 1 mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri	73
Çizelge 4.3: 1.5 mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri	74
Çizelge 4.4: Akım şiddetine göre sıcaklık değerleri	78

## SİMGELER DİZİNİ

$\varphi$	= İlave metalin esas metalle karışım oranı	
$\varphi_G$	= Esas metalin erime oranı	
$\varphi_Z$	= İlave metalin erime oranı	
$A_G$	= Ergimiş esas metal yüzeyi	(mm <sup>2</sup> )
$A_Z$	= Ergimiş ilave metal yüzeyi	(mm <sup>2</sup> )
$C_{eş}$	= Karbon eşdeğeri	(%)
$N_s$	= Kaynak yerinde dönüşen güç	(Watt)
$I$	= Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti	(Amper)
$R$	= Malzeme direnci	( $\Omega$ )
$S$	= Kaynak kabiliyeti faktörü	
$\alpha$	= Elektrik iletkenliği	(m/mm <sup>2</sup> )
$\lambda$	= Isı iletkenliği	(cal/cms <sup>0</sup> C)
$t_e$	= Erime noktası	( <sup>0</sup> C)
$W$	= Elektrotlar arasında oluşan ısı miktarı	(W.sn)
$Q$	= Elektrik direnç kaynağında oluşan ısı	(cal)
$t$	= Kaynak süresi	(sn)
$\rho$	= Malzemenin özgül direnci	( $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m)
$l$	= İletkenin uzunluğu	(m)
$A$	= İletkenin kesiti	(mm <sup>2</sup> )
$s$	= Parça kalınlığı	(mm)
$2s$	= Akım yolunun uzunluğu	(mm)
$d$	= Akım geçen kesitin çapı	(mm)
$\alpha$	= Sıcaklık katsayısı	(1/ <sup>0</sup> C)
$\rho_t$	= t <sup>0</sup> C'de özgül direnç	( $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m)
$\rho_0$	= Oda sıcaklığında özgül direnç	( $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m)
$R_h$	= Dış zarf direnci	( $\Omega$ )
$R_e$	= Akım geçen boğaz direnci	( $\Omega$ )
$d_e$	= Elektrot çapı	(mm)

$k_1, k_2$  = Levha malzemesine bağlı sabitler

$d_n$  = Nokta apı (mm)

$P$  = Elektrot kuvveti (kN)

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

#### 1.1. Konunun Önemi ve Kullanılan Yöntem

Elektrik nokta direnç kaynağının, yalnızca belirli kalınlıklardaki malzemelerin birleştirilmesi işlemlerinde kullanım alanına sahip olduğu düşünülebilir. Ancak, bu yöntem, sadece yumuşak çeliklerin değil, aynı zamanda paslanmaz çeliklerin, ısıya dayanıklı alaşımların, alüminyum ve bakır alaşımlarının ve reaktif metallerin birleştirilmesinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Nokta kaynağı, 3/4 inç kalınlığına kadar olan saclarda dahi kullanılmaktadır. Ancak, özel bazı işlemler ve uzun kaynak zamanının gerekli olduğu bu tip uygulamalar nadiren kullanılır ve normal üst limit 1/4 inç civarındadır. Nokta direnç kaynağı yönteminin en önemli özelliği, operasyon hızının yüksek olması, mekanizasyonunun kolay olması, herhangi bir ön hazırlığın ya da dolgu metali kullanmanın gerekli olmayışıdır. Birleştirilen metalin, sadece çok kısa bir zaman aralığında tane irileşme sıcaklığında kalması ise, yöntemin metalurjik avantajıdır.

Tüm direnç kaynağı yöntemlerinde, akım taşıyan elektrotlar ve birleştirilecek parçalar arasında fiziksel bir temasın olması gerekir. Ayrıca, temastaki parçaları bir araya getirmek ve bağlantıyı sağlamlaştırmak için, basınç da gereklidir. Isı, Joule kanununa göre, akım geçişine gösterilen direnç yardımıyla oluşturulur. Kaynağı meydana getirmek için iş parçaları içerisinden akım geçirilerek oluşturulan bu ısı, parçalar arasındaki temas noktalarında en yüksektir, böylece ısı iş parçalarının tüm kalınlığı boyunca yayılmaz. Bu özellik, hızlı bir şekilde yüksek kaliteli kaynakların yapılmasını sağlar.

Nokta direnç kaynağında, kaynak işlemi 1sn.'den daha kısa bir sürede gerçekleşir ve çok hızlı bir soğuma meydana gelir. Hızlı bir ısı çevrim esnasında, özellikle erişilen maximum sıcaklığa bağlı olarak yapıda bazı metalurjik değişiklikler oluşabilir. Isıl periyottan sonra kaynak bölgesinin mikro yapısı



incelendiğinde, değişime uğramış bölgelerin olduğu görülebilir. Malzeme iç yapısındaki değişimin, mekanik özellikleri ve mukavemeti büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir. Ayrıca zaman ve maliyet açısından, soğuma hızını tesbit edip, buna göre de bazı tedbirler alarak, ısı kayıplarını minimuma indirmek mümkündür. Dolayısıyla, hangi işlem parametrelerinin soğuma hızını etkilediğini araştırmak ve kaynak bölgesinde meydana gelen sıcaklıkları ölçmek büyük önem taşımaktadır.

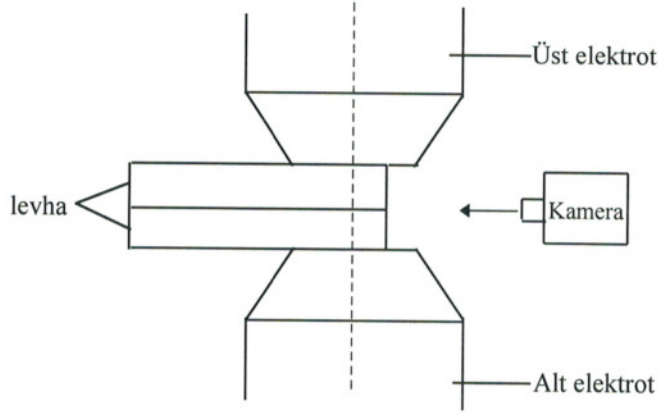
Bu çalışmada, nokta direnç kaynağında meydana gelen sıcaklıkları zamana bağlı olarak ölçebilmek için, uzaktan noktasal sıcaklık ölçen dijital bir termometre yardımıyla farklı bir deneysel metot kullanılarak, malzeme kalınlığının ve akım şiddetinin değişik kaynak noktalarında ısı oluşumu ve soğuma hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu konuda daha önce başka yöntemlerle elde edilmiş bilgilerle karşılaştırılarak, doğruluğu araştırılmıştır.

## 1.2. Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi İçin Kullanılan Metotlar ve Çalışmalar

Bu alanda, şimdiye kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda, deneysel metotlar kullanıldığı gibi, bazı nümerik ve analitik metotlara da başvurulmuştur.

Günümüzde, nokta kaynakçıları tarafından verilen standartlara uygun bir kaynak elde etmek için gerekli olan parametre ayarları çoğu zaman deneysel, bazı durumlarda da teorik olarak yapılmaktadır. Kaynak el kitaplarında tavsiye edilen genel pratik bilgiler bir klavuz olarak kabul edilir, ancak yüksek kaliteli kaynaklar elde edilmek isteniyorsa, kaynak mühendisinin deneyimi ve teorik bilgisi gerekmektedir. Tabii ki, tavsiye edilen bu pratik değerler de pek çok deneysel sonuçtan ortaya çıkmaktadır. Pek çok araştırmacı, bazı kaynak değişkenlerinin etkilerini inceleyerek bu sonuçları genelleştirmeyi denemiştir. Bu sonuçlar, deneysel bir yapıda olabilir, ya da sınır şartlarından elde edilebilir. Her iki durumda da (deneysel ve nümerik çalışmalarda) kaliteli bir kaynak elde etmek için, bazı kriterler geliştirilebilir (Chakalev, 1994).

### 1.2.1. Termal ve Metalografik Metotlar



Şekil 1.1. Sıcaklık ölçümü için termal yöntem (Hults ve Veenstra, 1969)

Nokta kaynağı sırasında oluşan sıcaklıkları tesbit etmek için, değişik deneysel metotlar kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi, son yıllarda geliştirilmiş olan termal yöntemdir. Bu yöntemde, Şekil 1.1'de de gösterildiği gibi, elektrotların belirli bir bölümü sacların uc kısmından biraz daha ileriye yerleştirilerek kaynak yapılır. Bu tip bir yerleştirme yapıldığında, sanki kaynak işleminden önce kaynak bölgesinin kesiti alınarak ikiye bölünmüş gibi düşünülebilir. Böylece, araştırmacıların yüksek hızlı renkli bir film üzerinde kaynak oluşumunu kaydetmeleri ve renkleri karşılaştırarak oluşan sıcaklıkları hesap etmeleri mümkün hale gelir. Bu termal fotoğrafları çekmek için bir kamera kullanılır. Kaynak metalinin kameranın çekim yaptığı yöne doğru akmaya zorlanması veya kaynağın daha az ısınmış bölgelerini örtmesi sonucu, maximum sıcaklık seviyesi sınırlı bir değerde kalmaktadır. Ancak yine de, kaynak sıcaklıklarını tesbit etmek ya da kaynak oluşumu üzerinde çalışmalar yapmak için uygun bir yöntem olarak kullanılabilir (Hults ve Veenstra, 1969).

Sıcaklık dağılımı tesbiti için başvurulan bir diğer deneysel yöntem de, metalografik metoddur. Yumuşak çelik malzeme, çok hızlı bir ısınma ve soğuma periyoduna maruz bırakıldığında, bir iç yapı değişikliği meydana gelir. Hızlı bir ısı çevrim esnasında, özellikle erişilen maximum sıcaklığa bağlı olarak yapıda bazı metalurjik değişiklikler olur. Isıl periyottan sonra mikroyapının incelenmesi,



her noktada maximum sıcaklığın oluşup oluşmadığını görmek açısından bir fikir verir. Bu tip bir metalografik muayene sonucunda, seçilen maximum sıcaklıklar için, hassas bir şekilde izotermilerin haritası çıkartılabilir.

Bu işlemde, nokta kaynağı yapılan numuneler dairesel olarak kesilir ve metalografik inceleme için hazırlanır. Asitle dağlanan numunelere mikroskop altında bakıldığında, izotermal hatlar ve dönüşüme uğramış bölgeler açıkça görülebilir. Böylece, en yüksek sıcaklıklara ulaşmış olan bölgeleri seçmek ve izotermal hatları çizmek mümkündür (Bentley ve Greenwood, 1963).

### 1.2.2. Analitik Yöntemler

Problemin kompleks olması sebebiyle, diferansiyel denklemlerden yola çıkarak başlangıç ve sınır şartları gibi uygun parametrelerin açık bir fonksiyonu şeklinde bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Ancak bazı araştırmacılar, analitik bir çözüm türetmek amacıyla, problemi basitleştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, ısınma ve soğuma oranlarının değerlerini tesbit etmek için, zamana göre kolayca diferansiyellenebilir açık bir fonksiyon elde edilebilir.

Bu tip çözümlerin ana karakteristiği, elektrot ve temas direncinin ihmal edilmesi, ısı dağılımı üzerine bazı kabuller yapılmasıdır. Problemi düzlemsel olarak çözebilmek için çoğunlukla ya kaynağı çevreleyen saca ya da elektrotlara doğru olan ısı transferinde sadeleştirmeler yapılır.

Kaynak ısısının sadece iş parçası ara yüzeyinde olduğu ve bu ısının, sıcaklığı ortam sıcaklığına eşit olan elektrodun doğrultusunda aktığı kabul edilir. Bu analizler, sac kalınlığına oranla çok daha büyük elektrot çapı kullanılmasından dolayı, tek boyutlu ısı akışının uygun bir yaklaşım olarak gözüktüğü metal kalıpların kaynağına uygulanır. Tam tersi bir durumda, yani sac kalınlığına oranla oldukça küçük çaplı elektrotlar kullanıldığında ise, iki boyutlu radyal bir ısı akışının olduğu kabul edilebilir.

Genellikle, analitik çözümler, belirli aralıklarda sınırlandırılmış uygulamalar için kullanışlıdır. Ancak nokta kaynağı yönteminin ısıl olaylarını uygun bir şekilde açıklamada, bazı hatalara sebep olurlar. Bu yöntemle sıcaklıkları



hesap etmek amacıyla, Veenstra (1969) tarafından zamana bağımlı diferansiyel denklemlerin kullanıldığı analitik çözümler geliştirilmiştir.

### 1.2.3. Nümerik Çözümler

Analitik bir metotta yapılması gerekli olan sadeleştirmeleri ortadan kaldırmak için, nümerik metodlar kullanılabilir. Bu amaçla, kaynak parçasının küçük elemanları için uygun diferansiyel denklemler türetilir. Bu elemanlar, uzaysal nicelikler yardımıyla tayin edilir. Problemin çözümünde dijital veya analog bir bilgisayarın kullanılması zorunlu olduğundan, üç boyutlu incelemelerde eleman sayısı ve buna paralel olarak da denklem sayısı mümkün olduğunca yüksek tutulabilir. Analog bir bilgisayar üzerinde problemin işlenmesi sırasında, her eleman için en az bir tamamlayıcı gerekeceğinden, bu metodun uygulama alanı sınırlıdır. Çoğu zaman, bilgi saklama kapasitesi yüksek olduğundan, çok geniş sistemler için dijital bir bilgisayarın kullanımı daha uygundur (Park ve Na, 1996).

Dijital bir bilgisayar yardımıyla desteklenmiş ilk nümerik çözüm, Greenwood (1961) tarafından sunulmuştur. Burada, iş parçası içerisinde meydana gelen ısı oluşumu ve gerçek kaynak geometrisi göz önünde tutulmuştur. Elektrotların soğutma etkisi, elektrot - işparçası ara yüzeyinde bir yüzey ısı transfer katsayısı yardımıyla işlemlere dahil edilmiştir. Malzeme özelliklerinin sıcaklık ve temas dirençleri üzerindeki etkileri ihmal edilmiştir. Bu ihmallerin yapılmasının sebebi, kaynak periyodu esnasında temas direncinin etkisi hakkında bilgi eksikliğinin olmasıdır. Aynı sebepten dolayı, iş parçaları temas bölgesi çapının, elektrot uç çapı ile aynı değerde olduğu kabul edilmiştir (Schwab, 1986).

Nümerik olarak elde edilen sonuçların doğruluğu, pek çok araştırmacı tarafından da desteklenmiştir. Genellikle, teorik ve deneysel sonuçlar arasında, özellikle ısı oluşumunun son aşamalarında, oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Ancak, ısınma periyodunun başlangıcında, elektrotlar ve iş parçaları ara yüzeyindeki temas dirençleri, hesaplanmış olan sıcaklık değerlerinin gerçek değerlerinden düşük olmasına sebep olmaktadır. Bir kısım araştırmacı ise,

hesaplanan ve deneysel olarak elde edilen sıcaklıklar arasındaki farklılıkların, malzeme özelliklerinin sıcaklıkla değişiminden kaynaklandığını savunmaktadır.

Bu alanda yapılan diğer bazı çalışmaları ise şöyle sıralamak mümkündür:

Chakalev ve Visknyakov (1994), nokta direnç kaynağında akım kesildikten sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını veren amprik bir bağıntı geliştirmiştir.

Çimen (1994), nokta kaynağının özellikle ilk periyotlarında ısı oluşumu üzerinde önemli bir etkisi olan temas direnci ile elektrot kuvveti arasında bir bağıntı bulmuştur.

Chang ve Gould'a göre (1986), düşük karbonlu çeliklerin nokta kaynağı esnasında metalurjik değişimlere sebep olan en büyük etken, soğuma oranıdır. Bu araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda, kaynak bölgesini, elektrot - sac ara yüzeyi ve saclar arasında kalan geçiş yüzeyi olarak ikiye ayırmışlar ve sac kalınlığına dik doğrultuda kaynak bölgesine doğru ilerledikçe metalurjik yapının farklılık gösterdiğini tesbit etmişlerdir. Buna göre, elektrot - sac temas bölgesi boyunca metalurjik yapı sementit + perlit olurken, saclar arasındaki esas kaynak bölgesinde yapı tamamen martenzite dönüşmektedir. Bu da, soğuma oranının ve sıcaklık farkının elektrotlar arasındaki bölgenin her yerinde aynı olmadığını göstermektedir.

Bu çalışmada yararlanılan diğer referanslar, Kaynaklar adı altında verilmiştir.

İkinci bölümde, kaynağın tanımı, kaynak için gerekli olan temel şartlar ve kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması verilmektedir.

Elektrik direnç kaynağı, elektrik nokta direnç kaynağı ve prensipleri, uygulama alanları üçüncü bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, kullanılan deneysel metodun amacı ve yapılışı açıklanmış, deneyler sonunda elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur.

Tartışma ve sonuç bölümünde, elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve daha önce verilen teorik bilgilerle karşılaştırması yapılmıştır.



## BÖLÜM II

### KAYNAK VE ÖZELLİKLERİ

#### 2.1. Giriş

Bugün, kaynak teknolojisi, pek çok bilimsel ve teknik disiplinleri içerisine alan orjinal bir düşünce üzerine kurulmuştur. Bununla beraber, kaynak tekniğinin gelişmesi, uygulayıcıların edindikleri yeni bilgileri, karşılaştıkları pratik problemlere uygulamaları sonucu olmuştur (Anık, 1983) .

Kaynağın gelişmesinde, geçen yıllar süresinde, kaynak tekniğinin durumunun nasıl değiştiğini gösteren en iyi belirtilerden biri, metal endüstrisinin kaynak işlemlerine karşı tutumu olmuştur. Önceleri, metaller kaynak edilebilir veya edilemez diye sınıflandırılırken, bugün metallerin kaynak kabiliyeti üzerinde durulmaktadır. Günümüzde, artık metalleri piyasaya çıkarmadan önce, kaynak edilebilme kabiliyetleri geliştirilmektedir.

Her geçen gün, işlemlerin geliştirilmesi ve daha yeni birleştirme usullerinin bulunması yolundaki araştırmalar devam etmekte ve bu çabaların hız kazandığı görülmektedir. Son yıllar içerisinde çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmelerin kaynağı genellikle, uzay programları ve savunma planları sonucu doğan talepler olmuştur. Özel endüstride üzerinde durulan konu, daha çok eldeki işlemlerin geliştirilmesi ve bunlara yeni uygulama alanlarının bulunması olmaktadır.

İkinci Dünya Savaşının isteklerinden biri olan magnezyumdan imal edilmiş uçakların kaynağı için geliştirilen TIG Kaynak usulü, endüstride hemen hemen bütün yarı otomatik kaynak işlemlerinde kullanılır hale gelmiştir. Daha sonraları hem endüstride hem de askeri alanda uygulanan otomatik sistemler geliştirilmiştir. Son gelişmelerden biri ise, nümerik kontrol sistemlerinin kaynağa uygulanması olmuştur (Anık, 1983).

Otomotiv endüstrisi sayesinde iyice gelişen elektrik direnç kaynağı, bugün uzay havacılığının ihtiyaçlarını karşılayacak hale gelmiştir. Kaynak endüstrisinin

sürekli bir otomasyona doğru geçişinden daha ilginç olanı, uzay yarışının doğurduğu ihtiyaçları karşılayan yeni kaynak yöntemlerinin bugün artan sayıda ortaya çıkarılmasıdır.

Uzay konusundaki çalışmalar, daha ileri ve daha hızlı yol aldıkça, daha kullanışlı yeni birleştirme yöntemlerinin bulunması gerekmiştir. Bunun sonucu olarak son yıllarda plazma, elektron ışını ve lazer gibi kaynak yöntemleri geliştirilip ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, son geliştirilen yöntemlerden sayılan diffüzyon kaynağının, en eski kaynak işlemi olarak bilinen demirci kaynağı ile benzerliği vardır. Demirci kaynağının kullanımı ise, Milattan önce 1400 yıllarında, demir madeninin bulunduğu yıllara kadar uzanır (Wang, 1996).

Günümüzde kaynak en önemli birleştirme yöntemidir. Herhangi bir yapının mukavemeti ve çalışma verimi, birleştirme yönteminin uygulanma biçiminden büyük ölçüde etkilenir. Bu nedenle kaynak işlemi oldukça geniş bir inceleme alanına sahiptir ve sürekli yeni ilerlemeler kaydedilmektedir.

## 2.2. Kaynağın Tanımı

Kaynak ve lehimleme ana birleştirme yöntemleridir. Bu yöntemlerin endüstriyel uygulamaları, basit bir ambalaj kutusunun birleştirilmesinden büyük bir yük gemisinin kaynak vasıtası ile kütleli olarak bir bütün haline getirilmesini kapsayan geniş bir yelpazeye sahiptir. Kaynak ve lehim ile birleştirilen en az iki veya daha fazla sayıdaki parça arasında kısmi veya tam ergime ile bir birleşme hattı boyunca düzenli veya yarı düzenli bir kristal yapı oluşturulur.

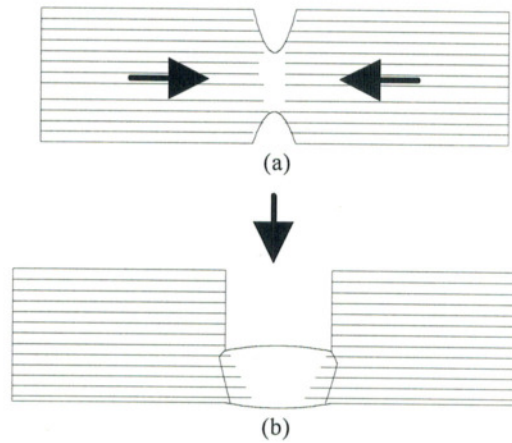
Kaynak, metalik veya plastik ( termo - plastik ) iki iş parçasının ısı, basınç veya her ikisinin birlikte kullanımıyla bir dolgu malzemesi kullanarak veya kullanmadan sürekliliği sağlayacak şekilde birleştirilmesidir (Şekil 2.1). Dolgu malzemesi olarak birleştirilen parçalarla aynı cinsten malzeme kullanılır veya kaynak sırasında alaşımlandırılarak aynı hale getirilir (Anık, 1993).

İki metal arasında kristal yapıyı ( bağlantı bölgesinde atomların belirli bir kristal sisteminde dizilmeleri ) meydana getirerek birleşmenin sağlanabilmesi için,

parçaların atomları arasında uyumluluk ve atomların birbirlerine karşı ilgilerinin olmaları gerekir. İdeal metalurjik bağın oluşabilmesi için:

- Absorbe edilmiş gaz, yağ ve oksitlerden arındırılmış düz yüzeyler
- Kaynak bölgesinin atmosferin olumsuz etkilerinden korunması
- Kaynak sonrası soğuma hızının kontrolü
- Tek kristalli veya benzer kristalografik yapı ve yönlenmeye sahip iki metal gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen şartların laboratuvar ortamında bile sağlanması oldukça güç olup, pratik uygulamada bütünüyle gerçekleştirilmesi hemen hemen imkansızdır. Neticede bu güçlükleri aşabilmek için çeşitli kaynak metodları geliştirilmiştir. Yüzey kabalığı kuvvet etkisiyle plastik deformasyon oluşturulması veya ergitme ile yekpare parça üretimi yoluyla aşılmıştır. Katı hal kaynağında, yüzeydeki kirlenmiş tabaka kaynak öncesi metalik veya kimyasal yöntemlerle temizlenir veya metalin yeterli derecede plastik akışı ile kaynak bölgesinin dışına çıkarılması sağlanır. Sıvı metal havuzcuğunun olduğu ergitme kaynağında, empüriteler fluks maddeleri kullanımıyla ortamdan uzaklaştırılırlar. Vakum altında gerçekleştirilen katı hal veya ergitme kaynağında empüriteler kolaylıkla etkisiz hale getirilebilirler ve birleşme rahatlıkla gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.1 Temel kaynak mekanizmaları (Morris, 1954)

a) Akış yoluyla birleşme b) Ergimiş metalin köprü oluşturmasıyla birleşme



Değişik kaynak yöntemleri arasındaki farklılıklar sadece sıcaklık ve basıncın meydana getirilmesi veya uygulanmasındaki değişikliklerden kaynaklanmaz. Kaynak öncesi metal yüzeyinin temizlenmesi ve kaynak sırasında oksitlenme ve kirlenmeyi önlemek amacıyla yürütülen işlemler açısından da farklılıklar gösterir. Yüksek sıcaklıklardaki işlem, metallerin çoğunluğunun çevreden olumsuz şekilde etkilenmesine sebep olur. Tam ergime olursa metal kompozisyonunda (bileşiminde) değişimler meydana gelebilir. Kaynak esnasındaki ısıtma ve soğutma periyotları metalurjik yapıyı ve dolayısıyla kaynak kalitesini etkileyebilir. Bu etkiler ve muhtemel sonuçları, bir ürünün dizaynında ve birleştirme yönteminin seçiminde dikkate alınmalıdır. Kaliteli bir kaynak işlemi, yeterli bir ısı, basınç enerjisi, metali temizleme, oksidasyondan koruma ve tehlikeli metalurjik etkilerden (kalıntı gerilmeler, tane irileşmesi) koruma veya kaynaktan sonra bu etkileri giderme tedbirlerini gerektirir.

