

**OTOMOTİV SANAYİİNDE KULLANILAN DİRENÇ
NOKTA KAYNAK UYGULAMALARI VE
KARŞILAŞILAN SORUNLAR**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TAYIN MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Murat AKYOL
Enstitü No: 503951043**

104136

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Temmuz 2001**

Tez Danışmanı : Y.Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)

Y.Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR (İ.T.Ü.)

TEMMUZ 2001

ÖNSÖZ

Otomotiv sanayii birçok imalat yönteminin kullanıldığı dev bir sanayi dalıdır. Bir otomobil gövdesini oluşturmak için alt montajlardan ana montaja kadar birçok kaynak yöntemi kullanılır. Kullanılan yöntemler olarak basta punta kaynak yöntemi olmak üzere, gövdenin imalatında direnç dikiş kaynağı, MAG kaynağı, saplama kaynağı ve yumuşak lehimleme gibi yöntemleri sayabiliriz.

Otomobil sektöründe, gövde imalatında yaygın olarak kullanılan punta kaynak kalitesini etkileyen birçok faktör olduğu gibi bu faktörlere bağlı olarak da birçok problem yaşanmaktadır. Punta Kaynağı etkileyen faktörler olarak kaynağın gerçekleştirilmesinde kullanılan elektrodlar, kaynak yapılacak parçanın boyutları, şekli, kimyasal bileşimi ve kaplaması, kaynak akımı, zamanı, elektrod sıkıştırma kuvveti, elektrod yüzey çapı vb lerini sayabiliriz.

Bu çalışmanın birinci amacı, otomotiv sanayiindeki en önemli kaynak türü olan punta kaynağı tanıtmak ve bu kaynağın kullanılam alanlarını ve karşılaşılan problemleri belirleyebilmektir. Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı tanıtıldıktan sonra, otomotiv sanayiindeki uygulamalarından ve direnç nokta kaynağını etkileyen faktörleri ve karşılaşılan sorunları belirlemek, karşılaşılan sorunları irdeleyerek bu problemlerin giderilmesi için yapılan çalışmalar hakkında bilgi vermektir.

Böyle bir çalışmayı gerçekleştirebilmem için tüm deneyim ve bilgisini bana sunan başta danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ olmak üzere tüm öğretim üyelerine ,tezimi yazarken bana destek olan Başak ÇALIKOĞLU' na, üniversitedeki teorik bilgilerimi pratikte kullanabilme fırsatı tanıyan ve her konuda her çalışanından destek aldığım Ford Otosan'a ve beni daima destekleyen aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Haziran 2001

Murat Arda AKYOL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI	2
2.1 Direnç Kaynağı ve Prensibi	2
2.2 Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi	3
2.2.1 Kaynak Donanımı	4
2.2.2 Direnç Kaynak Makinalarındaki Kontrol Düzenleri	5
2.2.3 Direnç Kaynak Makinası Teçhizatı	6
2.2.4 Sekonder Devre Karakteristikleri	7
2.3 Kaynak Çevrimi	8
2.4 Direkt ve Seri Kaynak	11
2.4.1 Tek Noktalı Direkt Kaynak	11
2.4.2 Çok Noktalı Direkt Kaynak	12
2.4.3 Çok Noktalı Seri Kaynak	13
2.5 Uygulama Alanları	13
2.6 Avantajları ve Sınırlamalar	15
2.7 Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu	15
2.8 Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri	18
2.8.1 Kaynak Akımı	18
2.8.2 Kaynak Süresi	22
2.8.3 Elektrod Malzemesi ve Boyutları	23
2.8.4 Elektrod Kuvveti	25
2.8.5 Esas Metalin Kimyasal Bileşimi	26
2.8.6 Esas Metalin Gördüğü Isıl ve Mekanik İşlemler	27
2.8.7 Esas Metalin Yüzey Durumu	27
2.8.8 Kaynak Noktası Sıklığı	29

2.8.9 Elektrod ve İş Parçasının Temas Durumları	30
2.9 Direnç Nokta Kaynağı İçin İstenmeyen Yüzey Koşulları	31
2.10 Kaynak Programları	31
2.11 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler	33
2.11.1 Soyma deneyi	34
2.11.2 Keski deneyi	34
2.11.3 Çekme deneyi	34
2.12 Otomotiv Sanayinde Direnç Nokta Kaynağı	36
2.12.1 Otomotiv Ürünleri	36
2.12.2 Otomotiv Gövdesi İmalatı	38
2.12.3 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Makinaları	40
2.12.3.1 Manivela Kollu Kaynak Makinası	40
2.12.3.2 Pres Tipi Kaynak Makinası	41
2.12.3.3 Taşınabilir Kaynak Makinası	42
2.12.3.4 Çok Elektrodlü Kaynak Makinası	46
3. ULTRASONİK KAYNAK TESTİ	47
3.1 Ses Ve Yayılma Teorisi	47
3.2 Ultrasesin Oluşumu Ve Özellikleri	48
3.3 Kristal Tipleri	49
3.4 Ultrasesin Kavramları	50
3.5 Frekans	51
3.6 Periyod	51
3.7 Dalga Boyu	51
3.8 Yayılma Hızı	51
3.9 Akustik Empedans	52
3.10 Genlik	52
3.11 Ses Basıncı	52
3.12 Ses Enerjisi	52
3.13 Ultrasonik Dalga Çeşitleri	52
3.13.1 Boyuna Dalgalar	53
3.13.2 Enine Dalgalar	53
3.13.3 Yüzey Dalgaları	54
3.13.4 Plaka Dalgaları	55
3.14 Ses Demeti Ve Karakteristikleri	56
3.14.1 Yakın Alan	57
3.14.2 Uzak Alan	59
3.14.3 Demet Genişlemesi	60
3.15 İki Farklı Malzeme Arasında Ses Dalgasının Hareketi	61
3.16 Ultrasonik Dalgaların Kristal Yapıya Göre Zayıflaması	69
3.17 Ultrasonik Test Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar	73

3.17.1 Yüzey Durumu	74
3.18 Test Sisteminin Kalibrasyonu Ve Kontrolü	75
3.18.1 Kalibrasyon Blokları	77
3.18.2 Ultrasonik Alet Kontrolleri	77
3.18.2.1 Elektrik Kararlılığı Kontrolü	77
3.18.2.2 Yatay Doğrusallık Kontrolü	78
3.18.2.3 Düşey Doğrusallık Kontrolü	78
3.18.2.4 Elektronik Gürültü Kontrolü	78
3.18.3 Normal Probların Kontrolü	78
3.18.3.1 Ayırma Gücü Kontrolü	78
3.18.3.2 Ölü Alan Kontrolü	79
3.18.3.3 Bağlı Duyarlılık Kontrolü	80
3.18.4 Açılı Probların Kontrolleri	80
3.18.4.1 Ses Çıkış Noktasının Kontrolü	80
3.18.4.2 Kırılma Açısının Kontrolü	80
3.18.4.3 Demet Yönü Kontrolü	80
3.18.4.4 Ayırma Gücü Kontrolü	80
3.18.4.5 Taban Bloğu Mesafesinin Kontrolü	81
3.18.4.6 Bağlı Duyarlılık Kontrolü	81
4.FORD OTOSAN'DA UYGULANAN NOKTA DİKİŞ KAYNAK SİSTEMİ	82
4.1 Gevşek Punta	85
4.2 Fazla Punta	85
4.3 Yanık Ve Gözenekli Punta	85
4.4 Sert Punta	86
4.5 Kaçık Punta	86
4.6 Düğme Çapı Küçük	86
4.7 Eksik Punta	87
4.8 Ford Otosan Fabrikasında Nokta Direnç Kayma Operasyonları ve Kontrol Prosedürü	88
4.9 Ford Otosan Fabrikasında Uygulanan Punta Operasyonları Ve Kontrol Prosedürleri	90
4.9.1 Yeni Punta Kaynak Parametreleri Belirlenmesi	90
4.9.2 Punta Parametrelerinin Kontrolü Ve Ayarlanması	91
5.DENEYLER VE ÇALIŞMALAR	99
5.1 Galvaniz Kaplamalı Sacların Direnç Nokta Kaynağı	99
5.1.1 Malzeme Ve Deneysel Prosedür	101
5.1.2 Deneysel Prosedür	101
5.1.3 Test Metodları	101
5.1.4 Kaynak Parametreleri	102
5.1.5 İstatistiksel Analiz	104

