



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Direnç Kaynağı

Tolga Tezcan

Yüksek Lisans Tezi



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

TOLGA TEZCAN

PROF. DR. M. CEMAL ÇAKIR


(Danışman)

BURSA – 2017

TEZ ONAYI

Tolga Tezcan tarafından hazırlanan "Elektrik Direnç Kaynağı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman	:	Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	imza 
Başkan	:	Prof. Dr. Nurettin YAVUZ Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	imza 
Üye	:	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri & Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	imza 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

.....

(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

/ /

İmza

TOLGA TEZCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Tolga TEZCAN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. M. Cemal ÇAKIR

Bu çalışmada elektrik direnç kaynağı ile ilgili teorik ve pratik uygulamalar anlatılmış; kullanılan malzemeler, kaynak hataları, proses esasları ve ekipman boyutlandırmaları incelenmiştir. .

Önce konu ile ilgili kaynak araştırması yapılmıştır. Metallerin kaynak edilebilirliği, elektrotlarda kullanılan bakır alaşımlar, kaynak prosesinin elektrik, mekanik ve termal etkileri incelenmiştir.

Kaynak kalitesini etkileyen parametreler, proses tasarımı ve elektrod boyutlandırma çizelgeleri detaylı olarak ele alınmıştır. .

Kaynak kalitesini muayene yöntemleri de modern yöntemlerle birlikte sunulmuştur. .

Anahtar Kelimeler: Elektrot, çekirdek çapı, muayene, soğutma sistemi, bakırlar, iletkenlik, boyutlandırma.

2017,iX + 106 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ELECTRICAL RESISTANCE WELDING

Tolga TEZCAN

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof.Dr. M. Cemal ÇAKIR

In this thesis, electrical resistance welding (ERW) theory and process is explained with theoretical and practical applications: the materials used for process and machinery, failures, process design parameters and fundamental designing are investigated.

After having checked the literature about the issue, the weld ability of the metals, copper alloys the electrical, mechanical and thermal effects of the ERW process are analyzed.

The parameters those which affect the welding quality, process design and electrode dimensioning & design are explained.

Destructive and non-destructive test methods are also given with either conventional or modern methods.

Keywords: Electrode, nucleus diameter, quality check, cooling system, coppers, conductivity, dimensioning.

2017,iX+106 pages

TEŞEKKÜR

Gerek Lisans ve Yüksek lisans öğrenimim ve gerekse hayatımın çok önemli bir kısmında bana her konuda destek olan ve en değerli emeklerini veren büyüğüm, hocam, Sayın Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tolga TEZCAN

12/06/2017



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	3
2.1.1. Direnç Kaynağı Temel Bilgiler.....	3
2.2. ERW Proseslerinde Kullanılan Kalzemelerin Özellikleri.....	10
2.2.1. Elektrik direnci ρ (özdirenç) ve elektrik iletkenliği.....	10
2.2.2. Isıl İletkenlik.....	13
2.2.3. Isıl Genleşme.....	15
2.2.4. Sertlik ve Mukavemet.....	16
2.2.5. Sertlik Ölçme Yöntemleri.....	17
2.2.6. Elektrotların Meneviş Dayanımı.....	23
2.2.7. Sert Bakır Alaşımları.....	25
2.2.8. Plastik Sıcaklık Aralığı.....	26
2.2.9. Polarite.....	26
2.2.10. Oksitlenme, Kirlilik kaynakları ve Hidrojen Çatlağı.....	28
2.2.11. Kaplama Düzensizlikleri & Kaplamalı Sacların ERW Sorunları.....	29
2.2.12. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) ve Temas Direnci.....	32
2.2.13. ERW Kaynağında Isı Dengesi.....	35
2.3. ERW Kaynağında Bağ Oluşumu.....	40
2.3.1. Füzyon Bağ Yapısı.....	40
2.3.2. Katı Hal Bağ Yapısı.....	41
2.3.3. Ara Kaplamalı Lehimleme Bağları.....	42
2.4. Direnç Kaynağı Türleri.....	43
2.4.1. Elektrik Direnç Kaynak Devresi Elemanları.....	45
2.4.2. Punta Kaynağı.....	46
2.4.3. Projeksiyon Kaynağı.....	52
2.4.4. Dikiş Kaynağı.....	58
2.4.5. Yakma Alın Kaynağı.....	63
2.5. ERW Kaynak Prosesi.....	64
2.5.1. Proses Parametreleri.....	65
2.6. ERW Proses ve konstrüksiyon esasları.....	88
2.6.1. Kenar uzaklığı.....	89
3. MATERYAL ve METHOD.....	93
3.1. Mekanik Muayene.....	94
3.2. Ultrasonik muayene.....	96
3.3. Cihaz ve Donanım.....	99
3.4. Çekme-Makaslama Deneyi.....	100

4. BULGULAR.....	102
5. SONUÇ	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ.....	106



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. ERW Kaynağı Isısının Oluşumunu Sağlayan Dirençler	5
Şekil 2.2. Punta Kaynağı prosesi ısı bilançosu	6
Şekil 2.3. Punta kaynağında direnç ve sıcaklık ilişkisi.....	7
Şekil 2.4. Direnç R - Kaynak süresi t, şematik eğrisi.....	8
Şekil 2.5. Metallerin temas yüzeylerinde oluşan elektrik akım köprüleri...	9
Şekil 2.6. Direnç kaynağı yöntemleri (DIN 1090)	9
Şekil 2.7. Çeliklerin karbon oranının elektriksel özdirence etkisi	11
Şekil 2.8. Özgül elektriksel direncin sıcaklıkla değişimi	12
Şekil 2.9. Batırma ve iz çıkarma prensibi	16
Şekil 2.10. Brinell sertlik değeri (HB)	18
Şekil 2.11. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi	18
Şekil 2.12. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi	20
Şekil 2.13. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi	21
Şekil 2.14. Rockwell Sertlik Ölçme Yönteminde kullanılan uçlar.....	21
Şekil 2.15. Çeşitli elektrot malzemeleri için meneviş dayanımı	24
Şekil 2.16. Bakır alaşımlarının mukavemete etkisi	24
Şekil 2.17. Bakır alaşımlarının mukavemet ve iletkenlik ilişkisi.....	25
Şekil 2.18. Alüminyumun, DC güç kaynağı ile yapılan ERW kaynağı ve bazı elementlerin, elektro-kimyasal potansiyel değerleri.....	26
Şekil 2.19. Elektrotlarda polarite etkisi	27
Şekil 2.20. Metal ve alaşımların, elektro-kimyasal potansiyel değerleri.....	27
Şekil 2.21. Metallerin Oksitlenmesi.....	28
Şekil 2.22. Isı oluşumunun kaynak Zamanına Göre Değişimi	30
Şekil 2.23. Punta kaynağında büzülme boşluğu.....	31
Şekil 2.24. Yüzey pürüzlülüğünün kaynak akımına etkisi	32
Şekil 2.25. Temas yüzeyi	33
Şekil 2.26. Temas yüzeyi.....	33
Şekil 2.27. Düz ve küresel elektrod uçlarının kullanımı.....	34
Şekil 2.28. Nokta kaynağında elektrod kuvvetinin temas direncine etkisi.	34
Şekil 2.29. Yüzey oksitlerinin elektroda etkileri	35
Şekil 2.30. ERW kaynağında dirençlerin sınıflandırılması	35
Şekil 2.31. ERW kaynağında elektrot seçimi.....	36
Şekil 2.32. İş parçası ve elektrot boyutlarının, ısı dağılımına etkisi.....	37
Şekil 2.33. Değişik uç formlarının çekirdek oluşumunda kullanılması.....	37
Şekil 2.34. Punta noktasının ısı dağılımına etkisi.....	38
Şekil 2.35. Projeksiyon geometrinin uygun olmadığı durumlar.....	39
Şekil 2.36. Füzyon bağ yapısı.....	40
Şekil 2.37. Katı Hal Bağı	41
Şekil 2.38. Refrakter Malzeme Özellikleri	41
Şekil 2.39. ERW ile Kaplama/lehim bağı oluşturulması	42
Şekil 2.40. DIN 1910-5 'e göre direnç kaynağı türleri	43
Şekil 2.41. Direnç kaynak makinaları türleri	44
Şekil 2.42. Elektrik Direnç Kaynağı Devresi	45
Şekil 2.43. BMW 3 Serisi araçların gövdelerinde kullanılan robot	

otomasyonlu punta kaynak makineleri.....	47
Şekil 2.44. Taşınabilir Punta Kaynak Makinesi	47
Şekil 2.45. Punta kaynağında °C cinsinden tahmini sıcaklık dağılımı.....	48
Şekil 2.46. Panel radyatör imalatında çoklu punta kaynak makinesi	49
Şekil 2.47. Tipik bir, baskı tipi sabit punta makinesi ve parçaları	50
Şekil 2.48. Çift taraflı punta kaynağı	51
Şekil 2.49. Tek taraflı punta kaynağı	51
Şekil 2.50. Kabartı kaynağında dirençler	52
Şekil 2.51. Projeksiyon Kaynağı.....	53
Şekil 2.52. Çoklu kabartı kaynağının şematik görünüşü ve şeması..	54
Şekil 2.53. Dairesel kabartılar.....	55
Şekil 2.54. Uzun kabartılar	55
Şekil 2.55. Doğal kabartılar	56
Şekil 2.56. Çok noktalı projeksiyon kaynak makinesi.....	57
Şekil 2.57. Dikiş kaynağı devresi ve folyo uygulaması.....	59
Şekil 2.58. Dikiş kaynağı türleri	60
Şekil 2.59. ERW Dikiş kaynağı makinesi	61
Şekil 2.60. Disk ve punta elektrotların soğutma sistemi.....	62
Şekil 2.61. Yakma alın kaynak ekipmanı	63
Şekil 2.62. ERW kaynağında akım/zaman ilişkisi.....	66
Şekil 2.63. Direnç noktasının kaynak süresi döngüsü.....	68
Şekil 2.64. ERW zaman çevrimi	68
Şekil 2.65. Kaynak zamanının hesaplanması.....	69
Şekil 2.66. ERW kaynağında TDS örneği	71
Şekil 2.67. Düşük alaşımlı soğuk hadde çeliklerde elektrod boyutlandırması	72
Şekil 2.68. Düşük alaşımlı soğuk hadde çeliklerde elektrod boyutlandırması.....	73
Şekil 2.69. Yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerde elektrod boyutlandırması	74
Şekil 2.70. Havacılık endüstrisinde kullanılan alüminyum malzemeler ve elektrod boyutlandırması	75
Şekil 2.71. B sınıfı Alüminyum malzemelerde elektrod boyutlandırması...76	
Şekil 2.72. C güvenlik sınıfı Alüminyum malzemeler için kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması.....	77
Şekil 2.73. Düşük karbonlu soğuk hadde çelik malzemeler için projeksiyon kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması	78
Şekil 2.74. Düşük alaşımlı soğuk çekme çelik tel malzemeler için projeksiyon kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması.....	79
Şekil 2.75. Düşük alaşımlı çeliklerin dikiş kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması.....	80
Şekil 2.76. Yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerin dikiş kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması.....	81
Şekil 2.77. AC-Makinelerle uygulanan punta kaynağı proses varyasyonları.....	82
Şekil 2.78. DC-Makinelerle uygulanan punta kaynağı proses varyasyonları	83

Şekil 2.79. Bosch Rexroth laboratuvarlarında yapılan deney sonucu Hesaplanan enerji tüketim karşılaştırma örneği.....	84
Şekil 2.80. Nokta kaynaklı bağlantıys etkiyen saf gerilmeler	88
Şekil 2.81. Kenar uzaklığı hesabı.....	89
Şekil 2.82. Şönt akımının önlenmesi	89
Şekil 2.83. Şönt akımının önlenmesi.....	90
Şekil 2.84. Yanal şönt akım olasılıkları.....	91
Şekil 2.85. Parça tutma esnasında şönt akımı.....	91
Şekil 2.86. Doğru ve yanlış konstrüksiyon örnekleri.....	92
Şekil 2.87. Nokta kaynaklı bağlantılara uygulanan atölye deneyleri.....	94
Şekil 2.88. Ultrasonik muayene cihazları ve probe'u.....	96
Şekil 2.89. Ultrasonik muayene sonucu tespit edilmiş boşluk hatası.....	97
Şekil 2.90. Çekme makaslama deneyi	100
Şekil 2.91. Çekme makaslama deneyinde kuvvet uzama diyagramı.....	101
Şekil 2.92. Çekme makaslama deneyinde kırılma türleri	101

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli maddelerin 20° C deki Özdirenç ve Elektrik iletkenlik değerleri	13
Çizelge 2.2. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayıları	14
Çizelge 2.3 Çeşitli maddelerin ısı genleşme katsayıları	15
Çizelge 2.4. Yükleme derecesi.....	19
Çizelge 2.5. Deney yükü seçim çizelgesi	19
Çizelge 2.6. Rockwell Sertlik Ölçme Yönteminde parametre ve uç seçimi	22
Çizelge 2.7. Karşılaştırmalı Sertlik Çizelgesi	23
Çizelge 2.8. Akım türüne ve akım ve kuvvetin zamanla değişimine göre sınıflandırma.....	64
Çizelge 2.9. Metallerin karşılaştırmalı kaynak edilebilirlik çizelgesi	87
Çizelge 3.10. Nokta kaynaklı bağlantılara uygulanan atölye deneyleri.....	94

1.GİRİŞ

Elektrik direnç kaynağı (Electric resistance welding-ERW), genel tanımıyla birbirine temas eden iki sacın ya da iş parçası metalin, arasında meydana getirilen termo-elektrik operasyon ile kaynatılmasıdır. İki iş parçası üzerinden elektrotlar kullanılarak elektrik akımı geçirildiğinde; elektrotlar, iş parçaları ve iş parçaları arasındaki boşluk direnç elemanı gibi davranır. Bütün direnç elemanları ısınır. En yüksek ısı, iki iş parçasının temas ettiği yüzeyde oluşur. Bu ısı sayesinde iş parçaları ergir ve kaynak banyosu oluşur. Elektrik akımı kesilince kaynak banyosu basınç altında katılaşır ve parçalar birleşir. (Anık, Vural 2000)

Elektrik direnç kaynağı günümüzde başta otomotiv, makine imalat ve beyaz eşya sanayi olmak üzere, metallerin şekillendirilerek ve kaynatılarak kullanıldığı pek çok endüstri kolunda kullanılan yaygın bir üretim tekniğidir. Bu kadar yaygın olmasına rağmen ERW hakkındaki Türkçe kaynaklar hem çok yetersiz hem de dağınıktır. ERW hakkındaki güncel bilgilere ancak internetten ulaşılabilir. Çalışmamda günümüzde kullanılan son teknolojilere, güncel TSE-EN ve DIN normlarına, bakır alaşım özelliklerine ve dual-phase saclardaki ERW kullanım özelliklerine sıkça değinilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektrik direnç kaynağı ile ilgili gerek internette gerekse süreli yayınlarda çok sayıda inceleme veya makaleye rastlamak mümkündür. Ancak bu kaynakların pek çoğu yabancı dilde yazılmıştır. Deneysel metod ve proses tasarımı inceleyen Türkçe kaynaklar ise yok denecek kadar azdır. ODTÜ ve Gedik Üniversitelerinin Kaynak Mühendisliği Eğitiminde kullandıkları notlar ve Sağlam Metal firmasının yaptığı detaylı incelemenin dışında, konuyu tamamen kapsayan kaynak bulmak neredeyse mümkün değildir.

Bu tez ile direnç kaynağı proses tasarımı ve muayenesi konusunda çalışmak isteyen mühendislerin ihtiyaçlarını gidermek hedeflenmiştir. ERW ile ilgili en önemli kaynaklar ve internet siteleri tez kapsamında değerlendirilmiştir. Yine Türkiye'deki yerli imalat sanayinin ERW kullanımında edindiği deneyimler de bu çalışma ile aktarılmıştır.

2.1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

2.1.1. Direnç Kaynağı Temel Bilgiler:

Dirençler, Temas Noktası, Isı Bilançosu, Etkin Enerji

Direnç kaynağı proses zamanı çok kısadır. Kaynak teli ya da elektrotu, lehim ve benzeri sarf malzeme kullanımı gerektirmez. Kaynak operatörü düşük gerilim ve akıllı fikstür sistemi sayesinde diğer kaynak metotlarına göre daha güvenli çalışabilir. Yine diğer kaynak yöntemlerine göre çevrecidir. Kaynak puntası & kaynak dikişi, proses doğru uygulandığında güvenilirdir. Direnç kaynağı basit bir ısı köprüsü oluşturma işidir. Aslında herhangi bir elektrik direnç elemanı nasıl ısıtılıyorsa, metallerin temas yüzeyleri de bu şekilde ısıtılır. Elektrik direnç kaynağı prosesinde her bir devre elemanı direnç gibi davranır. Ancak en büyük direnç temas noktasında oluşur. En yüksek ısı da bu noktada açığa çıkar. Temas yüzeyindeki koşullar bu noktada oluşan direnci belirler: yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin temizliği, oksitlenme olup olmadığı, düzlemsellik gibi...

Elektrik devrelerindeki dirençlerde genel ısı oluşumu formülü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Isı (Q) = I^2 \times R \times t \times K \quad (1)$$

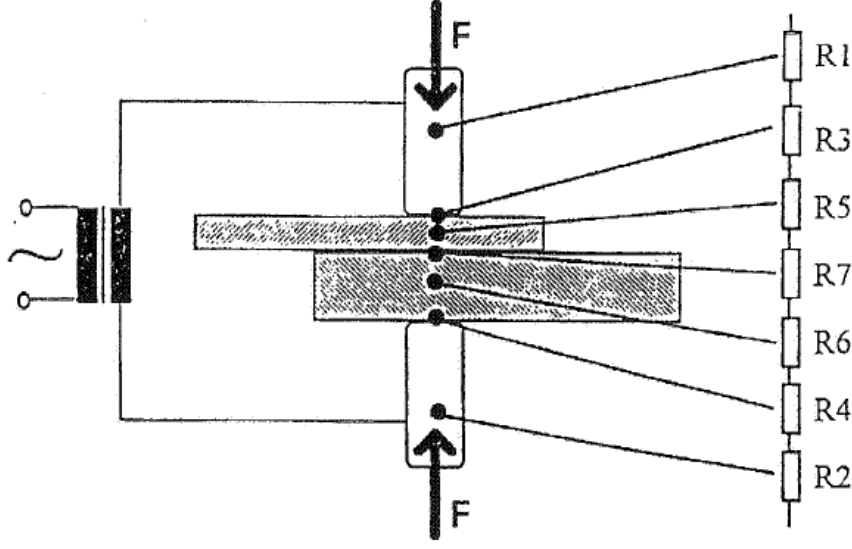
- I : Elektrik direnç devresinden geçen akım (amper)
R : Devre elemanlarının oluşturduğu direnç (Ω , ohm)
t : Kaynak zamanı (Hz, herz; milisaniye veya mikro saniye)
K : ısı sabit

Bu denklemdeki akım (I) ve kaynak zamanı (t), direnç kaynağı için kullandığımız güç kaynağınca belirlenir. R, direnç ise devre elemanlarının, temas noktasının, devre elemanlarının imalatında kullanılan malzemelerin ve kaynak kuvvetinin bir fonksiyonudur. K, ısı sabit ise kaynatılacak iş parçasının geometrisi, fikstür özellikleri ve kaynak kuvveti dikkate alınarak belirlenir. (Miyachi UNITEK, 2013)

Kaynak makinesinin sekonder devresi kaynak edilecek iş parçaları da dahil olmak üzere akımı etkileyen seri bir dirençtir. Bu devre üzerinde herhangi bir nokta üzerinde üretilen ısı, o noktadaki dirençle doğru orantılıdır. Dolayısıyla, sekonder devredeki elektriksel sistemler, ısıyı istenilen yerde üretecek ve diğer bölgeleri izafi olarak soğuk tutacak biçimde dizayn edilmelidir. (Anık, Vural 2000)

Diğer bir deyişle, ısının oluşmasını istediğimiz iş parçalarının temas noktaları haricinde hiçbir devre elemanı direnç oluşturmamalı, ya da söz konusu direnç minimum düzeyde tutulmalıdır. Elbette bunu sağlamak için devre elemanlarının her birini iyi tanımak, malzeme ve mukavemet özelliklerine hâkim olmak ve neticede elektrik iletkenliklerini dikkatle incelemek gerekmektedir. Çok kısa süren ERW uygulamalarında devre elemanlarının gösterdiği direnç ihmal edilebilir düzeyde kalır. Ancak modern imalat sektöründe robot veya punta makineleri gibi ERW üreteçlerinin uzun saatler boyunca hiç durmadan çalışması, direnç kaynağı konusunda uzmanlaşan şirketler araştırmalarını direncin mümkün olan en alt seviyede tutulmasına odaklanmışlardır. Konuyla ilgili EN ve DIN normları da modern imalat yöntemlerini destekleyecek şekilde güncellenmektedir.

Alttağı Şekilde, elektrik direnç kaynağı esnasında, devre oluŐa dirençler belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrik Direnç Kaynağı Isısının Oluşumunu Sağlayan Dirençler (ODTÜ-KTM, 2004.)

R1, R2	Elektrotların dirençleri
R3, R4	Elektrot parça geçiş dirençleri
R5, R6	İŞ parçalarının direnci
R7	İŞ parçası – iş parçası geçiş direnci
F	Elektrot baskı kuvveti

Kaynak akımı $R1$ 'den $R7$ 'ye kadar olan dirençlerin üzerinden geçer. Ergime bölgesinin yeterli ısıya ulaşabilmesi için sadece $R5$, $R6$ ve $R7$ dirençleri etkindir.

$R7$ geçiş direncinin değeri, $R5$ ve $R6$ iş parçası dirençlerinden aşırı büyük olmamalıdır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda kaynak yeri çok hızlı ısınır ve sıçrantı oluşur ve özellikle Al ve Cu gibi çok iyi iletkenliğe sahip malzemelerin kaynağında sorun yaratır. Yine temas noktasının boşluk, temas açısı vb. parametrelere dikkat edilerek düzenlenmesi gerekir. Kayıpları azaltmak $R1$ - $R4$ arasındaki dirençlerin minimum olması gerekir. Yüksek geçiş dirençleri de elektrotların aşınmasını hızlandırır.

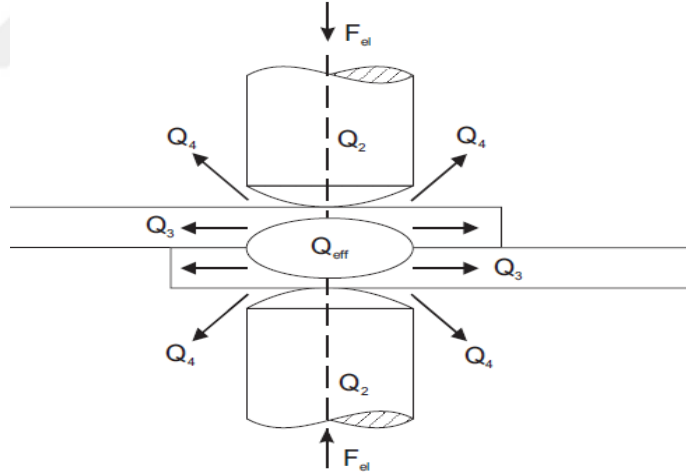
Kayıp enerji şu şekilde hesaplanır:

$$W_{\text{kayıp}} = (R1+R2+R3+R4) * I^2 * t \quad (2)$$

Kaynak için teorik kullanılabilir enerji de şu şekilde hesaplanır:

$$W_{\text{kul}} = (R5+R6+R7) * I^2 * t$$

Elde edilen ısının büyük bir kısmı, metalin iyi ısı iletkenliği nedeniyle, kaynak bölgesinin etrafına yayılır. Punta kaynağında verim, başka bir ifadeyle etkili enerjinin toplam enerjiye oranı sadece %10-20 civarındadır. Dolayısıyla toplam enerjinin %80-90 'ı kayıp ısı olarak çevreye atılır. Kayıp ısının önemli bir kısmı elektrotlar üzerinden atılır. Elektrotların aşırı ısınmasını ve yapısının bozulmasını engellemek için kullanılan soğutma suyu da buna sebep olmaktadır.



Şekil 2.2. Punta Kaynağı prosesi ısı bilançosu (Miyachi UNITEK, 2013).

F_{el}	:Elektrot kuvveti
Q_{eff}	:etkin ısı
Q_{input}	:toplam ısı girdisi
I	:akım
Q_1	:toplam ısı kayıpları
Q_2	:elektrotların ısı kayıpları
Q_3	:sac – iş parçalarının ısı kayıpları
Q_4	:radyasyon ile ısı kaybı
$R(t)$:toplam direnç
$R_{material}(t)$:malzeme direnci
R_c	:temas direnci

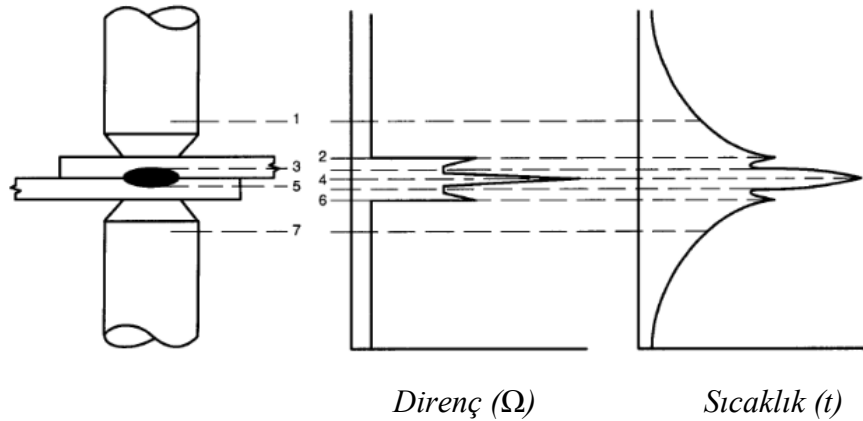
$$Q_{eff} = Q_{input} - Q_1$$

$$Q_{input} = C \int_{t=0}^{t=t_s} I^2(t) R(t) dt \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$R(t) = R_{material}(t) + R_c(t)$$

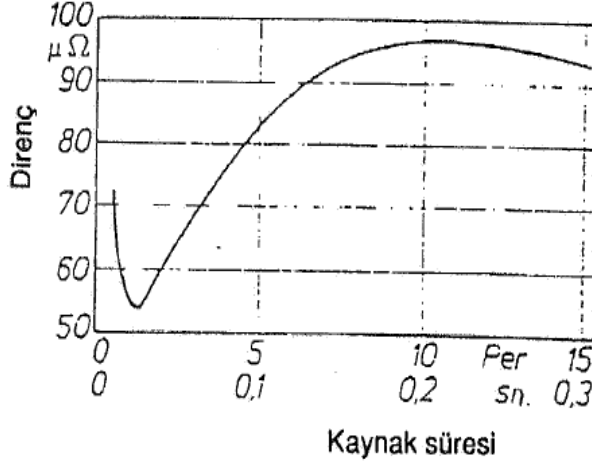
Genellikle en yüksek ısı, en büyük direncin olduğu yerde açığa çıkar. Proses esnasında birbirine benzemeyen geometrik şekillere sahip iş parçaları veya farklı özelliklere sahip elektrotlar kullanılabilir. Zira amaç kaynak bölgesinde yüksek ısı oluşturabilmektir. Örneğin paslanmaz çelik veya nikel gibi kaynak kabiliyeti düşük metaller, çok iyi iletken bakır elektrotlar kullanılarak kaynatılır. Altın veya bakır gibi iletken malzemelerin kaynağında ise elektrik direnci yüksek molibden kullanılır (Miyachi UNITEK, 2013).



Şekil 2.3. Punta kaynağında direnç ve sıcaklık ilişkisi (ODTÜ-KTM, 2004).

Şekil 2.4’de direncin kaynak süresi üzerindeki değişimi şematik olarak verilmiştir. Şekil 2.4’de aynı şekilde, gerçek koşullardaki bir kaynak noktasının elde edilmesinin eğrisini göstermektedir.

Kaynak süresinin başında çeşitli faktörlerden (oksit tabakalarının çözülmesi vs.) ötürü direnç düşer.

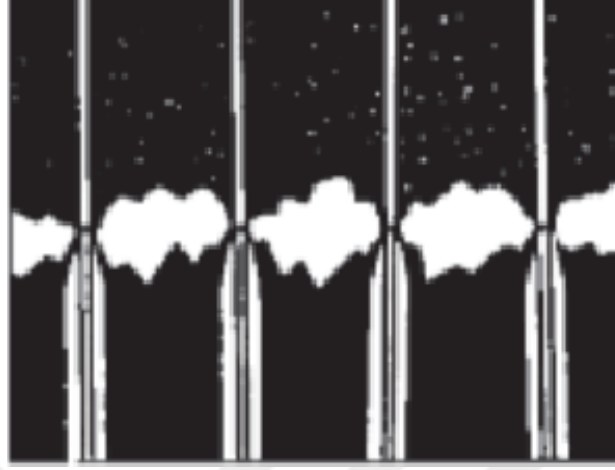


Şekil 2.4. Direnç R - Kaynak süresi t, şematik eğrisi (ODTÜ-KTM, 2004).

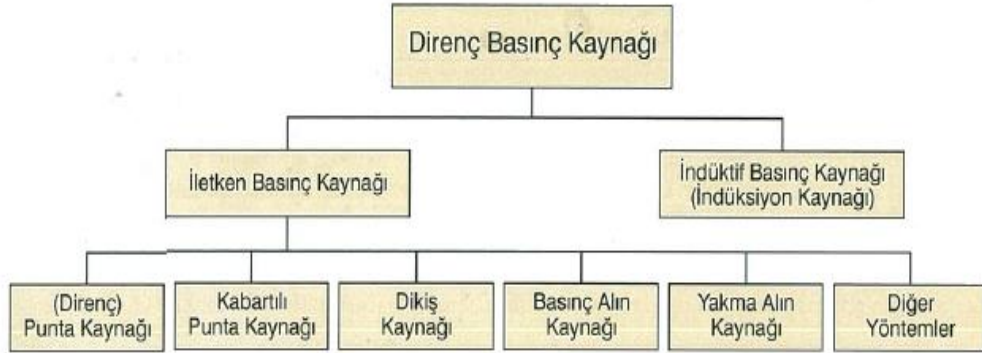
Kaynak süresi ilerledikçe ve sıcaklık arttıkça direnç tekrar artar (metalik iletkenin sıcaklık katsayısı). Dolayısıyla kaynak işlemi sırasında kaynak akımı da sabit değildir. Metal parçaların yüzeyleri oldukça pürüzlüdür. Parçalar yüke maruz kaldıklarında bu pürüzlü yüzeylerinin bir kısmı temas eder. İşte elektrik direnç kaynak makinelerinin oluşturduğu akım, bu temas eden noktalarından ya da köprülerden akmaya çalışır. Söz konusu temas noktaları akıma direnç gösterir, akım yoğunluğu artar ve yüksek ısı oluşur. Bu yüksek ısı, akım köprülerini sırayla ergitir.

Ergiyen metalin elektrik akımı karşısında gösterdiği direnç, henüz ergimemiş temas köprülerinininkinden yüksektir. Dolayısıyla elektrik akımı da, sırasıyla bu henüz ergimemiş noktalara sıçrar. Proses, temas yüzeyinin tamamı ergiyene kadar devam eder. Akım kesildiğinde elektrotlar, ergimiş metali ve temas noktalarını soğutur. Dolayısıyla ERW prosesi tamamlanmış olur.

Şekil.2.5’de iki metalin arasındaki temas yüzeyleri abartılı ama açıklayıcı bir biçimde gösterilmiştir. Bu temas noktaları elektrik akımının geçtiği köprülere dönüşür.



Şekil 2.5. Metallerin temas yüzeylerinde oluşan Elektrik akım köprüleri (ODTÜ-KTM, 2004).



Şekil 2.6. Direnç kaynağı yöntemleri (DIN 1090) –
(Bakır ve bakır alaşımları, Sağlam Metal, 2013)

2.2 ERW proseslerinde kullanılan malzemelerin özellikleri

ERW ile kaynatılacak metallerin metalürjik özellikleri, direnç kaynağı esnasında kullanılacak olan parametreleri belirler. Genelde iki grup malzemedden bahsedebiliriz: Alüminyum, bakır, gümüş ya da altın gibi İLETKEN MALZEMELER; çelik, nikel, titanyum, tungsten veya molibden gibi YALITKAN MALZEMELER. Bunun dışında, her iki kategoriye de tam olarak girmeyen pirinç ya da pirinç alaşımlarından da bahsedebiliriz. Elektrik iletkenliği yüksek malzemelerin ısıl iletkenlikleri de yüksek, yumuşak malzemeler olduğunu söylersek, yanlış bir genelleme yapmış olmayız. Bahsettiğimiz bu üç grup, kaynatılacak iş parçaları ve kaynak elektrotu olarak kullanılır. Alüminyum ve Berilyum-bakır için geçerli birkaç istisnayı saymazsak genel kural şudur; elektrik direnci (özdirenç) yüksek malzemeler, elektrik iletkenliği yüksek elektrotlar ile elektrik iletkenliği yüksek malzemeler ise elektrik direnci yüksek elektrotlar ile kaynatılır (Miyachi UNITEK, 2013).