### 2.3. Kaliteli Bir Kaynak İçin Gerekli Şartlar

İdeal kaynak, birleştirilen parçalar arasında tam bir sürekliliğin sağlanmasıyla elde edilir ve bağlantının her bölgesi, kaynak yapılan ana metalden ayırt edilmesi olanaksız bir yapıya sahip olmalıdır. Bu ideal durum, pratikte hiç bir zaman tam elde edilememesine rağmen, bazı özel teknikler kullanılarak başarılı kaynaklar yapılması mümkündür.

Her kaynak yöntemi, her tür metal, bağlantı ya da uygulama çeşidi için uygun değildir. Kaynak mühendisinin üzerine düşen görev, temel bazı gereksinmelerin ışığında en uygun kaynak yöntemini seçmektir.

Sürekliliği sağlayacak şekilde bir bağlantı elde etmek için, benzer şekilde hazırlanmış iki parçayı tamamen temizlenmiş temas yüzeylerinden bir araya getirmek yeterli değildir.

Her kaynak yöntemi, belirli bazı temel şartları sağlamak zorundadır. Parçaların ergiyerek birbirlerine tamamen kaynayabilmeleri için ısı enerjisi uygulanması en önemli şarttır. Bu ısı, alev, ark veya radyan enerji ile sağlanabilir. Basınç kaynağı gibi bazı özel yöntemlerde, parçaların birleşmesi ergime olmadan

sağlanır, ancak birleştirilecek parçaların birbirlerine temas etmesi ve birleşmenin sağlanabilmesi için basınç enerjisi kullanılır. Bazı kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesini plastik bir duruma getirmek için basınç enerjisine ilave olarak ısı enerjisi de kullanılmaktadır (Anık, 1983).

Ergime, genellikle erime ile eş anlamlı olarak düşünülür, ancak kaynak şartlarında, bu iki kelime arasında bir anlam farkı vardır. Kaynak tekniğinde, ergime kelimesi, erime sonrası birleşmeyi ifade eder. Yani erime sonucunda birleşme gerçekleşiyorsa, bu durum için ergime sözcüğü kullanılır.

Eğer iki yüzey, oksit ve diğer yabancı bileşenler içermiyorsa, tatmin edici bir şekilde birleştirilebilirler. Kaynaktan önce yüzeyin basit yöntemlerle temizlenmesi yeterli değildir. Kirlenmiş yüzey filminin çözülmesi ya da ortamdan uzaklaştırılması, her kaynak yönteminin vazgeçilmez prensibidir. Bu işlem, kaynak tozunun kimyasal etkisiyle veya bir elektrik arkının yüzeye püskürtülmesi ile ya da ovalama ve kırma gibi mekanik yöntemlerle yapılabilir. Yüzeyden uzaklaştırılması gereken kirli tabaka üç tipte olabilir. Bunlar, organik filmler, absorbe edilmiş gazlar ve oksit gibi metal esaslı kimyasal bileşiklerdir. Kaynak yöntemlerinin büyük çoğunluğunda ısı uygulandığı için, ince organik filmler ve absorbe edilmiş gazlar, bu ısının etkisiyle yüzeyden uzaklaştırılabilir.

Temizleme işleminden sonra, kaynak işlemi esnasında yüzey filmlerinin ve özellikle nitritlerin tekrar oluşması önlenmelidir. Bu yüzden, hemen hemen tüm kaynak yöntemlerinde, atmosferin olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak bazı önlemler alınmalıdır. Eğer bağlantının ergime yüzeylerini temizlemek için kaynak tozu gibi kimyasal bir yöntem kullanılırsa, bu toz koruyucu bir ortam görevi de yapar. Kaynak tozu kullanılmazsa, bir asal gaz veya ana metal ile bileşime girmeyen bir gaz kullanılarak koruyucu ortam oluşturulabilir. Vakum altında kaynak yaparak da atmosferin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak mümkündür.

Kaynak için önemli olan diğer bir gereklilik de, kaynak işlemiyle oluşturulan bağlantının tatmin edici metalurjik özelliklere sahip olmasıdır. Bağlantının ergimeyle oluşturulduğu metotlarda, kaynak metali içerisine, döküm işleminde yapıldığı gibi, deoksidantlar veya alaşım elemanları katılır. Kaynak yapılan malzemenin bileşimi kontrol altında tutulmalıdır. Bazı alaşımlar, hiç bir



kaynak yöntemiyle kaynak edilemezler, ancak bileşimleri sınırlı aralıklarda kontrol altına alınırsa, bunların büyük bir kısmı kaynağa uygun hale getirilebilir. Bu düşünceler, kaynak metalurjisinin temelini teşkil eder.

Özetlenecek olursa, her kaynak yönteminde, kaliteli bir kaynak dikişi elde etmek için aşağıdaki dört ana şartın sağlanması zorunludur (Chen ve Hsu, 1994):

1. Ergime ya da basınç yardımıyla birleşmeyi sağlamak için bir enerji kullanılması
2. Yüzeydeki kirlerin ve istenmeyen tabakaların temizlenmesi
3. Kaynak bölgesinin atmosferin olumsuz etkilerinden korunması
4. Kaynak metalurjisinin kontrol edilmesi.

#### 2.4. Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması aşağıdaki esaslara göre yapılmaktadır.

- 1) İş parçasının malzemesine göre ( Metal ve plastik )
- 2) Kaynağın amacına göre ( Birleştirme ve doldurma )
- 3) Kaynağın yapılış şekline göre ( El kaynağı, yarı otomatik ve tam otomatik )

##### 2.4.1. İş Parçasının Malzemesine Göre Sınıflandırma

Metal kaynağı ve plastik kaynağı şeklinde iki gruba ayrılır.

##### 1) Metal Kaynağı

Ergitme ve basınç kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır.

##### a) Ergitme Kaynağı

Birleştirilecek iş parçalarının kaynak bölgesinin ısı enerjisi ile ergitilerek, ilave metal kullanarak veya kullanılmadan yapılan kaynak işlemidir. Ergitme için gerekli ısının temin şekline, cinsine ve kaynak bölgesinin korunmasına göre aşağıdaki alt sınıflara ayrılır.

a.1 - Gaz kaynağı ( oksijen - asetilen vb.)



a.2 - Direnç kaynağı

a.3 - Döküm kaynağı

a.4 - Elektron ışın kaynağı

a.5 - Laser kaynağı

a.6 - Alümina termik ergitme kaynağı

a.7 - Ark kaynağı

a.7.1. Koruyucu atmosfer kullanmadan yapılan ark kaynağı

i ) Metal elektrot ile kaynak

ii ) Karbon elektrot ile kaynak

a.7.2. Koruyucu atmosfer altında yapılan ark kaynağı

i ) Örtülü elektrot ile kaynak

ii ) Toz altında kaynak

a.7.3 Koruyucu gazla ark kaynağı

i ) Atomik hidrojen kaynağı

ii ) Soygaz atmosferi altında kaynak (TIG, MIG, MAG)

b) Basınç Kaynağı

Metalik malzemelerin, ısı enerjisi kullanarak veya kullanmaksızın basınç enerjisi ile birleştirilmesidir. Aşağıdaki alt sınıflara ayrılır:

b.1 - Soğuk basınç kaynağı

b.2 - Ultrasonik kaynak

b.3 - Demirci kaynağı

b.4 - Sürtünme kaynağı

b.5 - Döküm kaynağı

b.6 - Elektrik direnç kaynağı

b.7 - Gaz basınç kaynağı

b.8 - Yanmalı alın kaynağı

b.9 - Difüzyon kaynağı

2) Plastik Malzeme Kaynağı

Uygulama şekline göre aşağıdaki sınıflara ayrılır:

1 - Ultrason kaynağı

2 - Sürtünme kaynağı

- 3 - Titreşim kaynağı
- 4 - Sıcak levha veya bara ( eleman ) kaynağı
- 5 - Sıcak gaz kaynağı
- 6 - İmplantasyon kaynağı
- 7 - Solvent kaynağı

#### 2.4.2. Kaynağın Amacına Göre Sınıflandırma

Kaynak yapılış amacına göre birleştirme ve dolgu kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır.

##### a) Birleştirme Kaynağı

İki ya da daha fazla sayıdaki parçayı birleştirerek çözülmez bir bütün haline getirmektir.

##### b) Dolgu Kaynağı

Bir iş parçasının veya malzemenin hacmindeki bir eksikliği doldurmak, hacmini genişletmek veya korozyon ve aşınmaya karşı direncini artırmak amaçları ile malzemenin üzerinde sınırlı bir alan boyunca yapılan kaynaktır.

#### 2.4.3. Kaynağın Yapılış Şekline Göre Sınıflandırma

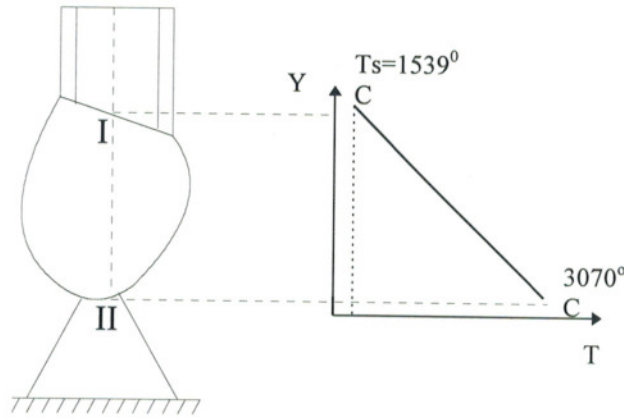
Yapılış şekline göre kaynak dört sınıfa ayrılır.

- 1) El kaynağı (Kaynak işlemi yalnızca el hareketleri ile gerçekleştirilir.)
- 2) Yarı mekanize kaynak (Kaynak, el yerine kısmen mekanize edilmiş bir düzenek ile yapılır.)
- 3) Tam mekanize kaynak (Kaynak, tamamen mekanize edilmiş bir düzenek ile gerçekleştirilir.)
- 4) Otomatik kaynak (Hem kaynak, hem de kaynak edilen parçaların değiştirilmesi gibi bütün işlemler mekanize edilmiştir.) (Anık, 1983)

#### 2.5. Kaynak Kabiliyeti

Metal ve alaşımlarının kaynakla birleştirilmesinde “ kaynak kabiliyeti “ çok önemli bir kavramdır ve metalik malzemenin birleşebilme yeteneğini ortaya koyar.

Ergitme kaynağında, metal damlasında çok yüksek bir sıcaklık oluşur. Mesela, normal bir elektrik ark kaynağında metal damlasının sıcaklığı  $1539^{\circ}\text{C}$  ile  $3070^{\circ}\text{C}$  arasında bulunur ( Şekil 2.2). Damlanın katı haldeki metal tarafında sıcaklığı  $1539^{\circ}\text{C}$  olmasına rağmen, arkın olduğu noktadaki sıcaklığı da buharlaşma sıcaklığına yakındır ( $3070^{\circ}\text{C}$ ). Ergitme kaynağında damlanın ortalama sıcaklığı  $2300^{\circ}\text{C}$ ' dir.



Şekil 2.2. Bir kaynak damlasındaki sıcaklık dağılımı (Anık, 1983)

Genellikle, kaliteli iyi bir kaynak bağlantısı sağlamak için, kaynak yerini havanın tesirinden korumak veya diğer bir deyişle oluşacak kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol altına almak gereklidir.

Damla ve kaynak banyosunun esas metal tarafındaki metalurjik reaksiyonların oluşumu için geçen süre çok kısadır. Metalurjik reaksiyonlar büyük çapta damlanın ısınma ve kısa devre süreleri ile kaynak banyosunun esas metal tarafındaki oluşum süresine bağlıdır. Metalurjik reaksiyonların oluşumu için geçen süre kaynak usullerine göre  $10^{-3}$  ile 1,5 saniye arasındadır.

Esas metal tarafındaki erimiş banyo, ilave metal (örtülü elektrot, kaynak teli, örgülü, özlü veya band elektrot gibi tel - toz kombinasyonları) ile esas metalin erimesinden oluşur. İlave metal ile esas metalin karışım oranı ( $\varphi$ ) ile belirtilirse;

$$\varphi_G = \frac{A_G}{A_Z + A_G} \cdot 100 \quad (2.1)$$

esas metalin erime oranı,

$$\varphi_z = \frac{A_z}{A_z + A_G} \cdot 100 \quad (2.2)$$

ilave metalin erime oranı olarak ifade edilir (Anık, 1983).

$A_G$  = Ergimiş esas metalin yüzeyi

$A_z$  = Ergimiş ilave metalin yüzeyi

$\varphi$  karışım oranı, kaynak parametreleri ve ilave metalin çapı gibi faktörlerle değişir. Yüksek güçlü kaynak yöntemlerinde ergiyen esas metal oranı, ilave metale göre çok daha fazladır.

Tecrübeli her kaynakçı, tamamen hatasız bir kaynak yapmanın, her tip çelik için kolay olmadığını gayet iyi bilir. Bazı malzemeler için ise, hiçbir güçlüğü olmamasına rağmen, hatalardan arınmış tatminkar bir kaynak kalitesinin sağlanması için özel tedbirlere ihtiyaç vardır. İşte bu durumda kaynak kabiliyetinden bahsedilir.

### 2.5.1. Ergitme Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti kesin ve kantitatif ifade edilebilen bir özellik değildir. Uluslararası Kaynak Enstitüsü( IIW - IIS ) “ Kaynak Kabiliyeti ” Komisyonu, kaynak kabiliyetini şöyle tarif eder:

“ Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir maksat için, bir dereceye kadar kaynak yapılabilir. Uygun bir usul kullanılarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona etkileri bakımından önceden belirlenmiş olan özellikler sağlanmış olmalıdır. “

Bu tanımdan anlaşılacağı gibi, kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağlı bir özellik değil, aynı zamanda kaynak yöntemine ve konstrüksiyona da bağlıdır. Bir metal veya alaşım, bir kaynak yönteminde gayet iyi derecede bir kaynak kabiliyeti göstermesine rağmen, diğer bir yöntemde zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir (Anık, 1983).



Yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir denildiği zaman, bu kaynak şartları geniş bir aralıkta hiç bir tedbire başvurmadan tatminkar bir kaynak kalitesinin elde edilebileceği anlamına gelir. Düşük derecede kaynak kabiliyetinden de, tatminkar bir sonuç alabilmek için özel tedbirlere ihtiyaç duyulduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulmasının gerektiği anlamı çıkar.

Kaynak kabiliyetinin derecesini belirten özellikler çeşitli çelik tipleri için farklılık gösterir. Örneğin, bir çok malzeme tiplerinde en önemli faktör, iyi mekanik özelliklerin elde edilmesidir. Fakat austenitik tip paslanmaz çeliklerde kaynak kabiliyeti derecesi, ısının tesiri altında kalan bölgenin korozyona karşı dayanıklılığının azalması ile ifade edilir.

Kaynak kabiliyeti, Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi, malzeme, imal usulü, konstrüksiyon, kaynağa elverişlilik, kaynak emniyeti ve kaynak yapabilme imkanı deyimlerini kapsar. O halde kaynak kabiliyeti;

A - Kaynağa elverişlilik

a - Malzeme

b - İmal usulü

B - Kaynak yapabilme imkanı

a - İmal usulü

b - Konstrüksiyon

C- Kaynak emniyeti

a - Malzeme

b - Konstrüksiyon

arasındaki bağıntılarla ilgilidir.



Şekil 2.3. Kaynak kabiliyetinin malzeme, imal usulü ve konstrüksiyona bağlı olarak ifade edilmesi (Anık, 1983)

Burada bir malzemenin kaynak kabiliyeti için, en az iki ön şartın mevcut olması anlamı ortaya çıkar.

a - Parçaların belirli bir kaynak usulü ile birleştirilmesi mümkün olmalıdır (kaynağa elverişlilik).

b - Kaynak edilen malzeme, maruz kalacağı zorlamalara dayanmalıdır (kaynak emniyeti).

Bir konstrüksiyon elemanının kendisinden beklenenleri sağlaması, malzeme, konstrüksiyon, imal usulü ve işletme zorlamalarının etkisine bağlıdır. Hatalı bir durum ortaya çıktığında, bütün kusur malzemeye yüklenemez; diğer faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bu nedenle, kaynak konstrüktörü, malzeme mühendisi ve işletme mühendisi birlikte çalışmak zorundadır. Bu da, her mühendislik eserinin üç faktöre dayandığını gösterir. Konstrüksiyon, malzeme ve imal usulü. Konstrüktörün bir tasarımı vardır ve bunu malzemeyi seçerek bir dereceye kadar gerçekleştirir. Ancak, bu malzemenin uygun bir imal usulü ile işlenmesinden sonra eser tamamlanmış olur.

Pratikte “ iyi kaynak edilir ”, “ kaynak edilir ” ve “ şartlı olarak kaynak edilir ” deyimleri vardır. İyi kaynak edilir deyiminden, ön tavlama ve ısıl işleme gerek duyulmadan parçanın kaynak edilebileceği anlamı çıkar. Kaynak yapılan

malzemenin kalınlığı arttıkça, ön tavlama ihtiyacı vardır. Bu halde de, kaynak edilebilir deyimini söz konusudur. Bazı durumlarda ise, kaynak edilen malzemenin ya karbonu fazladır ya da bileşiminde karbonun etkisini değiştiren çeşitli alaşım elemanları vardır. Dolayısıyla geçiş bölgesinde bir sertleşme ve çatlama oluşabilir. İşte bunun içindir ki, bu tip malzemeleri kaynak ederken özel tedbirlere ihtiyaç vardır ve bu tedbirler alınırsa, ancak o zaman malzeme tatminkar bir şekilde kaynak edilebilir. Bu halde de, şartlı olarak kaynak edilir deyimini geçerlidir. Şartlı olarak kaynak ederken ön tavlama uygulanmalı ve bu şekilde soğuma hızı kontrol altında tutulmalıdır (Anık, 1983).

Bugün, alaşımsız veya hafif alaşımlı yüksek mukavemetli bir çeliğe iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptir diyebilmek için, herşeyden önce aşağıdaki iki şartın bir arada bulunması gerekir.

a - Kaynaktan önce ve sonra iyi bir sürekliliğe sahip olmalıdır.

b - Kaynak metali esas metal ile karıştığı zaman, gevrek olmayan bir kimyasal bileşim sağlamalıdır.

Yapı çeliklerinin kaynağında, kaynağın neticesine tesir eden en önemli faktör, esas metalin bileşimidir. Özellikle karbon ve mangan, alaşımsız çeliğin kaynak kabiliyetini etkileyen başlıca iki alaşım elemanıdır. Karbonun kaynak kabiliyeti bakımından, alaşımsız çeliklerin bileşimindeki maksimum miktarı hakkındaki görüşler biraz farklıdır. Örneğin, İsveç’de gazı alınmamış çeliklerde maksimum karbon miktarı olarak % 0,25 ve gazı alınmış çeliklerde ise % 0,22’ye kadar müsaade edilmektedir. Diğer taraftan Amerika Birleşik Devletleri’nde bu sınır % 0,30’a kadar çıkmakta ve bir ön tavlama gerek görülmemektedir.

Alaşımsız yapı çeliklerindeki mangan miktarı, bileşimde bulunan karbon miktarına bağlı olarak değişir. Genel olarak karbon miktarı arttıkça, mangan azalır ve “ Karbon eşdeğeri “ formülü göz önüne alınır.

Hafif alaşımlı ve yüksek mukavemetli çeliklerde, karbon ve mangandan başka alaşım elemanlarının da, geçiş bölgesindeki sertleşme ve çatlak teşekkülü üzerine tesirleri vardır. İşte bu alaşım elemanları belirli bir oran dahilinde, bileşimdeki karbon miktarına eklenir ve sonuçta karbonun etkisine benzer şekilde



düşünülür. Elde edilen bu yeni değere de “ karbon eşdeğeri “ denir. Örneğin, IIW - IIS'e göre karbon eşdeğeri (  $C_{eş}$  ) aşağıdaki şekilde hesaplanır (Anık, 1983);

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%) \quad (2.3)$$

Bir yapı çeliğine uygulanacak gerekli ön tavlama sıcaklığı, karbon eşdeğerine göre aşağıda verilmiştir.

Karbon eşdeğeri ( % )	Ön tavlama sıcaklığı ( ° C )
0,45'e kadar	Ön tavlamaya gerek yok.
0,45 - 0,60 arası	100 - 200
0,60'dan yukarı	200 - 350

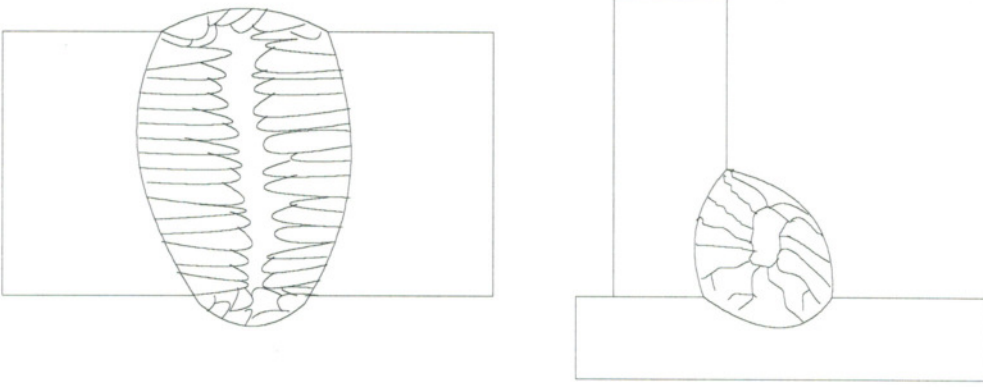
Kaynak yapılan bir parçada, kaynak bölgesini ergiyen ve ısının tesiri altında kalan bölge olarak iki kısımda incelemek mümkündür.

#### A - Ergiyen Bölge

Ergiyen bölge, genellikle kaynak banyosunda meydana gelen türbülansdan dolayı katılaşmadan önce iyice birbirine karışmış esas metalden ve kaynak metalinden ibarettir. Daha önce de belirtildiği gibi, esas metalin kaynak metaline oranı çeşitli kaynak usullerine bağlı olup, geniş bir aralık içerisinde değişir. Belirli bileşim ve miktardaki kaynak ve esas metalin karışımından oluşan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz sonuçları ile aynı değildir. Bunun sebebi, bazı alaşım elemanlarının kaynak sırasında yanma nedeniyle kayba uğramasıdır. Yanma derecesi, ısı kaynağına, kaynak yerini çevreleyen atmosfere ve kullanılan kaynak yöntemine göre değişir. Eğer hava atmosferine karşı koruma tam değilse, ergime esnasında oksijen ve azot absorbe edilir. Oksijen, kaynak yerinde önemli bir rol oynar ve telafisi zor bir çok yanmalara sebep olur.