5.1.6	Sonuç	105
5.2	Aracın Geliştirilme Evresinde Kullanılan Kuvvetlendirme Metodu	105
5.2.1	Malzeme Ve Test	106
5.2.2	Punta Kaynak Bölgesinin Malzeme Özellikleri	107
5.2.3	Punta Kaynak Bölgesinin Yorulma Ömrü	108
5.2.4	Yorulma Çatlağı Oluşumu	108
5.2.5	Saç Gerilmesinin Etkisi	109
5.2.6	Metal Kalınlığının Etkisi	110
5.2.7	Yük Koşullarının Etkisi	111
5.3	Aliminyum Alaşımlarının Direnç Nokta Kaynak Özellikleri	113
5.3.1	Deneysel Metodlar	114
5.3.2	Düğme Çapının Ölçümü Ve Yük Testi	114
5.3.3	Ana Parametrelerin Etkisi	115
5.3.3.1	Kaynak Akımı	115
5.3.3.2	Elektrod Kuvveti	116
5.3.3.3	Kaynak Çevirimi	116
5.3.4	Optimum Kaynak Şartlarının Grafikle Anlatımı	117
5.3.5	Optimum Koşullar Altında Kaynak Karakteristiğine Karar Verilmesi	118
5.3.6	Başlangıç Ve İletilen Isının Etkisi	119
5.3.7	Farklı Malzeme Kombinasyonları İçin Yapılabilirlik Karşılaştırması	119
5.4	Direnç Nokta Kaynak Ve Sealerları Kullanarak Optimum Tasarım	120
5.4.1	Gradyent Hesabı Ve Optimizasyon Yöntemi	124
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	125
	KAYNAKLAR	129
	ÖZGEÇMİŞ	132

KISALTMALAR

A/SP	: Kaynak Kalite Test Metodu Manuelli
HDG	: Optimal Galvaniz Kaplı Sac
HG	: Optimal Galvanil Kaplı Sac
KTGK 001 010F	: Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu
KTGK 001 010F	: Robot Punta İstasyon Bilgileri Formu
KTGK 001 010F	: Kaynak Atelyesi Peryodik Parametre Kontrol İstasyon Çizelgesi
RWMA	: Resistance Welder Manufacturers Association
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları	18
Tablo 2.2 Direnç kaynağında kullanılan elektrod alaşımları	24
Tablo 2.3 Direnç nokta kaynağında istenmeyen yüzey koşulları	31
Tablo 2.4 Kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri	32
Tablo 2.5 Minimum çekirdek çapları ve çekme-makaslama dayanımları	35
Tablo 2.6 Otomotiv parçalarında kullanılan başlıca metaller	37
Tablo 2.7 Ford Escort marka otomobilin gövdelerine yapılan nokta kaynağı sayıları	39
Tablo 3.1 Kenar Oranı Faktör Tablosu	58
Tablo 3.2 k_{ADB} Faktörü Değerleri	61
Tablo 3.5 US Alet Kontrol Tablosu	76
Tablo 5.1 Malzeme İçerisinde Bulunan Katışkının Oranı	101
Tablo 5.2 Kaynak Çalışmasında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	101
Tablo 5.3 HDG ve GA Malzemeleri İçin Test Matrisi	102
Tablo 5.4 HDG Malzemeleri İçin Elektrod Ömrü Sonuçlarının İncelenmesi ..	103
Tablo 5.5 Bütün HDG Elektrod Ömür Verileri İçin Analiz Sonuçları	104
Tablo 5.6 Testte Kullanılacak Malzemelerin Mekanik Özellikleri	106
Tablo 5.7 Testte Kullanılacak Malzemelerin Kimyasal Özellikleri ..	106
Tablo 5.8 Numunelerin Punta Kaynak Koşulları	107
Tablo 5.9 Punta Kaynak Özellikleri	112
Tablo 5.10 Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	114
Tablo 5.11 Test Koşulları	115

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Direnç nokta kaynağı	4
Şekil 2.2 : Direnç nokta kaynağı makinasının elektriksel sistemi	7
Şekil 2.3 : Direnç nokta kaynağı aşamaları	8
Şekil 2.4 : Kaynak çevrimleri	9
Şekil 2.5 : Tek noktalı direkt kaynak için çeşitli düzenlemeler	11
Şekil 2.6 : Çok noktalı direkt ve seri kaynak için çeşitli düzenlemeler	13
Şekil 2.7 : Direnç nokta kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı ...	15
Şekil 2.8 : Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları	16
Şekil 2.9 : Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı	17
Şekil 2.10 : Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fişkırmalar	19
Şekil 2.11 : Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliği üzerindeki etkileri	21
Şekil 2.12 : Kaynak kabiliyeti diyagramı	22
Şekil 2.13 : Elektrodların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri	30
Şekil 2.14 : Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar	31
Şekil 2.15 : Soyma ve keski deneyleri	33
Şekil 2.16 : Çekme numunesi tasarımları	35
Şekil 2.17 : Kapsız ve kaputsuz bir otomobil gövdesini oluşturan ana parçalar	39
Şekil 2.18 : Manivela kollu kaynak makinası	40
Şekil 2.19 : Pres tipi kaynak makinası	42
Şekil 2.20 : Taşınabilir kaynak makinası istasyonu	43
Şekil 2.21 : Makas tipi ve C-tipi taşınabilir kaynak tabancası	44
Şekil 2.22 : Entegre transformatörlü taşınabilir kaynak tabancası	44
Şekil 3.1 : İç Sürtünmeden Doğan Enerji Kaybı Grafiği	49
Şekil 3.2 : Kristal Yapının Şekli	50
Şekil 3.3 : Ultrasonik Sesin Oluşumunun Şekli	50
Şekil 3.4 : Dalgaların Yayılması	53
Şekil 3.5 : Enine Dalgaların Yayılması	54
Şekil 3.6 : Yüzey Dalgaların Yayılması	55
Şekil 3.7 : Ses Demeti	57
Şekil 3.8 : Dalgaların Hareketleri	62
Şekil 3.9 : Dalgaların Yansıma Ve Kırılması	66
Şekil 3.10 : Boyuna Dalgaların Kırılarak Enine Dalga Haline Dönüşmesi	67
Şekil 3.11 : Boyuna Dalgaların Kırılarak Malzeme İçerisinde Dalga Kalmaması	67
Şekil 3.12 : Dalgalarda Basınç Mesafe Diagramı	69
Şekil 3.13 : Dalga Yayılımı	70
Şekil 3.14 : Malzeme Yapısı	71
Şekil 3.15 : Tane Sınırlarında Yansıma Ve Dalga Donuşumleri	72
Şekil 3.16 : İşleme Başlanacak Yankının Yüksekliği	73