2.2.1 Elektrik direnci ρ (özdirenç) ve elektrik iletkenliği

Elektrik direnci, özdirenç, malzemelerin elektrik akımına karşı gösterdikleri dirençtir. Özdirenç, genelde ρ (ro) sembolüyle gösterilir. Birimi ohm x metre 'dir ($\Omega \cdot m$).

Elektrik iletkenlik ise, özdirençin tersidir. Malzemenin elektriği iletme kabiliyetini tanımlar. σ (sigma), κ (kappa – özellikle elektrik mühendisliğinde) ya da γ (gamma) sembolleriyle ifade edilir. Birimi siemens/metre 'dir (S/m).

Bakır ve alüminyum gibi yumuşak metallerin özdirenci düşüktür ve kaynatılmaları için daha yüksek akım gerekir. Yine bu tip metallerin temas dirençleri de çok düşüktür.

Özdirenç:

$$\rho = R \frac{A}{\ell}, \quad (\Omega \cdot m) \quad (4)$$

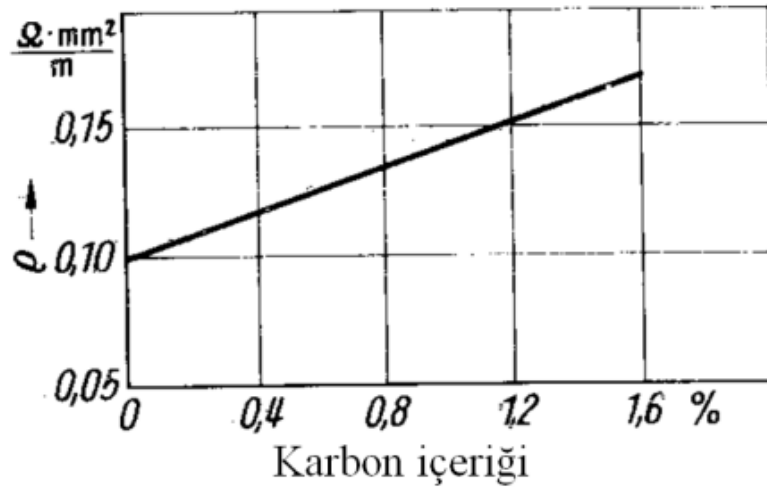
R : elektrik direnç (ohm, Ω)

ℓ : malzemenin boyu (metre, m)

A : malzemenin kesit alanı (m^2)

Öziletkenlik:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \sigma \quad \sigma : \text{öziletkenlik, Siemens/metre (S/m)}$$



Şekil 2.7. Çeliklerin karbon oranının elektriksel özdirence etkisi (Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

Nokta kaynağında genellikle silindirik bir akım yolu mevcuttur. Bu durumda bu eşitlik:

$$R_{St} = \frac{\rho \cdot 2s}{\pi d^2 \cdot 250} \quad (\Omega) \quad (5)$$

halini alır. Burada

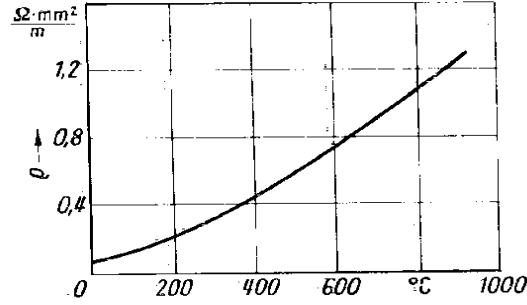
2s : akım yolunun uzunluğu

s (mm): saç kalınlığı

d (mm): akım yolunun çapı'dır.

Bu örnekte akım yolunun çapı, elektrot ucunun çapıdır. Elektrodun temas eden çap büyüdüğünde, direnç küçülecektir. Nokta dayanımının aynı kalabilmesi için, elektrot uç çapındaki büyümenin çok küçük değerlerde kalması gerekir. Büyük değişimlerde, elektrot ucunun traşlanarak aynı kaliteye getirilmesi gerekir.

Sıcaklığın artmasıyla, özgül elektriksel direnç ve dolayısıyla metalsel akım yolunun malzeme direnci de büyür. Saf metalin 800 °C'deki özgül elektriksel direnci, oda sıcaklığındaki değerinin yaklaşık 10 katına çıkar



Şekil 2.8. Özgül elektriksel direncin sıcaklıkla değişimi

(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

Özgül elektriksel direncin sıcaklıkla değişimi, aşağıdaki eşitlik uyarınca gerçekleşir:

$$\rho_T = \rho_{RT} [1 + \alpha(T - 20)]$$

Burada:

ρ_T (Ωmm²/m) : Bir T (°C) sıcaklığındaki özgül elektriksel direnç

ρ_{RT} (Ωmm²/m): Oda sıcaklığındaki özgül elektriksel direnç

$\alpha(1/°C)$: Sıcaklık katsayısı

Çizelge 2.1 Çeşitli maddelerin 20° C deki

Özdirenç ve Elektrik iletkenlik değerleri (Wikipedia, 2014)

Malzeme	Elektrik direnci - Özdirenç ρ ($\Omega \cdot m$) 20 °C	Elektrik iletkenliği σ (S/m) 20 °C
Karbon (elmas)	1×10^{12}	$\sim 10^{-13}$
Platinyum	1.06×10^{-7}	9.43×10^6
Kalay	1.09×10^{-7}	9.17×10^6
Nichrome	1.10×10^{-6}	9.09×10^5
Karbon (Çelik)	1.43×10^{-7}	6.99×10^6
Gümüş	1.59×10^{-8}	6.30×10^7
Bakır	1.68×10^{-8}	5.96×10^7
Kurşun	2.2×10^{-7}	4.55×10^6
Altın	2.44×10^{-8}	4.10×10^7
Aluminium	2.82×10^{-8}	3.5×10^7
Titanium	4.20×10^{-7}	2.38×10^6
Taneli elektrik çeliği	4.60×10^{-7}	2.17×10^6
Manganin	4.82×10^{-7}	2.07×10^6
Teflon	10×10^{22}	10^{-24}
Sert kauçuk	1×10^{13}	10^{-14}
Cam	10×10^{12}	10^{-13}
Tungsten	5.60×10^{-8}	1.79×10^7
Çinko	5.90×10^{-8}	1.69×10^7
Silikon	6.40×10^2	1.56×10^{-3}
Paslanmaz Çelik	6.9×10^{-7}	1.45×10^6
Nikel	6.99×10^{-8}	1.43×10^7
Lityum	9.28×10^{-8}	1.08×10^7
Demir	1.0×10^{-7}	1.00×10^7

2.2.2 Isıl iletkenlik

Fizikte ısıl iletkenlik, malzemelerin ısı iletebilme kapasitesi olarak tanımlanır. Genellikle k , λ , veya κ sembolleriyle gösterilir. İlk kez Fourier Isı İletim kanunu ile tanımlanmıştır.

$$Q_{\text{cond.}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

Fourier kanunu ısı akısının vektörel bir büyüklük olduğunu ifade eder. Tek yönlü ısı iletimi yandaki formülle hesaplanır. Burada k ısıl iletkenlik katsayısıdır. $Q_{\text{cond.}}$ tek yönde, birim alandan belli bir zaman aralığında iletilen ısıyı ifade eder.

Isıl iletkenlik sıcaklıktan bağımsızdır. Isıl iletkenliğin tersi ısı direnç olarak tanımlanır. Isıl iletkenliğin birimi W/m.K 'dir.

Bakır, altın veya alüminyum gibi elektrik iletkenliği yüksek metallerin, ısı iletkenlikleri de yüksektir. Dolayısıyla bu tip malzemeler ısındıklarında, bu ısıyı uzun süre tutamazlar.

ERW prosesi kurulurken kullanılacak metallerin ısı iletkenlik değerleri mutlaka hesaba katılmalıdır. Pek çok ERW makine imalatçısının ya da ERW kaynağı uygulayan üreticilerin, ısı iletkenlik değerlerini nadiren hesaplamalarda kullanmaları şüphesiz hatalı bir yaklaşımdır.

Çizelge 2.2. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayıları (Wikipedia, 2014)

1 W/(m.K) = 1 W/(m. °C) = 0.85984 kcal/(hr.m. °C) = 0.5779 Btu/(ft.hr. °F)		
Malzeme / Metal	Sıcaklık °C	k - ısı iletim katsayısı W/mK
Alüminyum	25	205
Alüminyum Pirinç	25	121
Alüminyum oksit	25	30
Alüminyum Bronz	20	44
Berilyum	25	218
Beryllium Bakır	20	38
Pirinç	25	109
Bronz	25	110
Karbon	25	2
Krom	25	94
Saf bakır	20	223
	300	213
	600	204
Fe - C, max 0.5% C	20	31
Fe - C, max 1.5% C	20	21
Fe - C, max 1.5% C	400	19
Fe - C, max 1.5% C	1200	17
Elmas	25	1000
Altın	25	310
Demir	25	80
Dökme demir	25	55
Kurşun	25	35
Magnezyum	25	156
Molibden	25	138
Nikel	25	91
Platinyum	25	70
Porselen	25	2
Gümüş	25	429
Paslanmaz Çelik	25	16
Kalay	25	67
Titanyum	25	22
Tungsten	25	174
Su	25	1
Zirkonyum	0	13

2.2.3 Isıl genleşme

Daha yumuşak metallerin ısı genleşme katsayıları daha yüksektir. Alaşımli çelikler, tungsten vb. metallerin ısı genleşme katsayıları daha düşüktür (Coefficient of expansion - CTE). Isıl genleşme katsayıları uygun olmayan iki metalin kaynatılması sırasında, kaynak sonrasında ciddi artık gerilmelerle karşılaşılır. Bu da kaynak bölgesinde, çekme yada kesme mukavemet değerlerini düşürür. Artık gerilmelerle sadece direnç kaynağında değil, hemen bütün kaynak metdolarında karşılaşırız. Bunu engellemek için kaynak edilecek parçaların boyutlandırılmasına ve ısı genleşme katsayılarının uyumuna dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.3. Çeşitli maddelerin ısı genleşme katsayıları (Wikipedia, 2014)

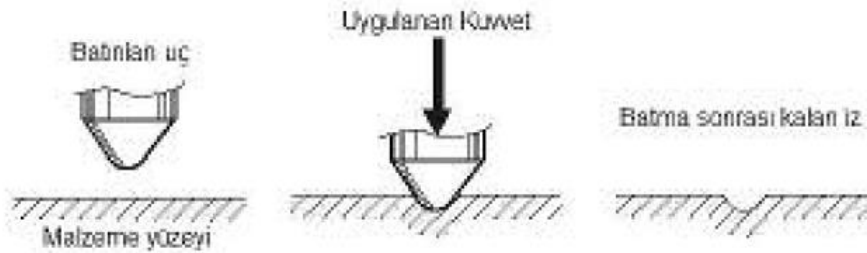
MALZEME	Lineer ısı genleşme katsayısı α , 20 °C (10⁻⁶ K⁻¹)	Volumetrik ısı genleşme katsayısı α_v , 20 °C (10⁻⁶ K⁻¹)
Aluminyum	23.1	69
Pirinç	19	57
Çelik	10.8	32.4
Beton	12	36
Bakır	17	51
Elmas	1	3
Cam	8.5	25.5
Altın	14	42
Demir	11.8	33.3
Kurşun	29	87
Magnezyum	26	78
Cıva	61	182
Molibden	4.8	14.4
Nikel	13	39
Platinyum	9	27
Gümüş	18	54
Paslanmaz Çelik	10.1 ~ 17.3	51.9
Titanyum	8.6	26
Tungsten	4.5	13.5
Su	69	207

2.2.4 Sertlik ve Mukavemet

Daha sert malzemeleri ERW yöntemi ile kaynatabilmek için daha sert elektrodlara ihtiyaç vardır. Bu faktör, iletkenliği düşürse de, kaynak kuvvetlerini karşılamanın başka yolu da yoktur. Sert metaller ancak mukavemeti yüksek elektrodlar ile kaynatılabilir (Miyachi UNITEK, 2013).

Sertlik, malzemelerin sert bir ucun batırılmasına gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sertlik deneyinde standart bir uç, sabit bir kuvvetle cisme batırılır. Bu batma ile oluşan izin büyüklüğü, söz konusu malzemenin plastik şekil değiştirmeye direncinin bir ölçütüdür. Kuvvet uygulayarak uç batırma dışında; yüzeyi çizme, darbe ile uç batırma, parçaya vurulan cismin geriye sıçraması gibi sertlik ölçme yöntemleri de vardır. Ölçülen sertlik değerleri aslında karşılaştırma sayılarıdır (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008).

ERW direnç kaynağı sistemi tasarlanırken sistem elemanlarının, hammadde sertlik sertlik değerleri mutlaka hesaba katılmalı, giriş kalite laboratuvarlarında belirtilen sertlik değerleri ölçülmelidir. Zira ölçümler kolay yapılır. Malzeme yüzeyinde küçük bir iz bırakarak malzemenin dayanımı ve aşınma davranışı hakkında önemli bir fikir verdiği için, ERW kaynak prosesi öncesinde kaynak parametrelerinin belirlenmesi açısından kritiktir.



Şekil 2.10. Batırma ve iz çıkarma prensibi (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008).

2.2.5 SERTLİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Brinell Sertliği	(HB, BSD)	iz büyüklüğü ölçülür
Vickers Sertliği	(HV, VSD)	iz büyüklüğü ölçülür
Rockwell Sertliği	(HR)	batma derinliği ölçülür

Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi (HB)

D çapında bir çelik bilya, bu çapa uygun olarak seçilmiş bir F kuvveti ile malzemenin yüzeyine bastırılır. Standart kuvvet ve bilya çapları (1,25 – 10 mm) seçilerek malzemeye uygun olan deney koşulları belirlenir. Ancak farklı bilya çapı ve bastırma kuvveti ile yapılan deneylerde, sonuçlar arasında bazı farklar görülebilir. Deney sonrasında, oluşan iz optik olarak ölçülür ve kuvvet oluşan izin yüzey alanına bölünerek Brinell Sertlik Sayısı elde edilir (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008).

Brinell Sertlik Ölçümü yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

Minimum malzeme (numune) kalınlığı $S_{min} = 17 \times$ bilyanın batma derinliği kadar olmalıdır.

Brinell ölçümü daha çok yumuşak ve orta sertlikte malzemeler için kullanılır. Örneğin sertleştirilmiş çelikler için tercih edilmemelidir.

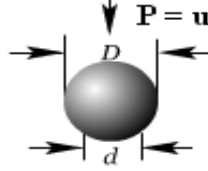
Numune yüzeyi parlak ve düzgün olmalıdır.

Kalıcı iz çapı 0,2D'den küçük ve 0,7D'den büyük olmamalıdır.

$$0,2D < d < 0,7D$$

Numune üzerinde kalan izin merkezinin parça kenarından ve bir diğer izin merkezinden uzaklığı iz çapının iki katı kadar olmalıdır (2d). İz çapı (d) 0,01 mm hassasiyetle ölçülmelidir. İz tam dairesel değilse birbirine dik doğrultudaki çaplar ölçülüp, ortalaması alınmalıdır. 400 HB'ye kadar olan sertlikler için, sertleştirilmiş çelikten imal edilmiş bilyalar kullanılır. Sert malzemelerde karbürden yapılmış bilyalar tercih edilir.

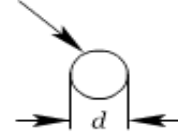
küre şeklinde batıcı uç



P = uygulanan kuvvet

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

izin şekli



D = küre çapı (mm)

d = iz çapı (mm)

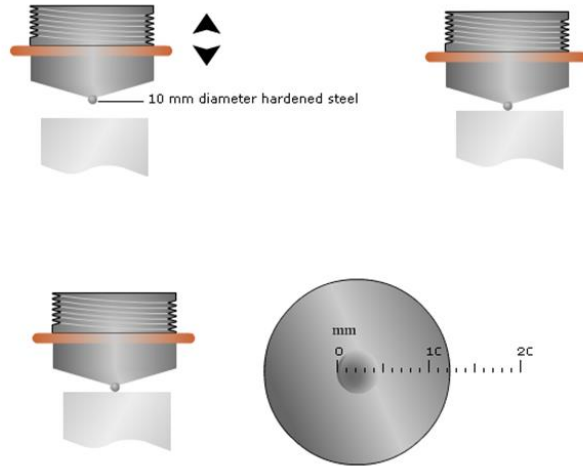
Şekil 2.10. Brinell sertlik değeri (HB), numuneye uygulanan yük değerinin oluşan

izin yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir.

(Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008)



Brinell Cihazı



Şekil 2.11. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008)

Çizelge 2.4. Yükleme derecesi: Ölçülen değerler, ancak muayene yükü ve küre çapının karesi arasında sabit bir oran varsa karşılaştırılabilirler. Bu orana “yükleme derecesi” adı verilir. (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008)

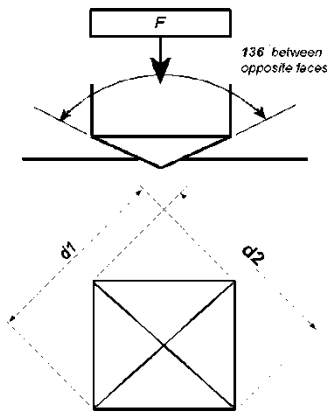
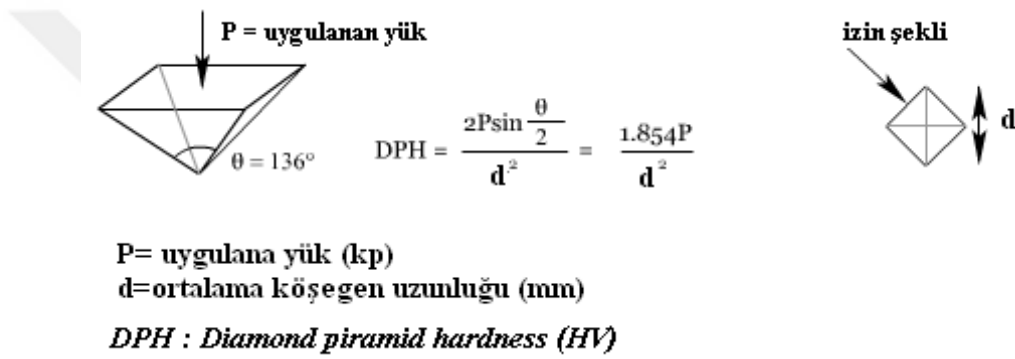
Yük derecesi N $\frac{0.102F}{D^2}$ kp $\frac{F}{D^2}$	30	10	5	2,5	1,25
Kullanım aralığı HB	67-450	22-315	11-158	6-78	3-39
HB sertlik yönteminin kullanıldığı malzemeler	Demir esaslı malzemeler ve yüksek dayançlı alaşımlar		Demir Dışı Metaller		
	-yumuşak çelik -çelik -dökme çelik -temper döküm -titanyum alaşımları -Ni ve Co alaşımları	-hafif metaller -döküm alaşımları -bakır -pirinç -bronz -nikel	-saf alüminyum -magnezyum -çinko -dökme pirinç	-yatak malzemeleri	-kurşun -kalay -yumuşak metaller

Çizelge 2.5. Deney yükü seçim çizelgesi . (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008)

Bilya çapı D (mm)	Deney yükü F/D ² yük derecesi kp olarak				
	30	10	5	2,5	1,25
10	3000	1000	500	250	125
5	750	250	125	62,5	31,25
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625	7,8125
1	30	10	5	2,5	1,25

Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi (HV)

Bu yöntemde kullanılan uç, tepe açısı 136° olan bir elmas kare piramittir. Oluşan köşegenlerin ortalamaları alınarak yüzey belirlenir ve Vickers sertliği hesaplanır. Vickers ölçme yöntemi ile değişik sertlik ve kalınlıkta malzemelerin sertliği kontrol edilebilir. Kontrol öncesinde malzeme yüzeyi düzgün, pürüzsüz ve parlatılmış olmalıdır. Bu yöntemin üstünlüğü, ölçülen sertliğin, deneyde uygulanan kuvvetten bağımsız olmasıdır. Sadece çok küçük yüklerde elastiklik payı artar ve sertlik değeri yüksek çıkar. Yük miktarı 1-150 kg arasında değişir. Bekleme süresi sert malzemelerde 15 sn, yumuşak malzemelerde 30 sn olarak seçilebilir (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008).



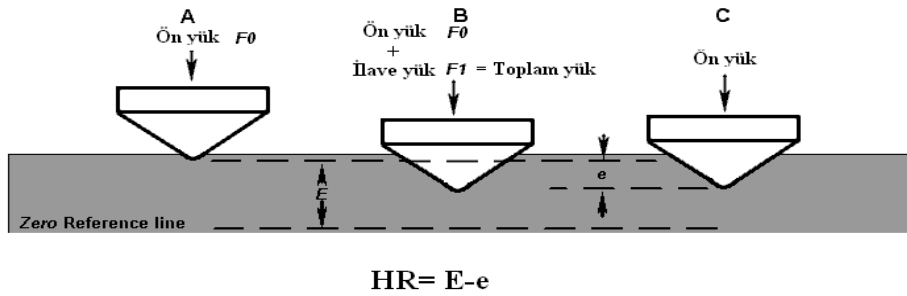
Yük darbesiz olarak uygulanmalıdır. Elmas uç darbeden ve çarpmadan korunmalıdır. Numune üzerinde kalan izin merkezinin parça kenarına veya bir diğer izin kenarına olan uzaklığı en az $3d$ kadar olmalıdır. Piramid uç P yükü ile deney parçasına düşey olarak batırılmalı, iz köşegenleri $0,002$ mm hassaslıkla ölçülmelidir.

Şekil 2.12. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008)

Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi (HV)

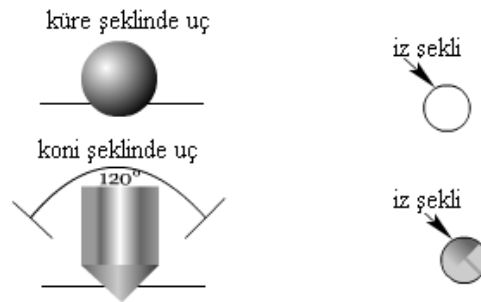
Bu yöntemde diğerlerinden farklı olarak iz yüzeyi değil, iz derinliği ölçülür. Dolayısıyla batırılan ucun oluşturduğu izin kalıcı batma derinliği, hassas olarak ölçülerek sertlik değeri doğrudan belirlenebilir. İz üzerinde optik ölçüm yapmak gerekmediğinden deney süresi kısadır. Deney sırasında ilk teması sağlamak ve varsa boşlukları gidermek için, bir ön yük F_0 uygulanır. Daha sonra ana yükün F_1 uygulanması ve kaldırılması ile kalıcı bir batma derinliği e oluşur ve bu derinlik ölçülerek malzemenin sertliği doğrudan belirlenir. Farklı malzemeler ve sertlikler için kullanılmak üzere değişik Rockwell Sertlik skalaları tanımlanmıştır. Batırılan uç elmas koni veya çelik bilya olabilmekte ve değişik batırma kuvvetleri uygulanmaktadır (Ahmet ARAN, İTÜ Malzeme Bilgisi, 2008).

Numune kalınlığı batma derinliğinin en az 10 katı olmalıdır. Yöntemin üstünlüğü; sertlik değerinin deney cihazı üzerindeki ölçme saatinden direkt olarak okunabilmesidir.



Şekil 2.13. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

(A.ARAN, İTÜ Malz. Bilgisi, 2008)



Şekil 2.14. Rockwell Sertlik Ölçme Yönteminde kullanılan uçlar

(A.ARAN, İTÜ Malz. Bilgisi, 2008)

Çizelge 2.6. Rockwell Sertlik Ölçme Yönteminde parametre ve uç seçimi

(A.ARAN, İTÜ Malz. Bilgisi, 2008)

Skala	Batıcı uç	Ön yük F_0 (kp)	Büyük Yük F_1 (kp)	Toplam Yük F (kp)	E
A	Elmas koni	10	50	60	100
B	1/16 inç çelik bilya	10	90	100	130
C	Elmas koni	10	140	150	100
D	Elmas koni	10	90	100	100
E	1/8 inç çelik bilya	10	90	100	130
F	1/16 inç çelik bilya	10	50	60	130
G	1/16 inç çelik bilya	10	140	150	130
H	1/8 inç çelik bilya	10	50	60	130
K	1/8 inç çelik bilya	10	140	150	130
L	1/4 inç çelik bilya	10	50	60	130
M	1/4 inç çelik bilya	10	90	100	130
P	1/4 inç çelik bilya	10	140	150	130
R	1/2 inç çelik bilya	10	50	60	130
S	1/2 inç çelik bilya	10	90	100	130
V	1/2 inç çelik bilya	10	140	150	130

HRB Yöntemi

Yumuşak çelikler, bakır alaşımları ve alüminyum alaşımlarına uygulanır:

Yük : 10+90=100 kp /// B. Uç: 1/16 inç çelik bilya ///Süre: 20 sn

HRC Yöntemi

Sert çelikler, sert dökme demirler ve 100 HRB'den sert olan malzeme içindir:

Yük : 10+140=150 kp /// B. Uç : 120°lik elmas koni ///Süre : 20 sn

HRA : Isıl işlemlili karbürler, ince çelikler veya sertleştirilmiş çelikler

HRB : Bakır ve alüminyum alaşımları, yumuşak çelikler, dövülebilir çelikler

HRC : Çelikler, Sert dökme demirler, sertleştirilmiş çelikler ve

100 HRB'den sert diğer metaller

HRD : İnce çelikler, sertleştirilmiş çelikler, perlitic dövme demirler

HRE : Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yatak malzemeleri

HRF : Tavlanmış bakır alaşımları, ince ve yumuşak levha metaller & saclar

HRG : Fosfor-bronz ve berilyum-bakır alaşımları, dövülebilir demirler

HRH : Alüminyum, çinko ve kurşun,

HRK & HRL : ...

HRM : Yumuşak yatak malzemeleri, plastikler ve yumuşak malzemeler

HRP & HRR & HRS & HRV : ...

Çizelge 2.7. Karşılaştırmalı Sertlik Çizelgesi

Vickers Sertlik Değeri	Brinell Sertlik Değeri 10 mm tungsten karbür uç	Rockwell Sertlik Değeri	
		100 kg yük ile B skalası	150 kg yük ile C skalası
-	Yük 3000 kg		
940	-	-	68.0
920	-	-	67.5
900	-	-	67.0
880	(767)	-	66.4
860	(757)	-	65.9
570	535	-	53.6
560	525	-	53.0
400	379	-	40.8
390	369	-	39.8
380	360	(110.0)	38.8
370	350	-	37.7
360	341	(109.0)	36.6
275	261	-	26.4
270	256	(102.0)	25.6
170	162	85.0	(3.0)
160	152	81.7	(0.0)
150	143	78.7	-
100	95	56.2	-
95	90	52.0	-
90	86	48.0	-
85	81	41.0	-

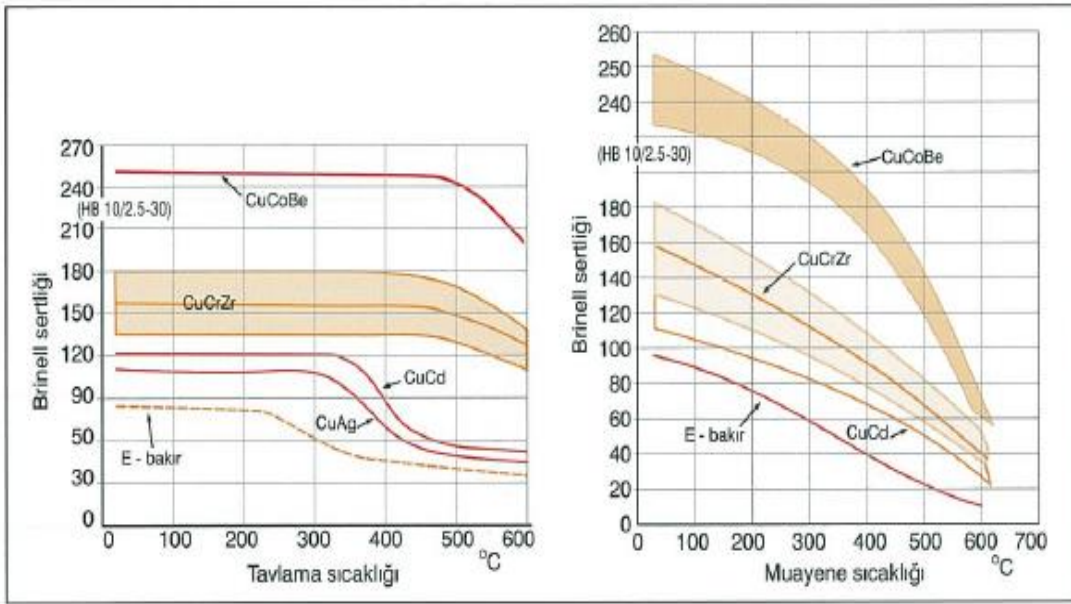
(A.ARAN, İTÜ
Malz. Bilgisi,
2008)

2.2.6 ELEKTROTLARIN MENEVİŞ DAYANIMI

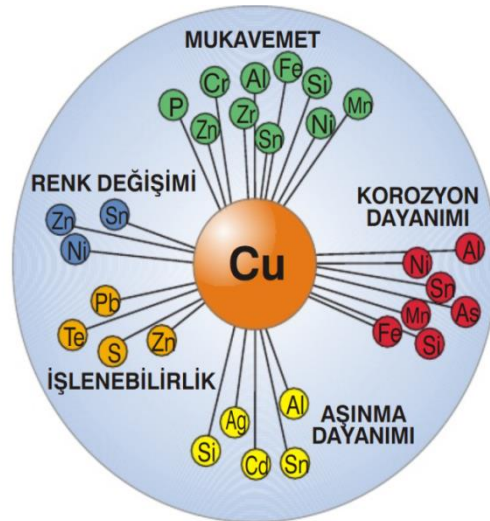
Bir elektrot malzemesinin verilen zaman için belirli bir sıcaklık aralığında ısıtılması sonrası, oda sıcaklığına kadar soğutulmasından sonra da önceki sertlik özelliklerini tekrar göstermesi şeklindeki bir özelliktir. Yumuşama sıcaklığı; bir malzemenin kısa süreli ısıtmada sertliğini kaybetmediği (oda sıcaklığında soğutulduktan sonra) meneviş dayanımının sıcaklık sınırıdır. Elektrot malzemesinin işlenmesi sırasında (lehimleme, sıcak eğme, büzme) bu sınır aşılmamalıdır. Sıcak sertliği ise elektrot

malzemesinin oda sıcaklığının üzerindeki sertliği ve elektrotun dayanma süresi için bir kriterdir.

ERW kaynağında gerek elektrik, gerekse mekanik sistemin en önemli metal unsuru bakırdır. Bakır ve bakır alaşımlarının mukavemet özellikleri ve iletkenlik değerleri, ERW kaynağının başarısında önemli rol oynar.