Ergiyen bölgenin katılaşması, kendini çevreleyen esas metale ısı iletimi ile olur ve oldukça iri sütunlar şeklinde kristaller meydana gelir. Özellikle kalın parçalardaki derin nüfuziyetli kaynaklarda bu iri silindirik kristallerin birleştiği yerde, yani ortadaki kısımlarda segregasyondan dolayı bir boşluk oluşur ve zayıflama olur ( Şekil 2.4).





Şekil 2.4. Bir alın ve köşe birleştirmesinde segregasyon bölgesi (Anık, 1983)

#### B - Isının tesiri altında kalan bölge ( ITAB )

Isının tesiri altındaki bölge, kaynak metalinin, yani eriyen bölgenin esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren 1450 ile 700 ° C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Eğer ITAB’de erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinirse, esas metalin tipi ve şartları da tanınırsa, kaynak işlemi sonunda meydana gelecek yapıyı önceden tahmin etmek mümkündür. Ayrıca, soğuma hızının da hesaba katılması gerekir. Özellikle 900° C’nin üzerinde tavlanan bölgede, kalın parçaların kaynağında soğuma daha çabuk olacağından, çok yüksek bir sertlik elde edilir.

ITAB, bir kaynak bağlantısının en kritik bölgesini teşkil eder ve bir çok çatlama ve kırılma burada olur. ITAB’ın sertleşmesi, özellikle karbon miktarının %0,25’in üzerinde bulunan alaşımsız karbonlu yapı çelikleri ile yüksek mukavemetli hafif alaşımlı yapı çeliklerinin kaynak kabiliyetini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Kaynak bağlantısındaki sertleşme (kaynak sertleşmesi), genellikle ITAB’deki maksimum sertlikle belirlenmektedir.

Uluslararası Kaynak Enstitüsü’nün IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonunun raporuna göre, ITAB’ın maximum sertliği için 350 (400) Vickers

değeri teklif edilmiştir. Teklifte, sertliğin daha fazla olması halinde, özel tedbirlerin alınmasının gerektiğine de ayrıca temas edilmiştir (Anık, 1983).

### 1.5.2. Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Elektrik direnç kaynağında birleştirilecek parça, malzemenin cinsine göre az veya çok olmak üzere elektrik akımına karşı bir direnç gösterir. Elektrik akımı geçtiğinde parça, bu elektrik direnci nedeniyle ısınır. Ohm kanununa göre, parçada oluşan ısı enerjisi aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.4)$$

Burada;

E = Kaynak yerinde oluşan ısı enerjisi

I = Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti (Kaynak akım şiddeti)

R = Omik direnç olarak ifade edilir.

Bu ifadeden, elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyetinin, malzemenin cinsine bağlı olduğu görülür. Örneğin, elektrik iletkenliği yüksek olan bir malzeme elektrik iletkenliği düşük olan bir malzemeye göre daha kötü bir kaynak kabiliyetine sahiptir denilebilir. Fakat, elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyetinin tanımlanması için malzemenin elektrik iletkenliğinin yanında, ısı iletkenliği ile erime noktasına da gerek vardır.

Isı iletkenliği yüksek olan bir metal veya alaşımın kaynağı, ısı iletkenliği düşük olan bir metal veya alaşıma göre daha zordur. Diğer taraftan, erime noktası yüksek olan malzemelerde daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağından, kaynak işlemi daha zordur.

Malzemenin elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve erime noktası göz önüne alınırsa, elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyeti faktörü aşağıdaki amprik formülle ifade edilebilir (Anık, 1983):

$$S = \frac{10^4}{\alpha \cdot \lambda \cdot t_e} \quad (2.5)$$

Burada;

$S$  = Kaynak kabiliyeti faktörü

$\alpha$  = Elektrik iletkenliği (  $m / mm^2$  )

$\lambda$  = Isı iletkenliği (  $cal / cm.s.^{\circ}C$  )

$t_e$  = Erime noktası (  $^{\circ}C$  )

olarak ifade edilir.

Bu formül ile hesaplanan kaynak kabiliyeti faktörüne göre, elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyetinin durumu, aşağıda belirtilmiştir.

<u>Kaynak kabiliyeti faktörü</u>	<u>Kaynak kabiliyetinin durumu</u>
0,25'e kadar	Kötü
0,25 - 0,75 arası	Yeterli
0,75 - 2,0 arası	İyi
2,0'dan yukarı	Çok iyi

Çizelge 2.1'de bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti faktörleri; Çizelge 2.2'de ise bazı alaşımların fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti faktörleri verilmiştir. Çizelge 2.2'de kaynak kabiliyetine özellikle alaşım elemanlarının etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Örneğin, saf bakırın kaynak kabiliyeti ( $S = 0,18$ ) çok kötü iken, bir bakır alaşımı olan pirincin kaynak kabiliyeti ( $S = 3,2$ ) çok iyidir.

Çizelge 2.1. Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti (Anık, 1983)

Metaller	Elektrik İletkenliği ( $m/mm^2$ )	Isı iletkenliği ( $cal/cm.s.^{\circ}C$ )	Erime noktası ( $^{\circ}C$ )	Kaynak kabiliyeti faktörü ( $S$ )	Kaynak kabiliyeti durumu
Alüminyum	36	0,53	659	0,79	İyi
Demir	10	0,16	1530	4,1	Çok iyi
Altın	45	0,74	1063	0,28	Yeterli
Kobalt	11	0,17	1490	3,6	Çok iyi
Bakır	56	0,94	1083	0,18	Kötü
Magnezyum	22	0,41	650	1,7	İyi
Molibden	21	0,33	2620	0,55	Yeterli
Nikel	11	0,21	1453	3,0	Çok iyi
Platin	9	0,17	1770	3,7	Çok iyi
Gümüş	62	1,10	960	0,15	Kötü
Tantal	6,5	0,13	2850	4,1	Çok iyi
Titan	1,85	0,041	1660	79,0	Çok iyi
Tungsten	18	0,4	3380	0,41	Yeterli



Çizelge 2.2. Bazı alaşımların fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti (Anık, 1983)

Alaşımlar	Elektrik İletkenliği ( m/mm <sup>2</sup> )	Isı iletkenliği (cal/cm s. ° C)	Erime noktası ( ° C )	Kaynak kabiliyeti faktörü (S)	Kaynak kabiliyeti durumu
Karbonlu çelik	6,0	0,12	1490	9,3	Çok iyi
Ostenit	3,5	0,05	1420	40,0	Çok iyi
Magnezyum alaşımları	16,0	0,28	620	3,6	Çok iyi
Al Mg <sub>3</sub>	20,0	0,37	625	2,2	Çok iyi
Al Mg <sub>4</sub>	16,5	0,28	605	3,6	Çok iyi
Al Mn	25,0	0,41	645	1,5	İyi
Al Mg Cu	27,5	0,37	590	1,7	İyi
Al Mg Si	31,0	0,42	620	1,2	İyi
Çinko alaşımları	17,0	0,25	400	5,9	Çok iyi
Alüminyum alaşımları	22,0	0,37	610	2,0	İyi

## BÖLÜM III

### ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

#### 3.1. Giriş

Bir metal içerisinde doğrudan ısı üretmek için elektrik akımından faydalanmanın iki yolu vardır. Ark kaynağında olduğu gibi, iş parçasının yüzeyinde bir elektrik arkı meydana getirerek, veya iş parçası içerisinde akım geçişi yoluyla ısı açığa çıkarılabilir. Direnç kaynağında ısı, malzemelerin akım geçişine gösterdikleri direnç yardımıyla oluşturulur.

Ark kaynağında ısı, yüzeyde oluşur ve iletim yoluyla iş parçasının iç kısımlarına doğru yayılır. Direnç metodunda ise ısının tamamı, bağlantının dik kesiti boyunca oluşturulabilir. Isıyı oluşturan elektrik akımı, iş parçalarının birbirine temasını sağlayan elektrotlar içerisinde malzeme içerisine gönderilebilir, veya iş parçasını çepeçevre kuşatan bir dalgali manyetik alan yardımıyla malzeme içerisinde indüklenebilir. Her iki yöntem de direnç ısısına bağlı olmasına rağmen, genellikle elektrot içerisinde akım verilen yöntem için “ direnç kaynağı ” terimi kullanılır. Manyetik alan kullanılan yöntem ise, “ indüksiyon kaynağı ” olarak bilinir (Tsai ve Dickinson, 1992).

Direnç kaynağı metodlarının çok çeşitli türleri vardır. Bu yöntemlerde, lokal olarak yüksek bir direnç meydana getirmek ve böylece de bağlantı noktalarında ısıyı yoğunlaştırabilmek için farklı teknikler kullanılır. Normal direnç, iletkenin öz direncine ve geometrisine bağlıdır. İşlem sırasında birleştirilecek parçalar arasında sınırlı bir akım yolu meydana getirilerek, lokal yüksek bir direnç oluşturma yoluna gidilir (kabartılı nokta kaynağı). Bu yöntem, akım yoğunlaştırılması olarak bilinir. Tüm direnç kaynağı metodlarında, akım taşıyan elektrotlar ve birleştirilecek parçalar arasında fiziksel bir temasın olması gerekir. Ayrıca, parçaların birbirine temas etmesini ve birleşmeyi sağlamak için



basınç da gereklidir. Bunlar, direnç kaynağı yöntemlerini ark kaynağı yöntemlerinden ayıran en önemli özelliklerdir.

### 3.2. Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi

Birbirine birleştirilmesi istenen iki metalik malzeme, düşük dirence sahip iki iletken (elektrot) arasına yerleştirilir ve düşük voltajlı, yüksek akım şiddetli bir elektrik akımı uygulanırsa, akım geçişine gösterdikleri direnç nedeniyle malzemeler ısınır. Plastik bir sıcaklığa kadar ısınmış bu malzemeler bir basınç enerjisi kullanarak sıkıştırılırsa, iş parçaları arasındaki temas yüzeylerinde bir bağlantı meydana gelir. Kaynağın başarılı bir şekilde tamamlanması için, malzemeler plastik bir sıcaklığa erişince akım kesilmeli ve soğuma sonrası yeterli bir mukavemete ulaşıncaya kadar basınç uygulanmaya devam edilmelidir.

Direnç kaynağı, iş parçasının üzerinden geçen elektrik akımına karşı gösterdiği dirençten sağlanan ısı ile iş parçası üzerine uygulanan basınç sonucu oluşan bir kaynak çeşididir. Ayrıca dış bir ısı kaynağı yoktur. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç, kaynak makinasındaki elektrotlar veya çeneler aracılığı ile uygulanır. Genellikle kaynak işleminde ek hiç bir madde kullanılmaz.

Elektrik direnç kaynağı için gerekli olan akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatorundan sağlanır. Gerekli olan basınç veya elektrot kuvveti ise hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla sağlanır (Eagar ve Kim, 1989).

### 3.3. Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

Elektrik direnç kaynağı esas olarak aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1 - Nokta kaynağı

a) Normal nokta kaynağı

b) Kabartılı nokta kaynağı

2 - Dikiş kaynağı

- a) Sürekli dikiş kaynağı
- b) Aralıklı dikiş kaynağı

### 3 - Alın kaynağı

- a) Basınçlı alın kaynağı
- b) Yakma alın kaynağı

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun akım şiddeti - kaynak zamanı düzenlemesini gerektirir. Akım, kapalı bir devre boyunca akar. Akımın sürekliliği, uygun şekilde şekillendirilmiş elektrotların uyguladığı basınç sayesinde gerçekleşir.

Kaynak periyodunu kapsamak üzere, çeşitli işlemlerin sırası en genel anlamda şöyle ifade edilebilir: Önce sınırlı bir metal hacminin plastik bir sıcaklığa gelmesi için gerekli ısı miktarını elde etmek, daha sonra da bu metalin basınç altında yeniden katılaşması için soğumasını sağlamaktır.

İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Eğer bu hız, demir esaslı alaşımlarda gevrek kaynak dikişi oluşturacak kadar yüksek ise ayrıca temperleme işlemine gerek duyulur (Anık, 1993).

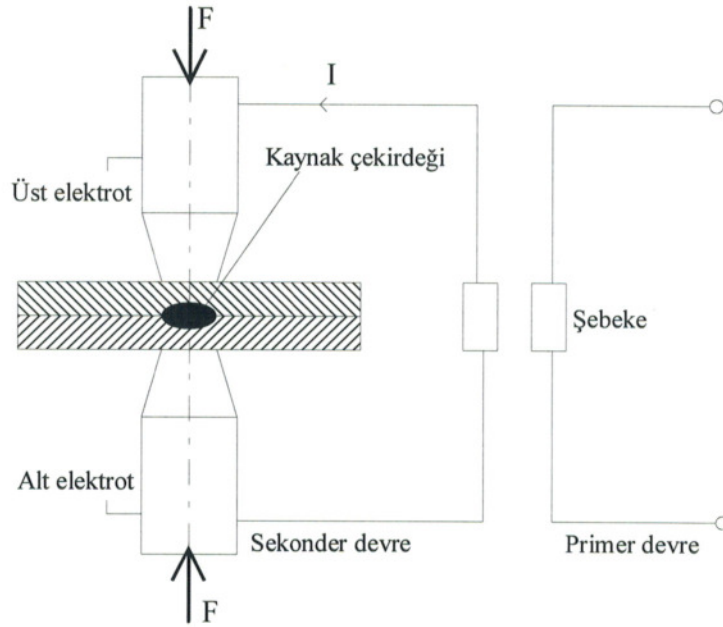
#### 3.4. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı

Elektrik nokta direnç kaynağı, elektrotlar arasında tutulan parçaların, geçirilen elektrik akımının direnç sebebiyle ısıya dönüşmesi sonucu birbirlerine bir veya daha fazla noktadan birleştirilmesi işlemidir. Kaynak edilecek malzemelerin temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük voltajlı ve yüksek amperli akım ile plastik bir sıcaklığa kadar ısıtılmış kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, ısınan metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler, daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1 sn.'den daha kısa bir sürede tamamlanır (Alcini, 1990).

Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi, kaynak çekirdeği iki parçanın

temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise, elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

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



Şekil 3.1. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi (Anık, 1983)

#### 3.4.1. Nokta Direnç Kaynağının Uygulama Alanları

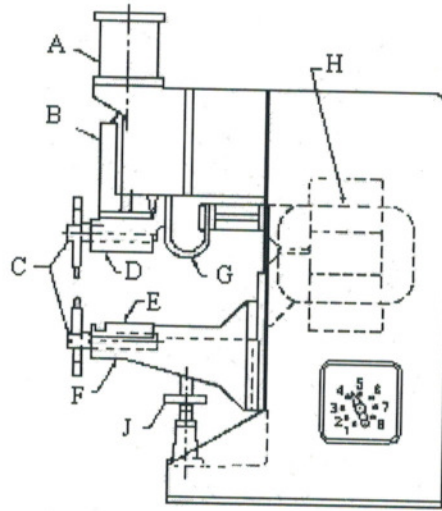
Elektrik nokta direnç kaynağı, yaklaşık 3 mm. kalınlığa kadar olan sac levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde çok geniş bir şekilde kullanılır. Ancak, çok yaygın olmamakla birlikte 12 mm kalınlığa kadar sacları bu yöntemle kaynatmak mümkün olur.

Direnç nokta kaynağı genel olarak, aynı bileşimde ve aynı kalınlıktaki metal levhaların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber, ikiden fazla metal



levhanın, bileşimi ve kalınlıkları farklı metallerin veya başka bir metal ile kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılabilir. Gaz veya su sızdırmazlığı istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan meydana gelen birleşik parçalar yüksek bir üretim hızıyla en ekonomik şekilde nokta kaynağı vasıtasıyla birleştirilebilirler. Nokta direnç kaynağının en önemli avantajı, yüksek hızlı olması, yüksek imalat kapasitesindeki birleştirme hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi ve otomasyona elverişli olmasıdır. Akım, zaman ve elektrot kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek imalat hızlarında, sağlam ve birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilir (Cho ve Cho, 1989).

Bu avantajlarına karşılık, saçların direnç nokta kaynağında, yüksek bir kilovolt-amper (Kva) değerine ihtiyaç vardır (5 - 20 voltta yaklaşık 2000 - 5000 amper akım çekilir). Daha iletken metaller, örneğin bir çok alüminyum ve bakır alaşımları, daha da yüksek Kva gerektirir. Direnç nokta kaynak makinaları, bir çok ark kaynak makinasından daha pahalıdır. Şekil 3.2.'de bir nokta direnç kaynak makinası şematik olarak gösterilmektedir.



- |                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| A - Pnömatik veya hidrolik silindir | F - Mafsal                 |
| B - Ram                             | G - Esnek iletken          |
| C - Elektrot tutucusu               | H - Sekonder transformatör |
| D - Üst kol                         | J - Mafsal mesnedi         |
|                                     | E - Alt kol                |

Şekil 3.2. Elektrik nokta direnç kaynak makinası (Houldcroft, 1967)

### 3.4.2. Kaynak Çevrimi

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

- 1 - Yaklaşma ve sıkma zamanı
- 2 - Kaynak zamanı
- 3 - Tutma zamanı
- 4 - Ayrılma zamanı

Bu dört zaman dilimi, şematik olarak şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



1 Yaklaşma	= 15 period
2 Kaynak	= 8 period
3 Tutma	= 4 period
4 Ayrılma	= 13 period
<u>Toplam</u>	<u>= 40 period</u>
1 period	= 1/50 saniye
1 Nokta kaynağı	= 0,8 saniye

Şekil 3.3. Kaynak çevriminin safhaları (Apps, 1970)

Yaklaşma ve sıkma zamanı, işlemin başlatılması ile kaynak akımının uygulanması arasında geçen zamandır. Bu zaman süresince basıncı sağlayan silindirin selenoid vanası açılır, üst kol aşağı inerek kaynak edilecek parçalar ile temasa gelir ve elektrot kuvveti teşekkül eder.

Kaynak zamanı, devreden akımın geçtiği süredir.

Kaynak akımı kesildikten sonra, kaynak çekirdeğinin katılaşması için elektrot kuvvetinin parçalar üzerinde tutulduğu süre, tutma zamanı olarak adlandırılır.

Ayrılma zamanı ise, tutma zamanının sonu ile bir sonraki çevrimin yaklaşma zamanının başlangıcı arasındaki süredir. Otomatik çevrimde, ayrılma



zamanı, elektrotların geri çekilmesi ve parçanın alınması veya yeniden pozisyonlanması için gerekli zamandır. Kesikli çevrimde ise bu süre kontrol cihazı tarafından tayin edilmez, süresi operatörün yeni çevrimi başlatmak için geçirdiği süreye eşittir. Kısaca özetlenecek olursa;

#### 1. Yaklaşma zamanı

Elektrotların birbirine yaklaşıp iki sacı sıkması için geçen süredir.

#### 2. Kaynak zamanı

Birleştirilen saclara düşük gerilimde yüksek akım şiddetinde akımın uygulanma süresidir.

#### 3. Tutma zamanı

Elektrotlar içerisinde su sirkülasyonu vasıtasıyla kaynak noktasının soğutulması ve bağlantının tam olarak meydana gelmesinin sağlanması için geçen süredir.

#### 4. Ayrılma zamanı

Oldukça kısa bir süre olup, parçaların diğer bir nokta kaynağı için hareket ettirildiği süredir.

Bütün bu zaman dilimlerinin süreleri “ periyot “ ile ifade edilir. Frekansı 50 Hz olan bir sistemde bir periyot 1/50 saniyeye tekabül eder.

Basit bir kaynak çevriminde, kaynak çevrimi boyunca, muntazam bir kaynak akımı ve elektrot kuvveti tatbik edilir. Sisteme eğer akım kontrolü (Slope kontrol) ilave edilirse, kaynak akımının şiddeti değiştirilebilir.

Artan akım (Up slope) kontrolü, kaynak akımının ani olarak ön görülen değerde uygulanması yerine, akımın birkaç periyot içerisinde kademeli olarak artarak, kaynak için gerekli değere ulaşmasını sağlar. Düşük başlangıçlı kaynak akımı, akımın ilk uygulanmasında meydana gelen kıvılcım sıçramalarını azaltır veya tamamen ortadan kaldırır. Artan akım kontrolü, yüksek akım değerlerinde yapılan kaynaklarda, örneğin siyah sacların ve birçok kaplanmış metallerin kaynağında kullanılır.

Azalan akım (down slope) kontrolü, akımın ani olarak kesilmesi yerine, kademeli bir şekilde azaltılarak daha düşük bir değere düştükten sonra kesilmesini sağlar. Bu şekilde soğuma zaman gradyeni uzatılarak (soğuma hızı yavaşlatılarak) ısı işleme tabi tutulabilen metallerin bazı tiplerinin iyi bir şekilde kaynak edilmesi

sağlanır. Azalan akım kontrolü özellikle %0,15'den fazla karbon ihtiva etmeyen düşük karbonlu çeliklerin kaynağında nadiren kullanılır. Bununla beraber, kaynak ile sertleşebilen alaşımlı çeliklerin kaynağında mutlaka kullanılmalıdır.

Yüksek akım şiddetinde ve uzun kaynak zamanına ihtiyaç olduğu hallerde, örneğin 3 mm'den daha kalın saçların kaynağı durumunda, elektrotlar aşırı ısınabilir. Elektrotların ömürlerinin kısalmasına neden olan bu mahsurlu durum, kaynak aralığında akım kesikli olarak birkaç defa tatbik edilerek ortadan kaldırılabılır. Kesikli akım tatbikatında, her akım tatbikatının arkasından bir soğutma periyodu gelir. Isı, kaynak olan parçalara nazaran elektrotlardan daha büyük bir hızla uzaklaştırıldığından, akım kesilince elektrodun ısısının büyük bir kısmı uzaklaştırılırken, kaynak olan parçaların ısısının ancak küçük bir kısmı uzaklaştırılmış olur. Böylece seri halde akım tatbik edilerek (her akım tatbikatının sonunda bir soğutma periyodu sağlanarak) elektrotların sıcaklık limitleri aşılmadan, kaynak edilecek parçaların kaynak sıcaklığına kadar ısıtılması sağlanabilir (Dix, 1966).

Kaynak çevrimine dahil edilebilen iki diğer eleman daha vardır ki, bunlar “ dövme “ ve “ post heat “ (son ısıtma) dır. Dövme ve post heat, düşük karbonlu çelikler için kullanılmayıp, bilhassa sertleşebilen karbonlu ve alaşımlı çeliklerde tanecik küçültmek için kullanılırlar. Kaynaktan sonra tavlama akımı tatbik edilmeden önce, kaynağın soğuması için kısa bir bekleme veya “ akım kesme “ periyodu vardır.

Düşük değerde bir akımın tatbik edildiği post heat işlemini, tutma zamanı takip eder. Post heat sırasında elektrot kuvveti (dövme kuvveti) artırılabilir. Kaynak kuvveti genellikle post heat akımı tatbik edilinceye kadar sabit tutulur ve sonra dövme kuvvetine artırılarak tutma zamanının sonuna kadar bu değerde tutulur (Satoh ve Katayama, 1969).