Şekil 3.17	: Probun Kullanımı	79
Şekil 4.1	: Gevşek Punta.....	85
Şekil 4.2	: Fazla Punta.....	85
Şekil 4.3	: Yanık ve Gözenekli Punta.....	85
Şekil 4.4	: Kaçık Punta.....	86
Şekil 4.5	: Saç Kalınlıklarına Göre Belirlenen Kaynak Düğmesi Kırılma Yüzey Çapı	87
Şekil 4.6	: Eksik Punta Gösterimi.....	87
Şekil 4.7	: Uç Noktaların Hatalarının Gösterimi	87
Şekil 4.8	: Malzeme Dolabı	94
Şekil 4.9	: Kaynak Akım Testi.....	95
Şekil 4.10	: Elektrod Kuvvetinin Seçimi	95
Şekil 4.11	: Elektrid Ucunu Düzeltme	96
Şekil 4.12	: Atölyede Yapılan Soyma Testi	97
Şekil 5.1	: Elektrod Ömrü Verileri İçin F Oranı	104
Şekil 5.2	: Punta Yapılmış Bölgenin Sertlik Dağılımı	107
Şekil 5.3	: Strain Gage Yerleşimi.....	108
Şekil 5.4	: Yüklem Koşulları İçin Oluşan Yorulma Çatlakları.....	108
Şekil 5.5	: Yük Altında Yorulma Çatlağının Oluşumu	109
Şekil 5.6	: Bükme Yüğü Altında Çatlak Oluşumu.....	109
Şekil 5.7	: Malzemenin Yorulma Özellikleri.....	110
Şekil 5.8	: Yorulma Testi.....	111
Şekil 5.9	: Yorulma Testi.....	111
Şekil 5.10	: Farklı Delik Çapları İçin Karbon Kaynak.....	112
Şekil 5.11	: Numunenin Şekilleri.....	112
Şekil 5.12	: Numunelerin İç Yapısı.....	113
Şekil 5.13	: Düğme Çapı Ve Kaynak Akımıyla Yırtma Kuvveti Arasındaki İlişki	114
Şekil 5.14	: Kaynak Akım Elektrot Kuvveti ve Yırtılma Kuvveti Tablosu ...	117
Şekil 5.15	: Kaynak Düğmesinin Kesiti	118
Şekil 5.16	: Kaynak Akımının Optimum Koşulları Altında Düğme Çapı	119
Şekil 5.17	: Farklı Alüminyum Alaşımları İçin Yırtılma Kuvveti Ve Düğme Çapı	120
Şekil 5.18	: Tavan Kısımına Uygulanan Sealer	121
Şekil 5.19	: Ön Taban Kısımına Uygulanan Sealer	121

SEMBOL LİSTESİ

Q	: Kaynak ısısı
K	: Enerji kaybı katsayısı
I	: Kaynak akımı
R	: Kaynak bölgesi toplam direnci
T	: Kaynak akımının geçtiği süre
R_m	: Kullanılan malzemelerin direnci
R_t	: Temas dirençleri
R_d	: Daralma direnci
R_f	: Film direnci
s	: Levha kalınlığı
ρ	: Malzemenin özgül direnci
d	: Akım yolu çapı
b	: Kesik koninin taban çapı
a	: Temas noktalarının ortalama yarıçapı
l	: Temas noktalarının merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı
n	: Nokta sayısı
d_t	: Görünür temas yüzeyinin çapı
d_ç	: Çekirdek (düğme) çapı
d_e	: Elektrod çapı
d_n	: Nokta çapı
P	: Elektrod kuvveti
r	: Küresel elektrod ucu çapı
k_{1,2}	: Levha malzemesine bağlı sabitler
d₁	: Elektrod başlığının dış çapı
d_{2,3}	: Elektrod başlığının uç çapları
A	: Genlik
λ	: Dalga Boyu
T	: Periyod
δ	: Piezoelektrik modülü
δq	: Yükün Açığa Çıktığı Yüzey
δf	: Kuvvetin uygulandığı yüzey
q	: Elektrik Yükü
F	: Uygulanan Kuvvet
Z	: Akustik Empedans
P	: Ortam Yoğunluğu
V	: Sesin Yayılma Hızı

OTOMOTİV SANAYİİNDE KULLANILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAK UYGULAMALARI VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

ÖZET

“Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları Ve Karşılaşılan Problemler” başlıklı bu çalışmada ilk olarak direnç nokta kaynağının prensibi, kullanılan teçhizat, kaynak kalitesini etkileyen parametreler, kaynak kalitesinin kontrolünde kullanılan deneyler tanıtılmış, daha sonra direnç nokta kaynağının otomotiv sanayiindeki uygulamaları ele alınmıştır.Üçüncü bölümde otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan ultrasonik kaynak testinidördüncü bölümde Ford Otosan fabrikasındaki uygulamalar incelenmiştir. Beşinci bölümde direnç nokta kaynak sonuçlarını iyileştirmek için yapılan çalışmalar anlatılmıştır .Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmıştır.

İlk bölümde çalışmayı tanıtıcı bir giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümde, direnç nokta kaynağı detaylıca ele alınarak, bu kaynak metodunun prensibi, kullanılan teçhizat, kaynak çevrimleri, direkt ve seri kaynak düzenlemeleri, direnç nokta kaynağının uygulama alanları, avantajları ve sınırlamaları, kaynak çekirdeğinin oluşumu, direnç nokta kaynağını etkileyen parametreler, direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları, kaynak programları ve kaynak kalitesinin belirlenmesinde kullanılan deneyler tanıtılmıştır. Bu bölümde ayrıca otomotiv sanayiinde direnç nokta kaynağı uygulamaları ve kullanılan direnç nokta kaynak makinaları tanıtılmıştır.

Üçüncü bölümde otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan ultrasonik kaynak testi konu edilmiştir. Bu bölümde ultrasonik kaynağın teorik anlatımının yanında ultrasonik kaynak testinde dikkat edilmesi gereken hususlar ve ultrasonik alet kontrollerinin ayarlarının nasıl yapılması gerektiği konularınada açıklık getirilmiştir.

Dördüncü bölümde ülkemizde otomotiv sanayiinin öncü kuruluşlarından olan Ford Otosan fabrikasını referans kuruluş olarak kabul ederek, otomotiv sanayiinde ki direnç nokta kaynağı uygulamalarını , kalitedeki standardı yakalamak için kurulan sistemi ve yapılan araştırmaları inceleyeceğiz.

Beşinci Bölümde otomobil parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özellikleri sağlamak ve üretkenliği arttırmak için yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Sonuç kısmında da tüm bu bölümlerin değerlendirmesi yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak tartışılmıştır.

IMPLEMENTATIONS AND CONCERNS OF THE RESISTANCE SPOT WELDING IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

In this study titled “Implementations and Concerns Of The Resistance Spot Welding in Automotive Industry”, after a brief introduction, the principle of resistance spot welding, weld equipment, parameters affecting the weld quality, tests that are used to measure the mechanical properties of spot welds are explained. After these introductory explanations, applications of resistance spot welding in automotive industry and different types of resistance spot welding machines are presented. In the next chapter, Ultrasonic Test for resistance spot welding are explained and finally, results are discussed.

After the work is introduced briefly in the first chapter, principles of resistance and resistance spot welding, equipment for this welding method, resistance spot welding cycles, arrangements for direct and series welding, applications, advantages and limitations of this type of welding, growth of weld nugget, factors affecting resistance spot welding, unsatisfactory surface conditions, welding schedules and tests used to determine the weld quality are presented in the second chapter. Implementation of the resistance spot welding in the automotive industry and the types of resistance spot welding machines are also introduced in this chapter.

In the third chapter, Ultrasonic Test for the resistance spot welding are introduced. Ultrasonic test's advantages and limitations of the ultrasonic test and how we can make calibration tools of the ultrasonic welding test are explained.

In the fourth chapter, Implementations, control tests and procedure of the resistance spot welding are reviewed for the Ford Otosan Motor Company in İstanbul.

In the Next Chapter, resistance spot welding tests and experiments to provide relation properties are explained.

In this chapter, We determined concerns of spot welding and the results of implementations of the spot welding are discussed.