Şekil 2.15. Çeşitli elektrot malzemeleri için meneviş dayanımı (Bakır ve bakır alaşımları, Sağlam Metal, 2013)

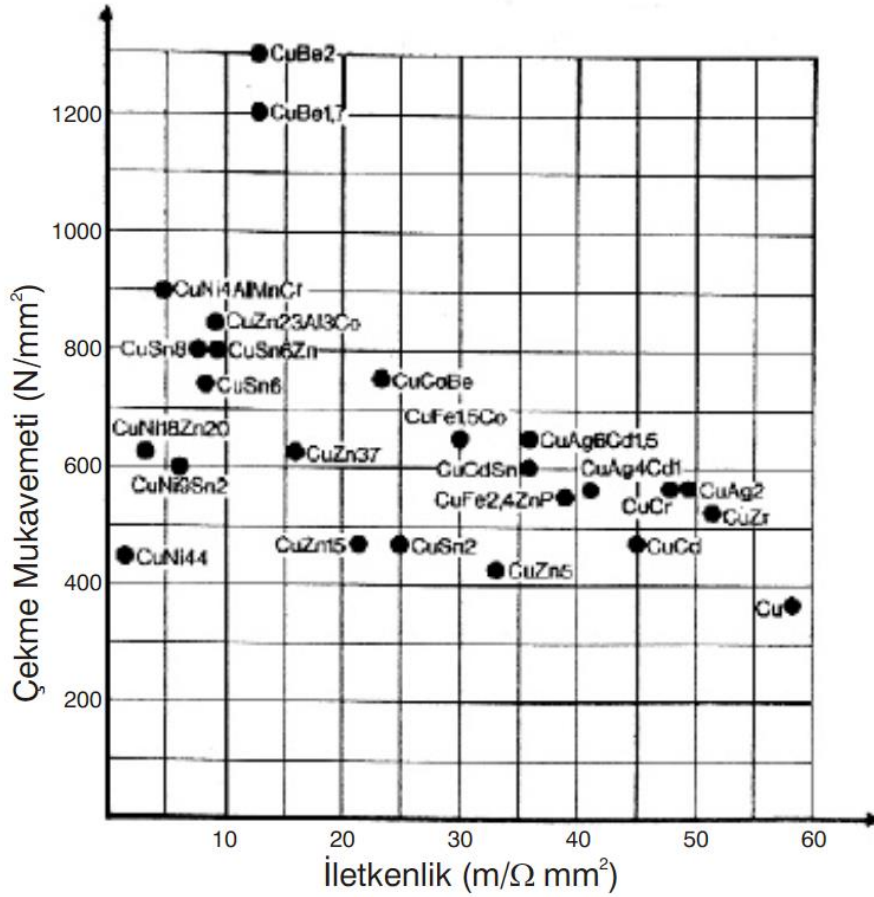


Şekil 2.16. Bakır alaşımlarının mukavemete etkisi

(Bakır ve bakır alaşımları, Sağlam Metal, 2013)

2.2.7 SERT BAKIR ALAŞIMLARI

- Bakır krom alaşımları (CuCr)
- Bakır krom zirkonyum alaşımları (CuCrZr)
- Bakır berilyum alaşımları (CuBe)
- Bakır kobalt berilyum alaşımları (CuCoBe)
- Bakır Nikel Silisyum alaşımları (CuNiSi)
- Bakır Alüminyum Demir Alaşımları (CuAlFe)
- Bakır Alüminyum Demir Manganez Alaşımları (CuAlFeMn)
- Bakır Alüminyum Demir Nikel Manganez Alaşımları (CuAlFeNiMn)
- Bakır Tungsten alaşımları (CuW)



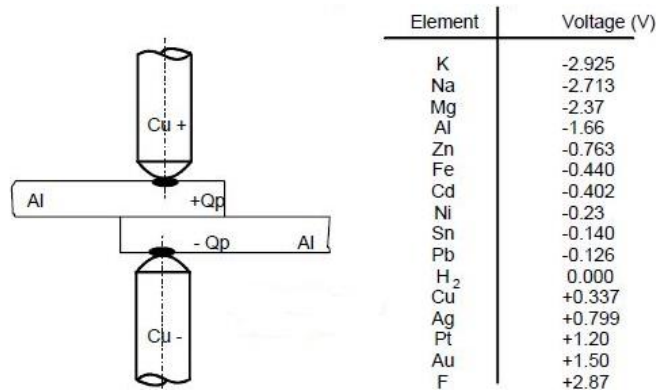
Şekil 2.17. Bakır alaşımlarının mukavemet ve iletkenlik ilişkisi (Hakan Koçak, Bakır ve Bakır alaşımları, 2013)

2.2.8 Plastik Sıcaklık Aralığı

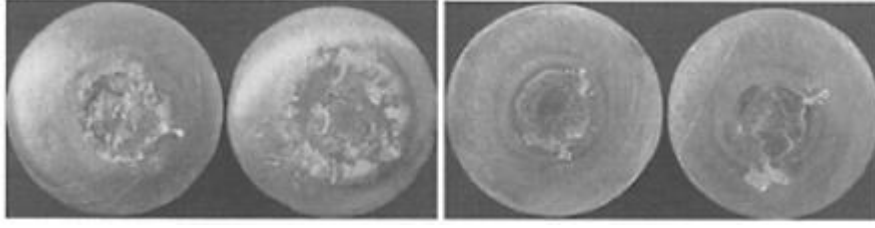
Plastik sıcaklık aralığı, herhangi bir malzemenin yük altında plastik şekil değiştirdiği aralıktır. Çelik ve alaşımları, çok geniş bir plastik sıcaklık aralığı gösterirler; dolayısıyla ergiterek kaynatılmaları kolaydır. Bakır ve alüminyum gibi doğal metallerin plastik sıcaklık aralıkları dardır. Bu kapsam ışığında, ERW yönteminde kaynak bölgesi sıcaklığı ve bu sıcaklığın kontrol altında tutulması kritiktir.

2.2.9 Polarite

Elektrik devre veya sistemlerinde, kutupları birbirlerinden ayırt etmeyi sağlayan niteliklerdir. Polarite, elektriksel güç kaynakları kullanılan bütün proseslerde söz konusudur. Direnç kaynağının yapıldığı esnada, elektrot ile iş parçası yada iş parçaları arasındaki boşluğu oluşturan malzemeler birbirinden farklı ise; bu boşluk, uygulanan gerilime bağlı olarak ısınacak yada soğuyacaktır. Polarite etkisi, kaynağın sadece ilk bir kaç milisaniyesi içinde prosesi etkiler (Bu etkiye **Peltier Etkisi** de denir). Daha çok kısa süreli kaynaklarda görülse de, bu etkinin kaynak kalitesini ve elektrot ömrünü ciddi biçimde etkilediğini söyleyebiliriz. Polarite etkisi yüzünden, kaynak çekirdeği, pozitif elektrota doğru büyüme eğilimi gösterir. Dolayısı ile pozitif elektrod daha erken yıpranır. Polarite etkisini azaltmak için, birbirinden farklı elektrod kuvvetleri kullanılabilir yada alternatif polarite oluşturacak kaynak gerilimi yaratılabilir. MFDC (medium frequency inverter) güç kaynağı kullanmak da, polaritenin negatif etkilerinden kurtulmak için etkili bir yoldur.



Şekil 2.18. Alüminyumun, DC güç kaynağı kullanılarak yapılan ERW kaynağı ve bazı elementlerin, H₂ nin esas alınarak hesaplanan elektro-kimyasal potansiyel değerleri (Miyachi UNITEK, 2013).



Şekil 2.19. Elektrotlarda polarite etkisi; yukarıdaki elektrot çiftlerinin solundaki elektrotlar alt elektrot yani negatif, sağdaki elektrotlar üst elektrotlar yani pozitif kutuptur. Sağdaki yani pozitif elektrotların daha fazla yıprandığı görülebilir. (Zhang, Senkara; Resistance Welding, 2006)

	Magnezyum	-1.48 V
	Çinko	-1.03 V
	Alüminyum	-0.79 V
DAHA AKTİF	Dövme Demir Ve Karbon Çeliği	-0.61 V
	Dökme Demir	-0.60 V
	Paslanmaz Çelik Tip 430 AISI	-0.57 V
	Paslanmaz Çelik Tip 304 AISI	-0.53 V
	Sarı (Pirinç)	-0.40 V
	Kızıl(Bronz)	-0.38 V
DAHA AZ AKTİF	Bakır	-0.36 V
	Alüminyum Bronzu	-0.32 V
	Nikel	-0.20 V
	Titanyum	-0.15 V
	Monel	-0.08 V

Şekil 2.20. Bazı metal ve alaşımların, elektro-kimyasal potansiyel değerleri

(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

2.2.10 Oksitlenme, Kirlilik kaynakları ve Hidrojen Çatlağı

Kaynak yapılacak parçaların yada elektrotların oksitlenmesi, kaynak noktasında temassızlığa sebep olur ve kaynak süreksizlik yada boşluk hatasıyla tamamlanır. Örneğin çeliklerin ERW kaynağında, çelik yüzeyindeki oksitlenme, hem iyi bir kaynak hem de kaynak bölgesinin mukavemet özellikleri için ciddi bir sorundur. Çelikler, imalat aşamasında yağlanır ve bu çeliği en azından proses öncesine kadar korur. Ancak proses esnasında koruyucu yağ ortamdan buharlaşır. Yağ içindeki kir çelik yüzeyinde kalır. Özellikle sıcak haddelenmiş çeliklerin kaynağı daha sorunludur. Zira daha imalat aşamasında sıcak haddelenmiş çeliklerin yüzeyinde oksit tabakası ve kir görmek mümkündür. Dolayısıyla yüksek mukavemet gerektiren kaynak punta yada dikişlerinde, sıcak haddelenmiş çelikler tercih edilmemelidir. Soğuk haddeleme sonrası, kullanılan koruyucu hidrojen gazı, oksit oluşumuna engel olur. ERW kaynağında tercih edilmesi gereken çeliklerin söz konusu koruyucu önlemler alınarak üretildiğinden emin olunmalıdır. Elbette her çelik veya metal türünde oksitlenme risk vardır. Ancak ihmal edilebilir düzeyde olması ERW kalitesi açısından önemlidir. Bazı ERW makine üreticileri, oksit ve kir tabakasını temizlemek üzere fırça veya ince zımpara otomasyonlarını da sistemlerine eklemektedirler.



Şekil 2.21. Metallerin Oksitlenmesi (Wikipedia 2015)

Metaller genelde oksijen ile bağ yaparak oksit oluşturma eğilimindedirler. Oksit tabakasının elektrik iletkenliği söz konusu değildir. Dolayısı ile direnç gösterirler. Kaynak sonrası artık gerilmelere ve kaynak hatalarına sebep olurlar. Oksitlerin mekanik olarak temizlenmesi metal yüzeyinin bozulmasına ve pürüzlülüğün artmasına sebep olur. Ayrıca oksit tabakası çok çabuk tekrar yayılabildiğinden, mekanik temizlik bazen çözüm olmayabilir. Bu yüzden temizliği yapar yapmaz

kaynak bölgesinin Argon vb. bir soy gaz ile korunması, kaynak yapılana kadar yeniden oksitlenmeye engel olacaktır.

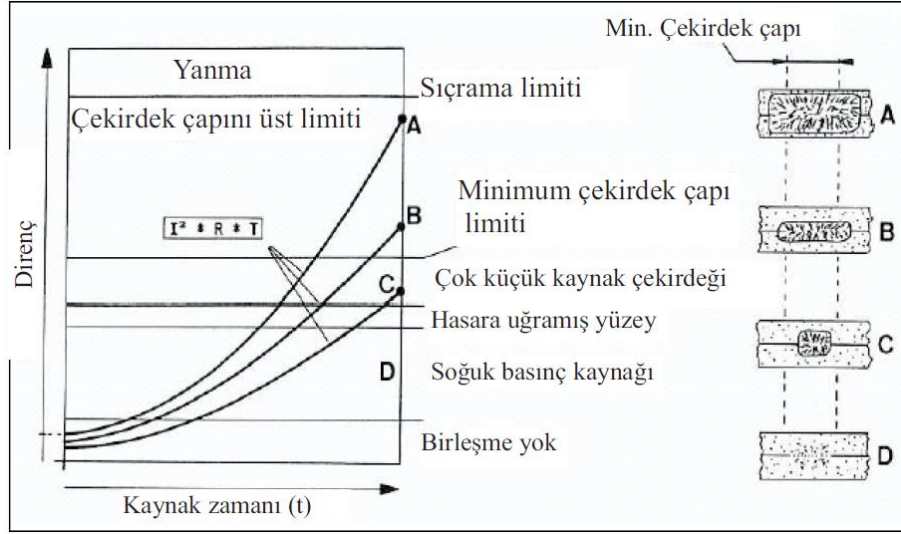
Metallerde kirlilik kaynakları genel olarak gres, nem, koruyucu yağ tabakası, toz vb. olarak sıralanabilir. Bu kirlilik kaynakları da kaynak noktasında kaldıkları sürece kaynak kalitesini ve punta/dikiş mukavemetini düşürürler. Koruyucu kimyasal tabaka yüzünden farkedilmeyen ve ancak testlerle farkedilebilecek kaynak hataları oluşabilir. Örneğin gres yağları hidrojen içerir. Kaynak esnasında hızla ısınan hidrojen atomları serbest kalır ve kaynak curufunda erir. Zamanla bu hidrojen atomları kaynak dikişinin tane sınırlarında bir araya gelirler. Hidrojen atomlarının bir araya geldiği bu sınırlar yada kesitlerde yüksek gerilim oluşur. Eğer kaynak dikişi yeterince sünek değilse kırılma ve çatlaklar oluşur. Bu tip çatlaklara HİDROJEN ÇATLAĞI adı verilir. Hidrojen çatlaklarının oluşmaması için tek çare kaynak yüzeyinin temizlenmesidir.

2.2.11 Kaplama Düzensizlikleri ve Kaplamalı Sacların ERW Kaynağında Karşılaşılan Sorunlar

Kaplama kusurlarını; kaplama kalınlığındaki düzensizlikler, oksitlenme ve kaplama kalitesizliği, kopma, yapraklanma, yüzey çatlakları, gözenek, gerilme vb. gibi tanımlayabiliriz. (Saeid Pournaderi, Tahribatsız Muayene, KTÜ – 2015)

Direnç kaynağında ısının direnç bölgesinde yoğunlaşabilmesi için belirli bir başlangıç direncine ihtiyaç vardır. Malzemenin sıcaklığının artmasıyla direnç artar, bu ısınmayı hızlandırır ve sıcaklık çok kısa bir sürede, bu bölgede ergime sıcaklığına yükselir ve çekirdek oluşur (örnek 1400° C).

Ancak galvaniz kaplı saclarında, yüzeydeki çinko tabakası iyi bir ergime için gerekli olan başlangıç direncini düşürür. Şekil 2.22’de, ısı girdisi oranına ait eğrinin bir fonksiyonu olarak, nokta kaynağının kalitesi gösterilmektedir. A ve B eğrileri başlangıç direncinin uygun ve yeterli olduğunu gösterirken, C eğrisi biraz daha yükselebilir. Grafiğin üst limiti sıçramanın başladığı durumu temsil ederken, alt limit çok küçük çekirdek çapını göstermektedir.



Şekil 2.22. Dirençleri Farklı Üç Malzemedeki Isı oluşumunun Kaynak Zamanına Göre Değişimi
(Saeid Pournaderi, Tahribatsız Muayene, KTÜ – 2015)

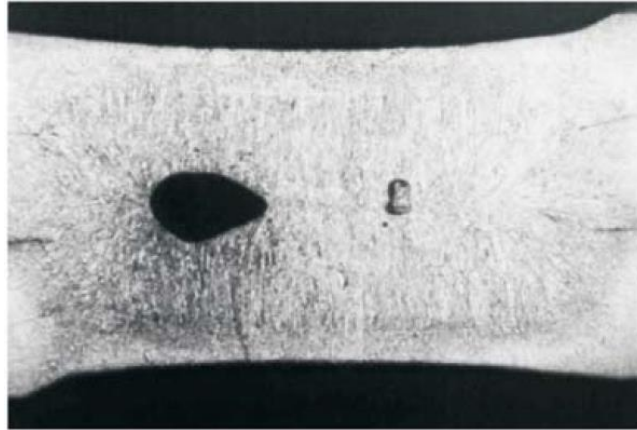
Galvanizli çeliklerde daha yüksek kaynak akımları kullanıldığından, elektrot temas yüzeylerinde sıcaklık aşırı yükselir ve sonuç olarak bakır elektrot malzemesinin sertliği azalır. Diğer taraftan bu durum çok hızlı bir şekilde boyutları kabul edilemez derecede küçük kaynak çekirdeklerinin oluşmasına sebep olur. Bakır malzemesinin sertliğinin azalması da, elektrotların yüzeye yapışmasına, temas yüzeylerinin deforme olmasına ve genişlemesine sebep olur. Galvanizli çeliklerde, çinko tabakasının yanmasının, elektrotların yüzeylerine ek bir etkisi vardır. Mükemmel bir direnç kaynağında, elektrotlar içerisinden geçen akımın mümkün olduğunca sabit olması gerekir. Sadece kaynak akımının yüksek olması değil aynı zamanda çinko tabakasının erime sıcaklığının düşük olması da bu durumu büyük ölçüde etkilemektedir. Elektrolitik olarak yapılan çinko kaplama tabakası yaklaşık 420⁰ C 'de erir. Sac metal ise 1400⁰ C' e kadar ısındığı için, daha kaynağın ilk aşamalarında çinko tabakası yanar ve bakır elektrotların üzerine metal yapışır ve bu noktalarda elektriksel direnç artar. Bu metal yapışması elektrod yüzeyinde genelde düzensiz bir dağılım gösterir ve özellikle elektrotların orta kısmında ya da çukurlaşan bölgelerinde oluşur.

Bu durumun temas direncinde değişikliklere sebep olması sonucunda, akım düzensiz akmaya başlar ve yetersiz büyüklükte kaynak çekirdekleri olan nokta kaynakları elde

edilebilir. Sabit kaynak makinalarında, kaynak daima tek yönde ve aynı açıda yapıldığından, elektrodun temas yüzeylerinde oluşan bu metal yapışması daha çok görülür. Robot kaynak makinalarında ise, her kaynak pozisyonu kaynağa başlamadan önce programlanır, dolayısıyla her kaynakta farklı pozisyonlar ve farklı kaynak açılarıyla kaynak yapılır. Bu da, elektrodun çukurlaşmasını ve metal yapışmasını azaltır.

Metal yapışması ve çukurlaşma, çekirdeğin yetersiz çapta oluşması ve sacların sadece elektrodun dış kısımlarına gelen yerlerinden halka şeklinde birbirine kaynak olması riskini ortaya çıkarmaktadır.

Elektrodlarda meydana gelen çukurlaşmanın bir diğer sonucu da büzülme kavitesiydir. Çinko tabakası yandığında, yüksek basınç altında gaz kabarcıkları ve içi hava dolu boşluklar meydana gelir ve bunlar kaynak bölgesinde sac metal erimez yayılırlar. Elektrodun çukurlu şeklinden dolayı, kaynak dış uçta şekillenir ve içe doğru gelişir. Bu tip bir şekillenmeden dolayı gaz kabarcıkları iç kısma doğru zorlanır. Sonuçta, kaynak bölgesinde ve çoğunlukla da toplam kalınlığın ortasında büzülme boşlukları oluşur (Şekil 2.23). Uzun kaynak zamanı gaz boşluklarının oluşması için yeterli zaman tanıdığından, büzülme boşlukları genellikle daha kalın sacların kaynağında meydana gelir. Kaynak açısının sürekli değişmesi, yukarıda ifade edilen etkileri azalttığından, robot kaynak makinaları büzülme boşluklarından kaçınmada bir avantaj sağlar.



Şekil 2.23. Punta kaynağında büzülme boşluğu (M.Vural, A.Akkuş, Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Ultrasonik Testi ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu Mühendis ve Makina cilt 47, sayı 563)

2.2.12 Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) ve Temas Direnci

ERW kaynaklarında, metallerin yüzey pürüzlülüğü, aşırı ısınma yada ısınmama, elektrot yapışması veya metal malzemenin kopması şeklinde sonuçlar doğurabilir. Yüzey pürüzlülüğü hem kaynatılacak metallerin birbirlerine temasını hem de bu metallerin elektrotlara temasına engel olabilir. Bu da kaynak esnasında uygulanması gereken elektrot kuvvetinin artırılmasını gerektirir. Aynı zamanda akımın nasıl dağılacığını ve nasıl ilerleyeceğini de yüzey pürüzlülüğü belirler. **Şekil 3.24**'de görüldüğü gibi kaynak akımı daha sınırlı temas yüzeylerinden akmak zorunda kalır. Bu da sıçrantı ve akım atlama gibi sonuçlar doğurur. İstenen çekirdek boyutlarının elde edilmesi de zorlaşır. Kaynak akımının dar kesitlerden geçmesi aşırı ısınmaya, sıçrantıların artmasına ve metal yada bakır elektrottan kopmaların görülmesine sebep olur. Ön ısıtma yada artarak uygulanacak kaynak akımı, yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkisini azaltır.



Şekil 2.24. Yüzey pürüzlülüğünün kaynak akımına etkisi (David Steinmeier, Laser and Resistance Weldability Issues, Part II – Material Surface Properties, 2003)

Sol tarafta bölgesel ve düzensiz akım ve ısınma oluşurken, sağdaki örnek ısının düzgün dağılımını sağlar.

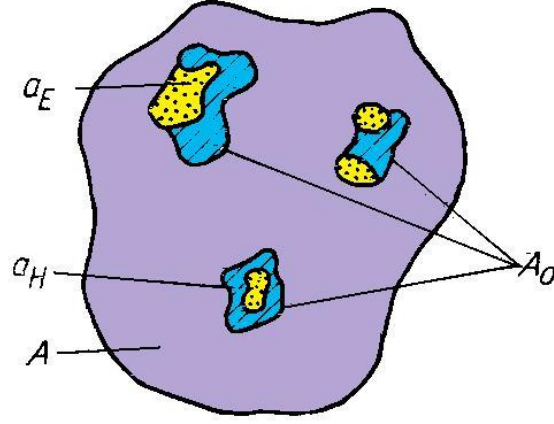
Temas direnci (veya geçiş direnci), bir akımın birinden diğerine aktığı, iki iletken arasındaki direnç olarak tarif edilir. İki metal yüzeyi bir temas kuvvetiyle birbirine doğru bastırıldığı zaman, bir'den çok sayıda noktası temasa geçer.

Bu işlem, temas kuvvetinin büyüklüğüne bağlı olan plastik deformasyonla sağlanır. Bu şekil değiştirme işlemi sırasında yeni temas noktaları ortaya çıkar. Bu noktalar, ya plastik şekil değiştirme ile ya da elastik şekil değiştirme ile oluşurlar.

Temas direnci R_K , tepe ve çukur dirençlerinin toplamıdır:

$$R_K = R_H + R_E$$

Tepe direnci, temas malzemesinin yüzeyindeki, oksit tabakası, ıslaklık tabakası veya başka yabancı kaplamalardan ileri gelir. Bu yabancı tabakalar, belirli bir kalınlığı aştiklarında, akıma karşı düşük direnç gösterdiklerinden, tıpkı metinsel bir temas gibi davranan, yarı metinsel bir temas alanı oluştururlar.



Şekil 2.25. Temas yüzeyi (Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

A : görünür temas yüzeyi;

A0 :gerçek temas yüzeyi;

aE: temiz (yabancı maddeleri içermeyen) her bir temas yüzeyi;

AE:temiz (yabancı maddeleri içermeyen) toplam temas yüzeyi;

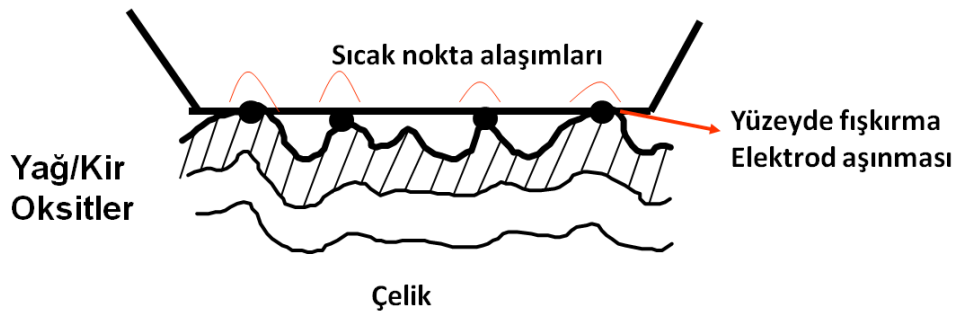
aH : kirli (yabancı maddeyle kaplı) her bir temas yüzeyi;

AH : kirli (yabancı maddeyle kaplı) toplam temas yüzeyi;

$$\sum aE = AE$$

$$\sum aH = AH$$

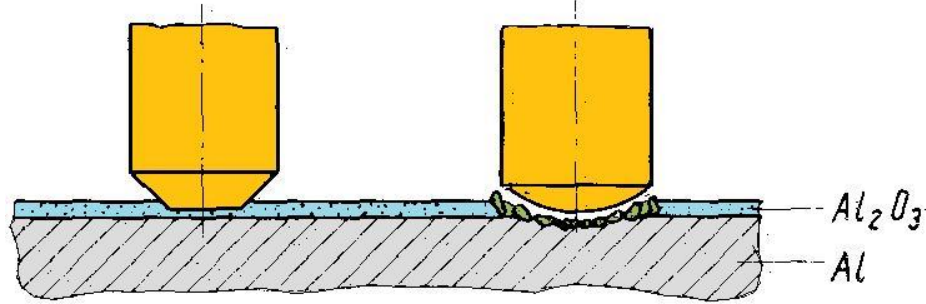
Elektrot-parça yüzeyi arasındaki temas yüzeyinde ısı üretiminin düşük tutulabilmesi ve sonuçta elektrotun yüzeye yapışmaması için büyük ısı iletimli veya suyla soğutulan elektrotlar gerekir.



Şekil 2.26. Temas yüzeyi (Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

Oksit tabakaları, kaynak akımının geçişine karşı bir direnç gösterir ve bu direnç o derece büyük olabilir ki, akımın geçişi imkansız hale gelebilir. Ancak yine de bir akım geçişi sağlanacaksa, bu oksit tabakasının parçalanması gerekir.

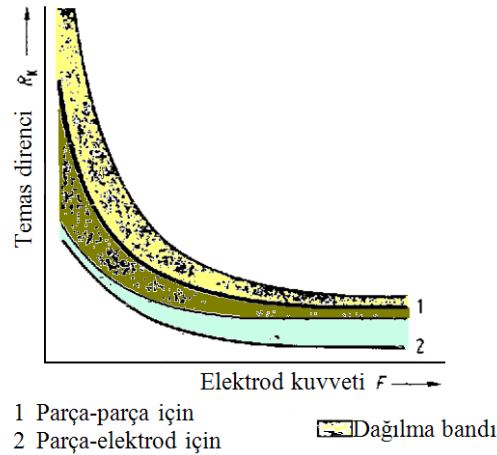
Küresel uçlu elektrotlarla bastırarak oksit tabakası parçalanabilir ve elektrot-saç temas yüzeyi büyütülebilir



Şekil 2.27. Düz ve küresel elektrod uçlarının kullanımı
(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

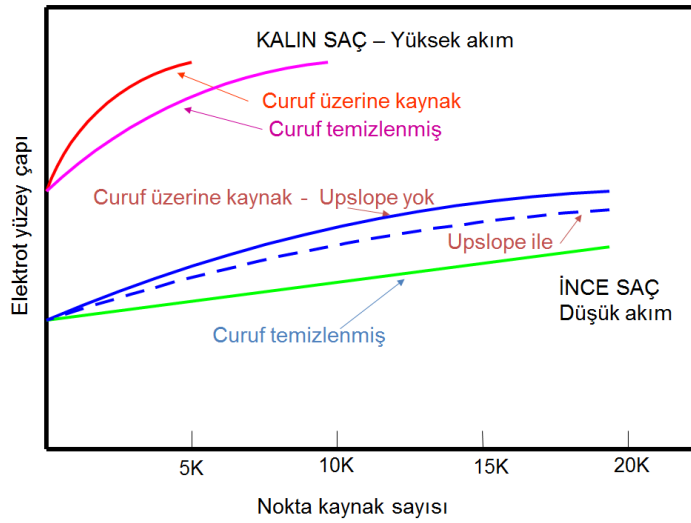
Saç-saç geçişinde ilk temas, yüzeyde temas eden pürüzlerden olacaktır. Bu durumda oksit tabakası, yeteri kadar yüksek bir basınçla ezilip parçalanmalıdır.

Kalın oksit tabakaları, yüksek elektrod kuvvetlerinde dahi parçalanamayabilir. Bu durumda oksit tabakasının kimyasal yöntemlerle veya fırçalama ve taşlama gibi mekanik yöntemlerle uzaklaştırılması gerekir.



Şekil 2.28. Nokta kaynağında elektrod kuvvetinin temas direncine etkisi

(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

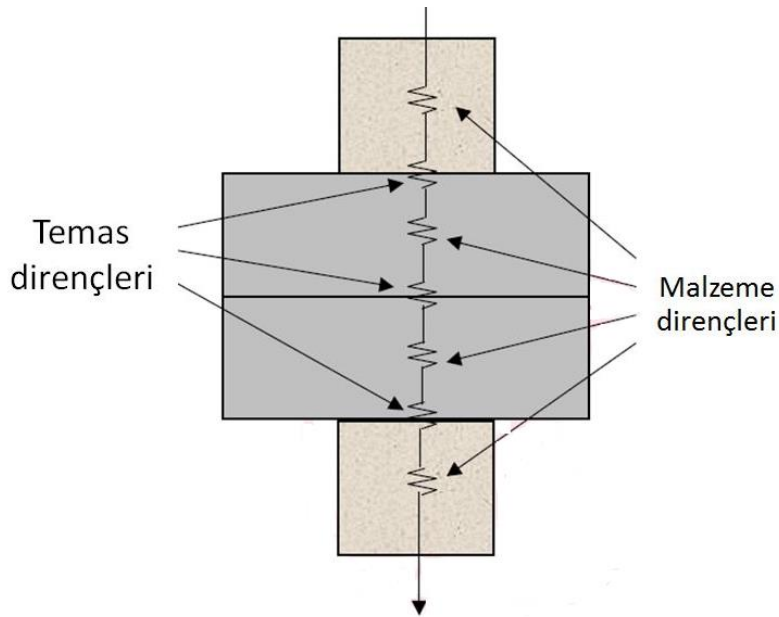


Şekil 2.29. Yüzey oksitlerinin elektroda etkileri

(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

2.2.13 ERW kaynağında ısı dengesi

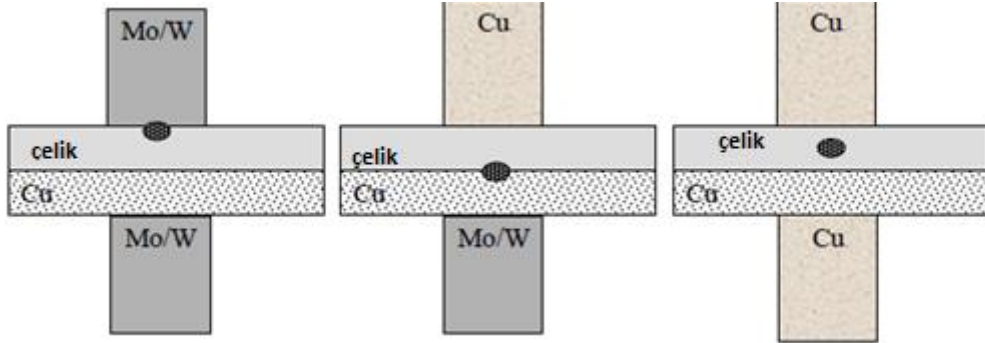
Direnç kaynağında ısı dengesi, kararlı bir kaynak prosesi üretebilmek için, kaynak esnasında oluşan ve kaybedilen tüm ısının uygun şekilde dağıtılabilmesidir. Isı dengesi kurulmuş bir ERW prosesi, hem daha mukavim bir kaynak dikişi hem de daha uzun elektrot ve kaynak makinesi ömrü demektir. Isı dengesini etkileyen unsurlar, *elektrot malzemesi, elektrot boyutları, kaynak pozisyonu, polarite, pulse ve projeksiyon* olarak sıralanabilir.



Şekil 2.30. ERW kaynağında dirençlerin sınıflandırılması

(Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

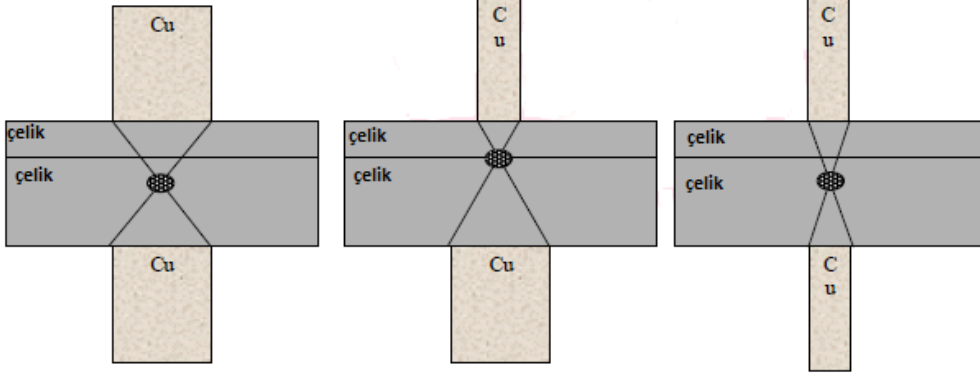
Elbette ısının, kaynatılacak iki iş parçası arasında oluşması beklenir. Ancak önce bunu yönetmek gerekli koşulları sağlamak gerekir. ERW kaynağında en kritik seçim şüphesiz *elektrot seçimidir*. Direnç kaynağında en çok kullanılan elektrotlar bakır alaşımlardır. Bakır çok iyi bir iletkenidir hem de değişik alaşım özellikleri gösterebilir. Son dönemde hem yüksek iletkenlik ve mukavemet özellikleri ile Alüminyum Oksit alaşımlarda ERW kaynağında kullanılmaya başlamıştır. Öte yandan bakırların yumuşak malzeme oluşları alaşımsız bakırın çabuk ısınması ve ısının direnç noktası yerine bakır elektrot üzerinde açığa çıkması ile sonuçlanır. Bu da bakırların, Tungsten, Molibden, Krom veya Zirkonyum gibi elementlerle alaşım edilerek kullanılmasını gerektirmiştir. İki farklı özellikte metalin ERW kaynağında, yüksek direnç gösteren metal tarafında iletkenliği yüksek bir elektrot, iletkenliği yüksek alaşım tarafında ise iletkenliği düşük elektrot kullanılmalıdır. Şekil 3.32'deki siyah oval noktalar en yüksek ısının dolayısı ile yüksek direncin nerede oluştuğunu gösterir. Ortadaki örnek, uygun ısı dağılımının oluşturulabildiği örnektir. Isı iletkenliği düşük çelik için, iletkenliği yüksek bakır elektrot; ısı iletkenliği yüksek bakır iş parçası için iletkenliği düşük Molibden-Tungsten elektrot sayesinde ısı merkezi tam olarak direnç kaynağı çekirdeğinin olması gereken yerde oluşur.