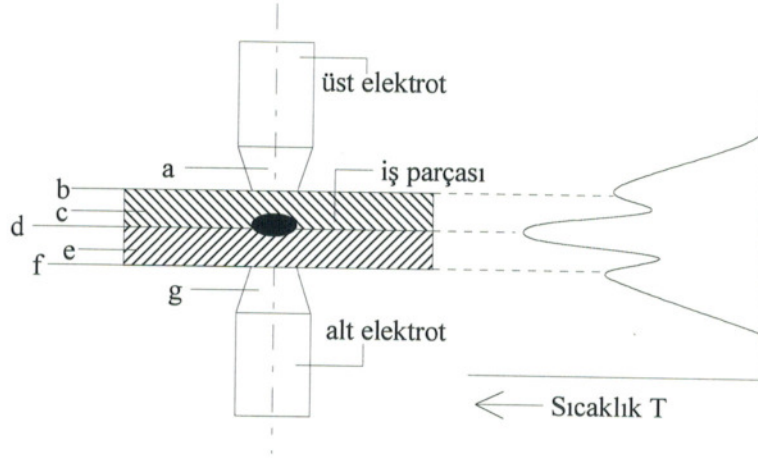
### 3.4.3. Direnç Kaynağında Meydana Gelen Isı

Direnç nokta kaynağı makinalarının sekonder devreleri, kaynak edilecek parçalar dahil, bir seri dirençten meydana gelmiştir. Bu dirençlerin toplamı

elektrik akım şiddetini tayin eder. Elektrik akımı (amper olarak) devrenin her noktasında, o noktanın direncinden bağımsız olarak aynıdır. Bununla beraber herhangi bir noktada meydana gelen ısı, doğrudan o noktadaki direnç ile orantılıdır. Sekonder devreyi meydana getiren elektrikselsistem, istenilen noktada ısı meydana getirecek ve sistemin geri kalan elemanlarının relatif olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde etüd edilmiştir.

Kaynak olan parçalarda ve elektrotlarda ısının meydana gelişi ve dağılımı Şekil 3.4.'de görülmektedir (Anık, 1983). İki metalin kaynağında, yedi direnç seri halde birbirine bağlanmıştır:

- a - Üst elektrodun direnci
- b - Üst elektrot ile üstteki 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



Şekil 3.4. Nokta direnç kaynağında tipik sıcaklık dağılımı (Anık, 1983)

Bu noktaların herbirinde, o noktanın direnci ile orantılı olarak ısı meydana gelir. En fazla ısının kaynak olan noktada yani, kaynak edilecek metallerin temas yüzeyinde (d noktasında) meydana gelmesi istenir ve diğer noktalarda meydana gelen ısının azaltılmasına çalışılmalıdır.



Şekil 3.4.'de kaynak işleminin başlangıcında, bütün parçaların sıcaklıkları başlangıç sıcaklığı hattı ile belirtilmiştir. Sıcaklık, direncin en fazla olduğu kaynak edilen parçaların yüzeyinde (d noktasında) hızla artar. Bu noktadan sonra en fazla dirence sahip olan noktalar b ve f ' dir. Burada da sıcaklık çabuk bir şekilde, fakat d noktasındakinden daha az bir hızla yükselir. b ve f noktalarında meydana gelen ısı, a ve g bölgelerinden, su ile soğutulan elektrot içerisine hızla dağılır. Kaynak parametreleri, uygun bir şekilde kontrol edildiğinde, ilk önce kaynak edilecek parçaların ara yüzeyindeki, yani d noktasının yanındaki noktalar kaynak sıcaklığına ulaşır. Isıtma periyodu boyunca bu küçük belirli sıcaklığa kadar ısınmış metal bölgeleri genişler ve sürekli hale gelerek, kaynak çekirdeğini meydana getirir.

Şekil 3.4.'de görülen sıcaklık dağılımı, kaynak edilecek iş parçalarının malzemesine, boyutuna, metal ile elektrotların relatif ısı iletkenliklerine, elektrodun şekline, boyutlarına ve elektrodun soğutulma şekline bağlıdır.

Kaynak 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 basma kuvveti ve akım şiddeti, işlemin ana etkenleri olarak tanımlanmaktadır (Yamamoto ve Okuda, 1970).

Elektrotlar arasında oluşan ısı miktarı 'E', Joule kanununa göre elektriksel dirence eşdeğer olarak,

$$E = u \cdot i \cdot t \text{ ( W.s)} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır. Ohm kanununa göre,  $u = i \cdot R \text{ ( V )}$  yerine yazılarak,

$$E = i^2 \cdot R \cdot t \text{ ( W. s )} \quad (3.2)$$

elde edilir. Dalgalı akımda sinüs formundaki dalgalı akım  $I = \frac{I_{max}}{2}$  verildiğinde

ve  $1 \text{ W.s} = 0,239 \text{ cal}$  olarak yerine yazıldığında, elektrik direnç kaynağında oluşan ısı miktarı;

$$E = 0,239 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ (cal)} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir.

$$E = \text{Üretilen toplam ısı (Watt-saniye)}$$



$I$  = Akım şiddeti (Amper)

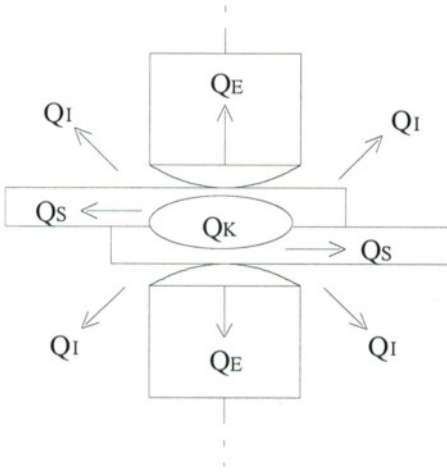
$R$  = İş parçasının toplam direnci (Ohm)

$t$  = Kaynak süresi (saniye)

Burada görüldüğü gibi oluşan ısı, akım şiddetinin ( $I$ ) ikinci dereceden, malzeme direncinin ( $R$ ) ve zamanın ( $t$ ) birinci dereceden fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bilgilerin ışığında, verilen bir akım değeri için birim zamanda kaynakta oluşan ısı miktarını etkileyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

- 1 - Kaynak edilen malzemenin direnci
- 2 - Elektrot malzemesinin direnci
- 3- İş parçaları arasındaki temas direnci
- 4 - İş parçaları ve elektrotlar arasındaki temas direnci

Nokta direnç kaynağında tüketilen ısının dağılım bileşenleri Şekil 3.5.'de gösterilmektedir (Bentley, 1963).



$$Q_T = 0,239. I^2. R. t$$

$$Q_L = Q_I + Q_S + Q_E$$

$$Q_K = Q_T - Q_L$$

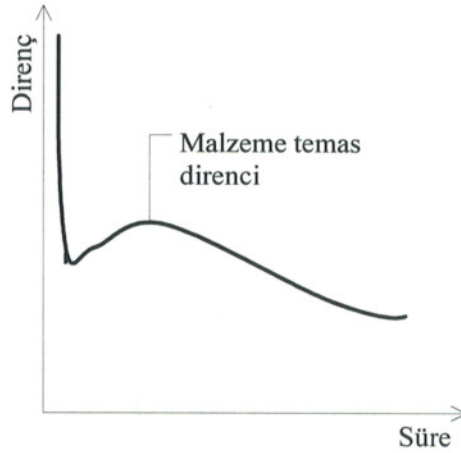
$$n = \frac{Q_K}{Q_T} . 100 \text{ ( Kaynak verimi )}$$

Şekil 3.5.Nokta direnç kaynağında tüketilen ısının dağılım bileşenleri

Dönüştürülen bu ısının tümü, kaynak noktasında oluşturulan dikişte harcanmamaktadır. Elektrotların aşırı ısınmaya karşı hava ya da su ile soğutulması, özellikle uzun zaman aralıklarında yapılan kaynak işlemlerinde ısının parça boyunca yayılması sonucunda enerji kayıpları oluşmaktadır. Oluşturulan kaynak noktalarının büyüklüğü, verilen ve kayıp ısı miktarlarının sabit olması durumlarında bile eşit olmayabilmektedir.

Saçlar arası direnç - süre ilişkisi diyagramında görüldüğü gibi (Anık, 1983), dirençteki bu ani düşüş, oluşumun ana etkeni olarak görülmektedir (Şekil 3.6). Isının üretilmesinde ve iletilmesinde, elektrot geometrisi - temas yüzeyi, saç yüzey kalitesi ve elektrot kuvveti işlem etkenleridir. Bunların dışında sabit ısı üretilmesinde, akım yoğunluğu, kuvvet yoğunluğu ve akım geçen süre değerlerinin de sabit tutulması gerekmektedir.

İşlemden ısısal yönden, elektrotların biçim ve yüzey değişimlerinin, ısının oluşturulması ve transferinde büyük bir etken olduğu görülmekte, dolayısıyla elektrotlar kaçan ısı içerisinde yaklaşık %60 - 70'e varan pay sahibi olabilmektedir.



Şekil 3.6. Nokta direnç kaynağında süre - toplam direnç ilişkisi (Anık, 1983)

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli koşul, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilesidir. Örneğin, bakırın yüksek ısı iletim kabiliyeti, direnç kaynağında çok kötü kaynak kabiliyetine neden olur. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, örneğin çelikte sertleşmeye ve böylece de çatlak eğilimine neden olur. Ancak su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir (Simmons, 1967).

#### 3.4.4. Kaynak Bölgesinde Oluşan Elektriksel Direnç

Kaynak bölgesindeki direnci, birleştirilen malzemelerin dirençleri ile temas noktalarının toplam dirençleri oluşturmaktadır. Malzemelerin dirençlerini,

a - Malzemelerin kaynak edilen bölgelerinin hazırlanmasından gelen fiziksel özellikler

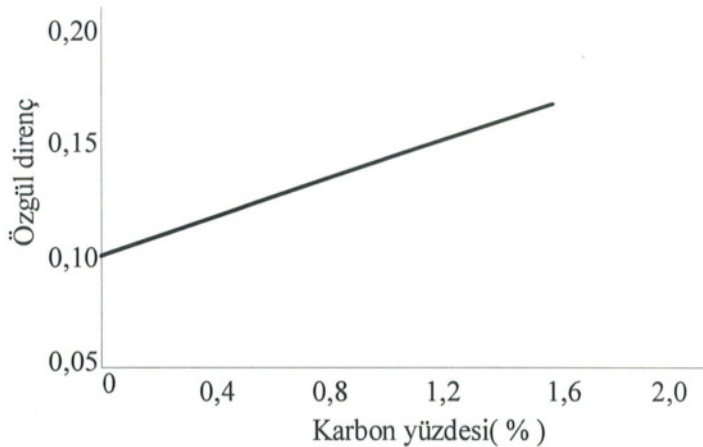
b - Kaynak devresindeki akımın çeşidi ve büyüklüğü

c - Akım devresindeki sıcaklık belirlemektedir. Temas noktalarının dirençleri ise, Üst elektrot - parça

Parça - parça

Parça - alt elektrot temas noktalarıdır. Uygulamada elektrotların kendi dirençleri genellikle ihmal edilebilecek boyutlarda bulunmaktadır.

Karşılaştırma açısından, saf metaller alaşımlardan daha kararlı yüksek dayanım gösterirlerse de, alaşım elemanlarının bileşiminin artması ile özgül dirençleri de saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Saf demirde karbon yüzdesinin artımına bağlı olarak, özgül direncin değişimi Şekil 3.7.'de görülmektedir (Chakalev, 1994). Bileşimde bulunan silisyum ve diğer elemanlar nedeniyle özgül direncin daha da büyüyeceğinin dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 3.7. Çelik bileşiminde bulunan karbon yüzdesi - özgül direnç ilişkisi

Su verilmiş ve soğuk şekillendirilmiş metallerde, genellikle elektriksel direnç yükselmektedir. Çoğu kez, bu tür işlemler uygulanmış metallerin, bilinen ısı işlemlerle başlangıç özelliklerine dönüştürülmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bir elektrik iletkeninin direnci,

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (\Omega) \quad (3.4)$$

olarak verilir. Burada,

$\rho$  = malzemenin özgül direnci ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )

$l$  = iletkenin uzunluğu (m)

$A$  = iletkenin kesiti ( $\text{mm}^2$ ) olarak ifade edilir.

Bu ifadenin nokta kaynağında akım geçen kesite göre yazılışı ise,

$$R = \frac{\rho \cdot 2 \cdot s}{\pi \cdot d^2 \cdot 250} \quad (3.5)$$

şeklinde olur (Anık, 1983).

$2s$  = akım yolunun uzunluğu (mm)

$s$  = parça kalınlığı (mm)

$d$  = akım geçen kesitin çapı (mm)

Bu örnekte akım geçen kesit ile elektrot ucunun kesiti birbirine eşittir. Ancak bazı durumlarda, elektrotların uç çapları değiştirilebilmektedir.

Sıcaklığın büyümesi ile metalsel malzemelerin özgül dirençleri büyümektedir. Bu özellik kaynak devresindeki metalsel malzemeye, direncinin büyümesi şeklinde yansımaktadır. Şekil 3.8.'de (Oğuz, 1985) saf demire ait, oda sıcaklığı ile  $950^\circ\text{C}$  arasındaki özgül direnç değişimi verilmektedir.

Özgül direncin sıcaklığa bağlı olarak değişimini, aşağıda verilen ifadeden de hesaplamak mümkündür (Lobasow, 1983);

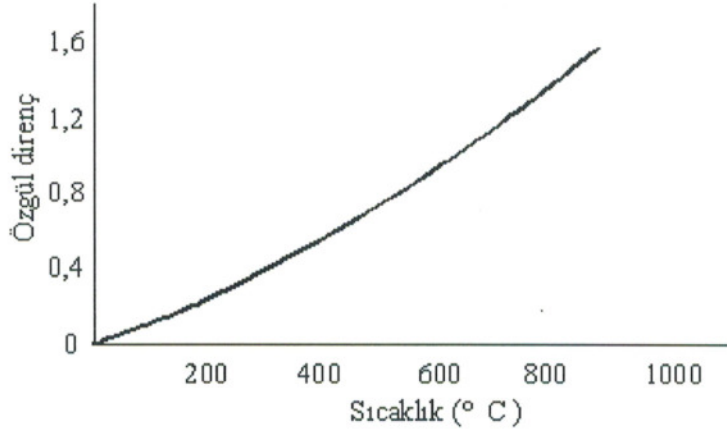
$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha(t - 20)] \quad (3.6.)$$

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

$\rho_0$  = oda sıcaklığında özgül direnç ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )

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





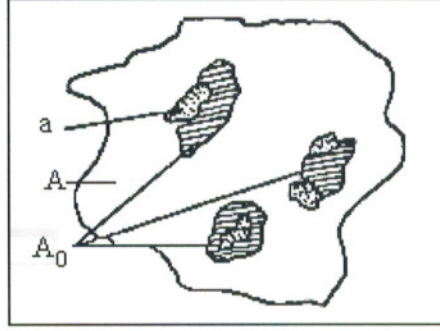
Şekil 3.8. Saf demirde sıcaklığa bağlı olarak özgül direncin değişimi (Oğuz, 1985)

Bazı metelsel malzemelerin oda sıcaklığında, özgül dirençleri ve sıcaklık katsayıları çizelge 3.1.'de verilmektedir .

Çizelge 3.1. Bazı metelsel malzemelerin, oda sıcaklıklarında özgül direnç ve sıcaklık katsayıları (Oğuz, 1985)

Malzeme	Özgül direnç	Sıcaklık katsayısı
Al 99.5	0.0278	4
Fe	0.10	5.6
Cu	0.0178	3.9
Ni	0.069	6.9
Ag	0.0159	4
Çelik(%0.1C, %0.5Mg)	0.13 - 0.15	4 - 5
Çelik(%0.25C, %0.3Si)	0.18	4 - 5
Çelik(%1C, %10Mn)	0.66	1.3

İki metal yüzeyi basınç altında tutulduğunda, temas yüzeyleri içinde birçok temas noktalarının bulunduğu gözlenmektedir. Temas noktalarındaki değişim, bu noktalara uygulanan basınca ve bu noktaların sıcaklığına bağlıdır. Şekil değiştirme süreci içinde sürekli yeni temas noktaları oluşmakta, bu aşamada elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir (Lobasow, 1983). Şekil 3.9'da temas yüzeylerinde oluşan temas bölgeleri ve akım geçiş yüzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Nokta direnç kaynağında oluşan temas yüzeyleri (Lobasow, 1983)

- A - görülen temas yüzeyi  
 A<sub>0</sub> - gerçek temas yüzeyleri  
 a - başlangıç akım geçiş yüzeyleri

Uygulamada ideal düzlemlerin oluşturulması olanak dışı olduğundan, gerçek toplam temas yüzeyi A<sub>0</sub>, temas yüzeyi olarak bilinen A'dan daha küçüktür. Bu temas yüzeyleri, farklı geometrik şekil ve boyutlarda kuralsız olarak yüzeyde dağılmış durumdadırlar. Burada yük taşıyan yüzeyler, farklı geometrik biçim ve şekil değiştirme oranlarına sahip olduklarından, ayrıca kısmi veya tam bir örtü tabakası ile de kaplı olmaları olasılığından, birbirleri için tam bir elektriksel akış alanı olma özelliğini taşımamaktadır. Akım geçen her bir yüzey a ve temas yüzeyleri toplamları da A<sub>0</sub> ile tanımlanmaktadır. Temas direncinin incelenmesinde,

a - Dış zarf direnci ( R<sub>h</sub> )

b - Akım geçen boğaz direnci ( R<sub>e</sub> )

var oluşu dikkate alınarak, toplam temas direnci;

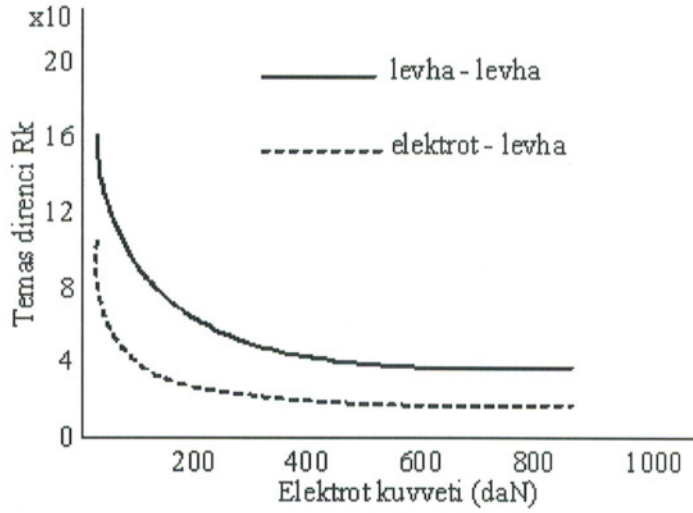
$$R_k = R_h + R_e \quad (\Omega) \quad (3.7)$$

olarak yazılabilmektedir (Lobasow, 1983).

Buradaki dış zarf direncinin nedeni, malzemenin temas yüzeyinde oluşmuş oksit, yağ filmi veya benzeri yabancı tabakalardır. Bu yüzeysel yabancı elemanlar, belirli bir kalınlığın altında bulunması durumunda, metalsel bir tabaka rolü oynarlar. Dış zarf direnci, görülen temas yüzeyinin ( A ) durum ve büyüklüğüne bağlı olmayıp, gerçek temas noktalarının büyüklüklerinin etkisi altındadır.

Verilen örnekte ele alınan A yüzeyi içinde birkaç noktadan akım geçebilmektedir. Akım yolunun büzülmesinden doğan bu direnç,  $R_e$  boğaz direnci olarak tanımlanır.

Kaynak esnasında uygulanan elektrot kuvveti,  $R_k$  toplam temas direncini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Şekil 3.10.'da elektrot kuvveti ve toplam temas direnci arasındaki ilişki verilmiştir (Veenstra, 1969). Burada, hem kaynak yapılan malzemeler arasındaki (saç - saç) hem de elektrot ve malzeme arasındaki temas dirençlerinin elektrot kuvveti ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.10. Elektrot kuvvetlerine bağlı olarak temas direncinin değişimi  
( saç kalınlığı 1mm )

#### 3.4.5. Nokta Kaynağı Değişkenlerinin İncelenmesi

Kaynak kalitesini etkileyen başlıca kaynak değişkenleri şu şekilde sıralanabilir;

- A - Elektrotların malzemesi ve boyutları
- B - Kaynak akımı
- C - Kaynak zamanı
- D - Elektrot kuvveti

E - İş parçasının malzemesi

F - İş parçasının yüzey durumu

#### 3.4.5.1. Elektrot Bileşiminin ve Şeklinin Isınma Üzerine Etkisi

Elektrodun ısınmasını minimumda tutabilmek için, elektrotlar yüksek elektriki iletkenliğe ve düşük temas direncine sahip olmalıdırlar. Aynı zamanda, elektrot ucu ile metalin temas ettiği alanlardaki (b ve f bölgeleri, Şekil(3.4.)) ısının uzaklaştırılabilmesi için, yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdırlar. Elektrotlar ayrıca, tekrarlanan yüksek kaynak kuvvetlerinin sebep olduğu deformasyonlara direnebilecek kadar kuvvetli olmalıdırlar.

##### 3.4.5.1.1. Elektrot Bileşiminin Etkisi

Genellikle alaşımın sertliği arttıkça ısı ve elektrik iletkenliği azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun alaşımın seçiminde, elektrikselsel, ısısalsal ve mekaniksel özelliklerin uygun bir kombinezonu bulunmalıdır.

Ticari saf bakır mükemmel bir elektrikselsel iletkenliğe sahip olmasına karşılık, sıkıştırma kuvvetlerine karşı mukavemetinin ve tavlama sıcaklığının düşük olması nedeniyle elektrot malzemesi olarak tek başına kullanılamaz.

##### 3.4.5.1.2. Elektrot Şeklinin Etkisi

Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrotların uç çapları aynı olmalıdır. Bununla beraber, eğer kaynak edilecek parçaların kalınlıkları farklı ise, kalın parçalarla temas eden elektrodun çapının, uygun ısı dengesinin sağlanabilmesi için daha büyük olması gerekebilir.

Farklı metallerin kaynağında, eğer metallerden birisinin elektrikselsel direnci diğerinden büyük ise, aynı durum geçerlidir. Bu farklılık, yüksek dirençli parça ile temasta olan elektrodun ucunun çapı büyütülerek veya düşük dirençli parça ile temasta olan elektrot için yüksek dirençli malzeme kullanarak telafi edilebilir.



Kaynak çekirdeğinin çapı, elektrodun temas yüzeyinden hafifçe küçüktür. Elektrodun ucu aşındıkça veya mantarlanma nedeni ile büyüdükçe, kaynak çekirdeğinin çapı artar. Uç çapının %5'den fazla büyümesi, akım yoğunluğunu azaltacağı ve açığa çıkan ısı iyi bir kaynak meydana getirmeye yeterli olmayacağı için, kaynak kalitesini etkileyecektir (Anık, 1983).

#### 3.4.5.1.3. Elektrotların Malzemesi ve Boyutları

Ticari saf bakır en iyi iletkenidir. Saf bakır elektrotlar, iyi mekanik özelliklere ve yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti ve daha yüksek kaynak hızı kullanan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrot malzemesi olarak kullanımını durdurmuştur. Soğuk çekilmiş bakır, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf bakırın bu istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için, daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Çizelge 3.2.'de direnç kaynağında kullanılan başlıca elektrot alaşımları ve bunların özellikleri verilmiştir.

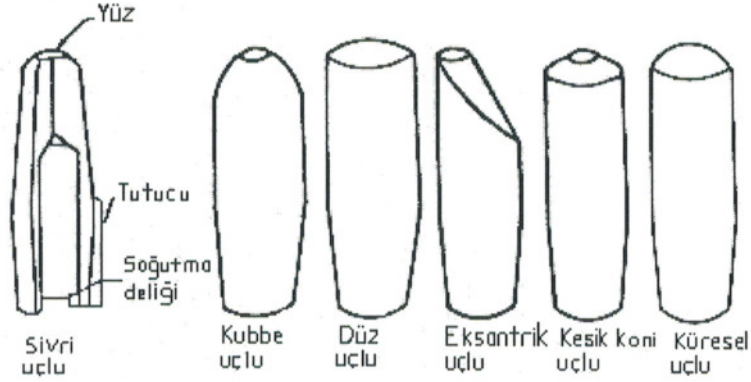
Çizelge 3.2. Direnç Kaynağında Kullanılan Elektrot Alaşımları (Anık, 1983)

Alaşım cinsi	Brinel Sertliği ( kg / mm <sup>2</sup> )	İletkenlik ( % Saf bakır )	Yumuşama sıcaklığı ( °C )	Kullanıldığı iş parçası
Soğuk çekilmiş Bakır	95	90	150	Alüminyum
Kadmiyum-Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom-Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten-Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve bakır alaşımları

Genel olarak alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direnci artırır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için belirli bir elektrot malzemesi seçilirken,

bu malzemenin mekanik ve elektriksel özellikleri ile bu özelliklerin sıcaklığa bağlı olarak değişimi göz önünde tutulmalıdır. Örneğin, alüminyum kaynağı için kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Buna karşılık, paslanmaz çeliklerin kaynağı için kullanılan elektrotlarda, maksimum basma mukavemeti elde etmek için iletkenlikten fedakarlık edilmelidir.