1. GİRİŞ

Otomotiv sanayii gelişen teknolojiyi yakından takip etme zorunluluğu olan ve her türlü gelişmeyi artan rekabet ortamında, bünyesine adapte edebilme kolaylığına ve zorunluluğuna sahip gelişen bir endüstridir. Bir çok sanayii koluyla iletişim içinde olan otomotiv sanayiinde rekabet ortamının gerektirdiği üretim sistemlerini ve teknolojiyi yakalayabilmiş ve bu gelişmeleri daha kaliteli ve daha az maliyetli araçlar üretebilmekte değerlendirmiş firmalar diğer firmalara karşı daha avantajlı duruma geçmektedirler.

Bir arac gövdesinin üretilmesinde yüzlerce farklı panel ve parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerden belki de aracın dayanımı açısından en önemlisi, aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak prosesidir. Bir otomobil fabrikasının kaynak atölyesinde gövdenin imali için kullanılan belli başlı kaynak yöntemleri, direnç nokta kaynağı, direnç dikiş kaynağı, MAG kaynağı, saplama kaynağı ve yumuşak lehimlemedir. Bu kaynak yöntemleri içinde aracın ortaya çıkmasında en büyük rolü, farklı tipteki kaynak makinalarının yanı sıra robotik uygulamayla da gerçekleştirilen punta kaynağı oynamaktadır. Bahsedilen kaynak yöntemleri içinde direnç nokta kaynağı gövdenin imal edilmesinde yaklaşık %80'lik bir paya sahiptir.

Direnç Nokta kaynağının diğer kaynaklar yöntemlerine karşı daha hızlı yapılabilirliği, kaynama ve ısı tesir alanlarının küçüklüğü, malzemenin, diğer kısımlarının özelliğinin kaybolmaması, güvenilirliği, gözle muayene edilebilme özelliği gibi nedenlerden dolayı özellikle otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen aracın dayanımını, güvenilirliğini etkileyen faktörlerden en önemlisi olan bu yöntem uygulanırken, karşılaşılan problemlerin belirlenmesi, problemlerin kaynak kalitesine etkileri, direnç kaynaklarının kontrolleri ve bu konuda yapılan çalışmaların sistematik olarak incelenmemiş olması, bu konunun tez konusu olarak seçilmesine neden olmuştur.

2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

2.1 Direnç Kaynağı ve Prensibi

Direnç nokta kaynağı bir direnç kaynağı çeşididir. 1877’de A.B.D.’de bir rastlantı sonucu bulunan elektrik direnç kaynağı seri imalata uygun ve oldukça yaygın bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye ya da pedala basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran operatörler tarafından hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Diğer yandan, direnç kaynağı makinaları, diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından, sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde otomotiv ve uçak endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Direnç kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği elektrik direncinden elde edilen ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Ek bir dış ısı kaynağı yoktur. Isı, birleşme bölgesinde Joule kanununa göre oluşur:

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

Burada, Q üretilen ısı, K bir sabit, I kaynak akımı, R kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı ve T kaynak akımının devrede kalma

zamanıdır. Üretilen ısıнын bir kısmı iletim ve ışıınım yoluyla kaybolur. İfadede yer alan direncin değeri düşük olduğundan, gerekli kaynak ısısını üretebilmek için yüksek şiddette akımlara ihtiyaç vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, aynı zamanda kaynak akımını da ileten elektrodlar vasıtasıyla uygulanır. Bu kuvvet, hidrolik, pnömatik ya da mekanik düzenleyiciler tarafından sağlanır.

Direnç kaynağı yöntemleri üç gruba ayrılmaktadır:

1. Nokta kaynağı:

- a) Normal nokta kaynağı
- b) Kabartılı nokta kaynağı

2. Dikiş kaynağı:

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

3. Alın kaynağı:

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

b.1) Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı

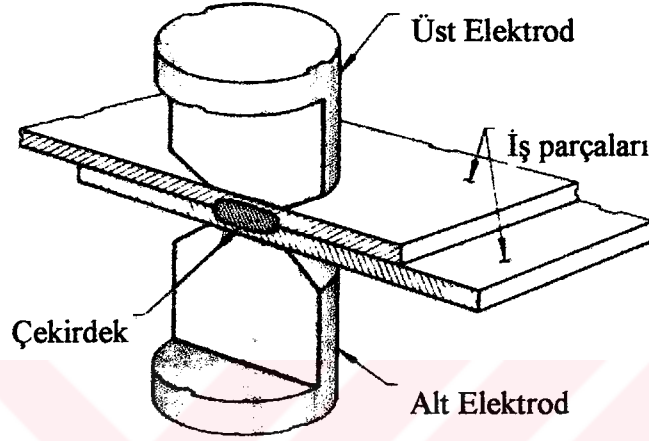
b.2) Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesi gerektirir. Akım kapalı bir devre boyunca akar. Akımın sürekliliği, kullanılan yöntemeye uygun olarak şekillendirilmiş elektrodların uyguladığı basma kuvveti sayesinde gerçekleşir. Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası en genel halde şöyle ifade edilebilir: Önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bu metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına olanak sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğutma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksekse, kaynak makinasında gerçekleştirilen bir temperleme işlemi gerekmektedir [1-3].

2.2 Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi

Direnç nokta kaynağı, elektrodlar tarafından uygulanan kuvvet altında bir arada tutulan iş parçalarında, geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri

dirençten elde edilen ısı ile, parçaların tek ya da daha çok noktada bölgesel olarak eritilip basınç altında birleştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Akım konsantrasyonu bölgesinde temas eden yüzeyler düşük gerilim, yüksek şiddetli akımın kısa süreli pulsu ile ısıtılarak kaynak metalinde erimiş çekirdek meydana gelir. Akım kesildiğinde, kaynak metali hızlı bir şekilde soğuyup katılaşırken elektrod kuvveti uygulanmaya devam etmektedir. Saniyenin bir diliminde tamamlanan her kaynaktan sonra elektrodlar geri çekilmektedir.



Şekil 2.1 Direnç nokta kaynağı [4]

Kaynak dikişinin boyut ve şekli, ilk olarak elektrod uçlarının boyut ve şekliyle sınırlıdır. İç yüzeylerde kaynak çekirdeği oluşur fakat tamamen dış yüzeylere doğru genişlemez (Şekil 2.1). Düzgün bir nokta kaynağındaki çekirdeğin kesiti oval şekilde, üstten görünüşü ise elektrod ucu şeklinin aynı olup (çoğunlukla yuvarlak), yaklaşık olarak aynı boyuttadır. Elektrod gücüne dayanabilecek yeterli esas metal olmasını ve kaynak sırasında yerel distorsiyonun kaynaktan metal fişkırmasına neden olmamasını sağlamak için, noktalar iş parçasının kenarından yeterli uzaklıkta olmalıdır. Ayrıca, komşu nokta kaynakları veya nokta kaynakları sıraları arasındaki aralık, akım şöntlenmesini önleyecek ya da kabul edilebilir bir miktarda sınırlayacak değerde olmalıdır [1-4].

2.2.1 Kaynak Donanımı

Düşük karbonlu çeliğin kaynağında kullanılan direnç nokta kaynağı makinası, 220 ya da 440 V'luk güç hatlarından çekilen ve 2 ila 20 V'a düşürülen tek veya üç fazlı 50 (ya da 60) periyotluk alternatif akım, her kaynak yapılışında direkt olarak elektrodları beslemektedir. Direnç nokta kaynağı için gereken teçhizat, otomasyonun

derecesine göre basit ve ucuz veya karmaşık ve pahalı olabilir. Direnç nokta kaynağı makinaları genellikle aşağıdaki ana elemanlardan oluşmaktadır:

a) Elektrik devresi: Kaynak transformatörü, kademe anahtarı ve sekonder devreden oluşmaktadır. Sekonder devre, kaynak akımını iş parçalarına ileten elektrodları içermektedir.

b) Kontrol teçhizatı: Akımın geçmesi gereken süreyi başlatır ve zamanlar. Ayrıca kaynak akımını ayarlayan transformatör kademe anahtarının yerine ya da ek olarak ta kullanılabilir. Kontroller, başlatma, otomatik ayarlama ve kaynak kuvveti ve akımının kesilmesi dahil olmak üzere, makinanın tüm operasyonunu sıralayabilir, zamanlayabilir ve ayarlayabilir. Geri besleme devreleri, nokta kaynağının gelişimini şunlardan biri ya da daha fazlası ile izlemektedir: sıcaklık, genleşme, kısalma, akustik emisyonlar, ultrasonik sinyaller, gerilim, akım, güç, direnç ve enerji. Geri besleme devreleri bu bilgiyi, her çekirdek oluşumunda kaynak parametrelerini kontrol eden ve ayarlayan bir mikroişlemciye iletmektedir.

c) Mekanik sistem: Tezgah, fikstürler ve iş parçalarını tutan ve kenetleyen ve kaynak kuvvetini uygulayan diğer cihazlardan oluşmaktadır [4].