Şekil 2.31. ERW kaynağında ısıyı doğru dağıtabilmek için elektrot seçimi. Siyah oval nokta, sıcaklığın en yüksek nokta olduğu ısı merkezini gösterir. (Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

Elektrotların boyutlandırılması doğru ısı dağılımı için kritiktir. Elektrot kesit alanı, kaynak akımının yoğunluğunu belirler. Kaynak enerjisini tam olarak kaynatılacak noktada yoğunlaştırabilmek için, elektrotların kesit alanlarını uygun şekilde boyutlandırmak gerekir. Örneğin, eşit kalınlıkta iş parçalarını kaynatmak için seçilen

elektrotların uçları da benzer olmalıdır. Ancak bu şekilde akım, Şekil 2. 33.'teki gibi kaynak noktasında yoğunlaşır. Özetle kalın parça için geniş elektrot kesiti, ince parça için ince elektrot kesiti seçilmelidir.



Şekil 2.32. İş parçası ve elektrot boyutlarının, ERW’de ısı dağılımına etkisi (Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

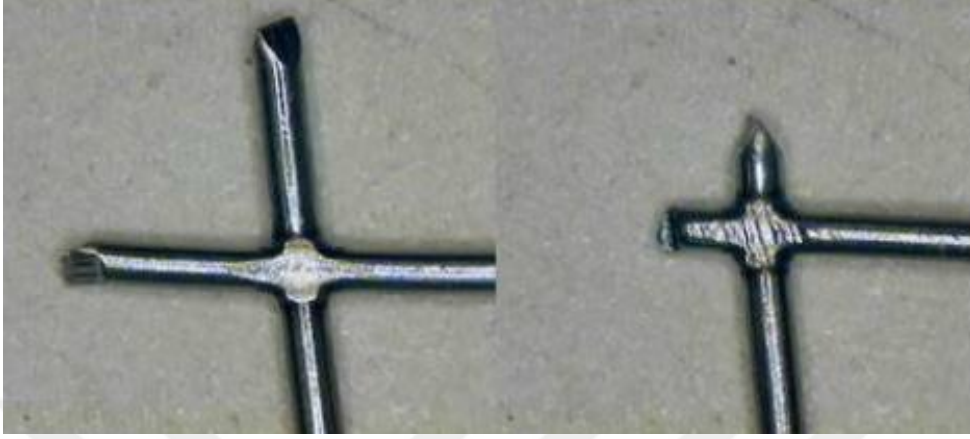
Elektrot kesit alanına ek olarak, *elektrotun ucundaki form* da ısı dağılımını belirleme de yardımcı olur. Genelde elektrot ucuna kubbe ya da düz form verilir. Örneğin kaynak çekirdeğinin belirgin, diğer tarafta belirsiz olmasının istendiği bir durumda, düz elektrot, çekirdek izinin belirsiz olması istenen tarafta yer alır. **Şekil 3.34**'teki çekirdek, alt tarafta geniş ve düz, üst tarafta kubbe şeklinde uç formları kullanılmasıyla meydana gelmiştir. Üst yüzeyden bakıldığında çekirdek izi belirgin olacak, alt yüzeyden bakıldığında çekirden çapı görsel olarak farkedilmeyecektir.



Şekil 2.33. Değişik uç formlarının aynı çekirdek oluşumunda kullanılması (Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

Kaynak noktası da ısı dağılımında etkilidir. Çekirdeğin oluştuğu noktanın etrafındaki metal miktarı, çekirdek boyutunu belirleyebilir. Kaynak noktasındaki ısı, kaynayan iş parçaları ve elektrotlar yoluyla atılır. Punta noktasının metalin ortasında olması, ısının daha kolay atılmasını sağlar. Ancak metalin kenarına yakın bir punta noktası, ısı daha

zor atılacağı için, daha büyük boyutta olacaktır. Şekil 2.34'te görüldüğü gibi, soldaki kaynak çekirdeği, sağdakine göre küçüktür. Zira ısıyı atabilmek için etrafındaki metal hacmi, sağdakine göre fazladır.



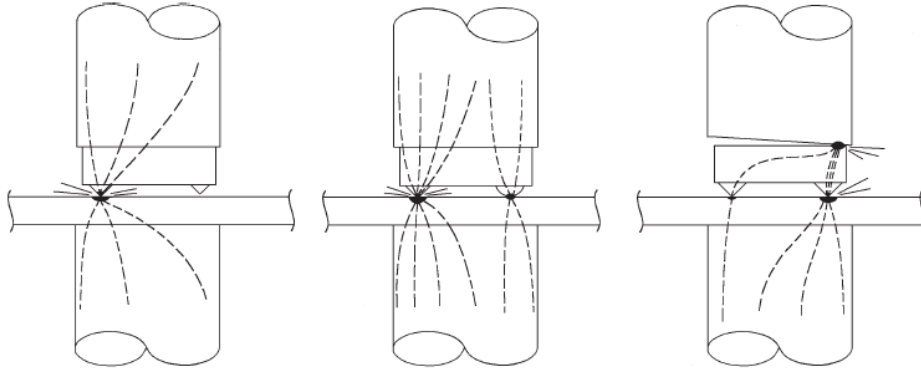
Şekil 2.34. Punta noktasının ısı dağılımına etkisi
(Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

Polarite (peltier etkisi) de ısı dağılımı üzerinde etkilidir. Zira akımın yönü ısı dağılımını da etkiler. Peltier etkisi, ısının temas noktasında soğurulmasına sebep olur. Hemen hemen bütün ERW kaynak makinelerinde DC – doğrusal akım güç kaynakları yada inverter üniteler kullanılır; bu yüzden akım bir yönde ilerler. Alternatif akımın kullanıldığı, uzun kaynak zamanlı ERW makinelerinde ise akımın yönü hemen hemen her 8,33 mili saniyede bir değişir (60 Hz). Bu sayede Peltier etkisi dengelenir. Peltier etkisi, kaynak zamanının daha kısa sürdüğü DC makinelerde ya da ince sacların kaynağında daha kritiktir.

Bazı güç kaynaklarında ise akım, sürekli tek bir akım yerine, *pulse şeklinde* iletilir (çok etkili akım). Bu sayede kaynak akımı malzeme üzerinde dirence uğramaz. Sadece iş parçaları arasındaki boşluklar direnç gösterir. Bunun sebebi, iş parçalarının soğumak için zaman bulabilmesidir. Dolayısıyla kaynak puntalarının oluşması gereken boşluklar, tek etkili akıma göre daha çok ısınır. Özellikle, geometrik çeşitlilik göstermeyen benzer iş parçalarında bu yöntem kullanılır.

Direnç kaynağının ısı dağılımında *projeksiyon etkisi* de önemlidir. Kaynak boşluğunun içinde büyük yüzey pürüzlülükleri yada kaynak memeleri gibi malzeme

uzantıları olabilir. Bu uzantılar aynı sıcaklığa aynı anda ulaşmalıdır. Ancak boyutları birbirinden farklı olabilir. Bu durumda ısınma düzgün dağılmaz. Mesela meme olmayan kaynak boşluğu çabuk ısınırken, meme olan bölgeyi aynı miktarda ısıtmak mümkün olmaz. Projeksiyon kaynağı yöntemi ile, akım kaynak boşluğu ve memeler üzerinde birikmeyi sağlayacak şekilde, anlık olarak artırılır. *Projeksiyon kaynağı dizaynında*, akımı hem küçük hem de büyük kaynak memelerini aynı anda ısıtacak şekilde uygulamak önemlidir. Bu yüzden kaynak memelerini eşit boyutlara getirmek kaynağın ısı dağılımının düzgün dağılmasını sağlar. Elbette kaynak memelerini boyutlandırmak, işleme maliyeti oluşturacaktır. Diğer bir unsur da kaynak boşluğunda daha yüksek ısı ve daha yoğun kaynak akımı demektir. Böyle bir teknoloji de maliyetlidir. Yine de değişik geometri iş parçalarını kaynatmak ancak projeksiyon yöntemi ile mümkün olmaktadır. Bütün bunların dışında bazı istisnai durumlar da, kaynak prosesi dizayn eden üreticileri zorlayabilir. Örneğin kaplamalı bir metalin üzerindeki kaplama kimyasalı, elektrot malzemesi ile reaksiyona girebilir. Yine kaynak noktasını her zaman ısının düzgün dağılacığı bir yere konumlamak mümkün olmayabilir. Uygun ısı dağılımı, başarılı ERW kaynağı için anahtar çözümdür. (Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)



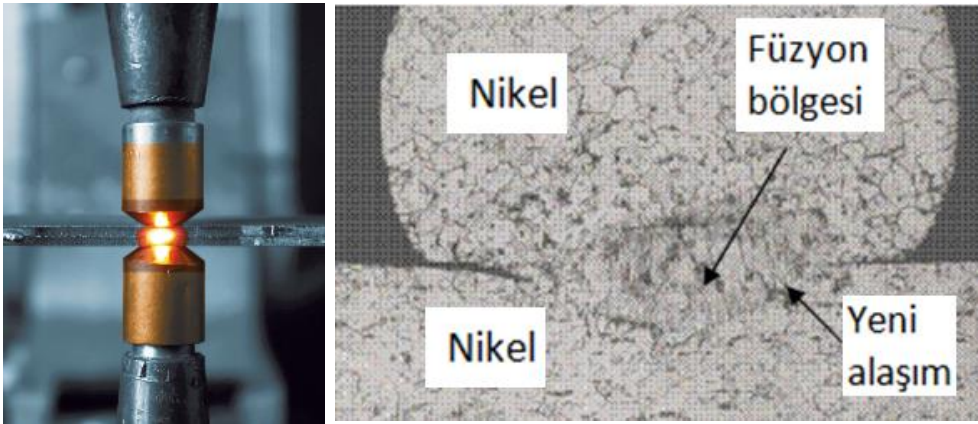
Şekil 2.35. Projeksiyon geometrinin uygun olmadığı durumlar.
(Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

2.3 ERW kaynağında bağ oluşumu

2.3.1 Füzyon bağ yapısı

ERW ile, baskı altında birleştirilen metaller arasından geçirilen elektrik akımı, iki metal arasında füzyon bölge oluşturur. Bu bölgenin kendisini oluşturan metallere göre elektrik direnci daha yüksektir. Böylece füzyon bölgesinde daha yüksek ısı oluşur ve birleştirilen iki metal bu noktada ergimeye devam eder. Füzyon bağlarının oluşturulması için, elektrik direnç kaynağı makineleri ile 0,5 ms ile 40 ms boyunca yüksek akım uygulanır. Bu sayede iki metal arasındaki boşlukta sıvı fazda eriyik oluşur. Soğuyan kaynak bölgesinde, daha iri tane yapısı ve diğer iki metalden farklı, yeni bir alaşım olan, çekirdek bölge meydana gelir. Bu yapıya FÜZYON BAĞ adı verilir. Çekirdek bölgedeki alaşımın çekme, basma ve kayma mukavemet değerleri, alaşımı oluşturan diğer metallerinkinden yüksektir.

Füzyon bağı aynı özelliklere sahip çelik, titanyum, alüminyum parçaların kaynağında tercih edilmelidir. Füzyon birleştirme, benzer özellikler göstermeyen metallerin kaynağında, (karbon çeliğinin paslanmaz çeliğine veya Titanyuma kaynağı gibi), martensitik, oldukça gevrek ve kırılabilir olacaktır. Füzyon bağı ile direnç kaynağı en yaygın ERW yöntemidir. Paslanmaz ve karbon çeliklerinin, alüminyum malzemelerin kaynağında da yaygın bir biçimde kullanılır.

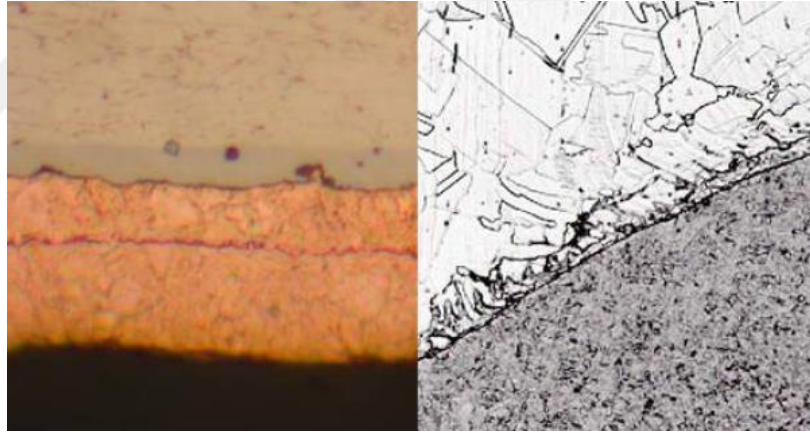


Şekil 2.36. Füzyon bağ yapısı (Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

2.3.2 Katı hal bağ yapısı

Kaynak yapmak için, her zaman metal parçaları punta noktasında eritmek gerekmez. İki metalin yumuşatarak form vermek yeterli olabilir. Her iki metal in temas noktalarında atomlar bağ oluşturabilirler (yüzey temiz olmak kaydıyla). Bu birleştirme yöntemine KATI HAL BAĞI adır verilir. Şekil 2.37’de, sınır bölgesinde farklı iki metalin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan katı hal bağ yapısı görülmektedir. Bu tip çizgi şeklindeki bağ yapısı sadece katı hal bağına özeldir.

Katı hal bağı genelde, iletken alaşımlarla Tantal, molibden veya tungsten gibi refrakter malzemelerin kaynağında kullanılır. Refrakter malzemelerin özellikleri Şekil 2.38’de belirtilmiştir. Aynı zamanda, birbirine benzemeyen ve füzyon bağ ile birleştirildiğinde gevrek ve kırılğan kaynak alaşımı oluşturan malzemelerin birleştirilmesinde de etkili bir yöntemdir. Bağ oluşumu, her iki malzeme de plastik şekil değiştirme fazındayken meydana gelir. Katı hal bağının çekme ve kayma mukavemeti çok yüksek olduğu halde soyulma direnci çok düşüktür.



Şekil 2.37. Katı Hal Bağı

(Girish Kelkar, Improving Heat Balance in Resistance Welding, 2007)

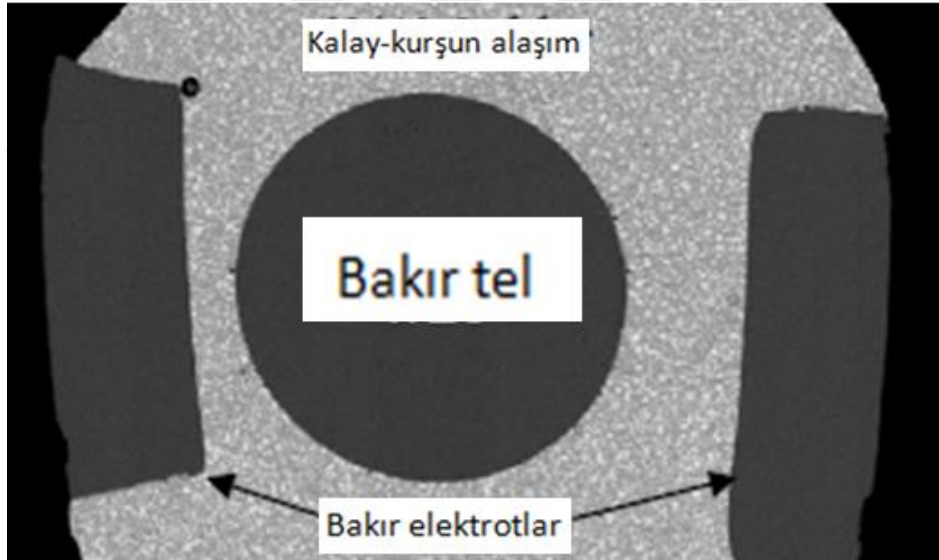
Metal Cinsi	W	Mo	Ta
Ergime Noktası (°C)	3410	2610	2996
Yoğunluk (g/cm ³)	19.3	10.2	16.6
Elastisite (kN/mm ²)	410	320	190
Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)	18	20	23
Isı İletkenliği (W/mK)	130	142	54

Şekil 2.38. Refrakter Malzeme Özellikleri

(Hakan Koçak, Bakır ve Bakır alaşımları, 2013)

2.3.3 Ara kaplamalı/lehimleme Bağı

Kaynatılması düşünölen metallerin üzerinde kaplama varsa, lehim yöntemi ile birleştirilirler. Kaplama korozyon direnci artırır, aynı zamanda iyi bir lehim malzemesi vazifesi görür. Kaplama malzemesi kaynak esnasında, katı hal bağındaki gibi davranarak mukavim bir bağ oluşturur. Kaynak ara yüzeyi diğler ERW metotlarının aksine, birleştirdiğı metallere daha az ısınır. Lehim arayüzü eriyerek iki metal yüzeyini de ergitir. Bu sayede iki metal arasında görünür bir *bağ çizgisi* oluşur. Lehim bağlarının çekme ve soyulma mukavemetleri yüksektir; ancak kayma mukavemetleri düşüktür. Şekil 3.40'da etrafında kalay-kurşun alaşım olan bakır telin görölmekte. Burada yine bakır elektrotlar yardımıyla, kalay-kurşun alaşımı, bakır telin etrafına lehimleme metodu ile kaynak edilir (David Steinmeier Laser & Resistance Welding – Metal Bond Types, 2001).



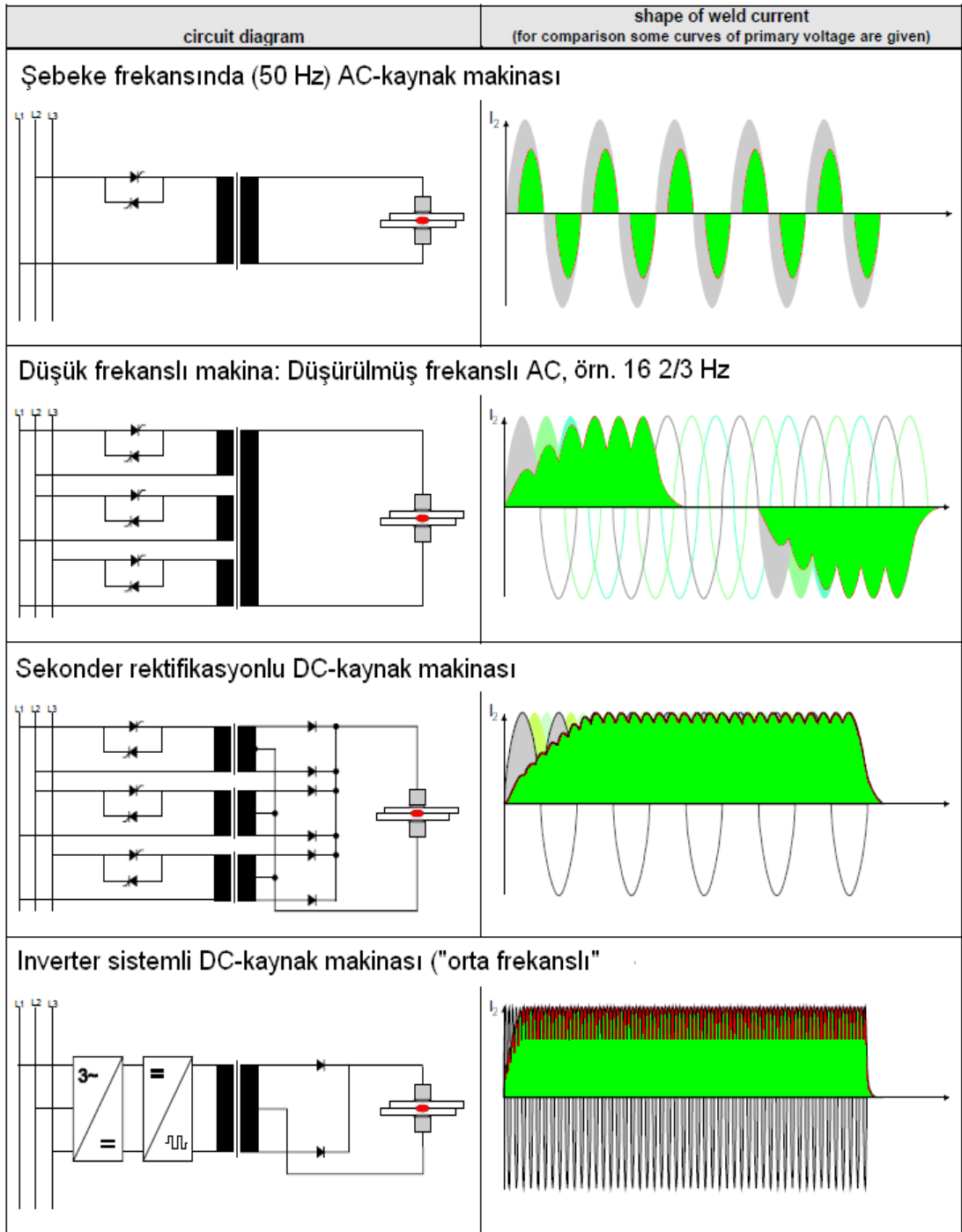
Şekil 2.39. ERW ile Kaplama/lehim bağı oluşturulması (David Steinmeier Laser & Resistance Welding – Metal Bond Types, 2001)

2.4 Direnç Kaynağı Türleri



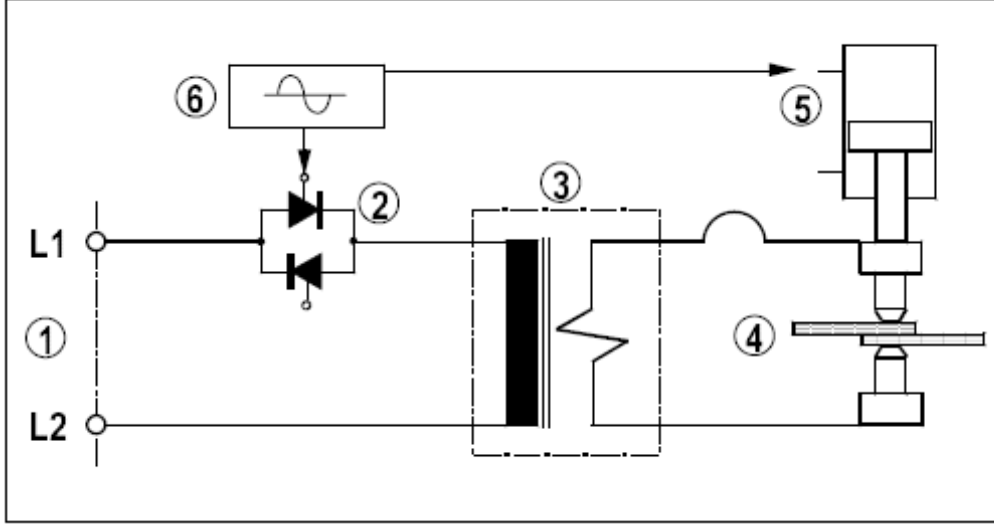
Şekil 2.40. DIN 1910-5 'e göre direnç kaynağı türleri

DIN normları ile belirlenen direnç kaynak türleri Şekil 3.40 ile gösterilmiştir. İlgili normlara internet sitelerinden ulaşmak mümkündür. Direnç kaynağı prosesi tasarlanırken kaynak tipi belirlenmeli; proses metodu ilgili normlar bulunarak yazılmalıdır. Her üretim tesisinin proseslerinde farklar olacağı aşikardır. Ancak normların belirttiği sınırlar, uzun zaman tecrübe edilerek elde edilmiştir. Kaynak yöntemi kadar seçilecek makine tipi de önemlidir. Şekil 3.41'de direnç kaynağında kullanılan makineler, elektrik devresi tasarımına göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.41. Direnç kaynak makinaları türleri
(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

2.4.1 Elektrik Direnç Kaynak Devresi Elemanları



Şekil 2.42. Elektrik Direnç Kaynağı Devresi (SCHLATTER AG, 2004)

1. Ana devre
2. Tristör
3. Transformatör
4. Sekonder devre
5. Baskı ünitesi
6. Proses kontrol ünitesi

(Schlatter AG, 2004)

Şekil 3.42'deki elektrik devresinde elektrik ana devre tarafından transformatöre iletilir. Transformatörün kapasitesi, kaynak kapasitesini belirler. ERW devrelerinde hem alternatif AC, hem de doğru akım kaynakları kullanılır. Bazı ERW makineleri tek faz, 60 Hz alternatif akım AC üretirler. Bu tip makinelerin düşük gerilimde yüksek akım üreten tek-faz transformatörleri vardır. Malzeme kalınlığına ve türüne bağlı olarak şebeke akımı 1000 amper'den 100.000 ampere kadar değişebilir.

2.4.2. Punta Kaynağı (Nokta Kaynağı)

Üst üste bindirilen parçaların elektrot basıncı altındayken, parçaların elektrik akımının geçişine olan direncinden oluşan ısı ile, *sadece bir noktada kaynak olmasına punta kaynağı denir.* Meydana gelen kaynak ebadı ve şekli elektrotların ebadına ve elektrot ucunun şekline bağlıdır. Tekli sabit punta kaynağı, genelde seri olmayan işlerde, küçük sanayi kuruluşlarında ve çoklu punta kaynak makineleri ise yüksek hacimli seri işlerde, örneğin otomotiv endüstrisinde kullanılır. Punta kaynağında esasında basınç, kaynak zamanı, akım, elektrot ucunun çağı vb. değişkenler dikkate alınarak, kaynak parametreleri belirlenir.(Hakan Koçak, Bakır ve Bakır Alaşımları, 2013)

Punta Kaynağının Avantajları:

- Ekonomik bir işlemdir.
- Tekil olarak kullanıldığına punta makinesi az yer kaplar
- İlk yatırım maliyetleri düşüktür.
- Düşük karbonlu çelik, galvanizli çelikler, paslanmaz çelik, alüminyum, nikel, titan ve bakır alaşımlarını içine alan farklı malzemelerin kaynağına müsaittir.
- Değişik kalınlıklardaki malzemelerin kaynatılmasında kullanılabilir. (genelde 0 – 3 mm kalınlığındaki parçalarda daha çok tercih edilirler)
- Diğer kaynak uygulamarındaki gibi ilave elektrot yada tel ilavesi gerektirmez.
- Kısa süreli bir işlemdir.
- Mikro kaynak tekniğinde kullanılabilir
- Otomotiv, beyaz eşya ve havacılık endüstrisi başta olmak üzere, ince sacların ve metal plakaların kaynağında kullanılabilir.
- Elektronik endüstrisinde lehimlemeye alternatif olarak kullanılır.
- Makinelere PLC adaptasyonu kolaydır, böylece aynı anda birden fazla makineyi haberleştirerek kullanmak mümkün olur.
- Robotlu ve otomasyonlu seri imalat hatlarına adaptasyonları kolaydır.



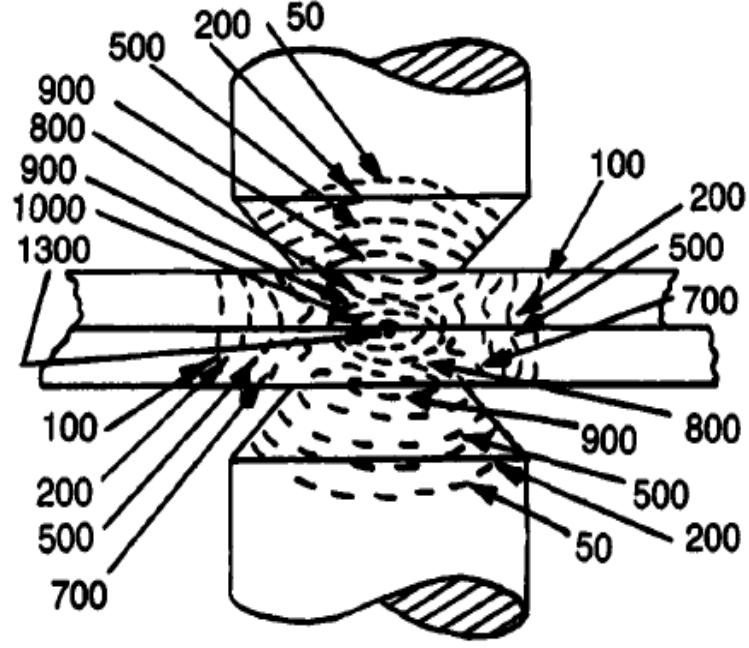
Şekil 2.43. BMW 3 Serisi araçların gövdelerinde kullanılan robot otomasyonlu punta kaynak makineleri (Wikipedia, 2015)

- Gaz altı veya elektrik kaynağı gibi, çevresel koşullardan etkilenmezler.
- Koruyucu gaz gerektirmezler.
- Elektrik ve mekanik sisteme, makinenin sağlıklı çalışması ve hatasız ürün çıkarması için Poka-Yoke ilaveleri kolaylıkla yapılabilir.
- Fikstür kullanımına son derece müsaittir.
- Diğer kaynak türlerindeki, uzun NDT muayeneleri gerektirmezler. Basit mekanik muayenelerle bile kalitesi hakkında fikir edinilebilir.
- Taşınabilir nokta kaynak makineleri üretim esnekliği sağlarlar.



Şekil 2.44. Taşınabilir Punta Kaynak Makinesi
(Resistance Welding Manual, RWMA, 2009)

Yine diğerk kaynak türlerindeki gibi çok yüksek ısılar ortaya çıkmaz. Yüksek sıcaklıklara erişilir ancak, ancak sistem iyi tasarlandığında yüksek ısı sadece punta bölgesinde oluşur. Sistem kesikli çalıştığı için soğumaya zaman kalır.

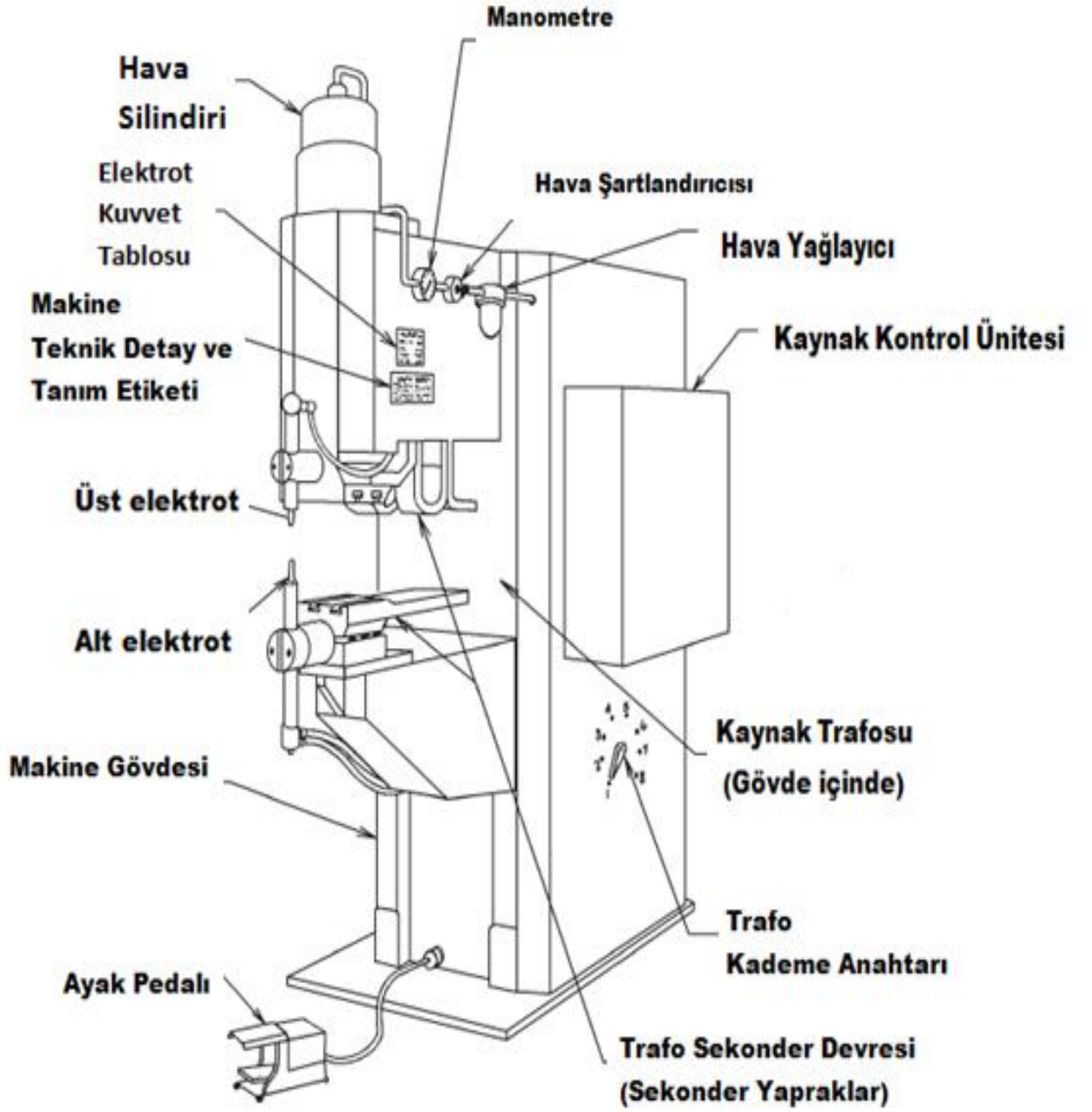


Şekil 2.45. Punta kaynağında °C cinsinden tahmini sıcaklık dağılımı
(Resistance Welding Manual, RWMA, 2009)

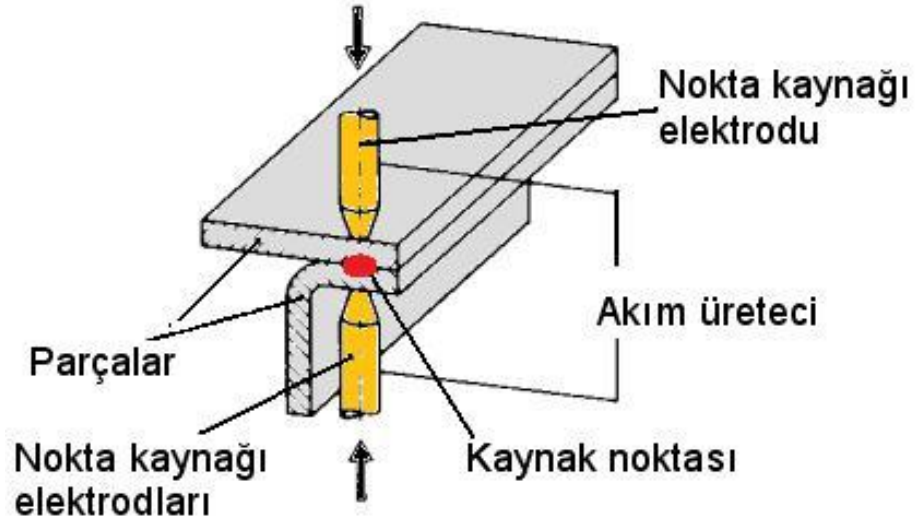
Aynı anda çok sayıda punta devresi yanyana bağlanabilir ve çok büyük iş parçaları verimli bir biçimde kaynatılabilir (Şekil 2.46).