Elektrotların şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının cinsine, şekil ve boyutlarına göre saptanır. Şekil 3.11.'de standart elektrotlar gösterilmiştir. Bunlar içinde en fazla kesik koni uçlu ve küresel uçlu elektrotlar kullanılır (Anık, 1983).



Şekil 3.11. Standart elektrotların uç şekilleri (Anık, 1983)

Levha kalınlığı ve malzemeye bağlı olarak, elektrot temas yüzeyi (uç) çapları aşağıdaki gibi seçilir;

A - Sivri, kubbe, düz, eksantrik ve kesik koni uçlu elektrotlar için;

$$S \leq 3\text{mm için } d_e = 5\sqrt{S}$$

$$S \geq 7.5\text{mm için } k = 2$$

$$S > 3\text{mm için } d_e = 2S + k$$

$$S < 7.5\text{ mm için } k = 3 \quad (3.8)$$

Burada, S mm olarak bir levhanın kalınlığı,  $d_e$  mm olarak elektrot uç çapıdır (Şekil 3.12.).

B - Küresel uçlu elektrotlar için;

r (mm) küresel ucun yarıçapı olmak üzere,

$$r = k_1 \cdot S + k_2 \quad (3.9)$$

Burada, S mm olarak bir levhanın kalınlığı,  $k_1$  ve  $k_2$  levha malzemesine bağlı sabitlerdir.

Yumuşak ve paslanmaz çelik saclar için,

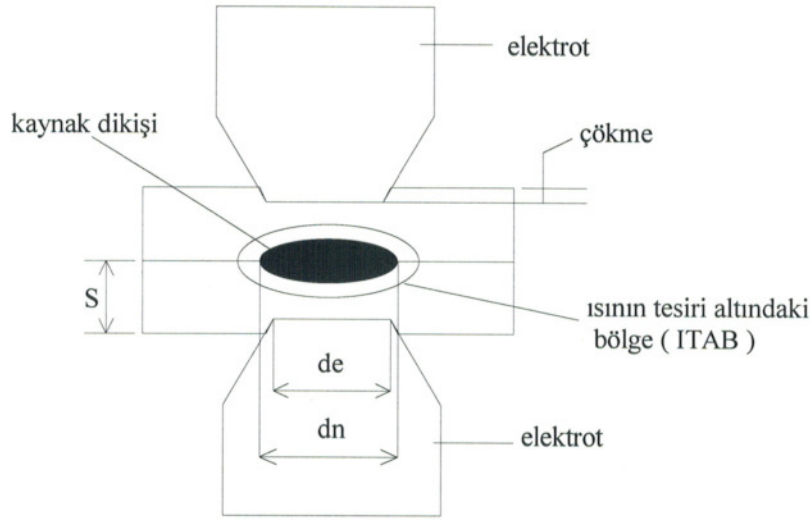
$$k_1 = 20, k_2 = 50$$

Alüminyum alaşımları için,

$$k_1 = 60, k_2 = 20$$

Mağnezium alaşımları için,

$$k_1 = 70, k_2 = 40 \text{ (Anık, 1993)}$$



Şekil 3.12. Kaynak bölgesinin geometrisi (Simmons, 1967)

S = levha kalınlığı  
 $d_e$  = elektrot çapı  
 $d_n$  = nokta veya dikiş çapı

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında, elektrot temas yüzeyinin, iş parçası yüzeylerine paralel olarak hassas bir şekilde ayarlanması gerekmez. Bu nedenle küresel uçlu elektrot, üst elektrodun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinalarında rahatlıkla kullanılabilen bir elektrottur. Bu elektrot, mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksektir. Bu nedenle, alüminyum ve alaşımlarında kullanılır (Anık, 1983).



### 3.4.5.2. Kaynak Akımının Isınma Üzerine Etkisi

Kaynak akımı, transformatorun sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan elastik kablolar, kollar, elektrotlar ve kaynak olacak parçalardan geçer. Devrenin her kısmında dirence bağlı olarak ısı meydana gelir.

Meydana gelen ısının bir kısmı, elektrotlardan ve kaynak olan parçalardan radyasyon ve konveksiyon ile kaybolur. Bu kayıpların büyüklüğü bilinmemektedir.

Çeliklerin ısı iletkenliği bakırın ısı iletkenliğinin yaklaşık %12'si kadardır. Eğer çeliğin bakır esaslı elektrotlar ile kaynağında yeterli bir kaynak akımı kullanılırsa, kaynak edilecek parçaların ara yüzeyinde meydana gelen ısının kaynak noktasından uzaklaşması, elektrot yüzeylerinde meydana gelen ısının su soğutmalı elektroda geçişinden daha yavaştır. Dolayısıyla, önce kaynak edilen parçaların ara yüzeyi birleşme sıcaklığına ulaşır ve kaynak bu noktada meydana gelir (Şekil 3.4).

Tatminkar bir birleşmenin elde edilemediği, bir alt akım yoğunluğu limiti vardır. Kondüksiyonla elektrotların içine, havaya ve kaynak edilen noktanın dışındaki kısımlara olan ısı kayıplarını karşılayacak kadar ısı meydana getirilmelidir.

Akım yoğunluğu arttırılarak, elektrotların temas yüzeylerini bir kaç yüz dereceden fazla ısıtmaksızın, kaynak işleminin sağlanabileceği şekilde, kaynak zamanı yeteri kadar azaltılabilir.

Kaynak akımı için ayrıca bir üst limit de vardır. Eğer kaynak akımı çok yüksek ise, kaynak edilen metalin elektrotlar arasındaki kalınlığının tamamı plastik bölgeye kadar ısıtılmış olur ve elektrotlar derin bir şekilde metale gömülürler.

Elektrotların yüzeyi aşırı ısınabilir ve yanabilir. Her bir elektrot kuvveti için, akım yoğunluğunun bir üst limiti vardır. Bu limit aşıldığında, metal yüzeyinden sıcak metal tanecikleri fırlamaya başlar, ve elektrotlar kaynak edilen parçaya gömülür, kaynak kalitesi düşer (Wang, 1996).



Nokta kaynağında maximum kaynak dikişi mukavemeti, metal yüzeyinden sıcak metal tanecikleri sıçramasına neden olan, maksimum akım şiddetinin biraz altındaki akım yoğunluklarında elde edilir. (İmalat için akımın ayarlanması genellikle bu kurala göre yapılır.)

#### 3.4.5.3. Kaynak Zamanının Isınma Üzerine Etkisi

Kaynak edilen parçalar içerisinde sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3.4.'de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, kaynak noktasında (d), ilk %20 zaman sonunda, sıcaklık yükselmesi, geriye kalan kaynak zamanındaki yükselmeye göre diğer bölgelere nazaran oldukça düşüktür.

Denklem 3.2.'den de görüldüğü gibi, toplam direnç sabit tutulduğunda, meydana gelen ısı kaynak zamanı ve kaynak akımının karesi ile orantılıdır.

Elektrot batmaları ve kıvılcım sıçraması, uç temas yüzeyinde ( b, d ve f bölgeleri Şekil 3.4 ) ısının meydana geliş hızının çok yüksek olduğunu gösterir.

Kaynak akımı, yaklaşma basıncı ve dövme basıncı artırılarak, kaynak zamanı bir miktar azaltılabilir. Kaynak akımı artırıldığı zaman, kıvılcım sıçramasını önlemek için yaklaşma basıncı artırılmalıdır. Kaynak soğuyuncaya kadar parçaları sıkı bir temasta tutabilmek için dövme basıncını ve bu basıncın meydana geliş hızını da artırmak gerekir (Chen, 1994).

Kaynak bölgesinde, belirli hacimdeki metali birleşme sıcaklığına ulaştırmak için ve bu sırada oluşan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli toplam ısı enerjisi, denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu ifadedeki R direnci, malzemeye, levha kalınlığına, elektrot kuvvetine, sıcaklığa ve elektrot uç çapına bağlı olup, değeri, elektrot kuvvetinin artmasıyla azalmaktadır. Bu durumda, verilmiş bir elektrot kuvveti ve levha için gerekli ısı miktarını elde etmek amacıyla değiştirilebilecek kaynak parametreleri, kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli akım - zaman değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da zamana bağlı olması nedeniyle akım şiddetini keyfi olarak azaltarak kaynak zamanını artırmak mümkün değildir.

Akımın bir minimum şiddetinden küçük değerlerinde kaynak bölgesinde herhangi bir birleşme meydana gelmez. Bir başka deyişle, birleşmenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrot uçlarının boyutlarına ve kaynak bölgesinde etki yapan elektrot basıncına bağlıdır.

Verilmiş bir elektrot basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırı da mevcuttur. Bunun üzerindeki değerlerde kaynak bölgesinde metal ergiyerek, levhalar arasındaki bölgeden dışa doğru fişkirir. Bu olay kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına neden olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir, elektrotlar levhalara yapışarak tahrip olurlar.

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 (Vishnyakov, 1994). Şekil 3.13.'de böyle bir diyagram şematik olarak verilmiştir.

Şekil 3.13.'de verilen diyagram dört bölgeye ayrılır, bunlar;

#### A Bölgesi :

Burada herhangi bir birleşme yoktur.

#### B Bölgesi :

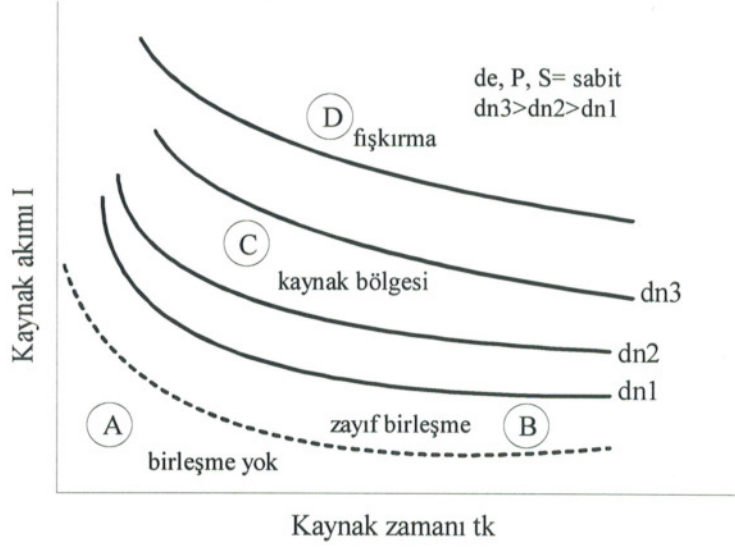
Basınç kaynağı ile oluşan zayıf bir birleşme bölgesidir. Bu bölgede, kaynak işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan sıcaklığa ulaşamaz.

#### C Bölgesi :

Kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren kaynak sıcaklığı oluşmaya başlar ve kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta, nokta çapı  $d_n$ , elektrot çapı  $d_e$ 'ye yaklaşık olarak eşit olur.

#### D Bölgesi :

Bu bölge fişkirme bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fişkirme başlar.



Şekil 3.13. Kaynak kabiliyeti diyagramı (Vishnyakov, 1994)

Kaynak bölgesi C, malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akımının ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri, C bölgesinin üst sınırına yakın kalınacak şekilde seçilir.

Şekil 3.13.'den de görülebileceği gibi, kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanarak veya uzun kaynak zamanı ve düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapı ( $d_n$ ) elde etmek mümkündür. Bunlardan ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine uzun süreli kaynak adı verilir.

Getirdiği büyük faydalar nedeniyle, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup, büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri, çok ince levhalar için bile birkaç saniye olan kaynak zamanı, kontrol organları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç periyoda kadar düşürülmüştür. Kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azalacağından işlemin ısı verimi artmaktadır. Düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında, kısa süreli kaynak için gerekli kaynak zamanı aşağıdaki eşitlik yardımıyla seçilebilir (Vishnyakov, 1994):

$$t_k = 8 \cdot S \quad (3.10)$$

Burada,  $t_k$  periyot olarak kaynak zamanı, S mm olarak levha kalınlığıdır.



Kısa süreli kaynakta işlemin hızlı olması nedeniyle sadece kaynak bölgesi birleşme sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Bu nedenle elektrotların dokunma yüzeyleri bozulmaz. Isıtmanın yavaş olması, yani uzun süreli kaynak halinde, levhaların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bu ise levhaların dış yüzeylerinin yumuşamasına ve elektrotların levha içerisine gömülerek derin izler bırakmasına neden olur.

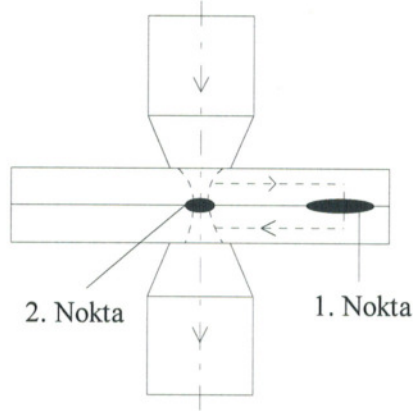
Kısa süreli kaynak, ısının çok sınırlı bir yerde yoğunlaşmasının gerektiği özel şekilli parçaların kaynağında ve alüminyum gibi ısıl iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında özellikle tercih edilir.

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 karbonlu çeliklerde ve bazı alaşımlı çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Diğer taraftan, elektrotlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar için de uzun süreli kaynak tercih edilir.

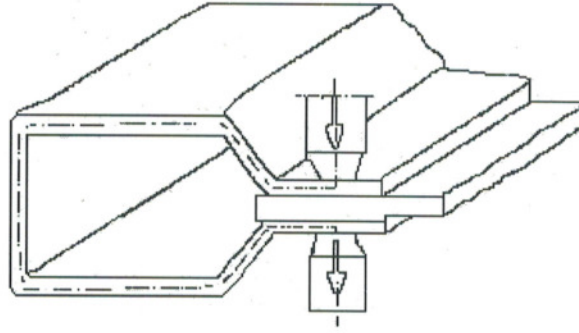
Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, onun dikkatli şekilde kontrol edilmesini gerektirir. Akım değişimlerine, şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinasının sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer taraftan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki birtakım metalik temas noktalarında kısa devre olması sonucu ortaya çıkar (Şekil 3.14 - 15). Kısa devre nedeniyle, yani kaynak akımının bir kısmının başka bölgelerden geçmesi sonucu, nokta çapı yeterli bir değere erişmez.

Bunu önlemek için,  $d_n$  nokta çapı olmak üzere, nokta merkezleri arasındaki uzaklığın  $3d_n$ 'den büyük olması gerekir. Ayrıca, kullanma sırasında, uç çapı çeşitli nedenlerle büyümüş elektrotlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olacağından, bu tip elektrotların kullanılmaması gerekir (Wang, 1996).





Şekil 3.14. Kaynak akımının bir önceki kaynak noktasından kısa devre olması  
(Wang, 1996)



Şekil 3.15. Konstrüksiyonun neden olduğu yan devre (Wang, 1996)

#### 3.4.5.4. Kaynak Kuvvetinin Isınma Üzerine Etkisi

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, elektrot tarafından kaynak edilecek parçalara, kaynak çevrimi boyunca tatbik edilen kuvvettir. Elektrot kuvveti, genellikle, statik bir kuvvet olarak ölçülüp ifade edilmesine rağmen, işlem sırasında dinamik bir kuvvettir ve kaynak makinasının hareketli kısımlarının atıllığı ve sürtünmesinden etkilenir.

Kaynak edilecek parçalar, kaynak edilmek istenen noktadan akım geçmesini sağlamak için iyi bir şekilde temas ettirilmelidir. Bununla beraber, elektrot kuvvetinin artırılması, kaynak olacak metallerin temas direncini

dolayısıyla bu noktada kaynak akımının meydana getireceği ısıyı azaltacağından, elektrot kuvveti aşırı olmamalıdır.

Parçalar birbiri ile iyi bir temas sağlamıyorsa, aşırı bir elektrot kuvveti kullanmak gerekebilir. Bazen de, parçaları sıkı temasa getirmek için, yanaşma zamanı normalden daha uzun tutulur. Parçaların yaylanmasına mani olmak ve kaynak noktasının katılaşmasını sağlamak için tutma zamanı da uzatılabilir.

Elektrot kuvveti kaynak akımının üç safhasında da önemli rol oynar. Basma safhasında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin düşük olmasına yol açar. Ayrıca, levhaların elektrotlar altında belirli bir yerde temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhalar arasında kaynak sıcaklığına kadar yükselmiş olan metali, metal çukuru içerisinde basınç altında tutmaktır. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin soğuması sırasında büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir.

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

Malzeme ve levha kalınlığına bağlı olarak elektrot kuvveti  $P$ , aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla seçilebilir (Simmons, 1967).

Alaşımsız çelikler için	$P = 2. S$
Yüksek alaşımlı çelikler için	$P = 3,5. S$
Alüminyum için	$P = 2.5. S$

Burada  $P$ , kN olarak elektrot kuvveti,  $S$ , mm olarak levha kalınlığıdır.

#### 3.4.5.5. İş Parçasının Malzemesi

Bir metalin özgül elektrik direnci, ısı formülündeki  $R$  direnç değerinin şiddetini ve sonuçta da verilen bir akım için oluşacak sıcaklığı etkiler. Gümüş ve bakır gibi yüksek iletkenliğe sahip metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi çok az ısı meydana gelir. Bu metallerin ısı iletkenliği de yüksek olduğundan, üretilen

az miktarda ısı, hızla iş parçasına ve elektrotlara doğru iletilir. Metalin bileşimi aşağıdaki özellikleri etkiler.

- 1 - Özgül ısı
- 2 - Erime noktası
- 3 - Gizli erime ısısı
- 4 - Yoğunluk

Sonuçta, malzemenin bileşimi, verilmesi gereken toplam ısı miktarını etkiler.

Birçok metalin birim kütlelerini kaynak (rekristalizasyon) sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı yaklaşık olarak aynıdır. Örneğin, Alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı karakteristiklerine sahip iki metali, kaynak sıcaklığına getirmek için, birim kütleleri başına aynı miktarda ısı gerekir. Ancak, alüminyumun ısı iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran daha büyüktür. Bu nedenle, ısı formülünde alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için olandan oldukça büyüktür.

Metalin bileşimi, aynı zamanda yumuşama ve erime noktaları arasındaki sıcaklık bölgesini de etkiler. Çeliklerin bu sıcaklık bölgesi oldukça büyüktür. Bu sebeple, verilen iki çelik levha, akım, zaman ve basıncın geniş bir bölgesi içerisinde kaynak yapılabileceğinden, çeliğin kaynağı için şartlar kritik değildir. Alüminyum ise çok dar bir plastik alana sahiptir ve iyi sonuç almak için kaynak değişkenleri iyi bir şekilde kontrol edilmelidir (Wang, 1996).

#### 3.4.5.6. Kaynak Edilecek Parçaların Yüzeylerinin Isınma Üzerine Etkisi

Yüksek ve tekrarlanabilir kalitede nokta kaynaklarının elde edilebilmesi için, elektrotların temas dirençleri minimum tutulmalıdır. Düşük elektrot temas direnci, temiz parçalar kullanılarak ve elektrot kuvveti kontrol edilerek sağlanır.

Mikro boyutlarda bakıldığında metal saçların yüzeylerinin muntazam olmadığı görülür. Bu durum, düşük elektrot basıncı tatbik edildiğinde metal-metal temas yüzeyinin, bütün temas yüzeyinin ufak bir yüzdesi olmasına neden olur. Elektrot kuvveti artırıldıkça metal-metal temas alanı artar ve böylece elektrik direnci azalır. Elektrot malzemesinin kaynak edilecek parçalardan daha yumuşak



olduğu durumlarda, elektrot kuvvetinin artırılması, metal-elektrot temas yüzeyinin, metal-metal temas yüzeyinden daha iyi bir şekilde temas etmesini sağlar.

Her ne kadar, elektrot kuvveti ısı enerjisi formülüne ( $Q = I^2.R.t$ ) direk olarak girmiyorsa da, elektrik direnci üzerine büyük bir etkisi vardır. Temas direnci, elektrot kuvveti ile ters orantılıdır (Çimen, 1994).

Kaynak edilecek parçalar veya en azından birleştirme yüzeyleri, iyi bir şekilde temizlenmelidir. Elektrotlarla temasa gelebilecek pislik, pas ve oksit filmleri kaynakların yüzey görünümünü bozarlar.

Pislik ve yağ filmleri, buhar fazında yağ alma veya kimyasal banyolarla uzaklaştırılabilir. Bununla beraber, bezle, elle silinerek de kaliteli nokta kaynakları elde edilebilir. Oksit filmleri ise mekanik yollarla uzaklaştırılabilir.

Soğuk haddelenmiş yüzeyler veya asit ile temizlenmiş sıcak haddelenmiş ve yağlanmış yüzeyler üzerindeki ince yağ filmlerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi çok küçüktür. Bu konuda yapılan testlerde, ince bir yağ filmi bulunan metaller üzerinde yapılan nokta kaynaklarının dirençlerinin, aynı metallerin yağı alındıktan sonra yapılanlara nazaran % 2-3 daha düşük olduğunu göstermiştir.

Paslanmış veya ısı ile meydana gelmiş siyah veya mavi oksit filmleri ihtiva eden çelikler, direnç nokta kaynağı ile kaynak edilebilirler. Fakat kaynak kalitesi ve sürekliliği, bu tabakaları ihtiva etmeyen çeliklere nazaran düşük olur. Kalın fakat muntazam oksit filmleri ihtiva eden çelikler, düşük bir değerden orta bir değere doğru artan seri halde bir kaynak akımı tatbik edilerek ve oldukça yüksek elektrot kuvvetleri kullanılarak kaynak edilebilirler (Chen, 1994).

#### 3.4.5.7. Kaynaklı Noktalar Arasındaki Mesafenin Isınma Üzerine Etkisi

Daha önce yapılmış bir nokta kaynağına çok yakın ikinci bir nokta kaynağı yapıldığında paralel devre meydana gelir, kaynak akımının bir kısmı daha önce yapılan kaynak noktasından, geri kalanı da yapılmakta olan ikinci kaynak noktasından geçer. Bu iki devreden geçen akımların miktarı, bu devrelerin direnci ile ters orantılıdır. Akımın bu devrelere dağılımı esas olarak kaynak edilen

metallerin iletkenliği ile kaynak bölgesindeki kontak direncine bağlıdır. Kaynak sırasında metal ısındığından direnci artar ve dolayısıyla paralel devreden (bir önceki kaynak noktasından) geçen akım da artar.

Yapılmakta olan nokta kaynağı daha önce yapılmış olan nokta kaynaklarından yeteri kadar uzakta ise, daha önceki nokta kaynaklarından teşekkül eden devrenin direnci, yapılmakta olan nokta kaynağının direncinden oldukça büyüktür ve paralel devre ihmal edilebilir. Elektrik direnci yüksek olan metaller, düşük olanlardan daha az paralel devre olayından etkilenirler (Wang, 1996).

#### 3.4.6. Isı Kaybı

Kaynak işleminde ısı kaybı, akımın ilk uygulandığı andan, kaynağın oda sıcaklığına soğumasına kadar geçen zaman aralığında değişen hızlarla devam eder. İki aşamada incelenmelidir.

##### 1 - Akımın uygulama zamanı sırasındaki ısı kaybı

Bu kayıp aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a-) Metalin bileşimi
- b-) Parçaların kütlesi
- c-) Kaynak süresi
- d-) Dış soğutma aracı

##### 2- Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı

Bunlardan iş parçasının bileşimi ve boyutu kontrol edilemez, fakat dış soğutma aracı kontrol edilebilir.