2.2.2 Direnç Kaynak Makinalarındaki Kontrol Düzenleri

Direnç kaynağı makinalarında elektriksel kontroller üç ana fonksiyonu yerine getirir:

(1) akımın kaynak transformatörüne akışını başlatma ve kesme, (2) akımın şiddetini kontrol etme ve (3) kaynak makinasının mekanik operasyonlarını zamanlama ve kontrol etme. Kontroller üç gruba ayrılır: kaynak anahtarları, zamanlama ve sıra kontrolleri ve diğer akım kontrol ve ayarlayıcıları (regülatörleri).

Kaynak anahtarları elektrik güç devresini oluşturmak ve kesmek için kullanılan cihazlardır. Direnç kaynağı makinalarında, anahtarlar ve diğer kontroller kaynak transformatörünün primer devresine uygulanmaktadır. Kaynak anahtarı, kademe anahtarının en üst pozisyonunda elektrik güç hattından makineye maksimum girişi karşılamaya yetecek derecede büyük olmalıdır. Direnç kaynak makinalarında mekanik, manyetik ve elektronik olmak üzere üç tip anahtar kullanılmaktadır.

Kaynak makinasından akımın geçme süresi kaynak zamanlayıcısı ile kontrol edilmektedir. Kaynak makinasının tüm çalışma periyodu, bir sıra kontrolü ya da zamanlayıcısı tarafından zamanlanır ve kontrol edilir.

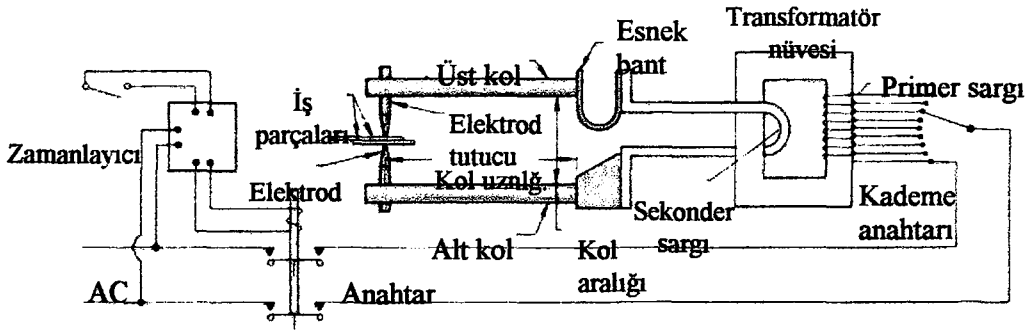
Kaynak transformatörünün primer devresindeki kademe anahtarı, kaynak akımının ayarlanmasında transformatör sarım oranını değiştirmek için kullanılmaktadır. Orta seviyede bir ayarlama gerektiğinde ya da kaynak akımının ince ayarı için elektronik ısı kontrolü kullanılmaktadır.

Artan akım kontrolü, kaynak akımını düşük bir değerden başlatmak ve tam değerine ulaşmaya kadarki gelişme hızını kontrol etmek için, azalan akım kontrolü ise, kaynak akımının değerini, kaynak çevriminin sonunda, maksimum değerden düşük bir değere düşürmek için kullanılmaktadır.

Elektronik akım regülatörleri, hat gerilim değişimlerini veya kaynak makinasının kollarının arasına manyetik malzemeler sokulmasından dolayı meydana gelen empedans değişikliklerini karşılayarak, şiddetli durumlarda sabit kaynak akımı sağlamak için kullanılmaktadır. Gerilim regülatörleri, basit kaynak operasyonlarında, normalde regüle edilmemiş akımın $\pm\%20$ değişimine sebep olacak durumlarda, kaynak akımını ayarlanmış değerinin $\pm\%2$ 'si civarında tutmak üzere tasarlanmıştır. Bu cihazların cevap süresi en iyi durumda yaklaşık 3 periyot olduğundan, ısıнын regülasyonu için zaman sağlanması açısından, kaynak akımının en az 6 periyot olması tavsiye edilmektedir [4].

2.2.3 Direnç Kaynağı Makinası Teçhizatı

Bir direnç kaynağı makinasının elektriksel sistemi Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Direnç kaynak makinasında kullanılan transformatör, primer sargıdaki (ya da bobindeki) yüksek gerilimli, düşük akım şiddetindeki alternatif akımı, sekonder sargıda düşük gerilimli, yüksek şiddetli akıma çevirir. Primer sargı, güç kaynağına bağlı olup, tüm bobinde izole edilmiş şerit bakırdan oluşmaktadır. Sekonder sargı, yüksek akımları taşıması gerektiğinden büyük kesite sahiptir. Düşük kapasiteli teçhizat hariç, sekonder sargı kapalı devrede dolaşan suyla soğutulmaktadır. Primer sargı, su soğutmalı sekonder sargıya iletim yoluyla soğutulmaktadır.



Şekil 2.2 Direnç kaynağı makinasının elektriksel sistemi [4]

Direnç kaynak makinaları için transformatör kapasitesi belli bir iş çevrimi için kVA ile ifade edilmektedir. Standart olarak, direnç kaynak transformatörlerinin kapasiteleri %50'lik iş çevrimine göre verilmektedir. Bu iş çevrimi kapasitesi, ısı kapasite olup, belli bir sıcaklık yükselmesini aşmadan, transformatörün belirlenmiş bir zaman periyodunun (çoğunlukla 1 dak.) belli bir yüzdesini sağlayabileceği güç miktarını belirtir. %50 iş çevrimi için, 100 kVA kapasiteli bir kaynak makinası, her dakikanın 30 saniyesi için, transformatör bileşenleri tasarlandıkları sıcaklıkların üstüne çıkmadan, 100 kVA sağlamaktadır. Tekrarlı yük için, bir “açık” ve bir de “kapalı” zamanı, 1 dakikayı aşmamak üzere, tamamlayıcı periyottur. Bir kaynak transformatörünün kVA kapasitesi, sekonder açık devre geriliminin sekonder akımla (kaynak akımı) çarpımının 1000'e bölümüdür.

Kademe anahtarları, transformatörün primer sargısındaki çeşitli kademeleri güç kaynağı hattına bağlamaya yarayan anahtarlardır. Kademe ayarı primer sargıdaki efektif sarım adedini ve böylece sekonder gerilim ve akımı belirler. Kademe anahtarları akım geçerken çalıştırılmamalıdır çünkü kontaktlar arasında oluşan ark temas yüzeylerinde hasara yol açar [4].

2.2.4 Sekonder Devre Karakteristikleri

Sekonder devre, kaynak akımını transformatörden elektrodla, ve böylece iş parçasına iletir. Sekonder devre veya sekonder çevrimin boyutları, büyük bir ölçüde kaynak makinasının çıkış performansını belirler. Sekonder çevrim, yaklaşık olarak, kollar arasındaki mesafe ile kol uzunluğunun çarpımıdır (Şekil 2.2). Kaynak haricindeki tüm noktalarda, sekonder devredeki direnç ve reaktans, alternatif akım güç hattında mümkün olan en düşük kVA değerinde, minimum sekonder gerilimle yeterli kaynak akımı elde etmek için mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Sekonder devrenin elemanlarında düşük elektrik iletkenliğine sahip malzemeler kullanılmaktadır. İletkenler büyük kesitli olmalı ancak gereğinden uzun olmamalıdır.