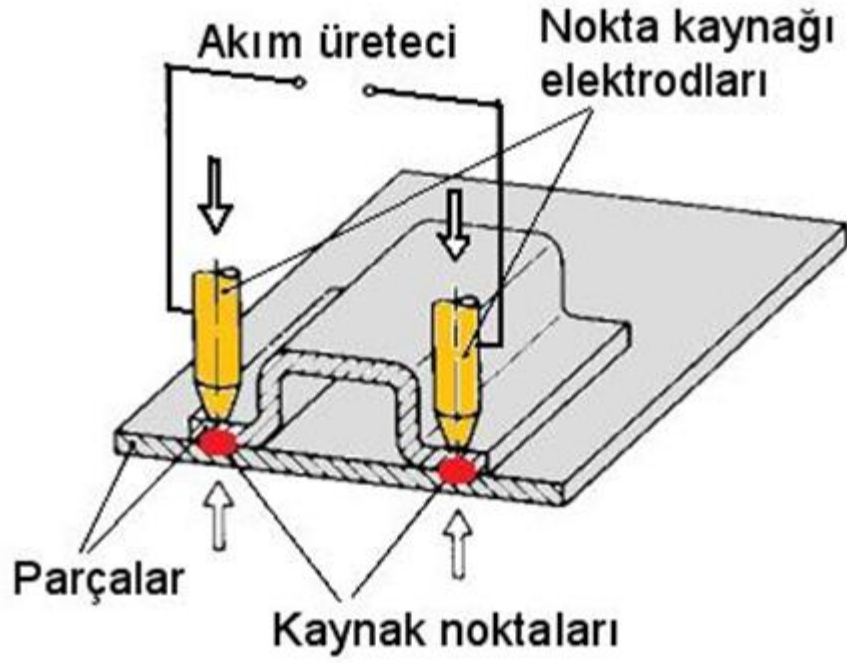
Şekil 2.46. Panel radyatör imalatında kullanılan çoklu punta kaynak makinesi (Schlatter AG, 2015)



Şekil 2.47. Tipik bir, baskı tipi sabit punta makinesi ve parçaları
(Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)



Şekil 2.48. Çift taraflı punta kaynağı (Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)



Şekil 2.49. Tek taraflı punta kaynağı (Gedik Ü. Kaynak Müh. Notları 2010)

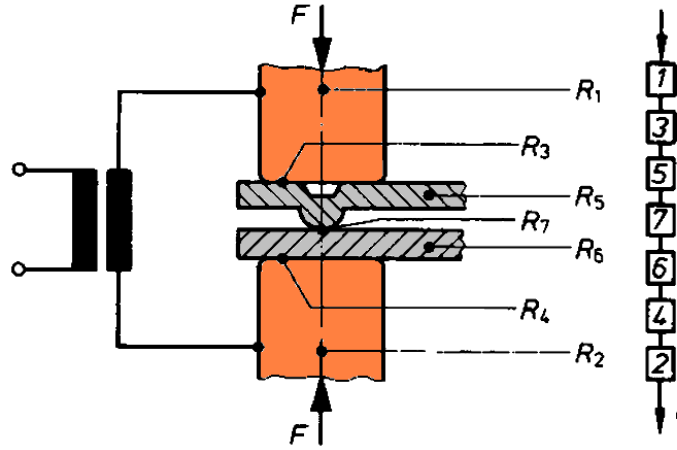
2.4.3 Projeksiyon (kabartı) kaynağı

Kabartı kaynağı, elektrik akımının ve kuvvetin, birleştirilecek parçalara düz ve büyük ölçülü elektrotlarla taşındığı bir direnç basınç kaynağı yöntemidir.

Kabartı şekli, birleştirme bölgesinde bir akım yoğunlaşması etkisi yapar.

Kabartı, kaynak sırasında elektrot kuvveti ve akım sayesinde ısınarak büyük ölçüde yeniden düzleşir ve kaynak bölgesinde çözülmez bir bağlantı oluşturur.

Isı etkisi, kısmi dirençlerin (R_1 ila R_7) toplamıyla ve akımın karesiyle orantılıdır (Gedik Kaynak Müh. Notları 2010).

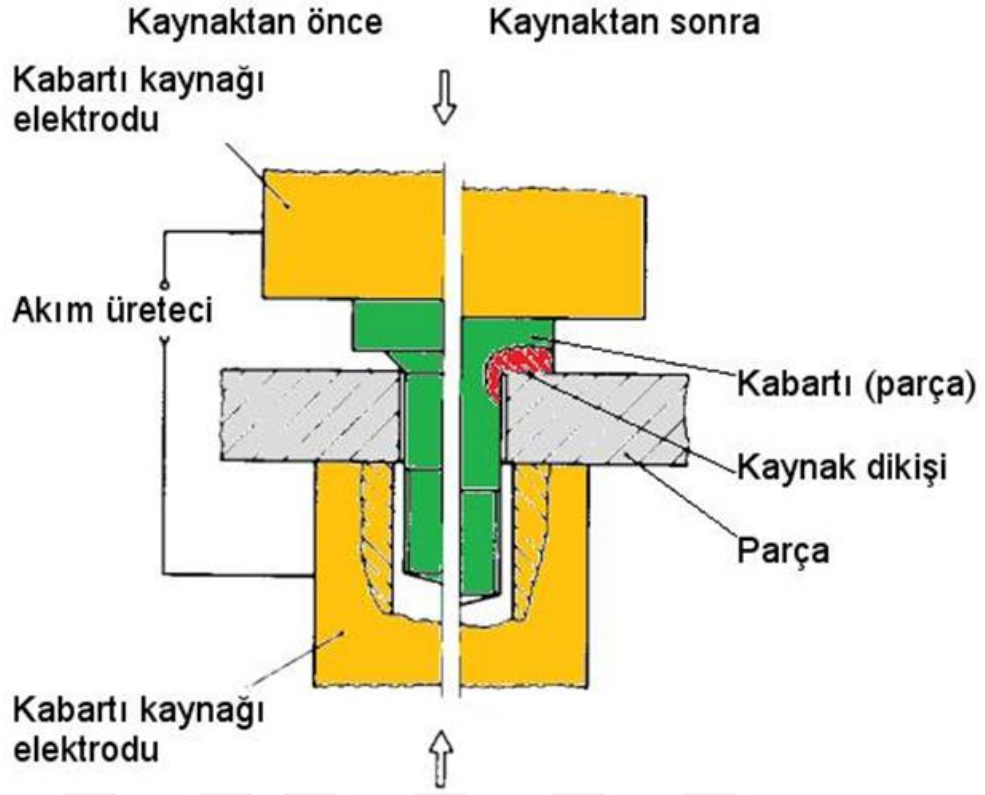


Şekil 2.50. Kabartı kaynağında dirençler
(Gedik Ü. Kay. Müh. Notları 2010)

Kabartı kaynağında kısmi dirençler.

R_1 ve R_2	Elektrod dirençleri
R_3 ve R_4	Elektrod-çelik saç temas direnci
R_5 ve R_6	Çelik saç malzeme direnci
R_7	Çelik saç - çelik saç temas direnci

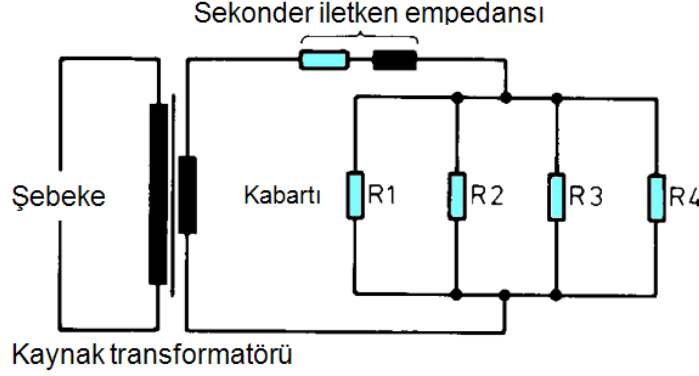
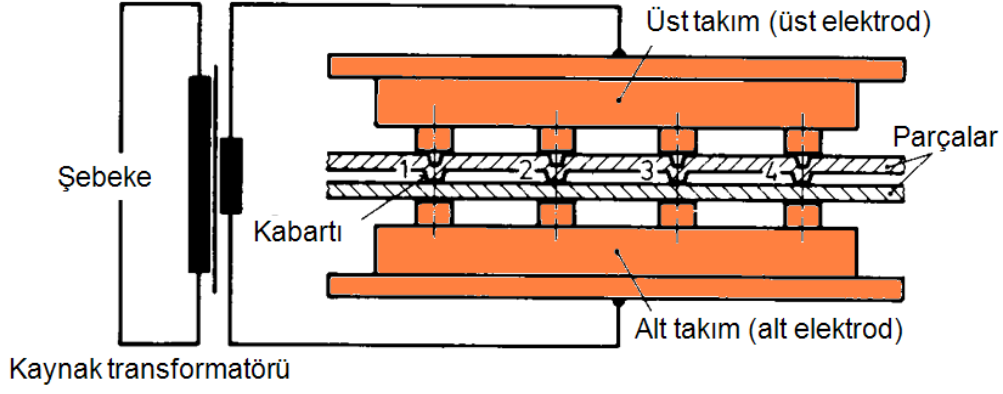
Kaynak yapılacak parçalar arasındaki R_7 temas direnci, kabartı formundan, baskı kuvvetinden ve parçaların yüzey durumundan etkilenir.



Şekil 2.51. Projeksiyon kaynağı (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

Ayrıca;

- tek impulsu kaynak
- çok impulsu kaynak
- akım yükselmesiyle kaynak
- kuvvet programıyla kaynak
- kuvvet-akım programıyla kaynak türleri mevcuttur.

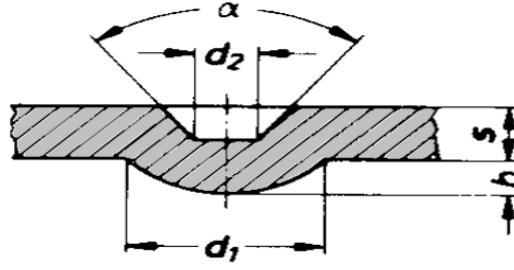


Şekil 2.52 . Çoklu kabartı kaynağının şematik görünüşü ve prensip şeması.
(Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

Projeksiyon Kaynak makinasında en az üç parametrenin değeri ayarlanır: Elektrod kuvveti, Kaynak akımı ve Akım süresi. Belirli malzemeler, parça kalınlıkları ve yüzeyleri, ilave ayarlar gerektirir. Bunlar arasında akım yükselmesi, akım aralık süresi, akım impuls sayısı ön ve son tavlama ve akım-kuvvet programının değerleri sayılabilir. Diğer parametreler:

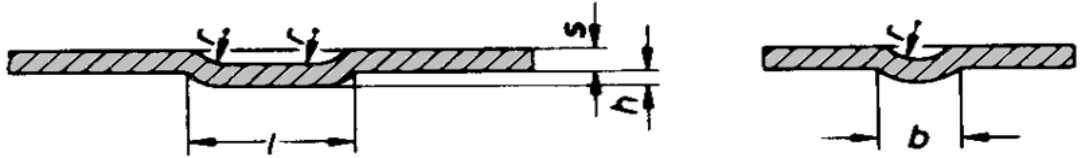
- Kabartının geometrisi,
- Kabartı sayısı,
- Kabartıların düzeni,
- Makinanın elektriksel işletme davranışı.

Projeksiyon kaynağında kabartı boyutlandırma



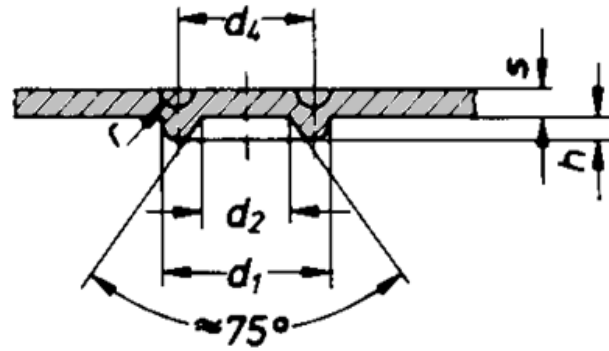
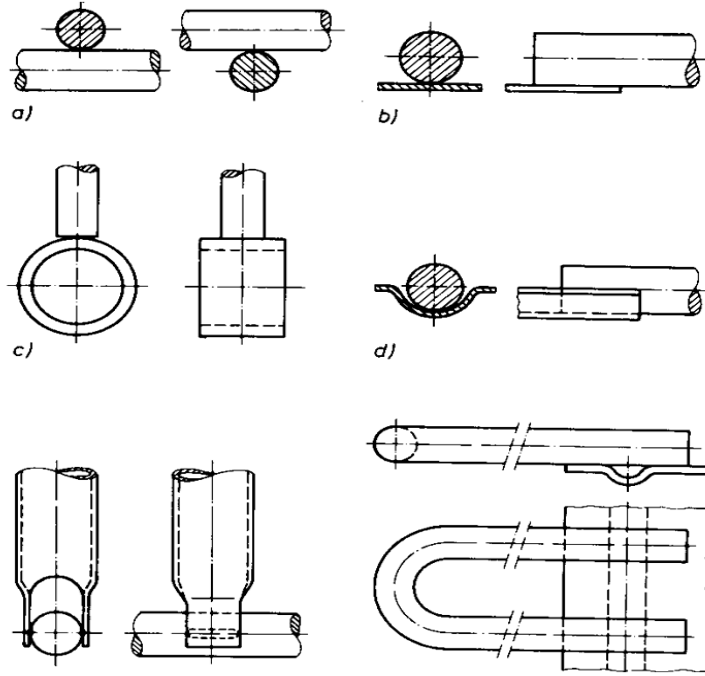
Saç kalınlığı		Kabartı çapı	Kabartı yüksekliği	Istampa çapı	Açı
1.Sıra	2.Sıra	d_1 $+0,1$ 0	h $-0,1$ 0	d_2	α
$\leq 0,5$	-	1,6	0,4	0,5	60°
$> 0,5 \leq 0,63$	-	2,0	0,5	0,63	
$> 0,63 \leq 1,0$	-	2,5	0,63	0,8	
$> 1,0 \leq 1,6$	$> 0,63 \leq 1,0$	3,2	0,8	1,0	
$> 1,6 \leq 2,5$	$> 1,0 \leq 1,6$	4,0	1,0	1,25	
-	$> 1,6 \leq 2,5$	5,0	1,25	1,6	
-	$> 2,5 \leq 3,2$	5,6	1,4	1,8	

Şekil 2.53. Dairesel kabartılar (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)



Saç kalınlığı	Kabartı boyu	Kabartı genişliği	Kabartı yüksekliği	r
s	l_{min}	b	h $-0,1$ 0	
$\leq 0,5$	3,2	1,6	0,4	0,5 · b
$> 0,5 \leq 0,63$			0,5	
$> 0,63 \leq 1,0$			0,63	
$> 1,0 \leq 1,6$	6,3	2,5	0,8	
$> 1,6 \leq 2,5$	8,0	3,2	1,0	
$> 2,5 \leq 3,2$	10,0	4,0	1,25	

Şekil 2.54. Uzun kabartılar (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)



Saç kalınlığı s	Kabartı çapı d_1 $+0,1$ 0	d_2	d_3 ²⁾	d_4	r ²⁾	h 0 $-0,1$
$0,5 \leq 0,8$	3,0	1,6	1,7	2,3	0,3	0,4
$>0,8 < 1,0$	4,0	2,0	2,2	3,0	0,4	0,5
1	4,5	2,0	2,25	3,25	0,5	0,5

Şekil 2.55. Doğal ve Halka kabartılar (Gedik Ü. Kay. Müh. Notları 2010)



Şekil 2.56. Çelik Hasır imalatında kullanılan çok noktalı projeksiyon kaynak makinesi (Schlatter AG, 2017)

2.4.4 Dikiş kaynağı

Akım ve kuvvet, disk şeklindeki bir çift elektrod aracılığıyla veya bir disk elektrod ile bir örs veya düz elektrod tarafından taşınır. Parçaların birbirine bastırılan yüzeyleri, basınç altında yeterli derecede ısıtıldıktan sonra kaynak yapılır. Kaynak noktaları arasındaki mesafeye göre sızdırmaz dikişler veya kesintili dikişler (dikiş nokta kaynağı) üretilebilir (Gedik Kaynak Müh. Notları 2010).

Bu yöntemle iki iş parçası ısınarak birbiri içine ergir ve kaynar. Folyo kullanarak dikiş kaynağı yapmak da mümkündür.

Avantajları:

- Yüksek kaynak hızları
- Temiz yüzey
- Sızdırmaz dikiş

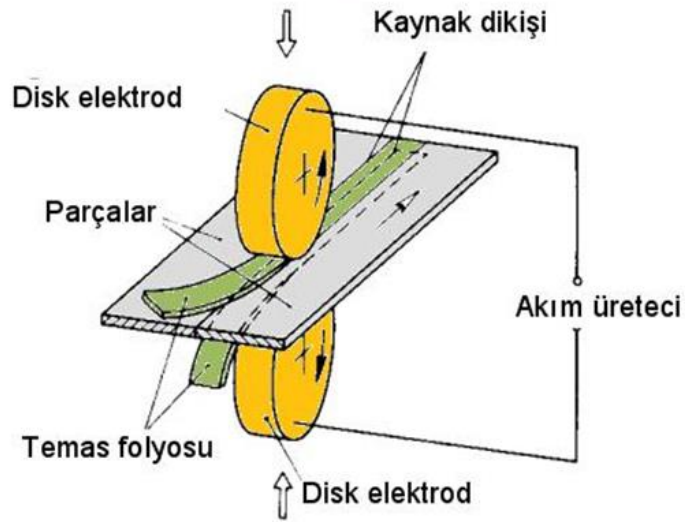
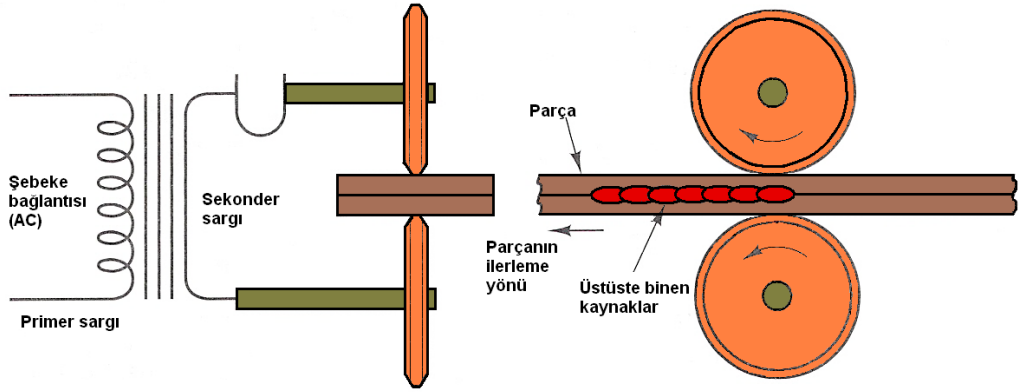
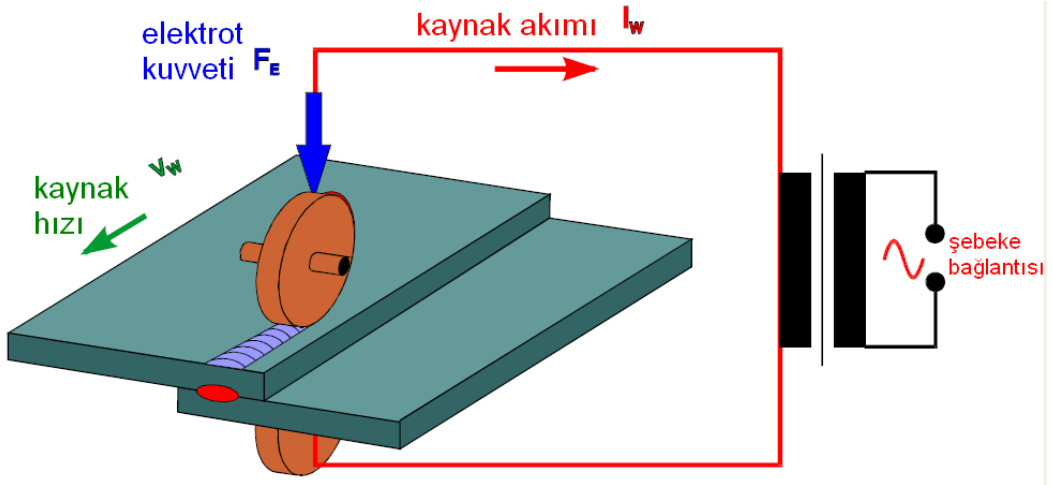
Dezavantajaları

- Punta, kabartılı punta ya da projeksiyon kaynağına göre daha ince plakalar kaynatılabilir.
- Yüksek ısı açığa çıkar; diskler iyi soğutulamazsa dikiş dayanımı düşük olur.
- Donanım maliyeti çok yüksektir.

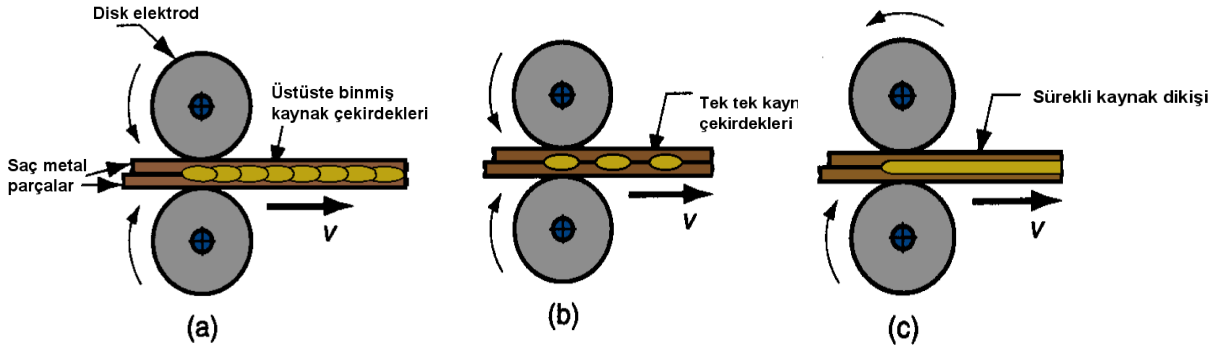
Kullanım alanları

- Konserve ve kutu imalatı
- Boru imaları
- Radyatör imalatı
- Taşıt imalatı

(ODTÜ Kaynak Müh. Notları 2010).



Şekil 2.57. Dikiş kaynağı devresi ve folyo uygulaması (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

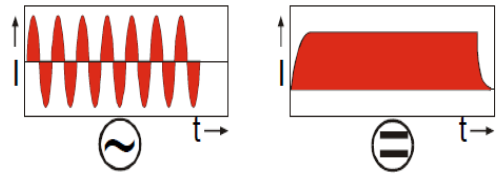
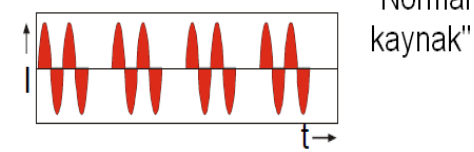
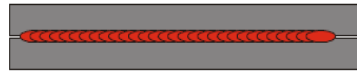
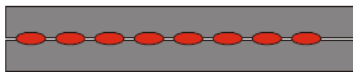
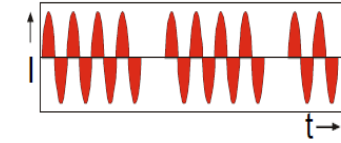
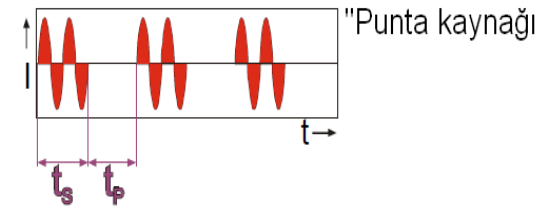
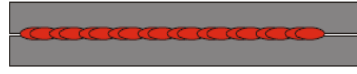
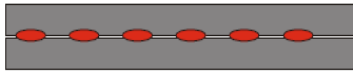


Makaralı nokta kaynağı

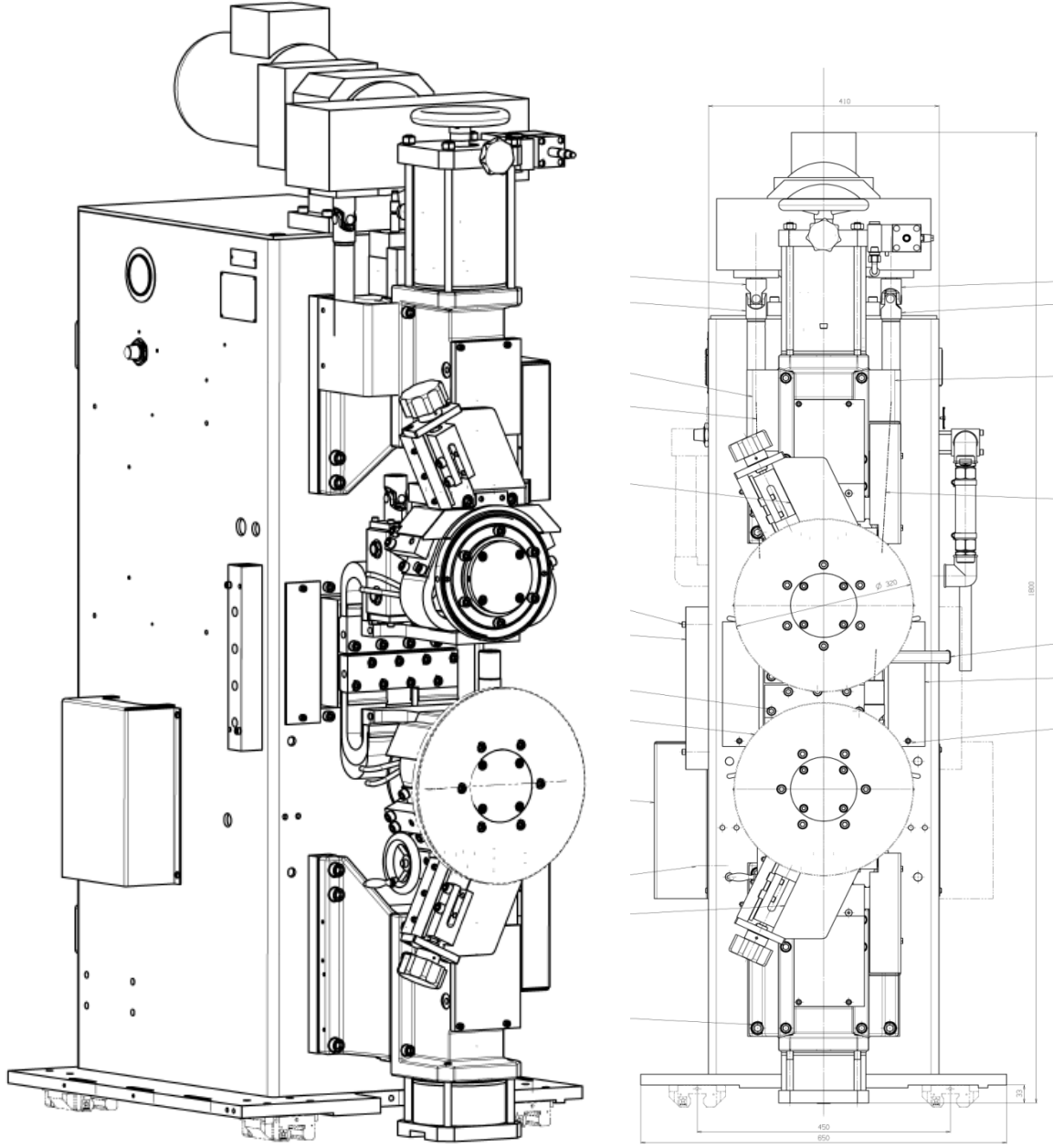
Dikiş kaynağı

Tüm akım programı türleri

Akım programı



Şekil 2.58. Dikiş kaynağı türleri (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

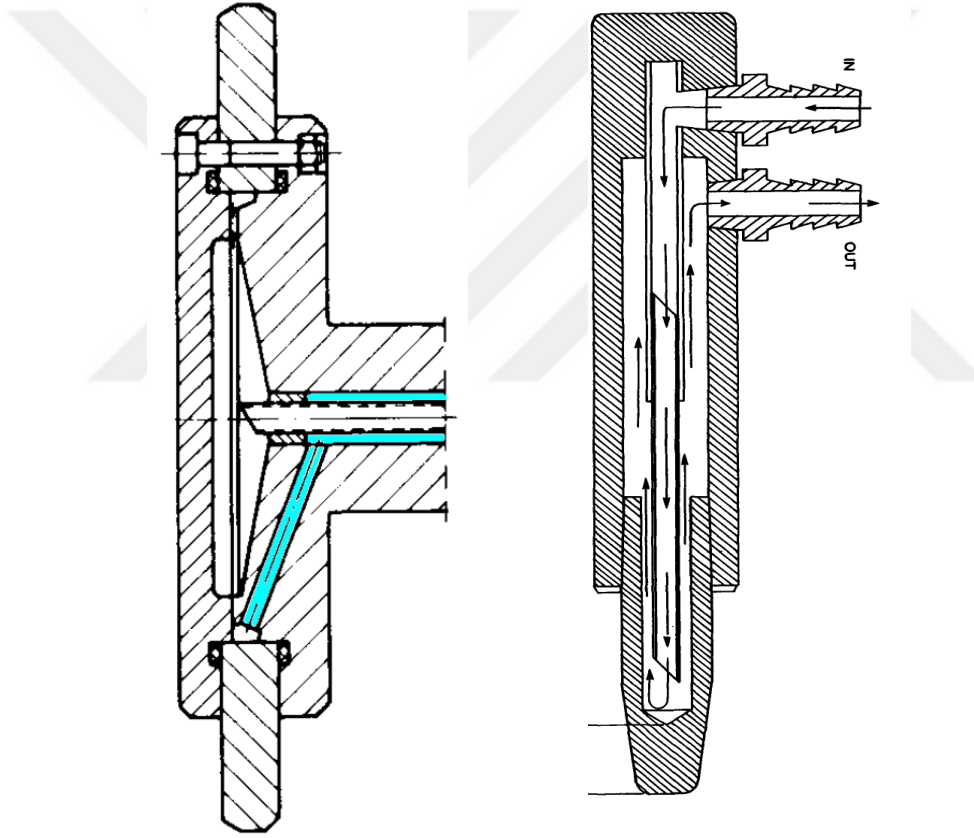


Şekil 2.58. ERW Dikiş kaynağı makinesi (Schlatter AG, 2004)

Dikiş Kaynağında Disk Elektrotların Soğutulması

Disk elektrotlar, uygun şekilde soğutulmalıdır. Bu durum özellikle galvanizli veya kalaylı saçların, yumuşak saçların, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında önemlidir; zira bu malzemeler disk elektrotla alaşım oluşturabilir.

Elektrotların soğutulması, büyük çaplarda elektrotun mili üzerinden, küçük çaplarda da bir su banyosu aracılığıyla gerçekleştirilir. İlk durumda, soğutma suyu kural olarak bir su dağıtıcısıyla, elektrot milinin flanşına veya elektrotun içindeki boşluğa iletilir (Şekil 2.60). Bir su banyosu aracılığıyla soğutmada, suyun beslenmesi, alttan veya üstten olabilir.