Elektrotların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanılarak azaltılabilir.

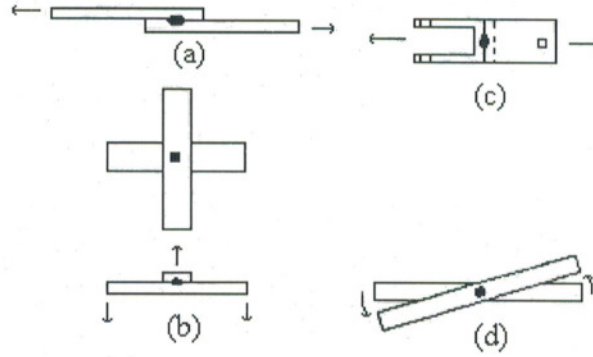
Elektrotlar kaynak yerinden hemen kaldırılacak olursa, ısı kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçecektir. Bu durumda soğuma hızı bir miktar azalır.

Kaynağı her zaman soğutmak uygun değildir. Sertleşmeye karşı hassas malzemelerde, elektrotları kaynak akımı kesildikten sonra mümkün olduğu kadar çabuk kaldırmak gerekir. Böylece elektroda doğru ısı transferi engellenir ve dik soğuma gradyanı oluşmaz (Eagar, 1989).

### 3.4.7. Kaynak Noktasının Mukavemeti

Nokta kaynağının statik mukavemetini tayin için aşağıdaki deneyler yapılmaktadır (Şekil 3.16).

- a) Çekme - makaslama deneyi
- b) Haç biçimi çekme deneyi
- c) U biçimi çekme deneyi
- d) Burulma deneyi



Şekil 3.16. Nokta kaynağına uygulanan mukavemet deneyleri (Hartmann, 1958)

- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| a) Çekme - makaslama | b) Haç biçimi çekme |
| c) U biçimi çekme    | d) Burulma          |

Elektrot boyutları kısmında belirtilen elektrot uç çapları kullanıldığında, özellikle 3 mm kalınlığa kadar levhalarda, çekme - makaslama deneyi sonucu levhalar düğümleme yoluyla hasara uğrar. Yani kaynak noktası levhanın birinden sıyrılıp, bir delik bırakarak diğer levhada kalır. Bu hasar tipi, yeterli bir kaynak mukavemetinin göstergesidir. Bu nedenle, imalat sırasında kalite kontrolü amacıyla, ayırma deneyi çok sık kullanılır (Hartmann, 1958).



### 3.4.8. Nokta Kaynağı Yönteminin Isıl Modeli

Nokta kaynağı işlemini, ısıl bir yöntem olarak izah etmek mümkündür. Kaynak çekirdeğinin ve bunun çevresindeki malzemenin metalurjik yapısı gibi kaynak kalitesini tayin eden faktörler, elektrot basıncından ve ısıl değişimlerden dolayı oluşan mekanik deformasyonlar, ısıl periyodun sonuçları olarak kabul edilir. Bu yüzden, nokta kaynağı esnasındaki sıcaklıkları hem zamana hem de yatay ve düşey koordinatlara bağlı olarak hesap etmek önemlidir. Ancak buradaki problem, çok küçük olan bir bölgede sıcaklık ölçümünün zor oluşudur.

Isıtma periyodunun sonundaki sıcaklık dağılımları, kaynak çekirdeğinin boyutlarından ve kaynak sahası ile ısının tesiri altında kalan bölgenin metalurjik yapısından tahmin edilebilir. Genellikle, yüksek sıcaklıklara çıkan ve çıkmayan bölgeler arasında gözle görülebilir bir kaynak sınırı mevcuttur. Bu sınırda, sıcaklık hemen hemen metal bileşiminin ergime noktasına yaklaşır. Burası, iş parçası ara yüzeyindeki kaynak çekirdeğinin daire çevresine tekabül eder. Özellikle sıcaklık dağılımının teorik olarak hesap edildiği durumlarda, analizin tam olarak yapılabilmesi için, kaynak parametreleri, malzeme özellikleri ve kaynak geometrisine dikkat edilmelidir (Veenstra, 1969).

Soğuma hızı, kaynaklı bölgenin metalurjik yapısını büyük ölçüde etkiler. Bu soğuma hızı, sadece orta ve yüksek karbonlu çeliklerin ya da sertleştirilmiş alaşımların değil, tüm metallerin soğuması sırasında malzeme iç yapısı üzerinde etkilidir. Tane boyutları, artık gerilmeler ve kaynağın şekil alabilme kabiliyeti, soğuma periyoduna bağlıdır. Kaynak kalitesini artırmak için, kaynak ısısına ilave olarak kaynak makinası üzerinde malzemelere ayrıca bir ısıl işlem uygulanabilir. Bu yüzden soğuma hızı, kaynak malzemesinin kalitesini etkileyen önemli bir faktördür.

Yukarıda da anlatıldığı gibi, kaynak parametreleri, malzeme özellikleri ve kaynak geometrisine bağlı olarak, nokta kaynağı sırasındaki sıcaklıkları hesap etmek için matematiksel bir model kullanılabilir (Veenstra, 1969). En önemli kaynak parametreleri, kaynak akımı  $I$ , kaynak zamanı  $t$  ve elektrot kuvveti  $F'$ 'dir. Bunlar, operatör tarafından kaynak makinası üzerinde müdahale edilebilen

değişkenlerdir. Vizkosite, hacimsel öz ısı  $c$ , ısı iletim katsayısı  $k$ , iş parçası ve elektrot malzemesinin elektriksel direnci  $\rho$  ise, her malzemeye göre değişen özelliklerdir.

Gerçekte, iş parçaları ve elektrotların tüm boyutları kaynak geometrisini oluşturur, ancak iş parçası kalınlığı  $S$ , elektrot uç çapı  $d_e$  ve soğutma kanalı ile elektrot yüzeyi arasındaki mesafe  $h$ , özel bir öneme sahiptir. Herhangi bir katı malzemede ısı oluşumu ve ısı iletiminden dolayı meydana gelen sıcaklık dağılımı, Fourier kanununa göre,

$$c \frac{\partial \theta}{\partial T} = \nabla(\lambda \Delta \theta) + \rho J^2 \quad (3.11)$$

şeklinindedir (Schwab, 1986). Akım yoğunluğunun ortalama değeri  $J$  ifadesi,  $I$  ve  $d_e$  yardımıyla tesbit edildiğinden, bu diferansiyel denklem yukarıda ifade edilen değişkenlerin çoğunu içermektedir. Diğer değişkenler ise, sınır şartlarında karşımıza çıkmaktadır. Bu denklemde doğrudan yer almayan, malzeme ara yüzeylerinde meydana gelen ve bu bölgelerdeki ısı oluşumunu büyük ölçüde etkileyen temas direncinin değeri elektrot kuvvetine ( $F$ ) bağlı olarak değişir.

Temas direncinin etkisi gözardı edilse bile, nokta kaynağı durumu için yer ve zamana bağlı sıcaklıkların 3.11 denkleminde yola çıkarak çözümünün yapılması, büyük matematiksel zorluklar içerir. Isıl ve elektriksel özellikler olan  $c$ ,  $\lambda$  ve  $\rho$ 'nun sıcaklığa bağlı değişkenler olması, bu matematiksel zorlukların daha da artmasına ve böylece de denklemin lineer olmayan bir hale gelmesine sebep olur (Schwab, 1969).

#### 3.4.9. Temas Direncinin Isı Oluşumu Üzerindeki Rolü

Temas direnci, malzemenin omik direncine ilave olarak, temas yüzeyinin her iki tarafında bulunan bölgeler arasında meydana gelen extra bir dirençtir. Bu direnç, iki parça arasındaki temas eksikliğinden, yani yüzeyin pürüzlü olmasından kaynaklanır. Bundan başka, ince oksit katmanlarının ve film tabakalarının etkisi de küçük temas noktalarının elektrik iletkenliğini azaltabilir. Eğer yüzey üzerinde



yağ ve kir gibi yabancı maddeler varsa, direnç değeri, temas noktalarının toplam direncinden çok daha yüksek değerlere ulaşır.

Daha önce de belirtildiği gibi, nokta kaynağında, iş parçası ve elektrotlar arasında olduğu gibi iş parçaları arasında da temas dirençleri vardır. Ancak bunlar dinamik bir karaktere sahiptir. Elektrik akımı akmaya başladığında, temas noktalarının sıcaklığı hızla yükselir. Bu temas noktaları, metal direncinin zayıflaması nedeniyle, boyut ve sayı olarak büyüme eğilimindedir. Böylece toplam direnç hızla azalır. Bazı araştırmacılar, alternatif akım kullanıldığında, ilk yarım periyot içerisinde temas direncinin sıfıra düştüğünü ileri sürmüştür.

Yine de, yumuşak çeliklerin nokta kaynağı esnasında, temas direncinin sıcaklık dağılımı üzerinde ihmal edilemez bir etkiye sahip olduğu kabul edilmektedir. Alüminyum için, başlangıçtaki temas direncinin değeri, yapılan kaynağın kalitesini büyük ölçüde etkiler. Bu direncin minimum bir değere düşmesi, kaynak dayanımının, kaynak çekirdeği şeklinin ve elektrot ömrünün iyileşmesine sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımları gibi yüksek dirence sahip malzemelerin kaynağında, ısı oluşumu, temas dirençlerinin varlığından daha az etkilenir. Bu malzemelerin tek bir levhası ısıtıldığında ya da farklı kalınlıklara sahip iki sac kaynak yapıldığında (1/3 oranında), kaynak çekirdeğinin, daima toplam kalınlığın ortasında şekillendiği deneylerle gösterilmiştir.

Genellikle, aşağıdaki durumlar gerçekleştiğinde, kaynak işlemi üzerindeki temas direnci etkisinin artacağı düşünülmektedir (Veenstra ve Hulst, 1969).

- a) Sac kalınlığının azalması
- b) Elektrot kuvvetini azalması
- c) Oksit film tabakası kalınlığının artması
- d) Oksit tabakası direncinin, malzemenin omik direncine nazaran artması
- e) Kaynak zamanının azalması

Yüksek kaliteli kaynaklar elde etmek için, mekanik ya da kimyasal temizleme metodlarıyla yüzey direncini minimize etmek, yaygın olarak kullanılan



pratik bir yöntemdir. Hassas bir şekilde temas direncinin değerini tahmin etmek ise pek mümkün değildir.

Elektrik temas direncinden ayrı olarak, aynı bölgelerde bir de ısı temas direnci vardır. Ancak bu ısı temas direncinin kaynak işlemi üzerindeki etkisi çok azdır. Simetri hesabında termal akışın olmamasından dolayı, bu direnç, iş parçası ara yüzeylerinde önemli bir rol oynamaz. Elektriksel eş değeriyle karşılaştırıldığında, ısı temas direncinin elektrot yüzeyindeki değeri daha küçüktür. Bu durum, oksitler ve hava boşluklarının, ısı akışındaki izolatörler gibi etkili olmadıklarından kaynaklanır. Bu yüzden, ısı temas direncinin etkisi, genellikle ihmal edilmektedir (Veenstra ve Hults, 1969).

#### 3.4.10. Soğuma Zamanı

Nokta direnç kaynağı üzerinde yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, ısınma aşamaları için yapılmıştır. Ancak, çok sayıda önemli bağlantı özellikleri (kesme mukavemeti, yorulma, sertlik), metalin soğuması incelenerek tesbit edilir.

Kaynak işleminin ilk aşamasında (ısınma aşaması), akım akmaya devam ederken, ani bir sıcaklık artışı ve hatta yüksek akım değerlerinde erimeler ve sıçramalar meydana gelir.

Akım kesildikten sonra, elektrotlar ve parçalar arasındaki sıcaklığın hızla uzaklaşması sonucu, metal soğumaya başlar. Bu metalin soğuması, kaynak çekirdeği ve buraya yakın bölgelerde artık gerilmelerin oluşmasına sebep olur. Bu artık gerilmeler, kaynak bölgesinin çekme mukavemeti ve yorulma dayanımını büyük ölçüde azaltırlar. Kaynak zamanının uzun tutulduğu bazı özel durumlarda (yumuşak malzemelerin kaynağında), metalin katılaşması akım altındaki bölgelerde de meydana gelebilir (Alüminyum alaşımlarında ısının, çok hızlı bir şekilde iş parçalarına doğru transferi söz konusudur).

Metalin termofiziksel özellikleri (ısı iletimi, gizli ergime ısısı, malzemenin sıcaklığı vb.), birleştirilecek parçaların kalınlıkları ve kaynak çekirdeği boyutu, soğuma zamanını etkileyen en önemli faktörlerdir.

Soğuyan metalde, gerilmelerden dolayı meydana gelen şekil değişimlerini azaltmanın en yaygın yolu, ya sıcaklık farkını azaltmak yani soğuma zamanını artırmak, ya da işlem esnasında elektrot kuvvetinin hızlı bir şekilde kademeli olarak artmasını sağlamaktır (Chakalev, 1994).

#### 3.4.11. Nokta Direnç Kaynağında Zamanlama

Başarılı bir nokta kaynağı elde etmek için, akım geçiş zamanının hassas bir şekilde ayarlanması çok önemlidir. Üretim sağlamlığının yanı sıra, ısınma periyotlarının minimum zaman aralıklarında sınırlanabilir olması da metalurjik bir önem taşımaktadır. Ayrıca zaman periyotlarının kısa olması, tane irileşmesi ve çarpılma problemlerini büyük ölçüde azaltır.

Yumuşak çeliklerin kaynağında zaman, akım kadar kritik bir değişken değildir. Ancak, ince ya da ısıl iletimi yüksek olan malzemelerin kaynağında, kaynak zamanı 10 periyodun altına indiğinden, bir zamanlama cihazına gerek vardır. Ayrıca işlem sırasında da, mekanik olarak daha fazla titizlik gösterilmelidir (Houldcroft, 1967).

Zamanlayıcılar, mekanik veya elektronik, senkronize ya da asenkronize olabilir. Dijital tipteki senkronize elektronik zamanlayıcılar, akım zamanını 1/4 periyodun altındaki değerlere kadar sınırlama özelliğine sahiptirler ve oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Direnç - kapasitör devreleri esasına göre çalışan elektronik zamanlayıcılar da geniş bir kullanım alanı bulmaktadır, ancak son zamanlarda dijital tipteki zamanlayıcılar bunların yerini almaya başlamıştır.

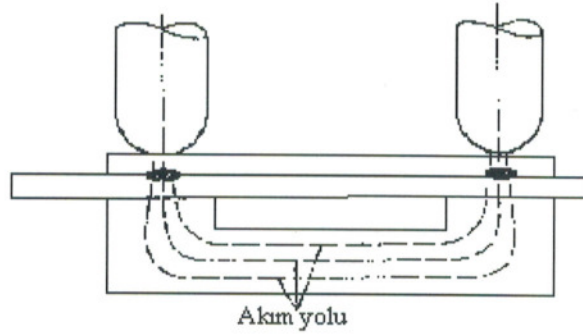
#### 3.4.12. Seri Kaynak

Elektrotlarla, iş parçasının sadece bir yüzeyine ulaşmak mümkün olduğunda, ya da aynı anda birden fazla nokta kaynağı elde edilmek istendiğinde, seri kaynak tekniği kullanılır (Şekil 3.17).

Seri kaynak genellikle, otomobil endüstrisinde çok ısıtmalı makinalarla kullanılır. Seri kaynağın özel bir şekli olan indirek kaynakta, akım sadece bir

elektrottan girer ve iş parçaları arasında kaynağı meydana getirdikten sonra, parçalarla temasta olan bir ped boyunca ilerler. Bu ped boyunca ilerlerken, temas bölgesi çok büyük olduğundan, o bölgede kaynak meydana gelmez. Akımın bir malzemedan diğerine geçmesi, seri kaynakta oldukça önemlidir. Burada akımın geçebileceği üç yol vardır (Üst levha, alt levha ya da yardımcı elektrot).

Alt levha ile birlikte akım devresinin bir parçasını oluşturan ara yüzeyde, direnç başlangıçta çok yüksek olduğundan, ilk üç periyot boyunca üst levhadaki akım da yüksek olur. Kaynak işlemi sonunda ise, akım saçlar arasında hemen hemen eşit dağılır (Houldcroft, 1967).



Şekil 3.17. Seri kaynak (Houldcroft, 1967)

### 3.5. Elektrik Direnç Dikiş Kaynağı

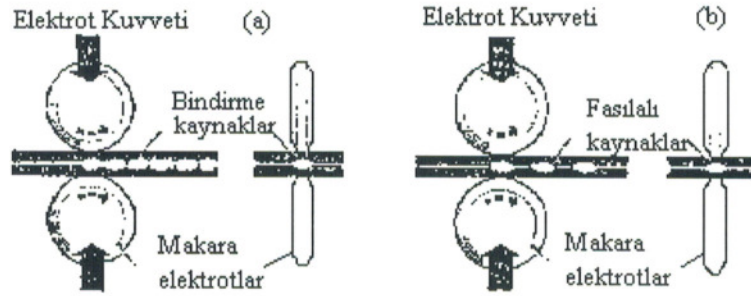
Malzemeler arasında, ayrı ayrı nokta kaynakları şeklinde değil, sürekli bir dikiş formunda birleştirme gerekli olduğunda, iki metot kullanılabilir. İlk yöntemde, seri halde birbirini takip eden noktalar elde edilebilir. Bu noktalar birbirine temas halindedir. Bu yöntem dikiş kaynağı olarak bilinir. İkinci metodda ise, yine seri halde birbirini takip eden kaynak noktaları elde edilir ancak, bunlar birbirlerine bitişik değil, aralarında belli bir mesafe vardır (Şekil 3.18).

Akım, genellikle elektrotlar durgun haldeyken fasıllı olarak geçirilir. Çünkü, akımın hareket eden parçalardan geçerken değerinde bir azalma meydana gelir. Ancak, çok nadir de olsa, akımın sürekli aktığı bazı uygulamalar da vardır.



Esas uygulama, adım adım dikiş kaynağı olarak bilinir. Çünkü, her kaynak oluşmaya başladığında, dönme hareketi durdurulur ve daha sonra elektrotlar yeni pozisyonuna gelinceye kadar akım kesilir.

Sürekli bir dikişin yerine, ayrı ayrı seri kaynak noktaları elde edilmek istendiğinde, akım hassas bir şekilde ayarlanabilir. Bu yöntem kullanıldığında, yuvarlanmalı nokta kaynağı olarak adlandırılır. Bu nedenle, nokta ve dikiş kaynaklarının birbirine çok benzer yöntemler olduğu söylenebilir. Aralarındaki esas fark, nokta kaynağında ucu nokta şeklinde elektrotlar kullanılırken, dikiş kaynağında disk şeklinde elektrotlar kullanılmasıdır (Houldcroft, 1967).



Şekil 3.18. Dikiş kaynağının prensibi (Houldcroft, 1967)

### 3.6. Projeksiyon (Kabartma) Kaynağı

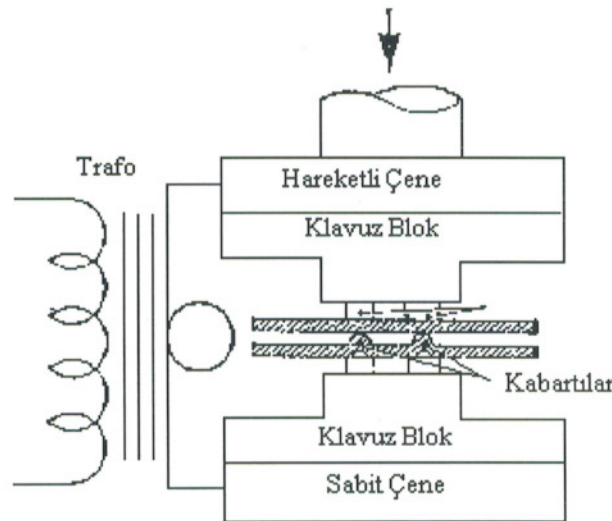
İki parça kaynak makinasında bir araya getirildiğinde, akım temas noktalarına doğru akacağı için, bu yöntemde, akım yoğunluğunu sağlamak amacıyla iş parçası şekillendirilir. Bu şekillendirme kabartı biçiminde olur. Sac üzerindeki bağlantı noktaları birbiri üzerine bindirildiğinde, akımın akmaya başlamasıyla bu bölgelerde lokal bir ısınma meydana gelir ve kabartı bölgeleri çöker. Teması meydana getiren kabartılar ile bağlantının diğer tarafındaki metalin birbirlerine kaynamasıyla, lokal bir kaynak bölgesi elde edilir. Yöntem, şematik olarak Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

Akım yoğunluğu iş parçası tarafından oluşturulduğu için, nokta kaynağında kullanılan elektrotların yerine, düz yüzeyle baskı silindiri şeklinde elektrotlar kullanılabilir. Bunlar sadece iş parçasına olan akım iletimini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kabartı bölgesinde oluşabilecek genişlemeyi de önler.

Projeksiyon kaynağı, yalnızca iki sac arasındaki bağlantıyı sağlamakla sınırlı değildir. Birbirlerine çizgisel veya noktasal temasta olan iki yumuşak çelik yüzeyini birleştirmek için de bu yöntem kullanılabilir.

Malzeme üzerindeki kabartılar, preslenerek ya da işlenerek suni olarak elde edilebilir, veya birleştirilecek olan parçaların doğal şekilleri bunları oluşturabilir. Bu yöntem yardımıyla nokta kaynağından farklı olarak, sadece bindirme kaynakları değil, diğer bazı bağlantı tipleri de elde etmek mümkündür.

Aynı anda üç kabartı kaynağı birden yapılabilir. Üçten fazla kaynak yapıldığında, kabartıların özdeş olarak davranacağı garanti edilemez. Aynı anda birkaç tane kaynak yapılabildiğinden, nokta kaynağında olduğu gibi paralel devre problemi yoktur. Bu yüzden, birbirine yakın birden fazla kaynağın yapılması gerektiği imalatlarda, bu yöntem oldukça güvenilirdir (Houldcroft, 1967).



Şekil 3.19. Projeksiyon kaynağı (Houldcroft, 1967)

### 3.7. Yakma Alın Kaynağı

Bu yöntemde, kaynak yapılacak iki metal parçası içerisinde bir elektrik akımı geçirilir. Bu akımın amperi ve voltajı, temas noktalarında bir ark meydana getirecek şekilde seçilir. Metal parçaları alın bölgelerinden bir basınç yardımıyla temas ettirildiğinde, oluşan ark, malzemelerin birleşme sıcaklıklarına gelmesini sağlar ve temas bölgesinde bir birleşme meydana gelir.

Bu yöntemin kullanımı genellikle, aynı kesit alanına sahip iki parçayı alın altına birleştirmekle sınırlıdır. Bu uygulamayla, boru, şerit, çubuk ve bant şeklindeki iki malzemenin alın kaynağı yapılabilir. Boruların alın kaynağı için kullanımı yaygındır.



Şekil 3.20. Yakma alın kaynağı (Morris, 1954)

Yakma alın kaynağı öncesinde yüzeylerin hazırlanması, derin çukurların, boya, gres ve diğer yabancı malzemelerin bulunduğu durumlar haricinde, önemli bir işlem aşaması değildir. Ancak, pratikte iyi bir kaynak elde edebilmek için, ısınmanın ve serbest akım akışının bozulmasını önleyecek şekilde temas yüzeylerinin mümkün olduğu kadar temiz ve düzgün olması gerekir. Şekil 3.20'de bu uygulama şematik olarak gösterilmiştir.