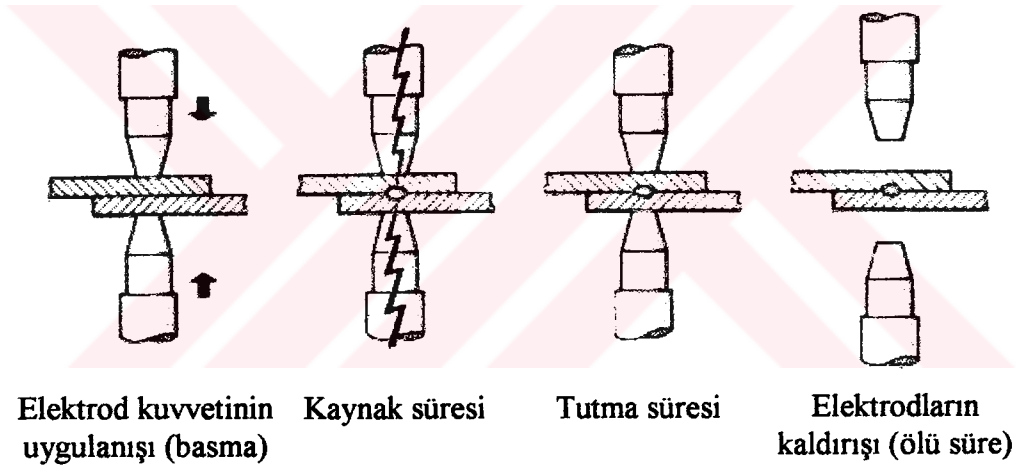
Kol uzunluğu ve kollar arası mesafe iş parçasının tutulabilmesi için gerekenden daha büyük olmamalıdır.

Makinanın kolları arasına sokulan manyetik malzeme, boyut ve kalınlığına bağlı olarak sekonder akımı düşürür. Ayrıca, alternatif akımın frekansındaki bir artış, belli bir kVA değeri için, sekonder akımı düşürür [4].

2.3 Kaynak Çevrimi

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

Genel olarak nokta kaynağı, dört periyottan meydana gelir: basma, kaynak, tutma ve ölü süre. Bu sürelerle ilgili olarak direnç nokta kaynağı aşamaları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Direnç nokta kaynağı aşamaları [5]

a) Basma süresi: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir. Bu aralık, solenoid hareketli silindir valfinin çalışması ve üst elektrod tutucunun üst elektrodu iş parçasıyla temas haline getirmesi ve elektrod kuvvetinin tamamını uygulaması için zaman sağlar. Bu zaman, parçaların yakın temasını sağlamaya yetecek kadar olmalıdır.

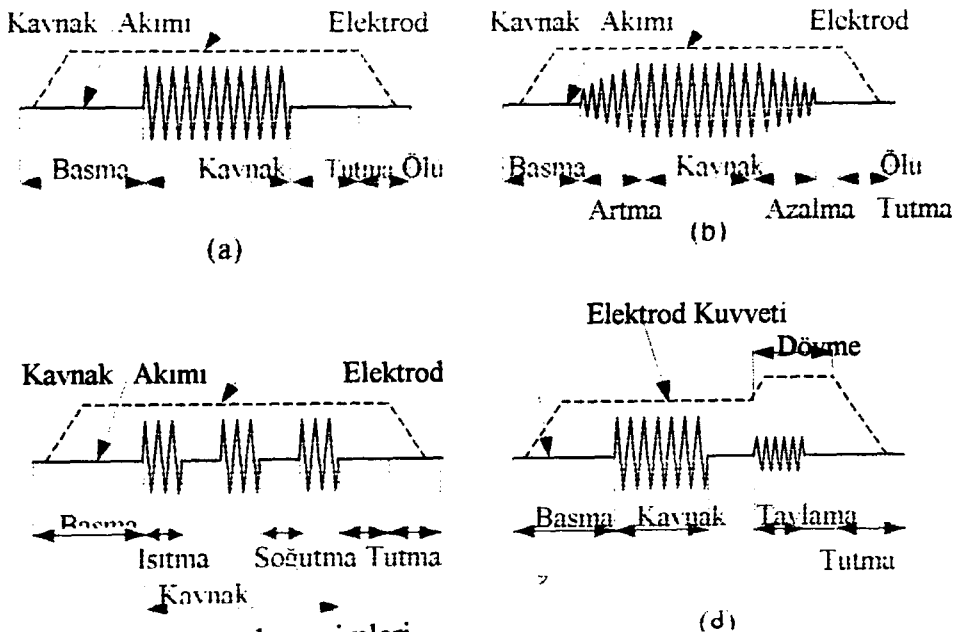
b) Kaynak süresi: Kaynak akımının devreden geçtiği zaman aralığıdır. İnce taneli yapı çeliklerinin birçoğunda, basit karbonlu çeliklere normal olarak uygulananandan biraz daha uzun kaynak süresinin kaynak kabiliyeti eğrisini genişlettiği ve böylece kabul edilebilir kaynak akım sınırlarını arttırdığı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

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

d) Ölü süre: Tutma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrodların iş parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığıdır. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrodların geri çekildiği ve iş parçasının kılavuzlandığı, kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Elle yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır. Şekil 2.4 (a) tek impulsu direnç nokta kaynağı çevrimi için bu dört temel süreyi göstermektedir. Her aralık periyot olarak gösterilmektedir. 50 Hz'lik bir şebeke için bir periyot 1/50 sn'dir.

En basit kaynak çevrimi, kaynak aralığı boyunca, düzgün kaynak akımı ve elektrod kuvveti sağlamakla birlikte, eğim kontrolünün eklenmesi kaynak akımının değiştirilebilmesine olanak tanır. Şekil 2.4 (b)'de gösterildiği gibi, eğim kontrolüne sahip bir kaynak çevriminde akım, kaynaktan önce artmakta, kaynaktan sonra da azalmaktadır.

Artan akım, kaynak akımının tamamının bir anda uygulanması yerine, düşük bir değerden istenilen değere birkaç periyotta yükseltilmesine izin verir. Düşük ilk akım ya da kaynak akımı, akım ilk uygulandığında metal fişkırmalarını azaltır ya da önler. Artış kontrolü, yüksek akım değerlerinde kaynakta ve çoğu kaplamalı metalin kaynağında kullanılmaktadır. Azalan akım, kaynak akımının, aniden kesilmesi



Şekil 2.4 Kaynak çevrimleri

kaynağında kullanılmaktadır. Azalan akım, kaynak akımının, aniden kesilmesi yerine, düşük bir değere kademeli olarak düşürülmesine izin verir ve soğutma süresi gradyanını uzatarak ısı işleme uygun metallerin bazı tiplerinde iyi kaynakların elde edilebilmesine yardımcı olur. Özellikle karbon miktarının % 0,15'i aşmadığı düşük karbonlu çeliklerin kaynağında nadiren ihtiyaç duyulmakla birlikte, sertleştirilebilir çeliklerin kaynağında olduğu gibi soğutma hızının sınırlı olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3 mm'den daha kalın sacların kaynağı için gerekli olan yüksek kaynak akımları ve uzun kaynak süreleri, elektrodların aşırı ısınmasına neden olabilir. Bu ısınma, Şekil 2.4 (c)'de görüldüğü gibi, akımı kaynak zamanı boyunca darbeli (puls) olarak uygulamakla minimize edilebilir. Isı, iş parçalarına oranla elektrodlardan daha hızlı uzaklaşmaktadır. Bu yüzden, soğuma zamanı sırasında, kaynak akımı kesikken, iş parçaları çok azını kaybederken, elektrodlar ısılarının çoğunu uzaklaştırır. Her biri diğerini soğuma periyoduyla takip eden bir seri darbe ile, elektrod sıcaklığı güvenli bir seviyede kalarak, iş parçaları kaynak sıcaklığına getirilir. Bu çok darbeli teknikte, ilk darbe metali ısıtır ve deforme eder. Bunu takip eden darbeler ise kaynağı tamamlar.