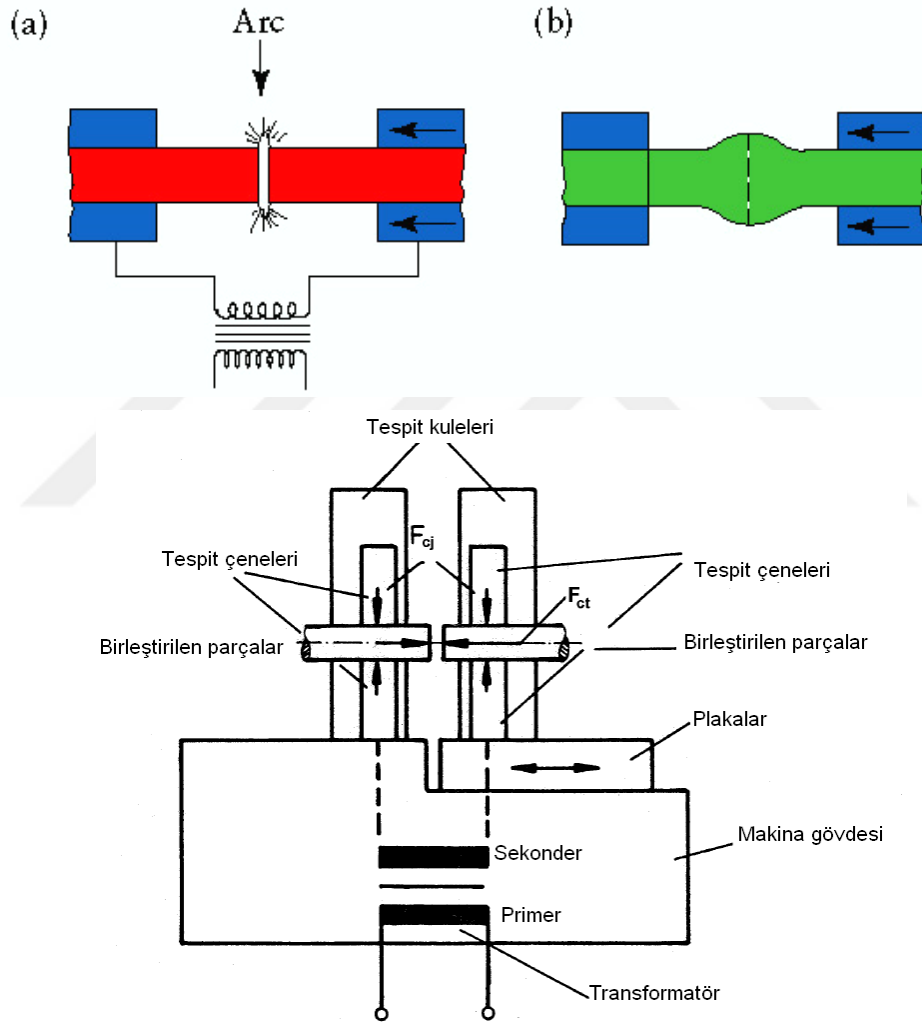
Şekil 2.60. Disk ve punta elektrotların soğutma sistemi (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

2.4.5 Yakma Alın Kaynağı

Normal olarak alın bağlantılar için kullanılan bir yöntem. Birleştirilecek iki yüzey, temas veya yakın hale getirilir ve yüzeyleri erime sıcaklığına çıkaracak ısıyı üretmek için elektrik akımı uygulanır; daha sonra kaynağı oluşturmak üzere yüzeyler birbirine bastırılır.

Yakma alın kaynağı: (a) elektrik direnciyle ısıtma;

(b) yığma – parçaların birbirine bastırılması

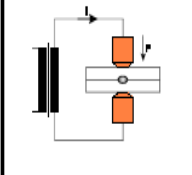
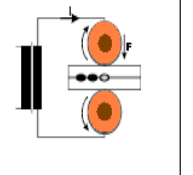
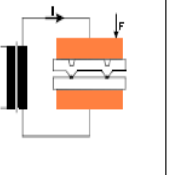
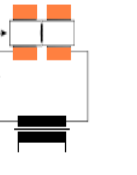


Şekil 2.61. Yakma alın kaynak ekipmanı

(Gedik Ü. Kay. Müh. Notları 2010)

2.5 ERW Kaynak Prosesi

Çizelge 3.8. Akım türüne ve akım ve kuvvetin zamanla değişimine göre sınıflandırma (GedikÜ.Kay.Müh.Notları 2010)

		 RP nokta kaynağı	 RR dikiş kaynağı	 RB kabartı kaynağı	 RPS, RA basıncılı ve yakma alın kaynağı
Uygulama alanı		St: 0,1 ... 12 mm Al: 0,2 ... 4 mm	St: 0,1 ... 3 mm	St: 0,5 ... 6 mm 1 ... 25 kabartı	St: 1 ... 40000 mm ²
kuvvet	F_E [N]	50 ... 150000	1000 ... 7000	500 ... 300000	2000 ... 500000 (upsetting)
kaynak akımı	I_s [kA]	1 ... 100	5 ... 30	5 ... 200	1 ... 80
zaman	t_s [Per] [s]	1/2 ... 250 0,01 ... 5	1 ... sürekli 0,02 ... sürekli	1 ... 50 0,02 ... 1	- 2 ... 1000
boşta çalışma gerilimi	U_{20} [V]	1,5 ... 15	5 ... 8	5 ... 9	5 ... 15
Anma gücü	S_A [kVA]	5 ... 400	20 ... 250	10 ... 800	20 ... 1600
primer akım	I_1 [A]	4 ... 1000	4 ... 600	4 ... 3000	4 ... 2000
kaynak hızı	v_s [m/min]	---	0,9 ... 5	---	---
yığıma hızı	v_{st} [mm/s]	---	---	---	25 ... 200

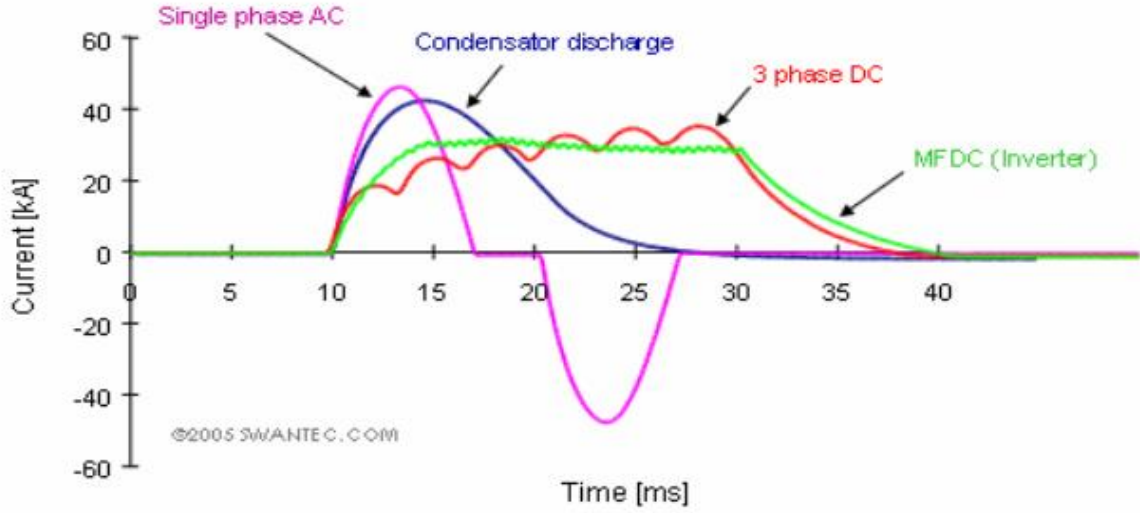
2.5.1 Proses Parametreleri

ERW kaynağında proses parametreleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kaynak akımı
- İş parçası kalınlığı
- İş parçasının malzeme türü ve sertliği
- İş parçasının kaplama kalınlığı ve türü
- Baskı zamanı
- Kaynak Zamanı
- Tutma Zamanı
- Elektrot Kuvveti
- Elektrot Boyutları ve çekirdek geometrisi
- Makine tipi AC/DC
- Proses usülü

Kaynak akımı

direnç kaynağında ısı üretilmesini sağlayan en önemli parametredir ($Q=I^2.r.t$). Kaynak çekirdeğinin boyutu, kaynak akımının artmasıyla birlikte hızla artar, ancak aşırı yüksek akım, elektrot bozulmalarıyla sonuçlanır. Şekil 3., direnç kaynağında uygulanan kaynak akımının tipik hallerini göstermektedir: üretimde en çok kullanılan akım türleri tek fazlı alternatif akım (AC), üç fazlı doğru akım (DC), kondansatör deşarjı (CD) ve yeni geliştirilen DC orta frekans çeviriciler olarak sıralanabilir. Kaynak akımının ortalama karekök (RMS) değerleri makinenin parametre ayarlarında ve proses kontrollerinde kullanılır.



Şekil 2.62. ERW kaynağında akım/zaman ilişkisi (Swantec, 2005)

Malzeme özellikleri

Malzeme özellikleri, direnç kaynak işleminin dinamiklerine katkıda bulunan sıcaklıkla değişir. Malzemenin direnci ısı oluşumunu etkiler. Isı iletkenliği ve ısı kapasitesi ısı transferini etkiler. Düşük özdirenç ve yüksek ısı iletkenliği olan gümüş ve bakır gibi metallerde, yüksek kaynak akımı ile bile çok az ısı üretilir ve aynı zamanda hızla ortamdan atılır. Direnç kaynağı ile kaynak yapmak oldukça detaylı ve zor bir prostedir. Öte yandan, elektrotlar için malzemeler seçimi de kritiktir. Farklı metaller kaynak edildiğinde, daha yüksek dirençli metalde daha fazla ısı üretilir. Projeksiyon kaynağında kaynak parçalarını tasarlarken ve nokta kaynakta elektrotların biçimlerini seçerken malzeme özellikleri belirleyicidir. Malzemenin sertliği temas direncini de etkiler. Sert metaller (daha yüksek akma gerilmesi ile) aynı kaynak kuvvetinde daha yüksek temas direncine neden olur, zira kaba yüzeydeki şekil bozuklukları deformasyona sebep olur ve gerçek temas alanı azalır. Özellikle hafif metal ve demir dışı metallerin birleştirilmesi için, ısı dengesini sağlamak üzere farklı elektrot malzemeleri de kullanılmıştır.

Malzemelerde yüzey kaplamaları, korozyondan korunma veya daha detaylı yüzey işlemleri için uygulanır. Bu yüzey kaplamaları genellikle kaynak işlemini zorlaştırır. Yüzey kaplamaların her birine göre özel parametre ayarları yapılmalıdır. Kaynak edilmesi zor alaşımların, kaynak işlemini kolaylaştırmak için çeşitli yüzey

kaplamaları getirilmiştir. Bu yüzey kaplamaları ısı dengesini kaynak arayüzünde sağlayabilmek için stratejik olarak seçilmiştir. Yüzey kaplamalarının çoğu kaynak sırasında sıkışmakta, bazıları kaynak ara yüzeyinde bir lehim metali gibi kalmaktadır.

Elektrod ve iş parçalarının geometrisi ve boyutları, akım yoğunluğu dağılımını ve dolayısıyla direnç kaynağının sonuçlarını etkilediğinden çok önemlidir. Elektrodların geometrisi, akım yoğunluğunu ve kaynak çekirdeğinin nihai boyutunu belirler. Farklı kalınlıklarda iş parçaları, farklı kaynak akımlarına ve farklı proses parametre ayarlarına ihtiyaç duyarlar. İş parçalarının geometrisinin tasarımı, özellikle farklı metalleri birleştirirken malzeme özellikleri ile birlikte düşünülmesi gereken projeksiyon kaynağında kritik öneme sahiptir. Örnek vermek gerekirse, kabartma veya çıkıntı, kaynak arabiriminde daha iyi bir ısı dengesi elde etmek için, daha düşük dirençli malzeme üzerine yerleştirilmelidir (Swanec, 2005).

Kaynak zamanı

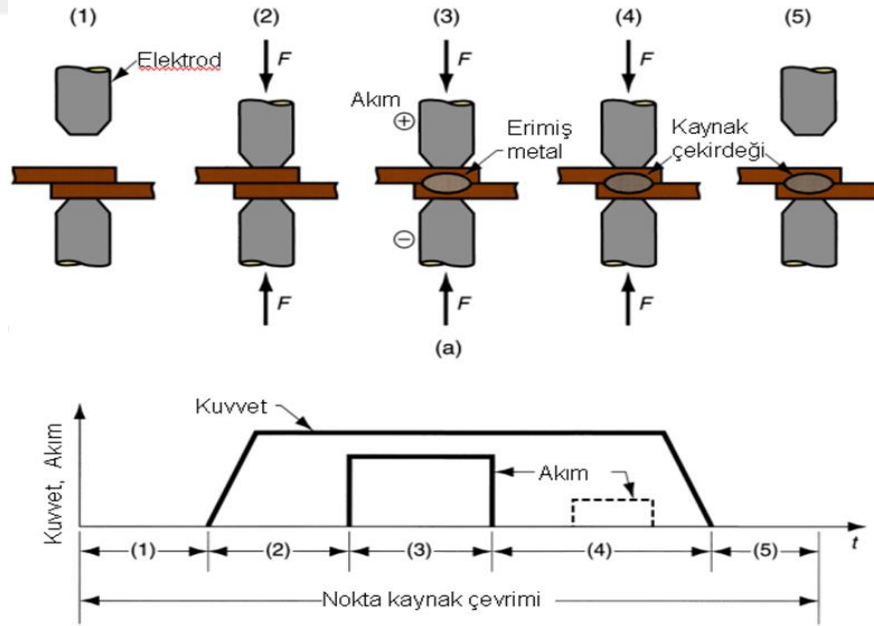
ERW kaynağında kaynak kalitesi, metallerin direncine ve kaynak yapmak için gerekli ısıyı üretmek için akan akım miktarına bağlıdır. Bir diğer önemli faktör ise zamandır. Çoğu durumda, nokta kaynağı yapmak için yüksek amper kullanılır. Nispeten yüksek dirençle akan bu amper değerleri, kısa sürede çok fazla ısı yaratacaktır. İyi bir direnç kaynağı yapmak için, akımın aktığı süreyi kontrol etmek gerekir. Aslında, tek impuls dirençli nokta kaynak uygulamalarında kontrol edilebilir değişken zamandır. Akımın kontrol edilmesi ekonomik olarak çok pratik değildir ve çoğu durumda öngörülemeyen bir durumdur. Punta ERW kaynağı çok kısa sürelerde yapılır. Alternatif akım normal olarak kaynak işlemi için kullanıldığından, prosedürler 60 çevrim süresine (altmış döngü = 1 saniye) dayanabilir.



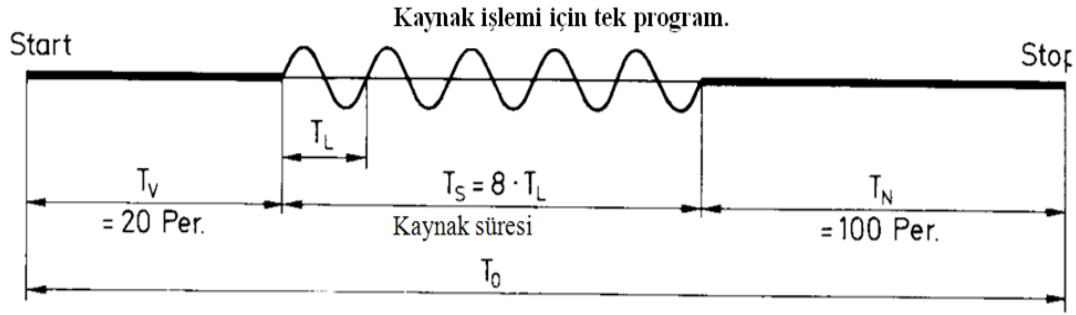
Şekil 2.63. direnç noktasının kaynak süresi döngüsü

(Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

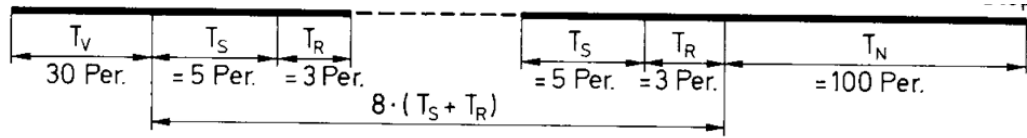
Kaynak zamanı çok uzunsa, iş parçalarının erime noktasını aşabilir. Bu da hatalı kaynak ya da gözeneklere neden olabilir.. Kısa kaynak süresi de, iş parçası üzerinde ısı oluşumunu engeller. Isıdan etkilenen bölge esas olarak daha küçük olur ve uygun çekirdek büyüklüğüne ulaşamaz.



Şekil 2.64. ERW zaman çevrimi (Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)



$$ED (\%) = \frac{n \cdot T_L \cdot 100}{T_V + T_S + T_N} = \frac{100 T_S}{T_0} = \frac{100 \cdot 8}{128} = 6,25\%$$



$$ED (\%) = \frac{m \cdot T_S}{T_V + m (T_S + T_R) + T_N} = \frac{8 \cdot 5}{30 + 8 (5 + 3) + 200} = \frac{40}{30 + 64 + 200} = 13,6\%$$

Şekil 2.65. Kaynak zamanının hesaplanması –

tek programlı & çok programlı kaynaklar için % olarak devrede kalma süresi

(Gedik Ü. Kay. Müh.Notları 2010)

- T_S : devrede kalma süresi T_L : şebeke geriliminin periyot süresi
 T_0 : çoklu periyot kontrolünün periyot süresi
 T_V : ön basma süresi T_N : Son basma süresi
 T_R : Bir T_0 çevrimindeki akımsız süre

Baskı Kuvveti

Baskı kuvvetinin amacı, kaynak yapılacak parçaları kaynak ara yüzeyinde sıkı temasta tutmaktır. Bu eylem kaynak noktasında tutarlı bir elektrik direnci ve iletkenlik kazandırır. İş parçalarını bir araya getirmek için maşa ve elektrod uçları kullanılmamalıdır. Baskı uygulanmadan önce kaynak yapılacak parçalar sıkı temas içinde olmalıdır.

Uygun baskı kuvveti sayesinde iş parçaları temas yüzeyleri arasındaki direncin azalmasını sağlamaktadır. Baskı kuvveti ne kadar yüksek olursa iş parçaları ve elektrodlar arasındaki dirençler de azalır. Elektrot ucu ve iş parçasının sıkı temas

ettiği baskı kuvveti sayesinde, kaynağın ısı iletimi ve çekirdek bölgesi ısı dağılımı da daha uygun olacaktır. Daha yüksek akımların söz konusu olduğu kaynak proseslerinde daha yüksek basınç gereklidir. Akım düştükçe baskı kuvveti de azaltılmalıdır. (Resistance welding handbook miller, 2010)

Elektrot boyutları

Kaynak için kullandığımız akımın iş parçası üzerinden nasıl geçeceğini belirlemek için elektrodun boyutları ve geometrisi çok önemlidir. Kaynak çekirdeğini elektrod boyutlarının kontrol ettiğini söylersek yanlış olmaz.

Örneğin elektrot ucu çapı uygulama için çok küçükse, kaynak külahı küçük ve zayıf olacaktır. Bununla birlikte, elektrot ucu çapı çok büyükse, ana metalin aşırı ısınması ve boşlukların ya da gaz ceplerinin oluşması tehlikesi vardır.

Her iki durumda da, bitmiş kaynağın görünümü ve kalitesi kabul edilebilir olmayacaktır.

Elektrot ucu çapını belirlemek için kaynak tasarımcısının iş parçası ve elektrod boyutları üzerine bazı kararlar vermesi gerekecektir. (Resistance welding handbook miller, 2010)

ERW’de malzeme kalitesini 4 aşamada belirlenir.

1. Kaynak ekipmanı seçilir ve kurulur. Denemelerden çıkan sonuçlara göre kaynak parametreleri seçilir. Bu parametreler kullanılarak tahribatlı muayeneler yapılır.
2. Ana iş parçası üzerinde kaynaklı denemeler yapılır. Verilen mukavemet yükleri ile iş parçasının tahribatlı muayenesinden çıkan sonuçlar karşılaştırılır. Buna göre makine ve ekipman kalibre edilir.
3. Üretim yapılır
4. Sonuçlar değerlendirilir. Güvenlik sınıfına karar verilir

A güvenlik sınıfı : insan hayatının söz konusu olduğu kaynaklı taşıyıcı bağlantılar için

B güvenlik sınıfı : ürün veya hizmetin kullanılmaz hale gelebileceği durumlar için

C güvenlik sınıfı : uygunsuzluk halinde ürünün kullanımını direkt olarak etkilemeyecek kaynaklı bağlantılar için kullanılır.

AC1Z (CuCrZr)

SPESİFİKASYONLAR:

DIN	ASTM	RWMA
w.nr.2.1293	C 18150	Class II

CHEMICAL COMPOSITION :

Cr	Zr	Fe	Si	Pb	Diğer	Cu
0,3-1,2	0,03-0,3	0,05 maks.	0,05 maks.	0,05 maks.	0,1 maks.	Kalan

MALZEMENİN TANIMI:

Yaklaşık olarak %1 Krom ve %0,1 Zirkonyum içerir. Sıcak dövme ile şekillendirmeden sonra çökeltme sertleşmesi ve yaşlandırma ısı işlemleri ile yüksek sertlik ve iletkenlik kazanır.

KULLANIM ALANLARI:

Direnç kaynağında; düşük Karbonlu çeliklerin ve galvanizli sacların nokta kaynak elektrodu, elektrot tutucusu ve dikiş kaynak diski olarak kullanılır. Erozyon makinalarında dalıcı elektrot olarak kullanılır. Çelik ve Alüminyumun sürekli dökümünde kalıp olarak kullanılır. Mekanik stres altında çalışan elektriksel parçalar ve trafolarda irtibat barası olarak kullanılır. Demirdışı metallerin dökümünde alçak yükte çalışacak kalıp olarak kullanılır.

MEKANİK ÖZELLİKLER*:

Kopma Mukavemeti Rm	: 370-440 N/ mm ²
Akma Mukavemeti Rp 0,2	: 270-350 N/ mm ²
Uzama (A5)	: %10-18 min.
Sertlik (Brinell)	: 135 HB30
Sertlik (Rockwell)	: 75 HrB
Elastik Modül	: 120 x 10 ³ N/ mm ²

FİZİKSEL ÖZELLİKLER*:

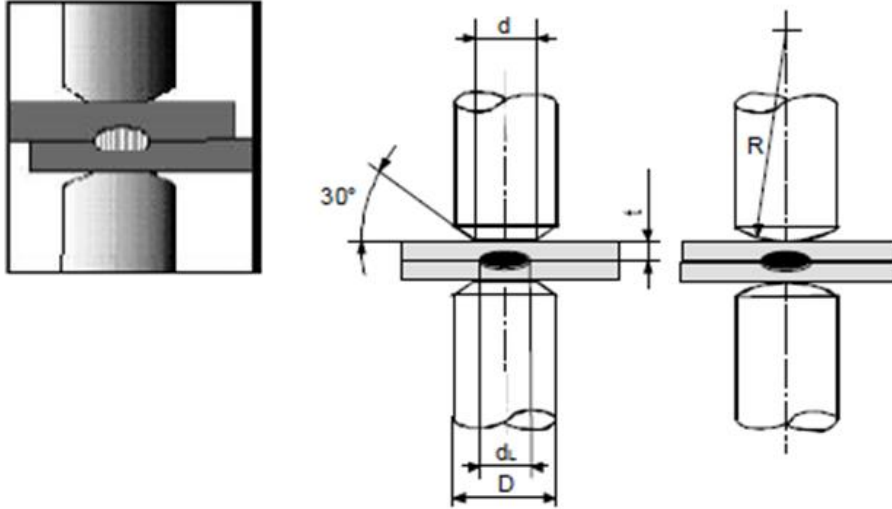
Özgül Ağırlık	: 8.9 g/ cm ³
Özgül Isı	: 0,38 J/g.K
Elektrik İletkenliği	: 45-49 MS/ m
Elektrik İletkenliği	: 70-76 %
Termal İletkenlik	: 320 W/ m.K
Termal Genleşme Katsayısı	: 20-100 °C 17,0 X 10 ⁻⁶ /K
Çalışma Sıcaklığı	: 500 °C maks.

Şekil 2.66. ERW kaynağında en sık kullanılan bakır elektrodları için TDS örneği – DIN 5182 (Albaksan 2017)

Elektrod boyutlandırma çizelgeleri :

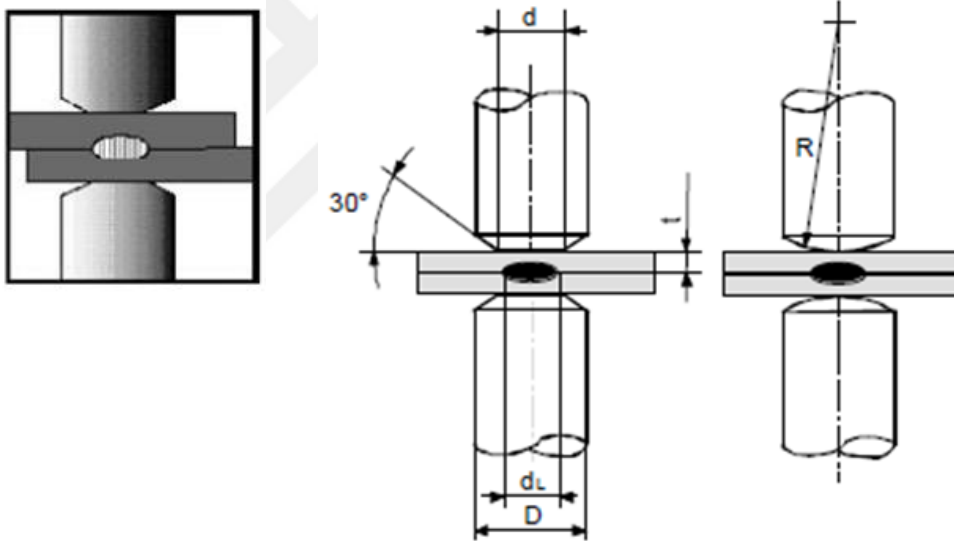
t : sac kalınlığı F : elektrod baskı kuvveti
d_L : çekirdek çapı Ts : kaynak zamanı
D : elektrod dış çapı d : elektrod temas yüzeyi çapı
R : dairesel elektrod dış çapı I : akım

Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d _L [mm]	Electrodes			Electrode force F [kN]	Current time t _s (f=50Hz) [Per]	Weld current I _s [kA]
		D [mm]	d [mm]	R [mm]			
0.50	3.5	10	5	50	1.50	5	8
0.75	4.5	12	5	50	2.30	8	9
1.00	5.0	12	6	75	3.00	10	10
1.25	5.5	16	6	75	3.80	13	11
1.50	6.0	16	7	75	4.50	15	12
2.00	7.0	16	7	75	6.00	20	13
2.50	8.0	20	8	75	7.50	25	15
3.00	8.5	20	9	100	9.00	30	17
4.00	10.0	25	10	-	12.00	40	20
5.00	11.0	25	11	-	15.00	50	23
6.00	12.5	30	13	-	18.00	60	25



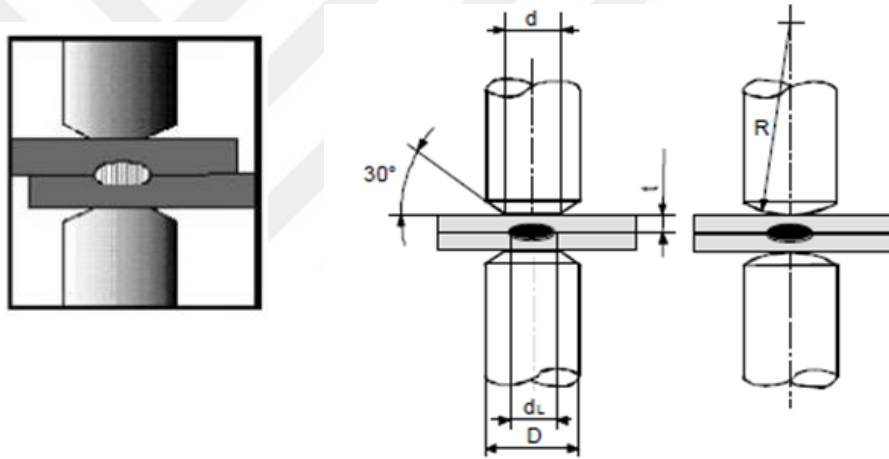
Şekil 2.67. Düşük alaşımlı soğuk hadde çeliklerde
A ve B güvenlik sınıfı için kaynak parametreleri ve
elektrod boyutlandırması – EN 1030 (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for Single Spot Welding							
Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d_n [mm]	Electrodes			Electrode force F [kN]	Current time t_s ($f=50\text{Hz}$) [Per]	Weld current I_s [kA]
		D [mm]	d [mm]	R [mm]			
0.50	3.5	10	5	50	0.50	10	5.0
0.75	4.5	12	5	50	0.75	15	6.0
1.00	5.0	12	6	75	1.00	20	7.0
1.25	5.5	16	6	75	1.25	25	7.5
1.50	6.0	16	7	75	1.50	30	8.0
2.00	7.0	16	7	75	2.00	40	9.0
2.50	8.0	20	8	75	2.50	50	10.0
3.00	8.5	20	9	100	3.00	60	11.0
4.00	10.0	25	10	-	4.00	80	12.5
5.00	11.0	25	11	-	5.00	100	14.5
6.00	12.5	30	13	-	6.00	120	16.0



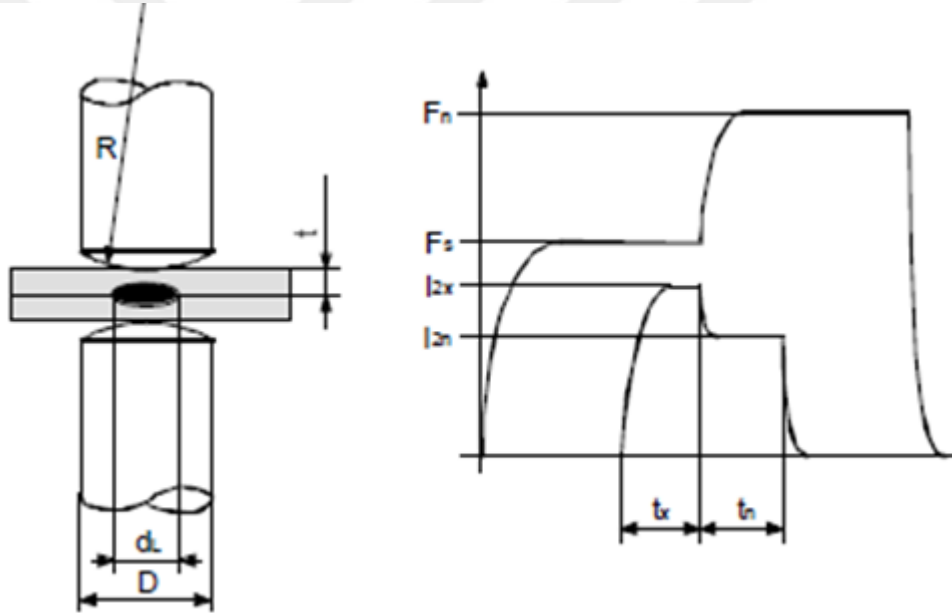
Şekil 2.68. Düşük alaşımlı soğuk hadde çelikler C güvenlik sınıfı için kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması – EN 1030 (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for Single Spot Welding							
Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d _n [mm]	Electrodes			Electrode force F [kN]	Current time t _s (f=50Hz) [Per]	Weld current I _s [kA]
		D [mm]	d [mm]	R [mm]			
0.50	3.5	16	4.0	50	1.80	4	6.0
0.75	4.5	16	4.5	75	3.00	5	6.8
1.00	5.0	20	5.0	75	4.00	7	7.5
1.25	5.5	20	5.5	75	5.00	8	8.3
1.50	6.0	20	6.0	75	6.50	10	9.0
2.00	7.0	20	7.0	100	9.00	13	10.5
2.50	8.0	25	8.0	100	12.00	16	12.0
3.00	8.5	25	8.5	100	15.00	19	13.5



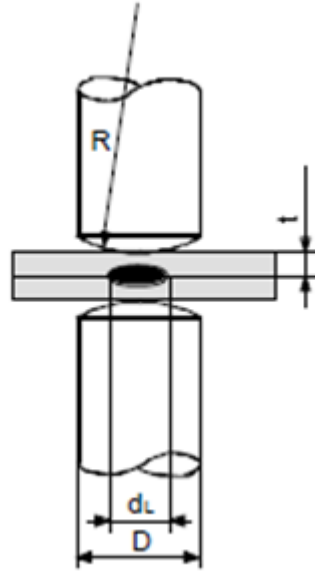
Şekil 2.69. Yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerde (DIN 17440) C güvenlik sınıfı için kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for Single Spot Welding									
Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d_n [mm]	Electrodes		Force		Current time		Current	
		D [mm]	R [mm]	F_s [mm]	Up- setting F_u [kN]	Welding t_x ($f=50\text{Hz}$) [Per]	Post- heating t_n ($f=50\text{Hz}$) [Per]	Welding I_x [kA]	Post- heating I_n [kA]
0.50	3.5	16	75	2.0	4.0	2	2	25	18
0.75	4.5	16	100	3.0	6	2	3	31	23
1.00	5.0	16	100	4.0	8	3	4	35	26
1.25	5.5	20	100	5.0	10	4	5	40	30
1.50	6.0	20	100	6.0	13	4	7	45	33
2.00	7.0	20	150	7.5	18	6	9	50	37
2.50	8.0	20	150	10.0	23	7	10	55	41
3.00	8.5	25	200	13.0	30	8	12	60	45