Sıkıştırıcılar arasında 10 Volt'un üzerinde bir kaynak gerilimi uygulandığında, akım ilk baştaki temas noktalarında akar ve buraların erimesine sebep olur. Daha sonra bu eriyen köprüler kırılır ve kısa süreli arklar oluştururlar. Üzerine hareketli çenenin yerleştirildiği baskı levhası, temas etmeyen diğer bölgelerde de tam bir temas sağlanıncaya kadar ileri doğru hareket ettirilir. Belirli



aralıklarla tekrarlanan bu yöntem, flashing (yakma) olarak adlandırılır. Birleştirilecek olan yüzeyler uniform olarak ısınmaya (veya eriyinceye) kadar, bu işleme devam edilir. Bu zaman zarfında, ergiyen metal, temas bölgesindeki boşlukları kapatmak için buralara doğru ilerleyecektir. Bu noktada, parçaların birbirlerine doğru ilerlemesini ve ergiyen metalin boşlukları iyice doldurmasını sağlamak için, baskı levhasının hareket miktarı hızlı bir şekilde artırılır ve yüksek bir kuvvet uygulanır. İşlem esnasında oluşan tüm ergimiş metalin bu yolla dışarı çıkması ve boşlukları doldurması sağlanmalıdır (Morris, 1954).

### 3.8. Basıncılı Alın (Dövme, Yığma) Kaynağı

Bu yöntemin temeli, iki metal parçasının basınç ve ısı enerjisi kullanarak, temas noktalarında lokal olarak plastik bir deformasyonla birleşmelerini sağlamaktır. Bağlantı bölgesinde ısı oluşturmak için, bağlantı yerinden yüksek voltajlı ve yüksek amperli bir akım geçirilir. Kaynak yüzeylerinin birbirlerine plastik bir kuvvet uygulamaları için, yeterli büyüklükte bir basınç da uygulanarak kaynağın tamamlanması sağlanır.

Basıncılı alın kaynağı, yakma alın kaynağı yöntemi ile hemen hemen benzerdir. Yakma alın kaynağında basınç periyodik olarak uygulanmaktadır. Basıncılı alın kaynağında ise basınç, ısıtma periyodu süresince sürekli olarak uygulanır. Yığma başlayınca kadar akım kesilmez. Bu işlem, sıcaklığın muhafaza edilmesi ve işlem sırasında çatlak oluşturmadan uygun bir plastik deformasyon elde edilebilmesi için gereklidir.

Dövme ve yakma kaynakları arasındaki seçim, birleştirme özelliklerine göre değişmekle beraber, genellikle dövme kaynağının kullanımı, aşağıdaki avantajları nedeniyle diğerine nazaran daha yaygındır.

- 1-) Üretim hızı yakma kaynağına göre daha yüksektir.
- 2-) Kaynak yüzeylerinin özel olarak hazırlanması gerekmez.
- 3-) Daha iyi mekanik özellikler elde edilir (Houldcroft, 1967).

## BÖLÜM IV

### NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ

#### 4.1. Giriş

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, elektrik direnç nokta kaynağında da, soğuma zamanı ve soğuma hızı oldukça önemli bir faktördür. Özellikle kalın parçaların kaynağında, soğuma hızı, malzemenin mekanik özelliklerini (sertlik, vb.) ve iç yapısını büyük ölçüde etkilediğinden, dikkatle incelenmeli ve eğer malzemede bir sertlik artışı ya da artık gerilmelerin oluşması gibi durumlar istenmiyorsa, bu faktör kontrol altında tutulmalıdır.

Kaynak yapılan bir malzemede, zamana bağlı sıcaklık değerleri tesbit edilerek, soğuma zamanı ve buna bağlı olarak da kaynak sonrası malzeme iç yapısındaki değişimler hakkında bir fikir edinmek mümkündür. Böylece, kaynak yapılan malzemenin mekanik özelliklerinin işletme şartlarına uygun olup olmadığı tesbit edilebilir.

Bundan önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, nokta direnç kaynağında kaynak işlemi yaklaşık 1 saniyede gerçekleşmekte ve daha sonra da çok hızlı bir soğuma meydana gelmektedir. Öyleki, kabaca kaynak işleminden dört - beş saniye sonra, kaynak bölgesinin sıcaklığı yüksek sıcaklıklardan oda sıcaklığına kadar düşmektedir.

Kaynak sonrası malzeme iç yapısında oluşabilecek değişimler, işlem gören malzemenin cinsine, kalınlığına, iş parçası ve elektrot ile kaynak bölgesi sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkına, yani soğuma hızına göre değişir. Bu nedenle bazı kaynak işlemlerinde, iş parçası ile kaynak sıcaklığı arasındaki farkı azaltmak ve dolayısıyla da soğuma hızını düşürmek için kaynaktan önce malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Çünkü, işlem sırasında malzemeyi ve kalınlığını değiştirmek mümkün değildir. Bazı durumlarda kaynak sonrası ısıl işlemler de uygulanabilir.

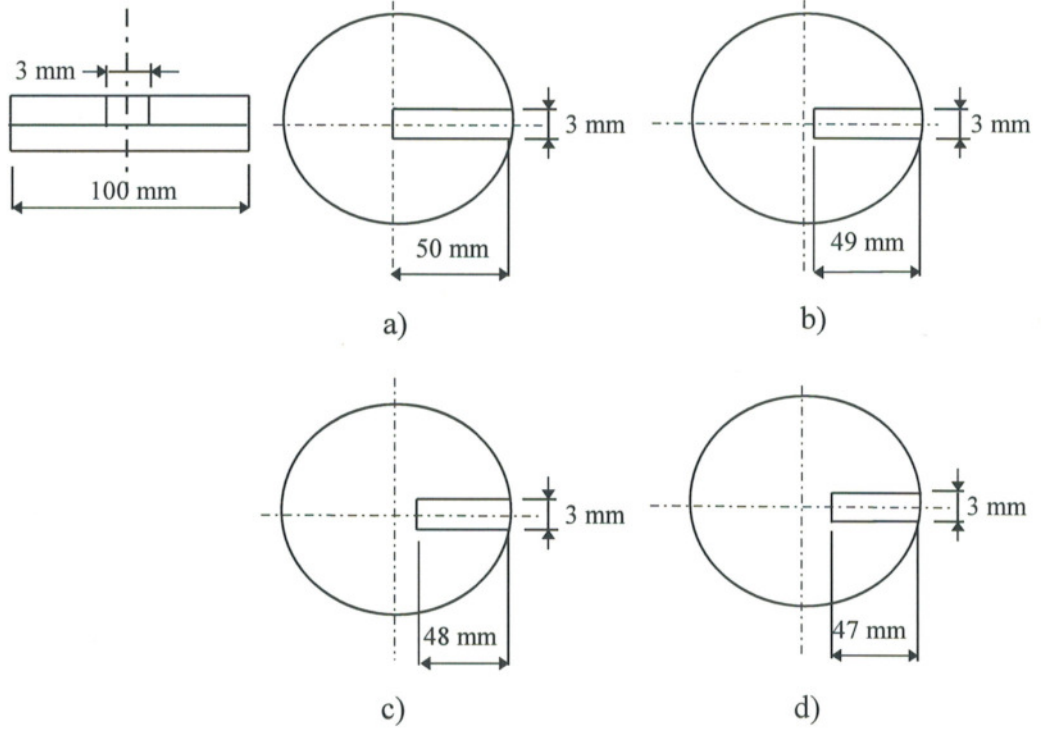
Nokta direnç kaynağındaki sıcaklık dağılımının deneysel olarak tesbitinin amaçlandığı bu çalışmada, farklı kalınlıklarda sac numuneler hazırlanmış ve kaynak bölgesinde oluşan sıcaklıkların zamana bağlı olarak değişimi tesbit edilmiştir. Ayrıca, sac kalınlığının yanısıra, akım şiddetindeki değişimin ısınma üzerine etkisini belirlemek amacıyla, benzer deneyler farklı akım şiddetlerinde de yapılmıştır.

#### 4.2. Deney Düzenegi

Bu çalışmada, deney numunesi olarak farklı kalınlıklarda (0.8mm, 1mm ve 1.5mm) imal edilmiş ve dairesel olarak kesilmiş St 37 sac malzemeler kullanıldı. Elektrodun altında kalan bölgenin sıcaklığını ölçebilmek için, üst parça olarak adlandırılan sac numuneye, bir freze tezgahında merkezinden başlayarak 3mm eninde ve yarıçap doğrultusunda kanallar açıldı . Açılan bu kanalların derinliği, üst parçanın kalınlığı kadar (sac kalınlığının değişimine göre 0.8 mm, 1 mm, 1.5 mm) olacak şekilde ayarlandı. Kaynak merkezinden itibaren malzemenin dış kısmına doğru ilerledikçe oluşan sıcaklık değişimini tesbit edebilmek amacıyla, bu kanallar her bir numunede kaynağın merkezinden 1'er mm uzaklaştırılarak açıldı. Bu işlemler, üç farklı kalınlıktaki sac için ayrı ayrı yapılarak, her kalınlıktaki numuneye ait olmak üzere, dört adet kanal açılmış üst parça ve dört adet kanal açılmamış alt parça birbirleriyle eşlendi (Şekil 4.1).

Deney numunelerine açılan bu kanallar vasıtasıyla, kaynak bölgesindeki sıcaklık değerlerini anlık olarak okuyabilmek için, kızıl ötesi ışınlardan faydalanarak uzaktan noktasal sıcaklık ölçümü yapabilen dijital bir termometre kullanıldı. Bu dijital termometre, kızıl ötesi ışının çarptığı noktada her saniyede, maximum, minimum ve bunların ortalama değerleri olmak üzere üç sıcaklık değeri okumakta ve bu değerleri hafızasında tutabilmektedir. Böylece, her bir kaynak noktası için, kaynak bölgesinde maximum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, 3 saniye içerisinde meydana gelen sıcaklık değişimlerini dijital termometrenin hafızasına kaydetmek ve daha sonra bu değerleri tekrar okumak mümkündür.





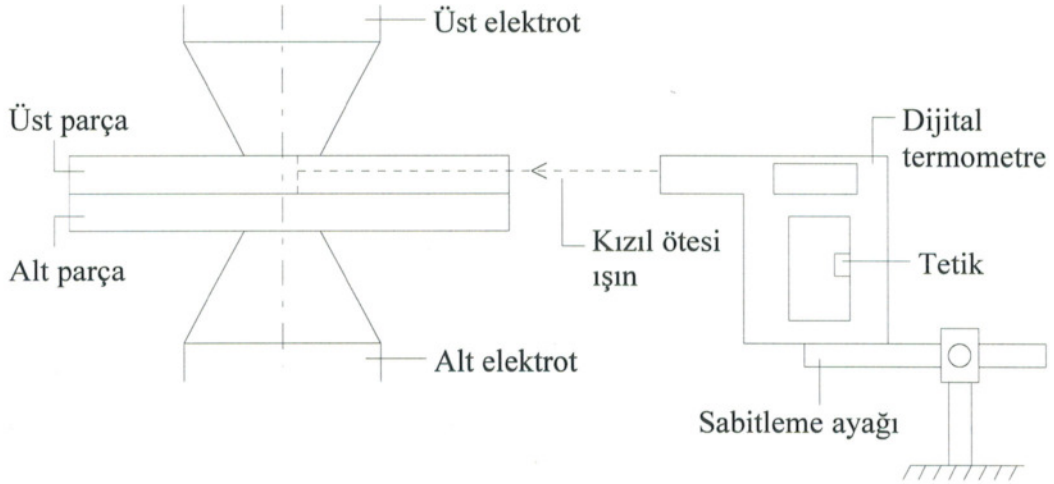
Şekil 4.1. Üst parçaya kanal açılarak biraraya getirilmiş deney numuneleri

- a) Kaynak merkezinden 1mm uzakta
- b) Kaynak merkezinden 2mm uzakta
- c) Kaynak merkezinden 3mm uzakta
- d) Kaynak merkezinden 4mm uzakta

#### 4.3. Deneyin Yapılışı

Deneyin ilk aşamasında, sac kalınlığının ısınma ve sıcaklık dağılımı üzerine etkisi amaçlandığından, kaynak akımı, kaynak makinası üzerindeki komütatör anahtar yardımıyla 18 kA'e ayarlandı ve bu değerde sabit kalması sağlandı. Ayrıca, birbirinin aynı özellikleri taşıyan bir dizi deneyler yapılması gerektiğinden, hemen hemen birbirine özdeş nokta kaynakları elde edebilmek amacıyla, kaynak akımının devreden geçiş süresi bu deneyler esnasında tamamen aynı olmalıdır. Bunu sağlamak için, kaynak makinasına bir zamanlayıcı potansiyometresi monte edildi ve kaynak akımının tüm deneylerde 1 saniye süreyle devreden otomatik olarak geçmesi sağlandı.

Bu kalibrasyon işleminden sonra, ilk önce 0,8 mm kalınlığındaki sac numunelerden, kaynak merkezine kadar kanal açılmış bir sac üst parça, kanal açılmamış bir sac da alt parça olarak birbirleriyle eşlendi ve kaynak makinasında elektrotlar arasına yerleştirildi. Dairesel parçanın merkezi, kaynak noktası olacak şekilde numuneler elektrotlar arasında sıkıştırıldı. Uzaktan noktasal sıcaklık ölçen dijital termometrenin kızıl ötesi ışını, üst parçadaki kanaldan geçerek elektrotlar altındaki kaynak bölgesine yarıçap doğrultusuna paralel olarak çarpacak şekilde, termometre sabitlendi (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Deney düzeneği ve deneyin yapılışı

Şekil 4.2’de gösterilen deney düzeneği hazırlandıktan ve parçalar elektrotlar arasında sıkıştırıldıktan sonra, makina üzerindeki zamanlayıcı potansiyometresi kullanılarak devreden 1 saniye süreyle akım geçmesi sağlandı. Akım kesildiği anda, dijital termometreye 3’er saniye aralıklarla her saniyede 3 okuma alınacak şekilde sıcaklık değerleri kaydedildi. Alınan bu değerler daha sonra hafızadan tekrar okutulurak, her zaman dilimindeki ortalama değerler belirlendi. 0,8 mm kalınlığındaki sac için aynı işlemler, kanal açılmış olan üst parça değiştirilerek tekrar edildi. Böylece, belirli bir sac kalınlığı için, kaynak

merkezinden 1'er mm uzaktaki sıcaklık değerleri zamana bağlı olarak tesbit edilmiş oldu. Tüm deneylerde, elektrot uç çapı 5mm olarak ayarlanmıştır.

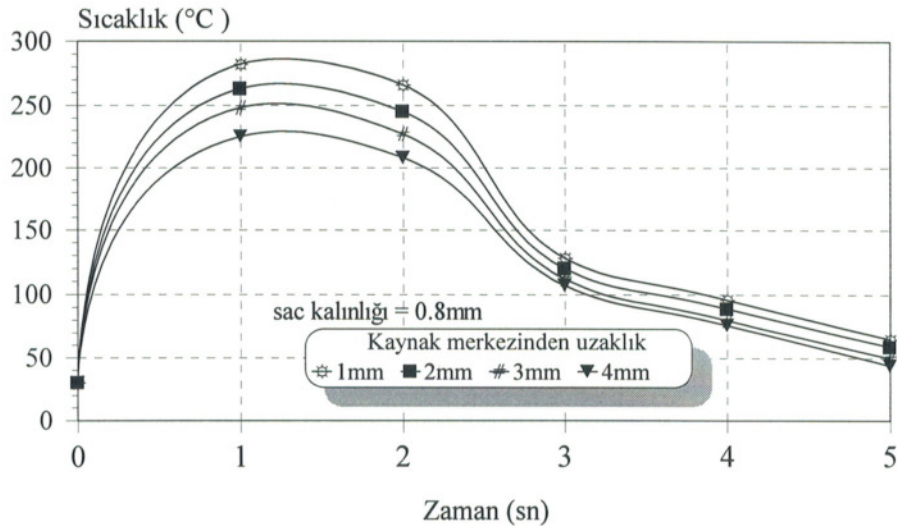
Yukarıda anlatılan işlemlerin tamamı, 1 mm ve 1,5 mm kalınlığındaki sac numuneler için de ayrı ayrı yapılmış, elde edilen sonuçlar grafik halinde sunulmuştur. Bu değerler yardımıyla, sac kalınlığının ısınma ve soğuma hızı üzerindeki etkisi tesbit edilmeye çalışılmıştır.

#### 4.4. Elde Edilen Değerler ve Grafikler

0,8 mm kalınlığındaki sac malzemeler ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

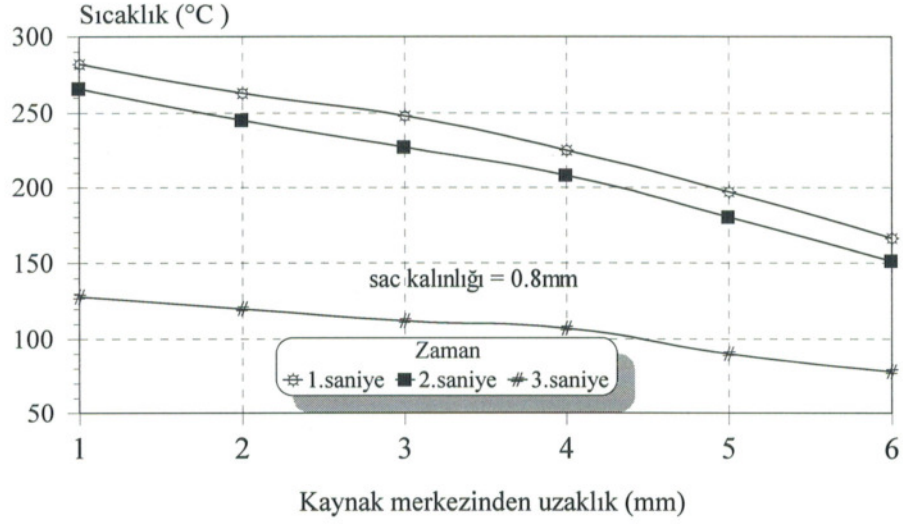
Çizelge 4.1. 0.8 mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri

Deney No	Kaynak merkezinden uzaklık(mm)	Sıcaklık Değerleri(°C)		
		1.sn.	2.sn.	3.sn.
A	1	282	266	128
B	2	263	245	120
C	3	248	227	112
D	4	225	208	107



Şekil 4.3. Zamana göre sıcaklık dağılımı





Şekil 4.4. Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı

0.8 mm kalınlığındaki malzeme için zamana bağımlı deneysel olarak elde edilen kaynak bölgesinin değişik noktalarındaki sıcaklık değerleri Şekil 4.3.'de grafik halinde sunulmuştur.

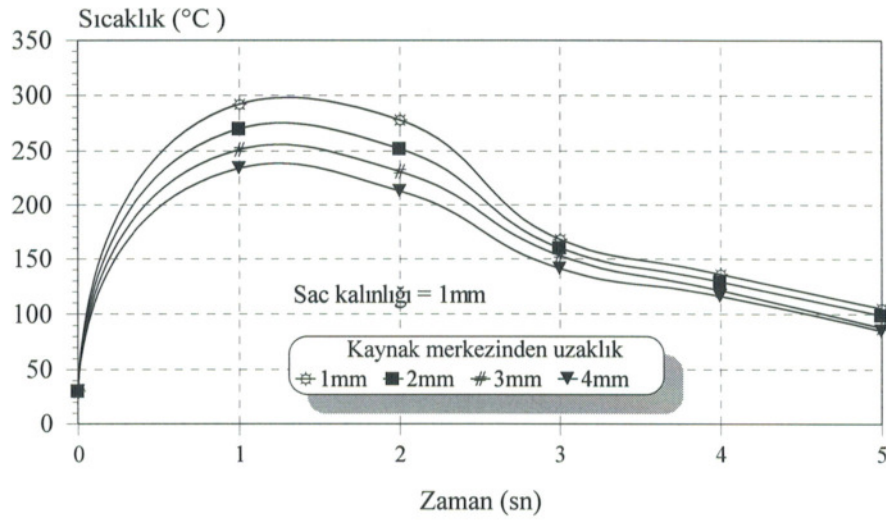
Grafikten de görülebileceği gibi, elektrik akımının uygulandığı 0 - 1 sn. zaman aralığında sıcaklık hızlı bir şekilde artmakta ve akım kesildikten sonra özellikle 2 - 3. sn zaman aralığında hızlı bir şekilde düşmektedir. Bu zaman aralığında soğuma hızının fazla olduğu, sıcaklık düştükçe noktalar arasındaki sıcaklık farkının azaldığı ve buna bağımlı olarak da 3. sn.'den sonraki zaman diliminde soğuma hızının daha yavaş olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, bu grafikler incelendiğinde, kaynak merkezinden uzaklaştıkça sıcaklığın düştüğü görülmektedir.

Kaynak merkezinden uzaklığa bağımlı olarak periyodik olarak elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 4.4.'de sunulmuştur. Kaynak merkezinden uzaklaştıkça tüm zaman dilimlerinde sıcaklığın yaklaşık lineer azaldığı bu grafikte daha açık olarak görülebilmektedir.

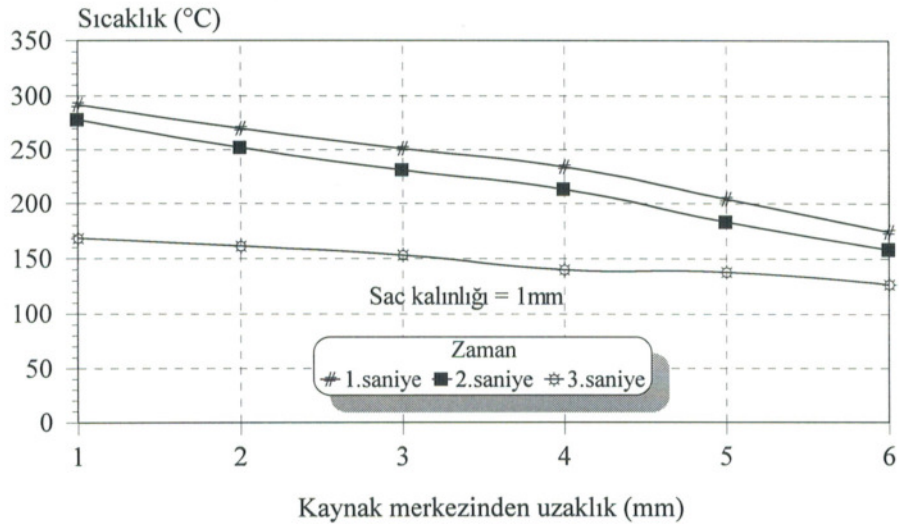
Çizelge 4.2.'de sac kalınlığının 1mm olarak alındığı deneylerde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. 1mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri

Deney No	Kaynak merkezinden uzaklık(mm)	Sıcaklık Değerleri(°C)		
		1.sn.	2.sn.	3.sn.
A	1	292	278	168
B	2	270	252	160
C	3	251	231	153
D	4	234	213	148



Şekil 4.5. Zamana göre sıcaklık dağılımı



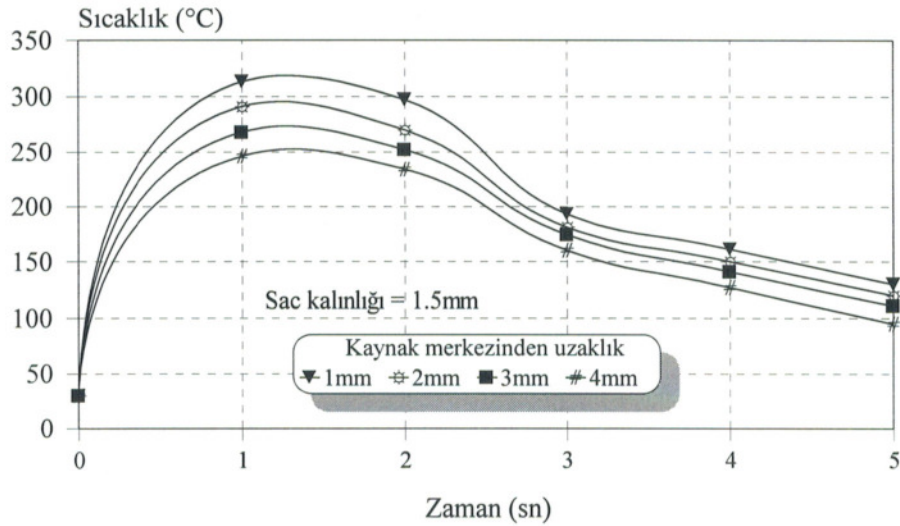
Şekil 4.6. Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı

Şekil 4.5 ve 4.6'da 1mm kalınlığındaki numuneler için, sırayla zamana ve kaynak merkezinden uzaklığa göre çizilmiş sıcaklık dağılımı grafikleri görülmektedir. Sac kalınlığının artmasıyla, kaynak bölgelerinde meydana gelen sıcaklıklarda belli bir oranda artış olduğu gözlenmiştir. Sac kalınlığı arttığında, malzeme direci de artmaktadır. Malzemenin akım geçişine gösterdiği direnç arttığında, açığa çıkan ısı daha fazla olmakta ve buna paralel olarak da sıcaklık değerleri artmaktadır. Ancak, sıcaklıklarda büyük bir artış olmamış, dolayısıyla da soğuma hızı pek fazla değişmemiştir. Sac kalınlığındaki değişimin çok büyük olmaması da buna bir sebep olarak gösterilebilir.