Bir kaynak çevrimine eklenebilecek diğer iki eleman dövme ve sonradan tavlama (Şekil 2.4 (d)). Her ikisi de, sertleştirilebilir karbon ve alaşım çeliklerinde çoğunlukla tanecikleri inceltmek için kullanılmakta ancak düşük karbonlu çelikte kullanılmamaktadır. Kaynaktan sonra, temperleme akımının uygulanmasından önce, kaynağın soğumasını sağlayan kısa bir gecikme ya da akım kesme periyodu mevcuttur. Akımın düşük bir değerde olduğu sonradan tavlama bir tutma süresi takip etmektedir. Sonradan tavlama boyunca elektrod kuvveti Şekil 2.4 (d)'de gösterildiği gibi arttırılabilir. Bu artan kuvvet dövme kuvveti adını alır ve sonradan tavlama ve tutma süreleri boyunca uygulanır. Kaynak kuvveti çoğunlukla sonradan tavlama akımı uygulanana kadar elde edilmekte ve tavlama sonrası dövme kuvvetine çıkarılmaktadır.

Yukarıda belirtilen çevrimlere ek olarak ön tavlama ile kaynak da uygulanmaktadır. Levhalara, kaynak akımından önce, kaynak akımından daha düşük bir şiddette bir ön tavlama akımı uygulanır. Böylece kaynak bölgesi kaynak sıcaklığının altında bir

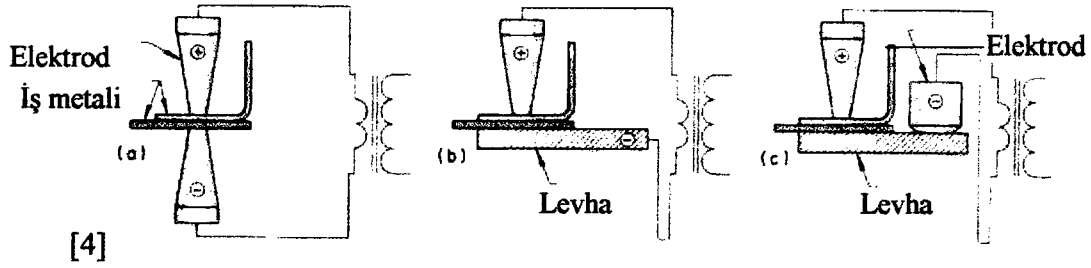
sıcaklığa ulaşır. Bu işlem yüksek mukavemetli, dolayısıyla yüksek elektrod kuvveti gerektiren levhaların daha düşük elektrod kuvvetinde kaynak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca bu işlem kaynak akımı sonrası soğuma hızlarını düşürmede oldukça etkilidir [1, 4, 5].

2.4 Direkt ve Seri Kaynak

Direnç nokta kaynağında sekonder devredeki elektrod ve iş parçalarının düzeni kaynağın direkt ya da seri (endirekt) olmasını belirler. Çekirdekte etkili bir akım atlamasına (şöntlenme) neden olmayacak şekilde sekonder akımın tamamı oluşan kaynak çekirdeği veya çekirdeklerinden geçerse, kaynak direktir. Sekonder akımın bir kısmının kaynak çekirdeğini atlamasına izin veren bir atlama yolu mevcut ise kaynak seridir. Sekonder devrenin iki metalin direkt ve seri kaynağı için bazı düzenlemeleri aşağıda anlatılmaktadır. Genelde, bu düzenlemeler üç veya daha fazla metalin kaynağında da uygulanabilir [4].

2.4.1 Tek Noktalı Direkt Kaynak

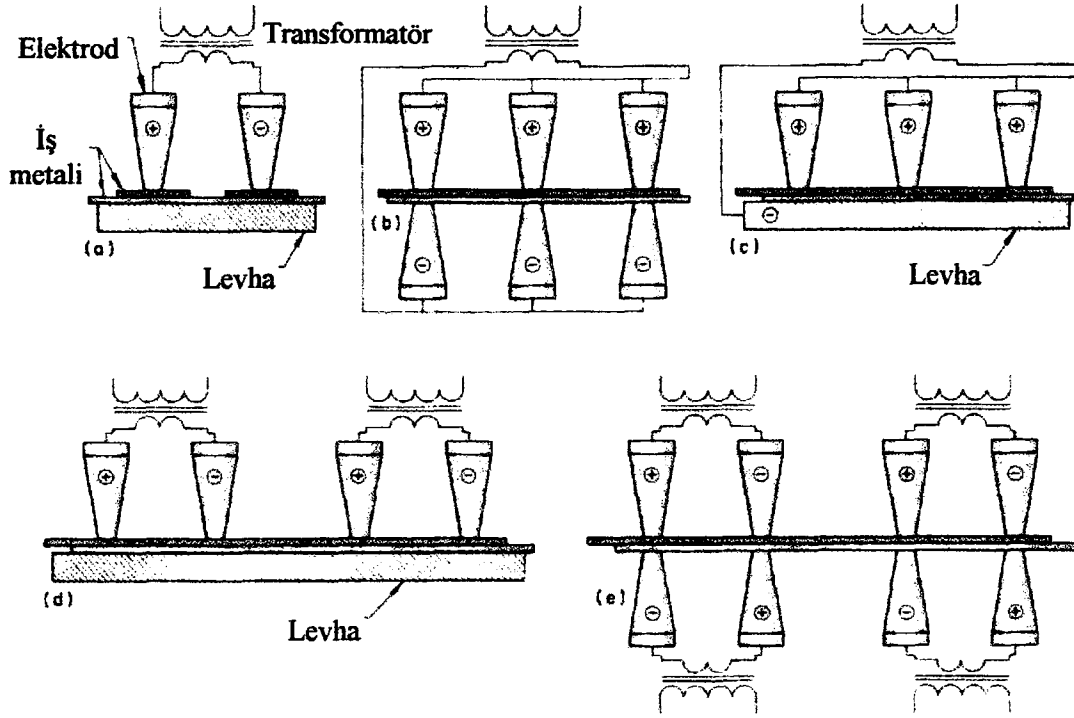
Tek nokta kaynakları çoğunlukla direkt kaynakla yapılır. Şekil 2.5 bu tip kaynakta kullanılan düzenlemeleri şematik olarak göstermektedir. Gösterilen düzenlemelerin tümünde bir transformatör sekonder devresi bir nokta kaynağı yapmaktadır. İki iş parçasının üst ve alt elektrodlar arasına sıkıştırıldığı en basit ve en yaygın düzenleme Şekil 2.5 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 2.5 (b)'de, alt elektrod olarak geniş temas yüzeyine sahip iletken bir levha veya mandrel kullanılmaktadır; bu da alttaki iş parçasında yüzey işaretlemesini azaltmakta ve kaynaktan ısıyı çabukça uzaklaştırmaktadır ve iş parçasının şekli dolayısıyla da gerekebilmektedir. Şekil 2.5 (c)'deki düzenlemede, alttaki iş parçasının altına iletken bir levha ya da mandrel aynı amaçla ancak ikinci bir üst elektrodla beraber kullanılmaktadır. Bu ikinci elektrodun görevinin yalnızca temas olup, kaynak olmamasından dolayı, aşırı ısınmayı önlemek üzere daha geniş olabilmektedir (Şekil 2.5 (c)).