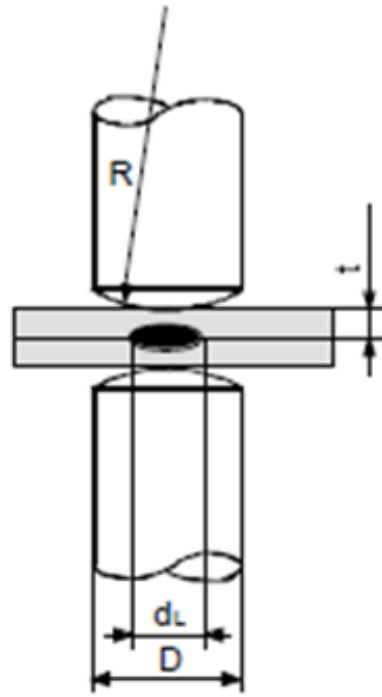
Şekil 2.70. Havacılık endüstrisinde kullanılan Alüminyum malzemeler için (MIL-W-6858D) kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for Single Spot Welding						
Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d_n [mm]	Electrodes		Electrode force F [kN]	Current time t_s ($f=50\text{Hz}$) [Per]	Weld current I_s [kA]
		D [mm]	R [mm]			
0.50	3.5	16	75	1.8	2	26
0.75	4.5	16	75	2.2	3	31
1.00	5.0	16	75	3.0	3	34
1.25	5.5	20	100	3.5	4	36
1.50	6.0	20	100	4.0	5	39
2.00	7.0	20	100	5.0	6	44
2.50	8.0	20	100	6.5	7	50
3.00	8.5	25	100	8.0	8	52



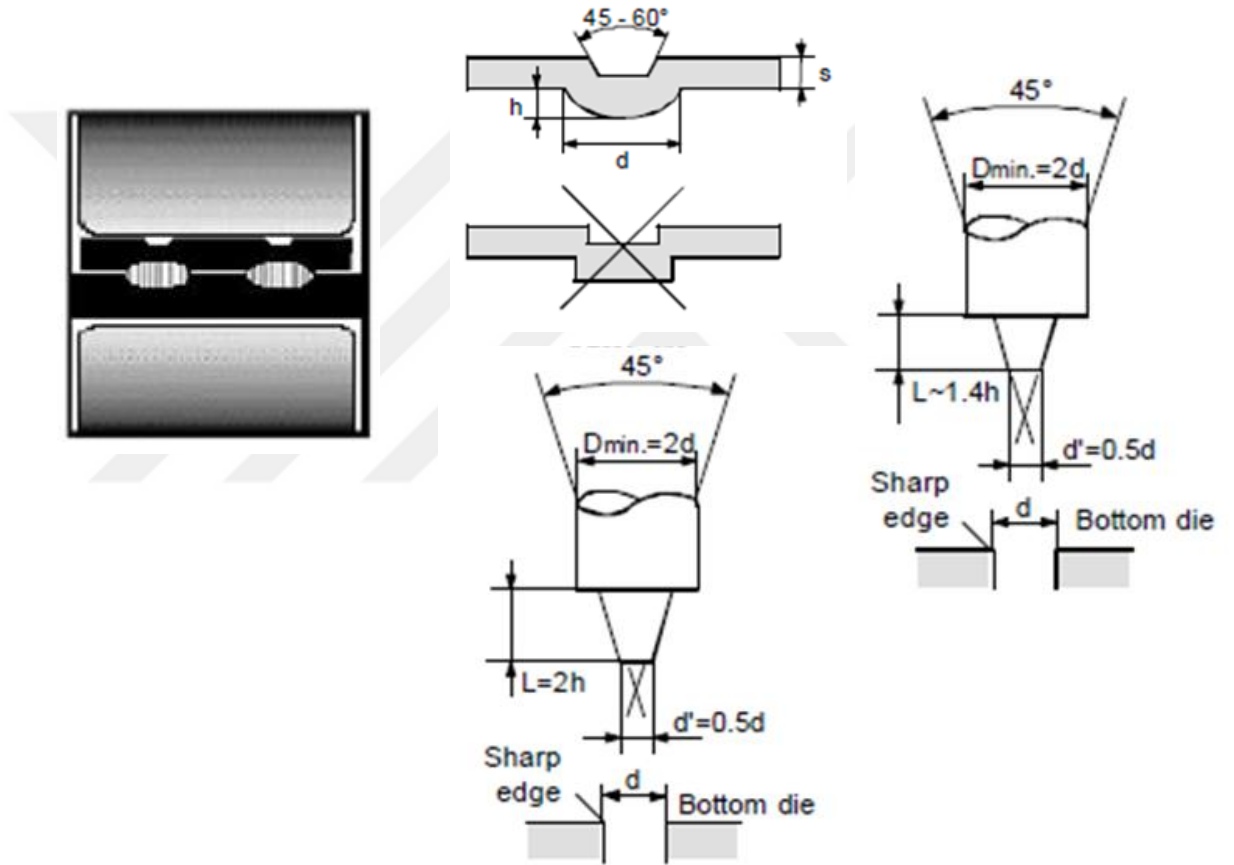
Şekil 2.71. B güvenlik sınıfı Alüminyum malzemeler için (DIN 1725 – AlMg1 etc.) kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for Single Spot Welding						
Sheet thickness t [mm]	Nugget diameter d _n [mm]	Electrodes		Electrode force F [kN]	Current time t _s (f=50Hz) [Per]	Weld current I _s [kA]
		D [mm]	R [mm]			
0.50	3.5	16	75	1.8	2	21
0.75	4.5	16	75	2.2	3	25
1.00	5.0	16	75	3.0	3	27
1.25	5.5	20	100	3.5	4	29
1.50	6.0	20	100	4.0	5	31
2.00	7.0	20	100	5.0	6	35
2.50	8.0	20	100	6.5	7	38
3.00	8.5	25	100	8.0	8	40



Şekil 2.72. C güvenlik sınıfı Alüminyum malzemeler için (DIN 1725 – AlMg1 etc.) kaynak parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

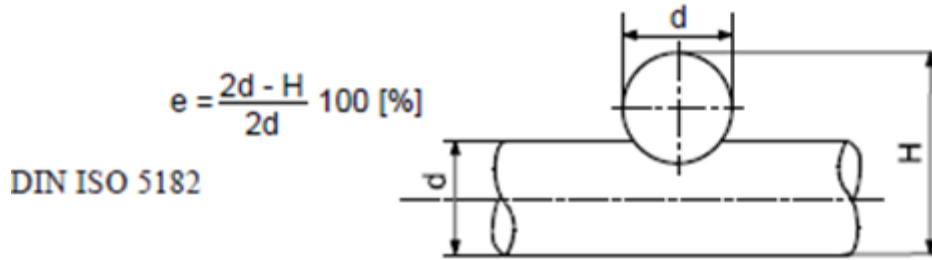
Standard Setting Values for Projection Welding								
Sheet thickness	Projection diameter	Projection height	Short welding time			Long welding time		
			Electrode force per projection	Weld current per projection	Current time	Electrode force per projection	SWeld current per projection	Current time
t [mm]	d [mm]	h [mm]	F [kN]	I _{2s} [kA]	t _s [Per] (f=50Hz)	F [kN]	I _{2s} [kA]	t _s [Per] (f=50Hz)
0.75	2.8	0.9	1.0	6.6	3	0.60	5.1	6
1.00	2.8	0.9	1.5	8.0	5	0.95	6.0	10
1.50	3.8	1.1	2.3	10.3	10	1.65	7.6	20
2.00	4.6	1.2	3.6	12.0	14	2.40	8.9	28
2.50	5.8	1.3	5.0	13.6	17	3.30	10.2	35
3.00	6.8	1.4	6.5	14.5	20	4.30	11.0	45



Şekil 2.73. Düşük karbonlu soğuk hadde çelik malzemeler için (DIN 1623) projeksiyon kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

Standard Setting Values for AC and Singlephase-Direct current machines				
Wire diameter d [mm]	Force F [kN]	Current time t _c [Per] (f=50Hz)	e = 6%	Current I _{2s} e = 10%
			[kA]	[kA]
2	0.25	1	1.5	2.1
3	0.5	2	2.3	3.2
4	1	3	3.2	4.6
5	1.5	4	4.3	6
6	2	6	5.1	7.1
7	2.5	7	6.2	8.7
8	3	8	7.4	10.4
9	3.5	10	8.4	11.8
10	4	12	9.4	13.2
12	5	16	11.6	16.3
14	6	20	13.9	19.5
16	7	26	15.9	22.4

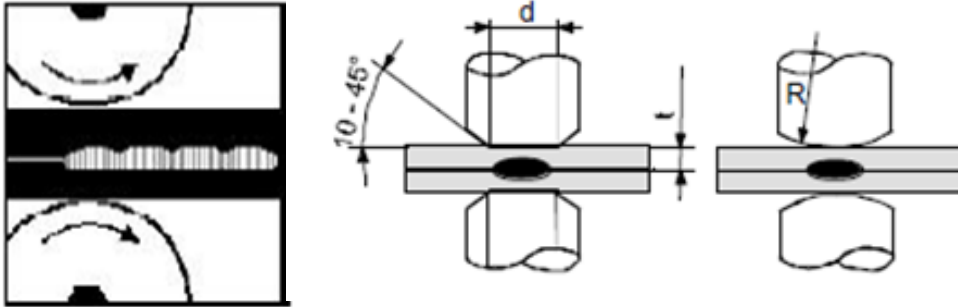
Standard Setting Values for ThreephaseDC and Mediumfrequency-DC machines				
Wire diameter d [mm]	Force F [kN]	Current time t _c [ms]	e = 6%	Current I _{2s} e = 10%
			[kA]	[kA]
2	0.15	10	1.9	2.6
3	0.25	20	2.9	4.1
4	0.5	32	4	5.6
5	0.75	50	5	7
6	1	70	6.1	8.5
7	1.25	100	6.9	9.8
8	1.5	120	8.2	11.5
9	1.75	150	9.2	12.9
10	2	180	10.3	14.5
12	2.5	250	12.5	17.6
14	3	350	14.5	20.4
16	3.5	460	16.5	23.2



Şekil 2.74. Düşük alaşımlı soğuk çekme çelik tel malzemeler için projeksiyon kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

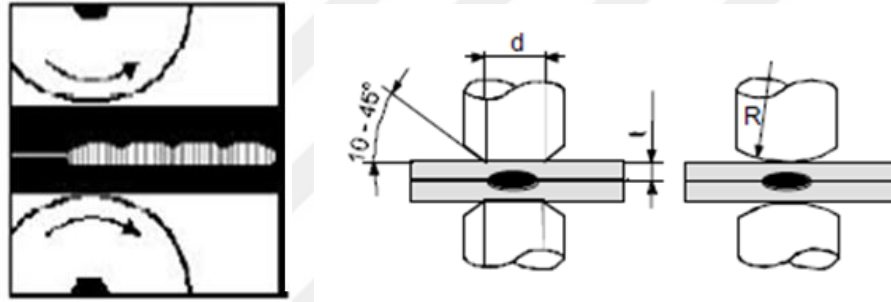
Standard Setting Values for Welding with Current Program								
Sheet thickness t [mm]	Weld speed v [m/min.]	Electrode wheels		Electrode force F [kN]	Current time * t ₁ [Per]	Current off-time * (t=50Hz) * t _{min.} * t _{max.} [Per]		Weld current I _s [kA]
		d [mm]	R [mm]			t _{min.}	t _{max.}	
0.50	2.00	3.0	50	2.4	2	1	2	10
0.75	2.00	3.5	50	3.2	2	2	3	12
1.00	1.75	4.0	75	4.0	3	3	4	14
1.25	1.75	4.5	75	4.8	4	3	5	16
1.50	1.50	5.0	75	5.0	4	4	6	17
2.00	1.50	5.0	75	6.0	6	5	7	19
2.50	1.50	5.5	100	7.0	7	6	8	20
3.00	1.10	6.0	100	8.0	10	7	10	22

Standard Setting Values for Welding with Continuous Current						
Sheet thickness t [mm]	Electrode wheels d [mm]	Electrode force F [kN]	Medium Speed		Maximum Speed	
			Weld speed v [m/min.]	Weld current I _s [kA]	Weld speed v [m/min.]	Weld current I _s [kA]
0.25	3.0	1.8	6.1	8	12.0	10
0.50	3.0	2.4	5.3	9	11.0	12
0.75	3.5	2.9	4.7	10	10.0	13
1.00	4.0	4.0	3.7	11	8.0	14
1.25	4.5	4.5	3.1	12	7.0	17
1.50	5.0	5.3	2.2	14	5.0	17
2.00	5.0	6.0	1.5	15	3.0	17



Şekil 2.75. Düşük alaşımlı çeliklerin (EN 1030) dikiş kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

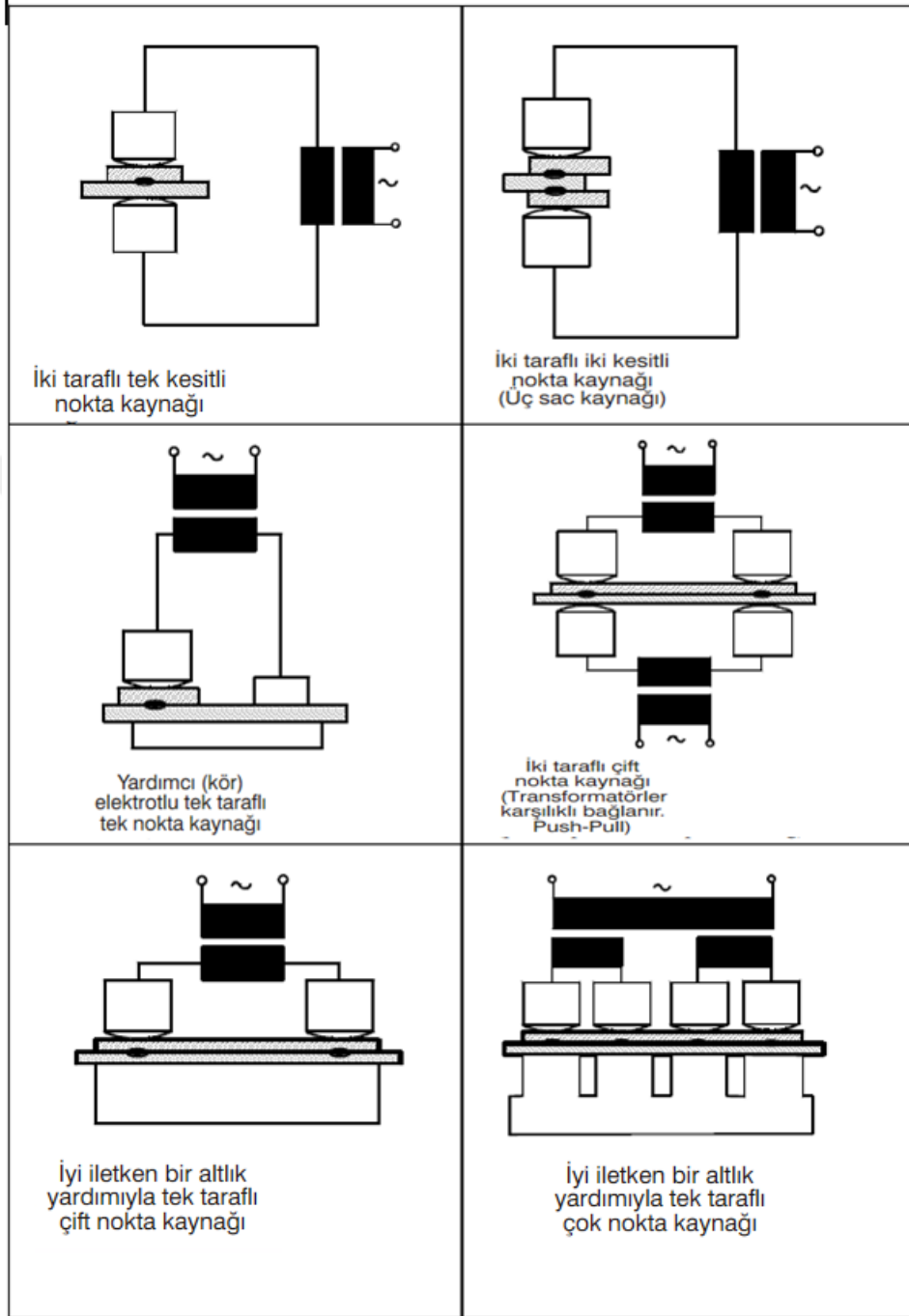
Standard Setting Values for Welding with Current Program								
Sheet thickness t [mm]	Weld speed v [m/min.]	Electrode wheels		Electrode force F [kN]	Current time * t _s [Per]	Current off-time * (f=50Hz)		Weld current I _s [kA]
		d [mm]	R [mm]			* t _{min.} [Per]	* t _{max.} [Per]	
0.50	1.4	3.0	50	3.0	3	2	3	8.0
0.75	1.3	3.5	50	4.0	3	3	4	11.0
1.00	1.2	4.0	75	5.0	3	4	5	12.0
1.25	1.2	4.5	75	6.0	4	4	5	13.0
1.50	1.1	5.0	75	8.0	4	6	6	15.0
2.00	1.0	6.0	75	10.0	4	6	7	16.0
2.50	1.0	7.0	150	12.5	5	6	7	16.5
3.00	0.9	8.0	150	15.0	6	6	8	17.0



Şekil 2.76. Yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerin (EN 17440) dikiş kaynağı parametreleri ve elektrod boyutlandırması (Schlatter AG, 2004)

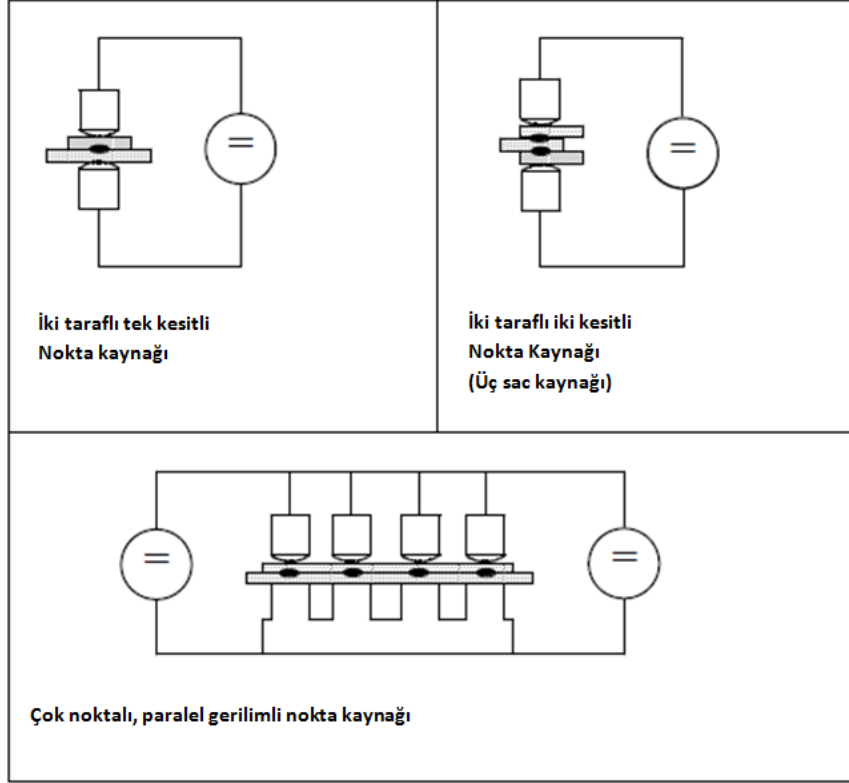
Makine tipi

Alternatif Akım ile (AC) kullanılan proses usülleri



Şekil 2.77. AC-Makinelerle uygulanan punta kaynağı (nokta) proses varyasyonları (Schlatter AG, 2004)

Doğru Akım (DC) ile kullanılan proses usülleri



Şekil 2.78. DC-Makinelerle uygulanan punta kaynağı (nokta) proses varyasyonları (Schlatter AG, 2004)

Orta frekans makineler

Avrupa ve diğer gelişmiş imalat teknolojilerini kullanan ülkelerde 1000Hz orta frekans kaynak makineleri (MFDC) uzun zamandan beri 50Hz direnç kaynak makinelerinin (Single phase AC) yerini almış durumdadır. Ülkemizde de MFDC kaynak makinelerinin kullanımı ana sanayilerin öncülüğünde başlayarak otomotiv yan sanayilerinde de yaygınlaşma eğilimindedir.

MFDC teknolojisi, üç fazlı beslemesi olan bir inverterin, akımı doğrultup filtreleyerek 500 V ve 1000 Hz alternatif gerilim üretip doğrultulmuş kaynak akımı sağlayan uygun bir trafoya beslemesidir. Bu teknoloji ile, 1000 Hz'de yapılan kaynakta kompakt pulse formu ile yüksek güç elde edilir. İmsn'deki regülasyon ve indüktif kayıpları düşürülerek dinamik bir regülasyon sağlanır. Akım piklerinin ve alternatif magnetik alanın olmaması elektrotların termal ve mekaniksel streslerini düşürür.

MFDC kaynak makinelerinin enerji maliyetlerine olumlu etkisi iki türdür. Birincisi çalışma prensibinden dolayı şebekede üç fazdan eşit miktarda yük çekmesi nedeniyle elektrik faturalarında reaktif cezaya düşme riskinin ortadan kalkması şeklindedir.

Diğer ve en önemli olumlu etkisi ise punta başına birim kaynak maliyetinin %25-%30 daha düşük olmasıdır.

Kaynak	AC	MF
Kaynak Akım1	15,23kA	15,2 kA
Kaynak Süre1	200msec	170msec
Kaynak Güç1	67,8kW	54,09 kW
Enerji/spot1	$3,77 \cdot 10^{-3}$ kVah	$2,55 \cdot 10^{-3}$ kVah
Kaynak Akım2	10,31kA	10,29 kA
Kaynak Süre2	280msec	240 msec
Kaynak Güç2	28,9kW	25,38 kW
Enerji/spot2	$2,25 \cdot 10^{-3}$ kVah	$1,69 \cdot 10^{-3}$ kVah
Enerji Tüketimi	100%	68....75 %
Spot Başına enerji tasarrufu: $0,9 \cdot 10^{-3}$ kVah		
2000 spot/gün		
6gün/hafta		
48hafta/sene		
Senelik enerji tasarrufu : 5.200 kVah		

Şekil 2.79. Bosch Rexroth laboratuvarlarında yapılan deney sonucu esaplanan enerji tüketim karşılaştırma örneği (Umut O. Şahin, 2015)

Her trafo için standart bir enerji değeri (Ws, joule/kA.cycle) vardır. Bu değer kaynak makinesinin birim akım (kA) başına birim zamanda (cycle) harcayacağı enerjiyi ifade etmektedir.

Yukarıdaki örnek Joule kanununa göre formüle edildiğinde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{sw} = W_s \cdot I \cdot t$$

AC Makine, W_{s1} : 71 joule/kA.cycle

(Mactera SW 125-100, 100kVA AC Punta Proj. Kay. Mak.)

MFDC Makine, W_{s2} : 65 joule/kA.cycle

(Mactera MFDC 125-100, 100kVA MFDC Punta Proj. Kay. Mak.)

Bu değerler güncel makinelere uygulandığında birim punta başına;

$C_{sw1} = 10813$ joule $C_{sw2} = 8398$ joule enerji değerleri bulunur.

Buradan da, gibi deneysel koşullara benzer bir verimlilik sonucuna ulaşılmaktadır.

$$C_{sw1}/C_{sw2} = 8398/10813 = \%77$$

Enerji verimliliğine ek olarak orta frekans kaynak makinelerinin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Kısa kaynak zamanı ve düşük akım yüklerinden ötürü %30-50 artan elektrot ömrü.
- Akımın her milisaniyede kontrolü sayesinde çok hassas ve sabit kaynak akımı
- Hassas parametre ayarı sayesinde yüksek kaynak kalitesi
- Trafo boyutlarının düşmesi ile birlikte daha uzun kol boyu ve çene derinliği

- Alüminyum, titanyum, yüksek mukavemetli ve sert çeliklerde yüksek kaynak kabiliyeti.
- Üç ya da dört malzemeye aynı anda kaynak yapabilme kabiliyeti.
- Titanyum ya da galvaniz kaplamalı malzemelerde düşük kaynak izi, yüksek dikiş kaynağı hızı (Umut O. Şahin, Subcon Turkey 2015)

Çizelge 2.8. Akım türüne ve akım ve kuvvetin zamanla değişimine göre sınıflandırma

No.	Akım iletim türü	Akım türü ve akım ve kuvvetin zamanla değişimi	Açıklama	Direnç kaynak yöntemi (örnek)	
1.2.1	Kondüktif	Sürekli akım (doğru veya alternatif akım)	Sürekli akımla kaynak (doğru akım veya alternatif akım)	Direnç basınç kaynağı; örneğin: direnç dikiş kaynağı	
1.2.2		Kesintili akım (doğru veya alternatif akım)	Kesintili akımla kaynak (doğru ve alternatif akım)	Direnç dikiş kaynağı	
1.2.3		Faz kaydırmalı alternatif akım	Faz kaydırmalı alternatif akımla kaynak	Kondüktif direnç basınç kaynağı	
1.2.4		İmpuls şeklindeki doğru akım	İmpuls şeklindeki doğru akımla kaynak; Bir kondansatörün boşalımı sırasında; Kondansatör boşalmalı kaynak, Kondansatör boşaltma kaynağı	(Direnç) nokta kaynağı, kabartı kaynağı	
1.2.5		Akım artırılmış ve/veya akım azaltılmış kaynak (doğru veya alternatif akım)	Akımı artırarak ve/veya akımı azaltarak kaynak (doğru veya alternatif akım)	(Direnç) nokta kaynağı, kabartılı kaynak, dikiş kaynağı, yakma alın kaynağı	
1.2.6		Akım ve/veya kuvvet programı	Akım ve/veya kuvvet programıyla kaynak		
1.2.7		Şebeke frekansı (düşük frekans) (50 Hz veya 60 Hz)	Şebeke frekansıyla kaynak (Düşük frekans kaynağı); Şebeke frekans kaynağı	(Direnç) nokta kay., kabartılı kaynak, dikiş kay., disk transformatör kay., kayıcı kontak kay., yakma alın kay., basınçlı alın kay., direnç eritme kaynağı	
1.2.8		Kondüktif veya	Orta frekans (100 - 10.000 Hz)	Orta frekansla kaynak, kondüktif veya indüktif orta frekans kaynağı	Disk transformatör kay., Kayıcı kontak kay., İndüktif basınç kaynağı
1.2.9		İndüktif	Yüksek frekans (10.000'den büyük, en sık 100.000 Hz)	Yüksek frekansla kaynak; kondüktif veya indüktif yüksek frekans kaynağı	İndüktif basınç kaynağı

Çizelge 2.9. Metallerin karşılaştırmalı kaynak edilebilirlik çizelgesi

Kaynak edilebilme	Elektrot malzemesi		İşaretler													
	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
E Çok İyi	1	F a	I	I	F a	F a	P a	F a	I a	I a	I a	G b	G b	G b	G	E
G İyi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F Orta	2	F d	I	I	F	F	P d	P	I	I a	I	G b	G b	G b	E	
P Zayıf	3	P c	I	I	F a	F	P	P	P b	I a	I	F b	F b	F b	F b	
I Kötü	4	P c	I	I	P	P	P	P	P b	I a	I	F b	G b	G b	E	
	5	F c	I	I	F a	F c	P d	P	P	I	I	G b	G b	G b		
	6	I	I	I	I	I	I	F b	I	P d	G	I	I	I		
	7	I	I	I	I	I	F b	F b	I	I d	3	3	3	3		
	8	I	I	I	I	I	F b	G	G	G	I	I	I	I		
	9	I	I	I	I	I	F	G	G	G	I	I	I	I		
	10	I	I	I	I	I	G	G	G	G	I	I	I	I		
	11	F d	1	1	1	1	G	E								
	12	F d	1	1	1	1	G									
	13	F	4	4	4	4	F									
	14	F	E	1	5	1	1									
	15	F	F d	5	5	5	5									
	16	E	5	5	5	5	E									

Bu tablo, çeşitli metallerin punta kaynağı ile kaynak edilebilirliğini göstermektedir. Elektrod malzemesinin iyi seçimine ilave olarak soğutma, akım değerleri ve elektrodun şekli de kaynağın kalitesine etki eden faktörlerdir. Kaynak edilecek yüzeylerin temiz olmasına çok dikkat edilmelidir.

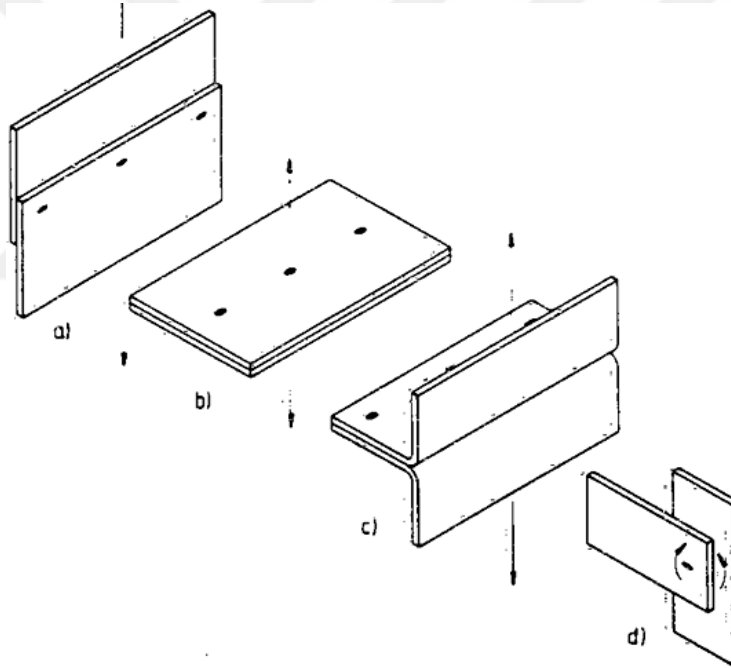
2.6 ERW Proses ve konstrüksiyon esasları

Bir yapı elemanının nokta kaynak kabiliyeti, uygun bir imalat akışına dikkat edildiği takdirde nokta kaynağıyla bir malzeme bağlantısı yapılabilmesi demektir. Burada nokta kaynaklı bağlantı, özellikleri ve bulunduğu konstrüksiyona etkileri bakımından önceden belirlenen şartları yerine getirmelidir.

Kaynak kabiliyeti üç faktöre bağlıdır:

- Malzeme (kaynağa uygunluk)
- Konstrüksiyon (Kaynak emniyeti) ve
- İmalat (Kaynak yapılabilme olanağı)

Bu üç faktörün tümü, kaynak kabiliyeti üzerinde eşit etkiye sahiptir.

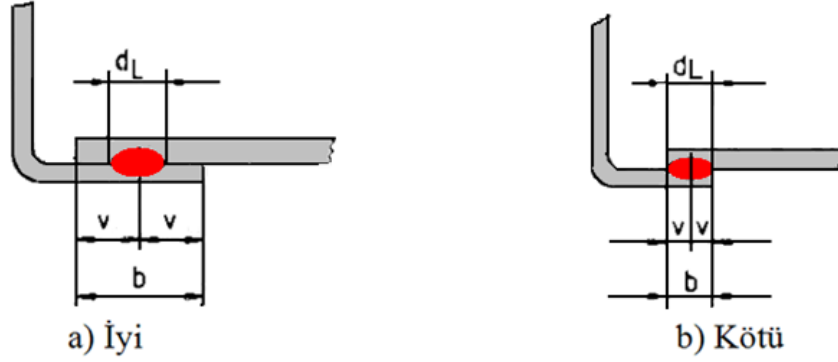


Şekil 2.80. Nokta kaynaklı bağlantılara etkiyen saf gerilmeler
a) Çekme-makaslama, b) Ayırma, c) Açma, d) Burulma

(Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

2.6.1 Kenar uzaklığı

Kenar uzaklığı v hiçbir zaman $1,25 \cdot d_L$ den küçük olmamalıdır.



Şekil 2.81. Kenar uzaklığı hesabı (Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

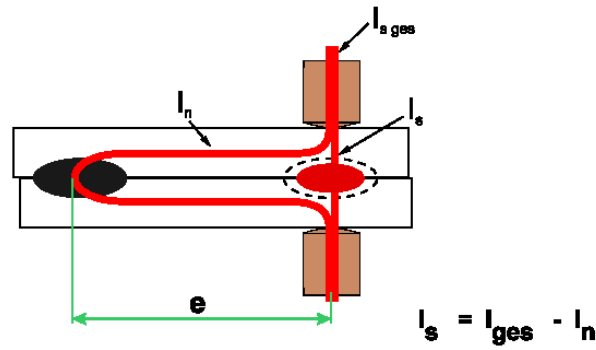
Bindirme boyu b , $b=2 \cdot v$ ile hesaplanır.