Yukarıda anlatılan yöntemler, 1,5 mm kalınlığındaki sac malzeme için de uygulanmış ve elde edilen sıcaklık değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

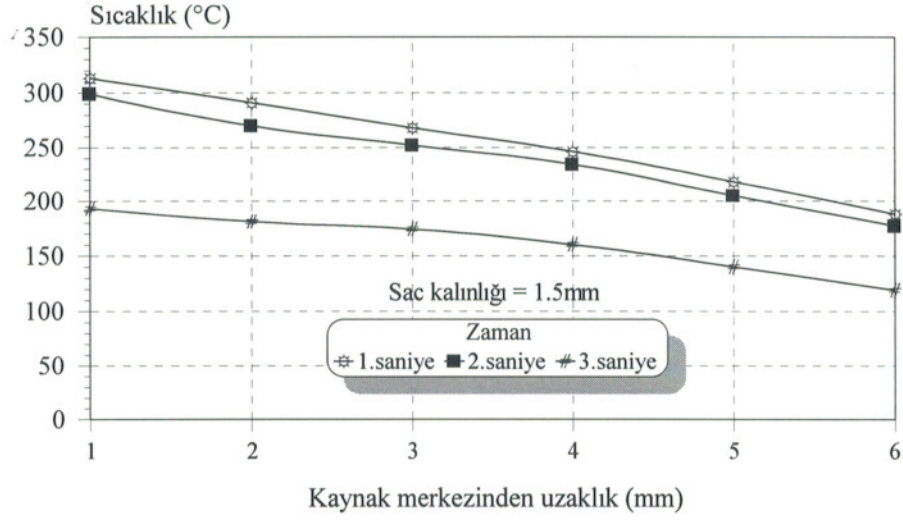
Çizelge 4.3. 1,5 mm kalınlığındaki sac için sıcaklık değerleri

Deney No	Kaynak merkezinden uzaklık(mm)	Sıcaklık Değerleri(°C)		
		1.sn.	2.sn.	3.sn.
A	1	313	297	193
B	2	291	270	181
C	3	268	252	174
D	4	246	234	160



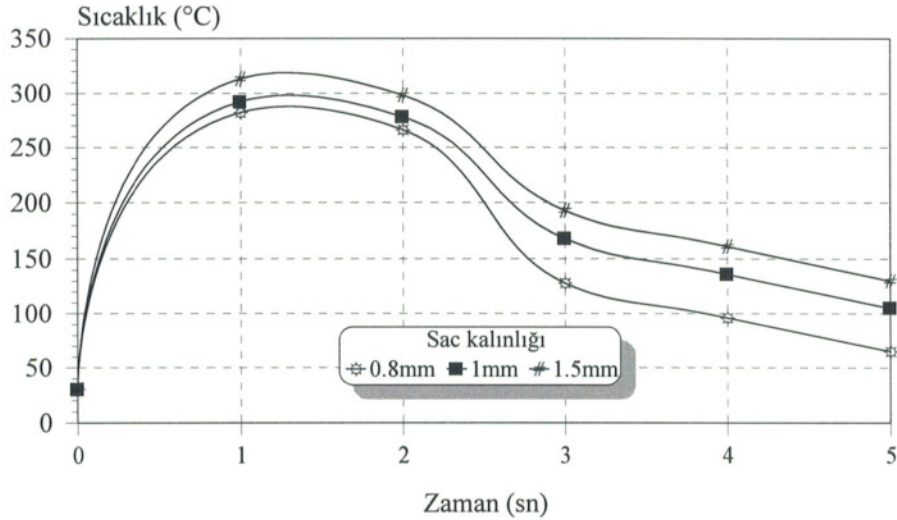
Şekil 4.7. Zamana göre sıcaklık dağılımı





Şekil 4.8. Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı

Şekil 4.7 ve 4.8’de 1,5mm kalınlığındaki sac için zamana ve kaynak merkezinden uzaklığa bağlı sıcaklık dağılımları grafik olarak gösterilmiştir. Sac kalınlığı artmaya devam ettikçe, sıcaklık değerlerinin belli oranda arttığı gözlenmektedir.

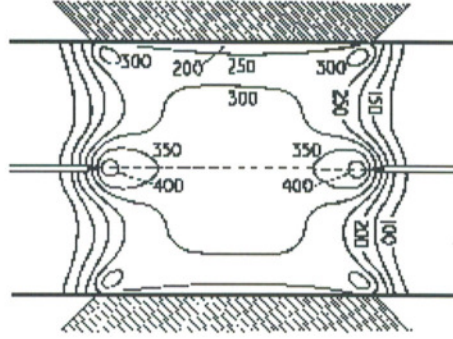


Şekil 4.9. Sac kalınlığına göre kaynak merkezindeki sıcaklık dağılımı

Deneylerde aynı akım şiddeti ve kaynak zamanı kullanılmıştır. Ancak, parça kalınlığı arttıkça, elektrik akımına karşı gösterilen direnç arttığından daha

fazla ısı enerjisi oluşmakta, bunun sonucu olarak kalın parçalarda daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir (Şekil 4.9).

Bentley ve Greenwod (1963), metalografik ve nümerik metotlar kullanarak kaynak bölgesinin değişik noktalarında oluşan maximum sıcaklıkları tesbit etmeye çalışmışlardır. Şekil 4.10.'da, bu araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucunda, metalografik metot yardımıyla kaynak bölgesinin çeşitli noktalarında ölçülen sıcaklık değerleri, izotermal hatlar şeklinde görülmektedir.



Şekil 4.10. Kaynak bölgesinde sıcaklık dağılımı (Bentley ve Greenwod, 1963)

(sac kalınlığı 1,5 mm)

Araştırmacıların yaptıkları bu deneyde kullanılan kaynak parametreleri, sac kalınlığı  $s = 1,5$  mm, kaynak akım şiddeti  $I = 25$  kA, kaynak zamanı yani devreden akım geçiş süresi  $t = 0,5$  sn. ve elektrot uç çapı  $r = 3$  mm olacak şekilde seçilmiştir. Tez kapsamında bu aşamaya kadar yapılan deneylerde ise, aynı sac kalınlığındaki ( $s = 1,5$  mm) numune üzerinde, kaynak şartları,  $I = 18$  kA,  $t = 1$  sn. ve  $r = 5$  mm olarak ayarlanmıştı. Isının açığa çıkış ifadesi  $Q = I^2.R.t$  'den, sac kalınlığının, yani malzeme direncinin eşit olması durumunda, yukarıda ifade edilen her iki kaynak şartında da hemen hemen aynı ısı enerjisinin oluşacağı açıkça görülmektedir. Bu durumda, daha önce araştırmacılar tarafından yapılan deneyin ve bu çalışmada uygulanan termal yöntemin benzer kaynak şartlarına sahip olduğu söylenebilir ( $s = 1,5$  mm için).

Şekil 4.10. incelendiğinde, Bentley ve Greenwood(1963) tarafından kaynak bölgesinin çeşitli noktalarında elde edilen maximum sıcaklıkların, sac kalınlığı 1,5 mm olan numune üzerinde ölçülen ve Çizelge 4.3.'de verilen sıcaklık değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara benzer şekilde, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça, sıcaklıkların düzgün bir şekilde azaldığı da, yine Şekil 4.10.'dan görülebilir. Kullanılan elektrotların uç çaplarının farklı olması, akım yoğunluğunun bir miktar değişmesine sebep olacağından, bu durum, her iki yöntemde elde edilen sıcaklıklar arasındaki farklılıkların nedeni olarak gösterilebilir.

Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak, termal yöntemle elde edilen değerlerin, daha önce başka araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalarda bulunan değerlere yakın olduğunu ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiğini söylemek mümkündür.

#### 4.5. Kaynak Akımındaki Değişimin Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Şimdiye kadar yapılan deneylerde, sac kalınlığının etkisinin sıcaklık dağılımı üzerine etkisini tesbit etmek için, kaynak akımı sabit bir değerde tutulmuştu. Araştırmanın bu aşamasında, yine farklı kalınlıklarda, ancak akım şiddeti değiştirilerek bir dizi deneyler yapıldı. Bu ikinci aşama deneylerde, malzeme kalınlığı ve akım şiddetindeki değişimin ısınma üzerine etkisinin incelenmesi amaçlandığından, sadece kaynak bölgesinin yüzeyindeki zamandan bağımsız belli bir andaki sıcaklıklar ölçülmüş ve malzemeler üzerine kanallar açılmamıştır. Dairesel olarak hazırlanmış numuneler, doğrudan üst üste getirilerek eşlenmiştir.

Bu deneyler sırasında da, yukarıdaki bölümlerde anlatılan dijital sıcaklık ölçme cihazı kullanılmış ve kaynak bölgesinde belirli bir zaman periyodunda oluşan sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Yine kullanılan elektrotların uç çapları 5mm ve devreden akım geçiş süresi 1sn. de sabit kalacak şekilde seçilmiştir. Her bir deney aşaması için, kaynak akımı, kaynak makinası üzerindeki komütatör



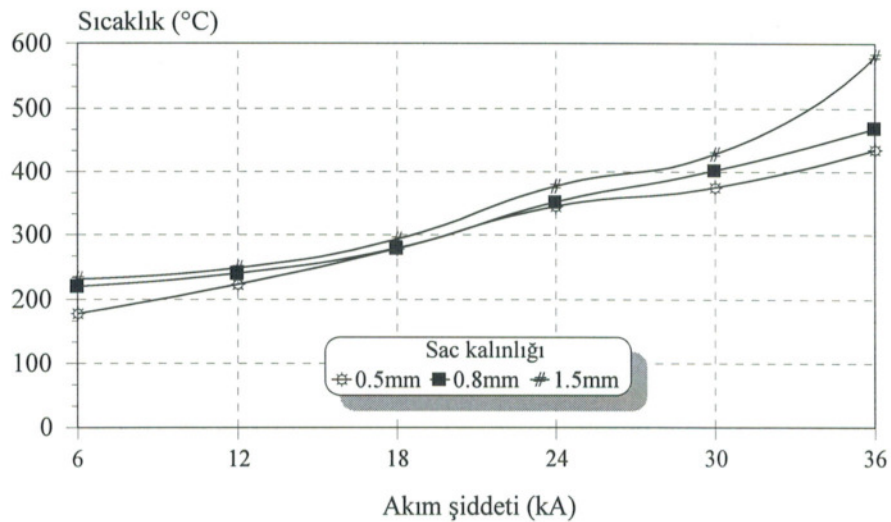
anahtar yardımıyla 12 kA, 18 kA, 24 kA ve 30 kA olarak değiştirilmiştir. Farklı kalınlıklarda, değişik akım şiddetleri için elde edilen sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.

Burada, deney numunelerinin üst parçasına kanal açılmadığından, ilk aşama deneylerde olduğu gibi sacların arasındaki temas bölgesinin sıcaklığı değil, kaynak bölgesi yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu nedenle elde edilen sıcaklık değerleri, birinci ve ikinci aşama deneylerde elde edilen değerlerden daha düşüktür.

Çizelge 4.4'de, üç farklı sac kalınlığı için değişik akım şiddetlerinde elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Akım şiddetine göre sıcaklık değerleri

Deney No	Akım Şiddeti (kA)	Sıcaklık Değerleri (°C)		
		0.5mm	0.8mm	1.5mm
A	12	223	246	248
B	18	278	279	293
C	24	345	352	377
D	30	375	402	428



Şekil 4.11. Sıcaklığın akım şiddetine göre değişimi

Şekil 4.11, nokta kaynağı yapılan değişik kalınlıklardaki sac malzemelerde akım şiddetine bağlı olarak sıcaklık değişimini göstermektedir. Akım şiddeti arttıkça, kaynak bölgesinde oluşan sıcaklıklarda da önemli bir artış meydana gelmektedir.

Burada, elektrot temas yüzeyi sabit olarak düşünülürken, malzeme direncini etkileyen parametre, sac kalınlığıdır. Sac kalınlığı arttıkça, malzeme direnci de artar, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarı artar. Ancak, bu çalışmadaki deneylerle elde edilen sonuçlar ve teorik hesaplamalarda kullanılan ifadeler göstermektedir ki, malzeme kalınlığının dolayısıyla da malzeme direncinin ısınma üzerine etkisi, akım şiddetinin etkisine göre oldukça küçüktür.

Akım şiddetinin soğuma hızı üzerinde de benzer şekilde etki ettiği söylenebilir. Akım değişimlerinde, sıcaklık büyük ölçüde değişmekte, ortam sıcaklığı sabit olduğundan buna paralel olarak sıcaklık farkı ve soğuma hızı da değişmektedir. Dolayısıyla, nokta direnç kaynağında soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı üzerinde, malzeme kalınlığı ile karşılaştırıldığında akım şiddetinin çok daha büyük bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, sac kalınlığının ve akım şiddetinin soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, termal yöntem olarak adlandırılan deneysel bir metot kullanılmıştır. Sac kalınlığı ve akım şiddeti değiştirilerek, farklı kaynak noktalarındaki zamana bağlı sıcaklık değişimleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.

Nokta direnç kaynağında, kaynak işlemi 1sn.'den daha kısa bir sürede gerçekleşmekte ve çok hızlı bir soğuma meydana gelmektedir. Hızlı bir ısı çevrim sonucunda, sıcaklığa bağlı olarak yapıda bazı metalurjik değişiklikler olur. Bu değişiklikler mekanik özellikleri ve mukavemeti büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle, özellikle kaynakla sertleşebilen çeliklerde, soğuma hızının limitlenmesi gerekir. Dolayısıyla, nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımının ve bunu etkileyen faktörlerin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Soğuma hızı üzerinde etkili olan parametreler tesbit edilerek, buna göre de soğuma hızını kontrol altına alma yoluna gidilebilir. Çünkü, bu konuda çalışma yapan pek çok araştırmacının da belirttiği gibi, özellikle levhalar arasındaki temas bölgesinde kaynak işleminden sonra çok büyük yapı değişiklikleri olabilmektedir.

Aynı akım şiddeti ve kaynak zamanı kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda, parça kalınlığı arttıkça, kaynak bölgesindeki sıcaklıkların arttığı gözlenmiştir. Çünkü, malzeme kalınlığı arttıkça, elektrik akımına gösterilen direnç arttığından daha fazla ısı enerjisi açığa çıkmış ve bunun sonucunda kalın parçalarda daha yüksek sıcaklıklar görülmüştür. Ortam sıcaklığı sabit kalırken kaynak bölgesinin sıcaklığının artması, kaynak bölgesi ile kaynak yapılan ortam arasındaki sıcaklık farkını ve dolayısıyla soğuma hızını arttıracığından, malzeme kalınlığı arttıkça soğuma hızının da buna paralel olarak arttığını söylemek mümkündür. Bazı araştırmacıların daha önce yaptıkları çalışmalarda varılan sonuçlar da, bu sonucu desteklemektedir.

Kaynak işlemi sırasında ve sonrasında zamana bağımlı sıcaklık değişimi incelendiğinde, elektrik akımının uygulandığı 0 -1 sn. zaman aralığında sıcaklık



hızlı bir şekilde artmış ve akım kesildikten sonra özellikle 2 - 3 sn. zaman aralığında hızlı bir şekilde düşmüştür. Bu zaman aralığında kaynak bölgesi sıcaklığının yüksek olması ve bunun sonucu olarak da sıcaklık farkının fazla olması nedeniyle soğuma hızı fazla olmuştur. Sıcaklık düştükçe, noktalar (kaynak bölgesi ve kaynak yapılan ortam) arasındaki sıcaklık farkı azalmış, buna bağlı olarak da 3 sn.'den sonraki zaman diliminde soğuma hızı daha yavaş olmuştur.

Kaynak merkezinden uzaklaştıkça, sıcaklık düzgün bir şekilde azalmaktadır. Sıcaklık değerlerindeki bu azalma miktarı, 1 ve 2 sn.'lik zaman dilimlerinde birbirine oldukça yakındır. 3 sn.'lik zaman diliminin sonunda ise, kaynak bölgesinin sıcaklığının hızlı bir şekilde düşmesi sonucu, kaynak merkezinden uzaklaştıkça noktalar arasındaki fark daha azdır.

Kaynak zamanı sabit iken, akım şiddeti arttıkça, sıcaklık değerlerindeki artış daha fazla olmaktadır. Çünkü, bu durumda açığa çıkan ısı miktarı artmaktadır. Isının açığa çıkış ifadesi  $E = I^2 \cdot R \cdot t$  den de görülebileceği gibi, akım şiddeti ikinci dereceden, malzeme direnci ve dolayısıyla da levha kalınlığı birinci dereceden bir fonksiyon durumundadır. Akım şiddetinin, sıcaklık dağılımı üzerinde malzeme kalınlığına göre daha fazla etkili olduğu buradan da görülebilir. Ayrıca, yine kaynak yapılan iş parçasının sıcaklığı sabit kalırken, akım şiddetinin artmasıyla kaynak bölgesinin sıcaklık değerlerinde sac kalınlığı değiştirilerek yapılan deneylere nazaran çok daha büyük bir artış olduğundan, sıcaklık farkı daha büyük olmakta ve soğuma hızı artmaktadır. Buradan, akım şiddetinin soğuma hızı üzerindeki etkisinin de daha fazla olduğu sonucuna varılabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, kaynak sırasında soğuma hızının limitlenmesi gerektiği durumlarda akım şiddetinin kontrol altında tutulmasının akılcı bir çözüm olacağını söylemek mümkündür. Örneğin, kaynak akımını bir anda kesmek yerine, akım kademeli olarak azaltılabilir (Azalan akım kontrolü). Bu durumda, çok hızlı bir sıcaklık düşümü yerine, kontrollü ve yavaş bir soğuma hızı elde edilir; dolayısıyla mikro yapıda oluşabilecek değişimler en aza indirilebilir.

Kaynak yapılan iş parçasının sıcaklığını yükseltip (ön tavlama), kaynak metali ile ortam arasındaki sıcaklık farkını azaltarak da soğuma hızını yavaşlatma yoluna gidilebilir. Ancak bu ısıl işlemin direnç kaynaklarında kullanımı çok yaygın değildir. Çok kalın parçaların kaynağında ve iç yapıyı değiştirecek kadar yüksek sıcaklıklara çıkıldığı bazı özel durumlarda, kaynak işlemi sonrasında iç yapıyı düzeltmek için yapılacak bir ısıl işleme ise, nadiren başvurulabilir.

## 6.KAYNAKLAR

- 1-) Wang, S.C., Lin, M.S., " Transport Phenomena During Resistance Spot Welding ", Journal of Heat Transfer, Vol.118, n3, pp 762-773, 1996
- 2-) Park, S.V., Na, S.U., " A Theoretical Study on Electrical and Thermal Response in Resistance Spot Welding ", Welding Journal, Vol. 75, pp 233-241, 1996
- 3-) Chen, C., Hsu, T., " Resistance Spot Welding of Precoated Steel Sheet - Computational Heat Transfer Analysis ", Metallurgical and Materials Transactions, Vol.25, n3, pp 415-423, 1994
- 4-) Tsai, C., Dickinson, D., " Modelling of Resistance Spot Weld Nugget Growth ", Welding Journal, Vol.71, n2, pp 47-54, 1992
- 5-) Eagar, T.V., Kim, E., " Measurement of Transient Temperature Response During Resistance Spot Welding ", Welding Journal, Vol.68, n8, pp 303-312, 1989
- 6-) Alcini, W.V., " Experimental Measurement of Liquid Nugget Heat Convection in Spot Welding ", Welding Journal, Vol.69, n5, pp 177-180, 1990
- 7-) Bentley, K.P., Greenwood, J.A., Knowlson, P., Baker, R.G., " Temperature Distribution in Spot Welds ", British Welding Journal, Vol.10, pp 613-619, 1963
- 8-) Cho, S., Cho, Y., " A Study of the Thermal Behaviour in Resistance Spot Welds ", Welding Journal, Vol.68, pp 236-244, 1989
- 9-) Anık, S., " Kaynak Teknolojisi El Kitabı ", Ergör Matbaası, İstanbul, 1983
- 10-) Anık, S., Eryürek, B., " Study of Contact Resistance in Electrical Resistance Spot Welding ", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1977
- 11-) Apps, R.L., " Heat Development And Weld Nugget Formation in Mild Steel Spot Welds ", Proceeding of The Conference on Advances in Welding Processes", n4, pp 34, 1970
- 12-) Dix, A.F.J., " Metallurgical Study of Resistance Weld Nugget Formation and Stuck Welds ", Ins. of Welding Autumn Meeting, pp 7-13, 1966
- 13-) Houldcroft, P.T., " Welding Processes ", Cambridge University Press, 1967
- 14-) Morris, J.L., " Welding Processes and Procedures ", Prentice-Hall, Inc., 1954



- 15-) Satoh, T., Katayama, J., Abe, H., “ Temperature Distribution and Breakdown Oxide Layer During Resistance Spot Welding Using Two Dimensional Model ”, International Institute of Welding, 1969
- 16-) Schwab, R., “ Numerical Calculation of Temperatures in Resistance Spot Welding As Illustrated by Commutator Welding ”, Schweissen Schneiden, Vol.38, n8 , pp 120-122, 1986
- 17-) Yamamoto, T., Okuda, T., “ A Study of Spot Welding of Heavy Gage Mild Steel ”, International Institute of Welding, 1970
- 18-) Çimen, M.Ş., Karadeniz, S., “ The Investigation of Contact Resistance in Resistance Spot Welding By Using Numerical Methods ”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- 19-) Çimen, M.Ş., “ The Investigation of Contact Resistance in Resistance Spot Welding By Using Numerical and Experimental Methods ”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1992
- 20-) Veenstra, P.C., Hults, A.P.A.J., “ A Thermal Model of The Spot Welding Process ”, Greve Offset N.V., Eindhoven, 1969
- 21-) Hartmann, E., “ Mechanical Tests of Spot Welds ”, Welding Journal, Vol.37, n11, pp 520-523, 1958
- 22-) Simmons, W., “ Spot Welding Electrode Life ”, Welding Journal, Vol.46, n11, pp 915-920, 1967
- 23-) Chakalev, A.A., Vishnyakov, V., “ Controlling The Properties of Welds in Resistance Spot Welding ”, Welding International, Vol.8, pp 810-813, 1994
- 24-) Gould, J.E., Chang, P.H., “Thermal Modelling of Spot Welds ”, Journal of Metals, May 1986
- 25-) Lobasow, I.M., “A Method of Calculating Weld Current in Spot Welding Using A Computer”, Welding Production, n 9, pp 32-33, 1983
- 26-) Oğuz, B., “Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı”, Trakya Üniversitesi, İstanbul, 1985
- 27-) Anık, S., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt I-II ”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1993

## 7.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet AKKUŞ

Baba Adı : İsmet

Doğum Yeri : Sivas

Doğum Tarihi : 30 / 09 / 1971

İlk, ortaokul ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı ve 1988 yılında Sivas Lisesi'ni bitirdi. 1990 yılında, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü kazanıp, 1994 yazında da bu okuldan mezun oldu. 1995 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başladı. 1996 yılından itibaren bu üniversitenin Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümün'de araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Adres : Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik

Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

58140 / SİVAS