Çift sıralı bağlantılarda $b=f+2v$ ile hesaplanır

$f \geq e$ ile seçilir

Şönt akımı önlenmesi

Kaynak noktaları birbirine yakın oluşturulduğunda, kaynak akımının bir kısmı önceki kaynak noktalarından akar. Bu akım kısmı, kaynak oluşturmaz. Aynı ayar değerleriyle kaynak yapılan aynı sıradaki ikinci kaynak noktası, öncekinden daha küçük çekirdek çapına sahip olur



Şekil 2.82. Şönt akımının önlenmesi (Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

Aynı çekirdek çapına ulaşabilmek için, ikinci noktada akımın yükseltilmesi gerekir.

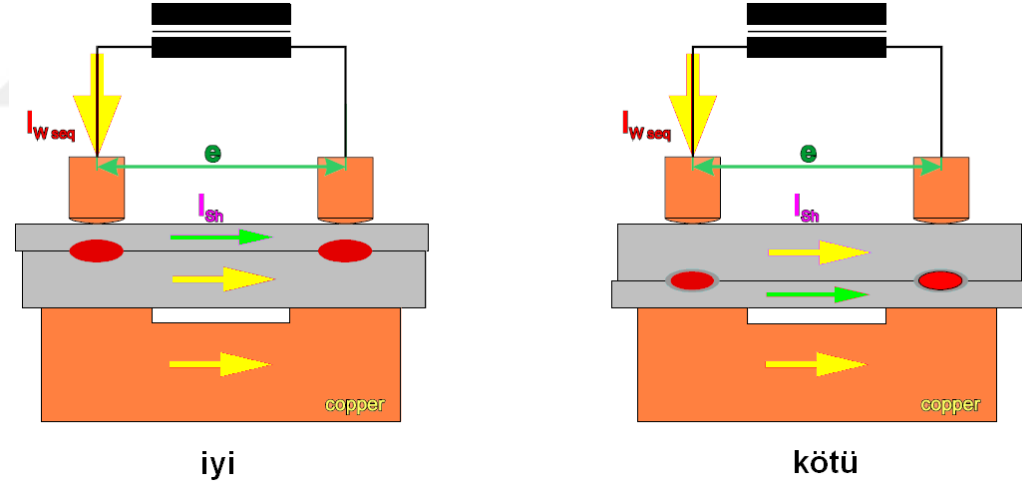
Kaynak kontrol üniteleri, ikinci ve daha sonraki noktalar için, uygun bir program seçimi aracılığıyla akım değerini gereken düzeye çıkaran bazı programlara sahiptir.

Yapı elemanından yüksek kalite taleplerinin olmadığı durumlarda, aşağıdaki nokta aralıkları mevcutsa, yanal (şönt) akımının etkisi ihmal edilebilir

$$e > 8 \dots 10 (h_1 + h_2).$$

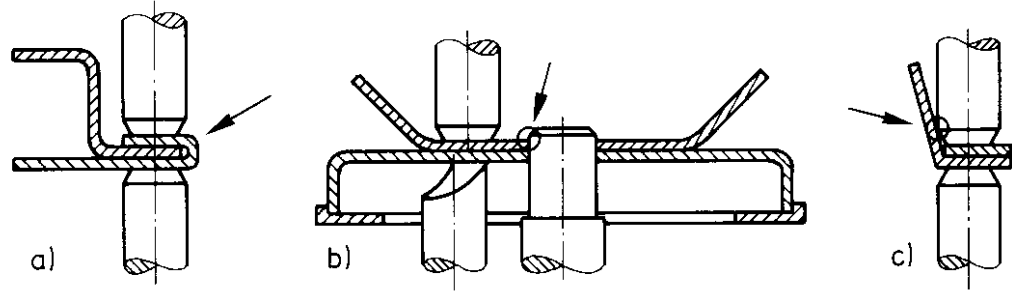
Farklı kalınlıktaki saçların tek taraftan nokta kaynağında şönt akımı

Kalın parçanın elektrot tarafında olması gerekir



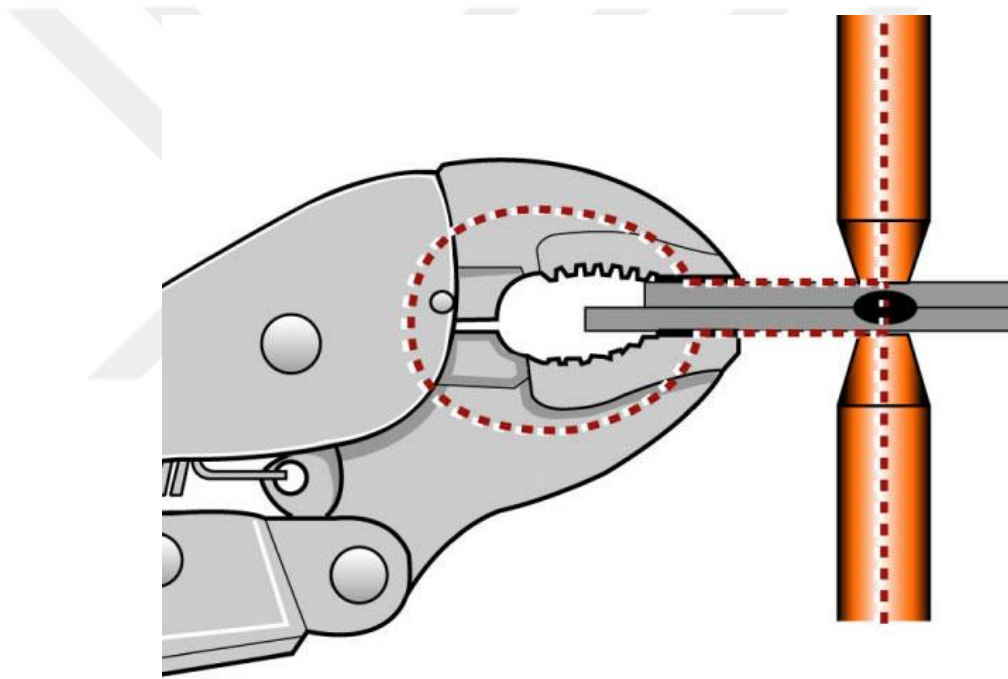
Şekil 2.83. Şönt akımının önlenmesi (Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

Yanal (şönt) akım, sadece kaynak yapılmış noktadan değil, saç parçalarının temas noktalarında veya elektrod ile saç arasında da olabilir. Saç parçalarının temas yüzeylerinde kesme çapakları (kıymıkları) olmamalıdır.

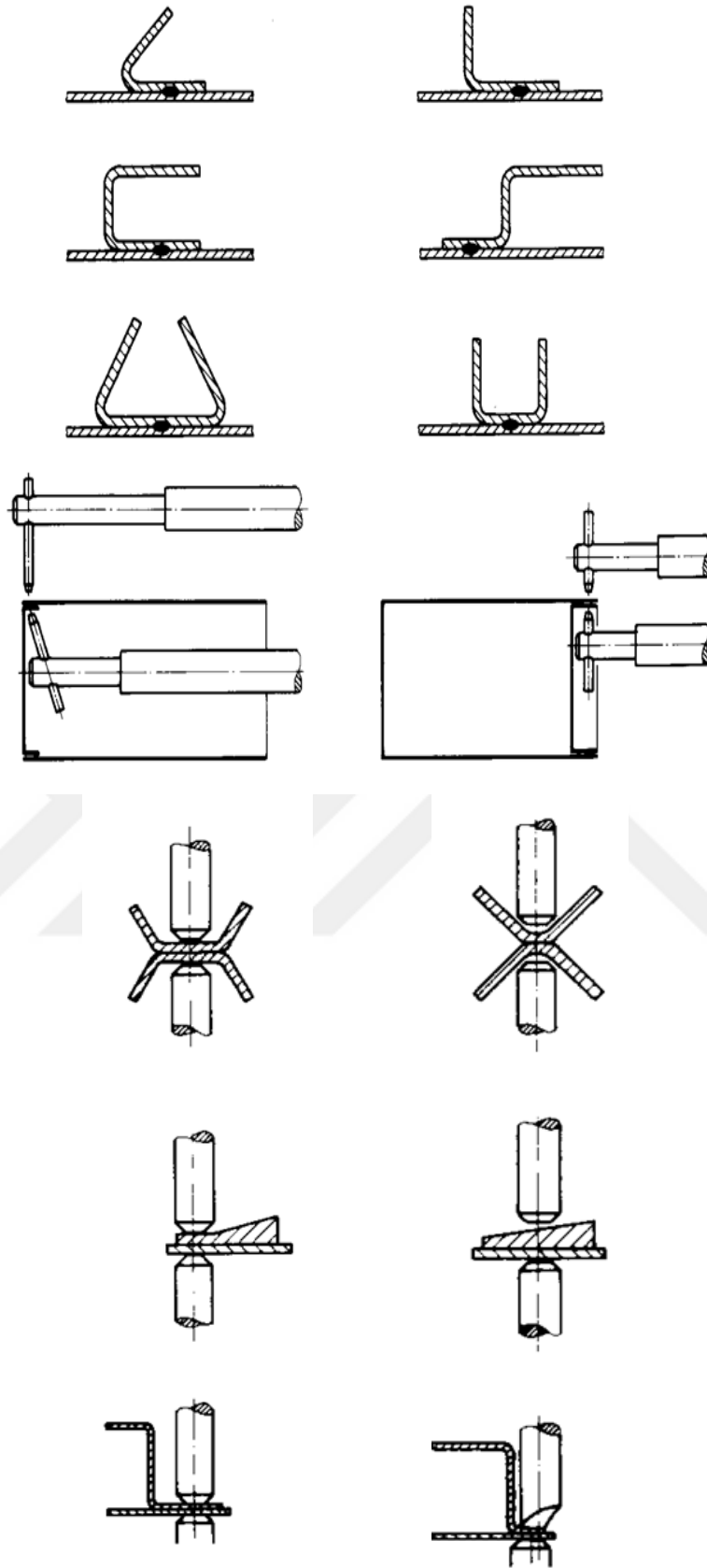


Şekil 2.84. Yanal şönt akım olasılıkları

- a) Elektrod gövdesi ile saç arasında yanıl akım
- b) Merkezleme piminde yanıl akım (hatalı fikstür düzeni)
- c) Katlanmış saçtan yanıl akım (konstrüksiyondan doğan)



Şekil 2.85. Parça tutma esnasında şönt akımı
(Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)



Şekil 2.86. Doğru ve yanlış konstrüksyon örnekleri

3. MATERYAL ve METHOD

Direnç nokta kaynaklı bağlantıların muayene yöntemlerinde, basit atölye deneyleri ile standart muayene yöntemleri söz konusudur. Her bir yöntem farklı bilgi sağlar ve muayene düzenekleri arasında da büyük farklar mevcuttur.

Nokta kaynaklı numunelerin davranışı, nokta kaynaklı yapı elemanına bağlı olduğundan aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

Kaynak şartları sabit olmalıdır (manyetikleşebilen çeliklerde malzemenin sekonder pencereye dalma derinliği de sabit olmalıdır)

Malzeme aynı tabakadan veya aynı rulodan kullanılmalıdır.

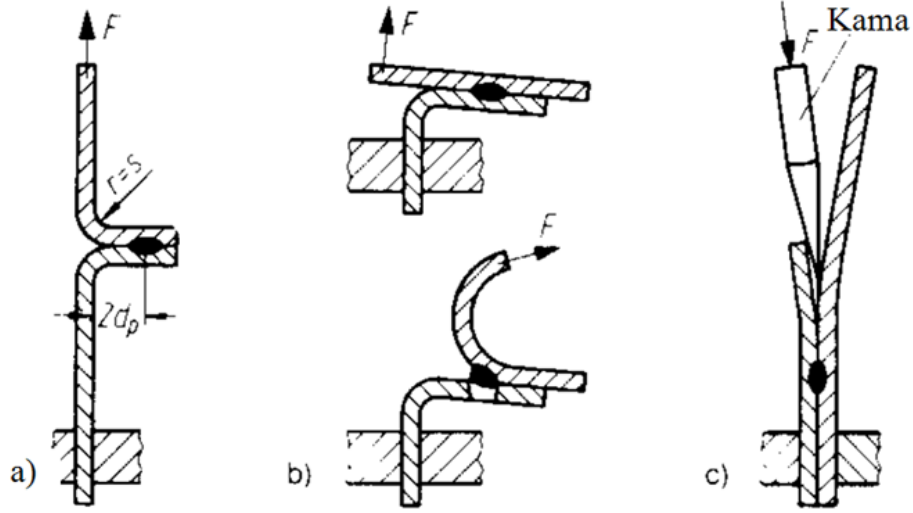
Pratikte, sabit şartların oluşturulması çok güç olduğundan, kaynaklı numune ile kaynaklı yapı elemanı arasında farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu güçlüklerin başında, gereken şartlardan sapmalar

- saçların birbirine uyumu,
- yanal akım,
- yüzey durumu,
- saçların mekanik özellikleri gelir.

Bu nedenle kalite konusunda son güvence, sadece yapı elemanının muayenesiyle sağlanabilir.

3.1 Mekanik Muayene



Şekil 3.88. Nokta kaynaklı bağlantılara uygulanan atölye deneyleri

a)koparma b)sıyırma c)ayırma

Çizelge 3.10. Nokta kaynaklı bağlantılara uygulanan atölye deneyleri. (Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

Yöntem	Numune ölçüleri	Yapılış	Kriterler
Koparma deneyi	Genişlik $B \geq 5 d_p$ İmalattan gelen parça veya numune üzerinde	Şekil 1a'ya uygun şekilde çekme deneyi makinasında kopartılır.	Kırılma türü, Nokta çapı ¹⁾
Sıyırma deneyi	Saç kalınlığı $s \leq 3$ mm $B \geq 5 d_p$	Şekil 1b'ye uygun şekilde, gerilme taşımayan saçların sıyırılması Sıyırma yarıçapı 30 mm	Kırılma türü, Nokta çapı ¹⁾
Ayırma deneyi	$1 \text{ mm} \leq$ Saç kalınlığı ≤ 3 mm $B \geq 5 d_p$ İmalattan gelen parça veya numune üzerinde	Şekil 1c'ye uygun şekilde, çoğunlukla kaynağın ²⁾ yanından, genellikle keski ile ayırma; $s = 0,75$ mm 1 mm için - malzeme özelliklerine de bağlı olarak - saçlar, muayene düğmelenmeyle sonuçlanarak tatminkar olmayacak tarzda, sadece yarı açık kalabilir.	Kırılma türü, Nokta çapı ¹⁾

¹⁾Atölye deney yöntemlerine göre elde edilen kırılma türü ve nokta çapı, muayene yöntemi nedeniyle ve kaynak noktasına bağlı zorlamalara göre farklı sonuçlar verebilir. Bu nedenle nokta çapının ifadesinde muayene yöntemi birlikte anılmalıdır. Ölçülen d_p nokta çapı, d_L çekirdek çapından farklıdır. $s = 0,88$ için kısa süreli kaynak şartlarında örneğin $d_L = (0,8..1,2) d_p$ oranı elde edilir (d_p , burma deneyinden elde edilir).

²⁾Otomobil endüstrisindeki yapı elemanlarında keski ile yapılan "yapıştırma kaynağı" nın kontrolü için de geçerlidir.Muayene sırasında çatlama tehlikesi vardır.

Kırılmanın türü (düğmelenme veya makaslama) ve kırılan kaynak çıkıntısının veya kesilen yüzeyin büyüklüğü, bağlantının dayanımı için değerlendirme kriterleridir. Kesme kırılmasında nokta çapı d_p , yapışma bölgesi de dahil kırık yüzeyinin ortalama çapıdır veya düğmelenme kırılmasında düğmelenen çıkıntının ortalama çapıdır.

Çekirdek çapı d_L ise, kesme sonucu ölçülen erimiş kaynak çekirdeğinin çapıdır.



3.2 Ultrasonik muayene

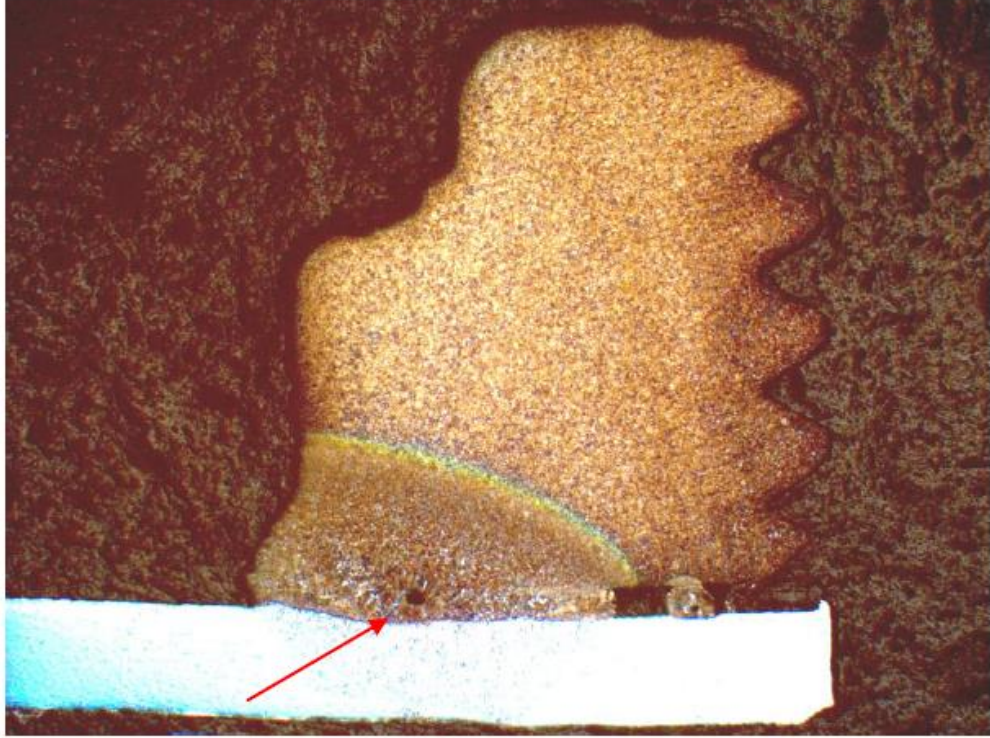


Şekil 3.88. Ultrasonik muayene cihazları ve probe'u

(Raffael HIPP, Hochaufgelöste Ultraschallprüfung an Widerstandspunktschweißverbindungen, 2013)

Punta kaynak içindeki boşluk yada çatlak hataları ultrasonik muayene yöntemi ile çok etkin bir biçimde kontrol edilebilir. Ayrıca çekirdeğin üç boyutlu yapısı belirlenerek, uygunluğu test edilebilir. Ses dalgaları ile çalışan ultrasonik muayene cihazı, probe sayesinde kaynak bölgesine ses dalgası göndermek suretiyle boşluk ve boyut analizi yapabilir.

Ultrasonik yankılarla ölçülen ses mesafesi kaynak çekirdeğinin çapının belirlenmesinde kullanılır. Bir ultrasonik ses dalgası iki ortam arasındaki bir arayüze çarptığında ultrasonik dalgaların büyük bir bölümü yansır. Fakat iki ortamın akustik empedansları aynı ya da birbirlerine çok yakınsa ultrasonik dalgaların büyük bölümü yayılmaya devam eder. (Sonat, Doyum, Direnç kaynaklarının Ultrasonik muayenesi)



Şekil 3.89. Ultrasonik muayene sonucu tespit edilmiş boşluk hatası

(RaffaelHIPP, Hochaufgelöste Ultraschallprüfung an Widerstandspunktschweißverbindungen, 2013)

Bununla birlikte, eğer kaynak çekirdeğinin çapı ses demeti çapından daha küçükse, ultrasonik cihaz ekranında bir grup ikincil yankı görülür. Bir önceki durumda olduğu gibi ultrasonik dalgaların bir kısmı kaynak çekirdeği içinde ilerler ve alt plakanın dış yüzeyinden geriye yansır. Ayrıca bir önceki durumdan farklı olarak kaynak çekirdeğinin çapı ses demeti çapından daha küçük olduğu için ultrasonik dalgaların bir kısmı da üst plakadan alt plakaya geçemez ve alt plaka ile üst plaka arasındaki akustik empedans farkının çok fazla olduğu ara yüzeyden geriye yansır. Bu arayüzeyden gelen ikincil yankılar kaynak çekirdeği çapının ses demeti çapından daha küçük olduğunu gösterir.

Yukarıdaki açıklamadan da anlaşılacağı gibi ultrasonik dalgaların ses mesafelerinin tespiti kaynak çekirdeği çaplarının tahmini için bir araç olarak kullanılmaktadır. Çekirdeğin iki boyutunun tahmininden sonra üçüncü boyut, kaynak çekirdeğinin kalınlığı, ses dalgalarının zayıflama karakteristikleri yardımıyla tahmin edilir. Toplam ses zayıflaması hem kaynak çekirdeğinin döküme benzeyen yapısı hem de ergimemiş ana metalden kaynaklandığı için ultrasonik ses dalgalarının zayıflama karakteristikleri yine sadece bazı dolaylı sonuçlar verir. Kaynak çekirdeğinden kaynaklanan ses zayıflaması tek başına belirlenemediği için kaynak çekirdeği kalınlığının doğrudan ölçümü imkansızdır. Her ne kadar bu yöntem bazı dolaylı sonuçlar verse de parametreleri çok dikkatlice seçilmiş bazı referans parçalarla karşılaştırmak suretiyle çok güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

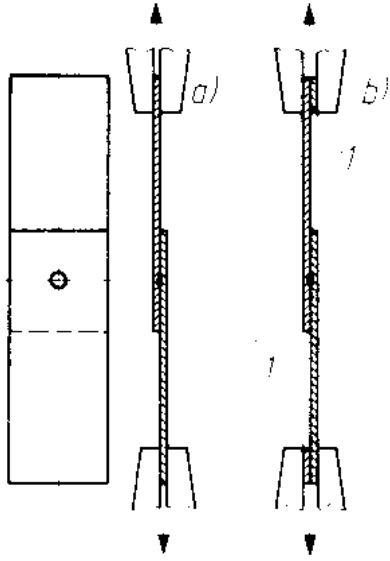
Kaynak çekirdeğinin kalınlığı tanecik yapısının ultrasonik dalgaların zayıflamasının üzerine etkisi kullanılarak tahmin edilir. Eğer kaynak çekirdeği çapı ses demeti çapından büyük olan bir punto kaynağı düşünülürse ultrasonik dalgaların yansıyabileceği tek ara yüzey kaynak plakalarının dış yüzeyleri olacaktır ve ses dalgaları bu iki yüzey arasında gidip gelirken genlikleri azalır. Yukarıda da açıklandığı gibi, tanecik saçılmasından dolayı alt plakanın dış yüzeyinden gelen yankıların ekran yükseklikleri düşer ve yankı yüksekliğinin düşme hızı kaynak çekirdeğinin kalınlığına bağlıdır.

3.3 Cihaz ve Donanım

Tipik bir ultrasonik punto kaynağı test sistemi iki ana elemandan oluşur; bir normal probe ve bir ultrasonik test cihazı. Bununla birlikte hem probe hem de ultrasonik test cihazı standart ultrasonik testler için gerekli olmayan bazı ek özelliklere sahip olmalıdır. Örneğin kullanılan probe test edilecek malzeme kalınlığına uygun frekans ve kristal çapı, ultrasonik test cihazı ise yüksek çözünürlüklü bir ekrana sahip olmalıdır. Kaynak çekirdeğinin boyutlarını belirlemek için ses demeti çapı ve buna bağlı olarak probe çapı seçilen malzeme kalınlığı için gerekli olan çekirdek çapına uygun olmalıdır (Sonat, Doyum, Direnç kaynaklarının Ultrasonik muayenesi).



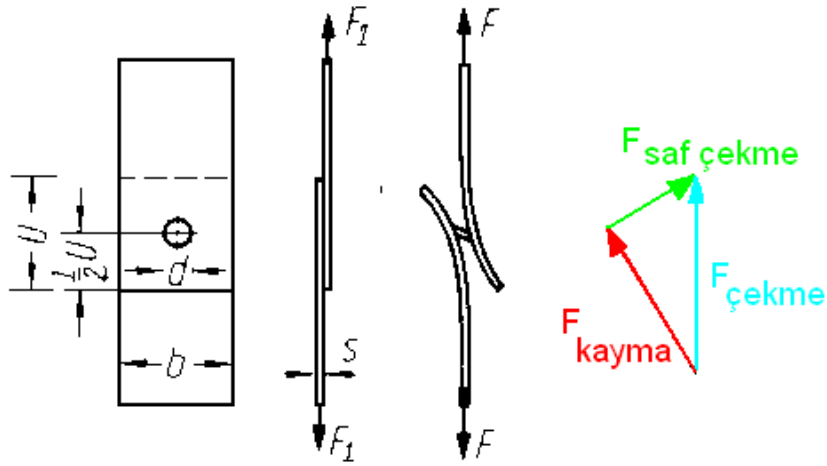
3.4 Çekme-Makaslama Deneyi



Çekme-makaslama deneyi.

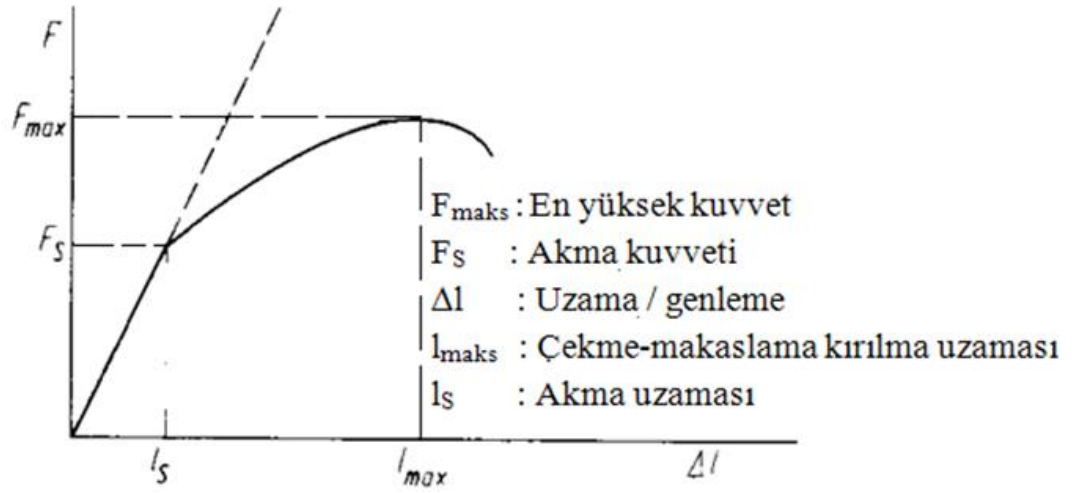
a) Serbest çekme-makaslama deneyi

b) Takviyeli çekme-makaslama deneyi.

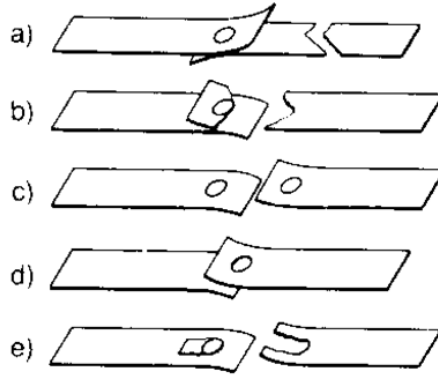


Artan yükleme halinde çekme-makaslama deneyindeki zorlama.

Şekil 3.90. Çekme makaslama deneyi (Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)



Şekil 3.91. Çekme makaslama deneyinde kuvvet uzama diyagramı
(Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)



Çekme-makaslama deneyindeki kırılma türleri
a) Saç yırtılması
b) Nokta ekseninden yırtılma
c) Makaslama (kesme) kırılması
d) Düğmelenme kırılması
e) Nokta çevresinden yırtılma.

Şekil 3.92. Çekme makaslama deneyinde kırılma türleri
(Gedik Ü. Kay.Müh.Notları 2010)

4. BULGULAR

Direnç kaynağının proses parametrelerinin ayarlanması, kalitesi ve kalite muayenesi her ne kadar manuel yöntemlerle de doğru yönetilebilse de, günümüz teknolojisi ile otomasyon ve PLC vb. programlardan faydalanmak iş sonuçlarının yeterliliğini artıracaktır. Örneği çekirdek çapı, kaynak akımı, ya da ultrasonik muayene ile bulunan hata miktarı, belirlenen sınırlar içinde olsa bile, yeterlilik çalışmasının yapılması şarttır. Cp, Cpk değerlerinin kullanıldığı gerek makine gerekse proses yeterlilik analizi, sistemin kararlılığı ve hassas iş sonuçları elde edebilmek adına kritiktir.

Artık Türkiye’de de PLC kontrollü, özel sistem yazılımı olan ve yeterlilik analizi yapabilen ERW kaynak makineleri üretilmektedir.

Yine sertifikalı kaynak mühendisliği ve teknikerliği eğitimleri, VT, UT, MT, RT ve PT testlerini yapabilen sertifikalı personel kullanımı, kaynak kalitesine ek olarak, sistemin gelişmesine katkıda bulunacaktır.

5. SONUÇ

Elektrik direnç kaynağı halen otomotiv, beyaz eşya, makine imalatı ve dayanıklı tüketim malları imalatı gibi pek çok sektörde en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir. Malzeme özellikleri, proses parametreleri, makinelerin prosese uygunluğu ve kaynak kalitesi konularında metodoloji ve otomasyon yazılımları konularında halen ciddi eksikler ve uygulama hataları bulunmaktadır.

Kaynak prosesi oluşturulurken bütün bu özelliklerin, metodik olarak belirlenmesi ve şekiller, görseller ve videolarla desteklenmesi gerekir. Kaynak makinesi ve kullanılan elektrodların boyutlandırılması da oldukça kritiktir.

Isı transferi, akışkanlar mekaniği, malzeme, elektrik ve elektronik sistemler, mukavemet, tahribatsız muayene, talaşlı imalat ve makine elemanları başta olmak üzere pek çok temel mühendislik eğitimlerinin kullanıldığı Elektrik Direnç Kaynağı prosesinin, hatasız ve yerinde kalite anlayışı ile uygulanabilmesi için, bütün bu disiplinlerin ne kadar kritik olduğu dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akkuş A, Vural M, 2006.** Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Ultrasonik Testi ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu, *Mühendis ve Makine*, 563 : 25-34
- Anık S., Anık E.S., Vural M, 2004.** 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. İstanbul: Birsen Yayınevi
- Anık S., 1991.** Kaynak Tekniği El Kitabı. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı
- Anonim 2017a.** Swantec Resistance Welding. <https://www.swantec.com/>
- Anonim 2017b.** Wikipedia. Metallerin ısı iletim ve genleşme katsayıları <https://www.wikipedia.org/>
- Anonim 2017c.** Albaksan Technical Data Sheet.. <http://www.albaksan.com/tr/>
- Aran A., 2008.** Malzeme Bilgisi Ders Notları. İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi
- Hipp R., 2013.** Hochaufgelöste Ultraschallprüfung an Widerstandspunktschweißverbindungen, sayfa 1-11. <http://www.ndt.net/article/dgzfp2013/papers/mi2a3.pdf>
- Kelkar G., (2007).** Improving Heat Balance in Resistance Welding, sayfa 1-12. <http://www.welding-consultant.com/ImprovingHeatBalanceInResistanceWelding.pdf>
- Koçak H., (2006).** Bakır ve Bakır Alaşımları, Sağlam Metal. İstanbul: Bolokur Teknik Yayıncılık
- Millerwelds, (2010).** Resistance Welding Handbook. Sayfa 1-7. <https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/files/pdf/resources/bookspamphlets/resistance.pdf>
- Miyachi Unitek, AMADA 2011.** Fundamentals of Small Parts' Resistance Welding. Sayfa 1-7. http://www.amadamiyachi.com/servlet/servlet.FileDownload?retURL=%2Fapex%2Feducationalresources_articles&file=01530000000Jybm
- ODTÜ Kaynak Teknolojisi Mrkz, 2009.** Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları.
- Pournaderi S, KTÜ, 2015.** Tahribatsız Muayene Ders Notları
- RWMA, Resistance Welder Manufacturer's Alliance, 2009.** Resistance Welding Manual. Miami, Florida: American Welding Society
- Schlatter AG, 2004.** Betriebsanleitung für Çelikpan Heat Systems. Zürich
- Sonat, Doyum.** Direnç Kaynaklarının Ultrasonik muayenesi. Sayfa 97-105. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11318.pdf>
- Steinmeier D, 2003.** Laser and Resistance Weldability Issues, Part II – Material Surface Properties. http://www.microjoining.com/docs/1352551973_microtip_weldability_issues-2.pdf
- Şahin U.O., 2015.** Subconturkey, Orta Frekans ERW Makineleri. <http://subconturkey.com/2010/Subat/haber-Elektrik-Direnc-Kaynaginda-Yeni-Trend--Orta-Frekans-Kaynak-Makineleri.html>

Zhang H., Senkara J., 2006. Resistance Welding, Fundamentals and Applications. Boca Raton: Taylor & Francis Group



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga TEZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Zonguldak / 04.12.1975

Yabancı Dili : İngilizce
Almanca
İtalyanca
İspanyolca

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Lisesi (1990-1993)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği (1994-1999)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon-İmalat Bilim Dalı
(2011-2017)

Çalıştığı Kurumlar ve Yılı : Polin Waterparks 2014 -
Putzmeister 2011 – 2013
Fontana Pietro 2010 – 2011
Johnson Controls 2007 – 2010
Beyçelik & Çelikpan 2003 – 2007

İletişim (e-posta) : herakleia75@gmail.com