Şekil 2.5 Tek noktalı direkt kaynak için çeşitli düzenlemeler [4]

2.4.2 Çok Noktalı Direkt Kaynak

İki veya daha fazla nokta kaynağının aynı anda direkt olarak yapılmasında kullanılan sekonder devrenin üç düzenlemesi Şekil 2.6 (a), (b) ve (c)'de gösterilmiştir. Şekil 2.6 (a)'da görüldüğü gibi bir transformatör sekonder devresi, iki üst iş parçasını bir alt parçaya bağlayarak iki nokta kaynağı yapacak şekilde düzenlenebilir. Bu uygulamada, levha ya da mandrel elektrik iletkenliğine sahip olmak zorunda değildir. Bir tek transformatörün sekonder devresi, Şekil 2.6 (b) ve (c)'de görüldüğü gibi, iki iş parçasını birleştirerek iki, üç veya daha fazla nokta kaynağını aynı anda yapmak için düzenlenebilir. Devredeki her nokta kaynağında direncin aynı olmasını sağlamak için özel önlem alınmalıdır. Aksi takdirde, akım her kaynak için düzgün olamaz. Uç şekli ve yüzey şartları her elektrod için aynı olmalıdır. Ayrıca, tüm elektrodların iş parçası üzerine uyguladığı kuvvet, iş metali kalınlığındaki eşitsizlikler ne olursa olsun, aynı olmalıdır. Kuvvet, yayla yüklenmiş elektrod tutucusu veya hidrolik eşitleyici sistem kullanılarak eşitlenebilir. Şekil 2.6 (c)'de görüldüğü gibi, iletken levha ya da mandrelin kullanımı alt iş parçası üzerindeki kaynak izlerini azaltır.



Şekil 2.6 Çok noktalı direkt ve seri kaynak için çeşitli düzenlemeler [4]

2.4.3 Çok Noktalı Seri Kaynak

Çok sayıda nokta kaynağının aynı zamanda yapılabilmesine olanak sağlayan iki düzenleme Şekil 2.6 (d) ve (e)'de gösterilmektedir. Şekil 2.6 (d)'de iki transformatör sekonder devresinin her biri, iki nokta kaynağı yapmaktadır. Akımın bir bölümü, üst iş parçası boyunca, kaynak çekirdeklerini atlamaktadır. Dört nokta kaynağı, bu yolla, bir standart direnç kaynağı transformatörünün iki ayrı sekonder devresi kullanılarak, kolayca aynı anda yapılmaktadır. Bu tip birkaç transformatör aynı anda daha fazla sayıda nokta kaynağı yapabilmek için birleştirilebilir ya da iki sekonder akımdan biri aynı anda yalnızca iki kaynak yapmak için kullanılabilir.

Şekil 2.6 (e), çok noktalı seri kaynakta kullanılan diğer bir düzenlemeyi göstermektedir. Bu düzenlemede, her kaynak, her biri ayrı transformatör sekonder bobinine bağlı, zıt kutuplu karşıt bir çift elektrod arasında yapılmaktadır ve her sekonder devre için sadece bir kaynak elde edilmektedir. Bu düzenleme, her nokta kaynağı çifti için iki sekonder bobinin gerilimlerinin birbirini takviye etmesinden dolayı, kaynaklarda yüksek gerilim sağlar. Bu düzenleme, ayrıca, Şekil 2.6 (d)'de gösterilen düzenlemede kullanılabilenden daha düşük kVA değerlerine sahip transformatörlerin kullanımına müsaade eder, fakat atlamayı kabul edilebilir bir değerde sınırlamak için tedbir alınmalıdır.

2.5 Uygulama Alanları

Direnç nokta kaynağı, tasarımın bindirme bağlantılarına müsaade ettiği durumlarda ve sızdırmaz bağlantılar istenmediği durumlarda, 3 mm'ye kadar sac metallerin montajında kullanılmaktadır. Bu işlem, bakım için sökmenin gerekmediği durumlarda, perçin ya da vida gibi bağlantı elemanlarının yerine kullanılmaktadır. Montaj için ayrı bir bağlayıcı gerekmediği için direnç nokta kaynağı diğer yöntemlerden daha hızlı ve ekonomiktir.

Bu metod, bazan 6 mm kalınlığa kadar çelik levhaların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bununla beraber, bağlantıların yüklenmesi sınırlıdır ve bindirme bağlantısı, ark kaynağıyla yapılan bağlantıyla karşılaştırıldığında, montaja ağırlık ve maliyet eklediğinden dolayı ekonomik değildir.

Bu metod, çoğunlukla, otomobil, kabin, mobilya ve benzeri ürünlerin düşük karbonlu çelik sac parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Ticarî olarak, paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır alaşımları da direnç nokta kaynağı yapılabilir. Konteynerler genellikle nokta kaynağı ile imal edilmektedir. Braketlerin, tamponların veya kliplerin sandık, kapak, taban veya tabla gibi şekillendirilmiş sac metal parçalara bağlanması nokta kaynağının diğer yaygın uygulama alanıdır.

Direnç nokta kaynağının en yaygın uygulama alanı, aynı kimyasal bileşime ve kalınlığa sahip sacların birleştirilmesi olmasına karşın, bu işlem ikiden fazla metal sacın birleştirilmesinde, kalınlığı veya bileşimi (ya da her ikisi) farklı metallerin kaynağında ve başka bir metalle kaplı çeliğin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır [4].

2.6 Avantajları ve Sınırlamalar

Nokta kaynağının başlıca avantajları, sac metal gruplarının yüksek sayıdaki üretimlerinde otomasyona adapte edilebilirliği ve yüksek hızıdır. Montaj hatlarında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilir. Nokta kaynağı, atölyedeki operasyonlarda yarı otomatik makineler kullanılarak da ekonomik olabilir çünkü ark kaynağı ve sarı kaynaktan daha hızlıdır ve yapmak için daha az ustalık gerektirir. Akım, zamanlama ve elektrod kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek üretim hızlarında kaliteli kaynaklar elde edilebilir.

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanında bu yöntemin bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bakım için sökme veya tamir çok zordur. Bindirme bağlantısı, ark

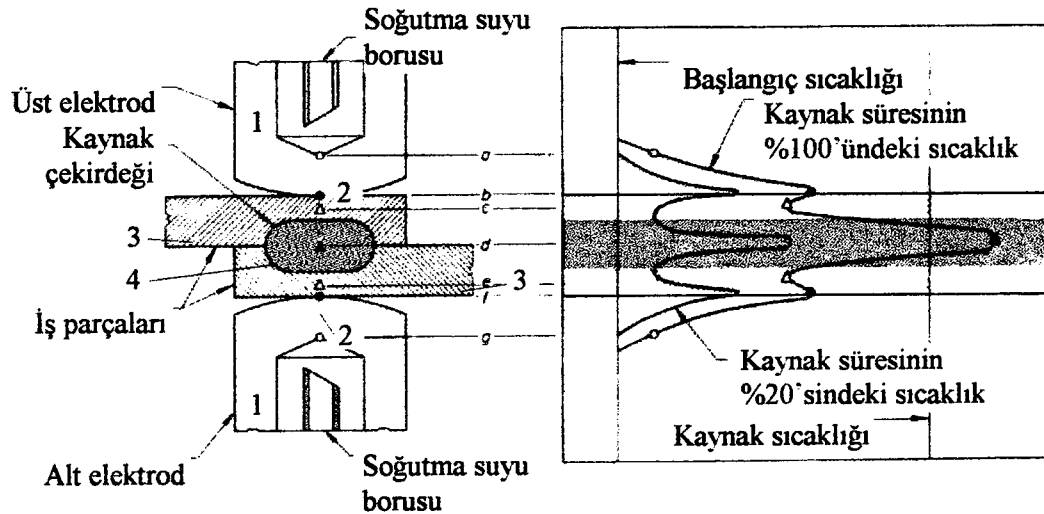
kaynağıyla yapılan bağlantıyla karşılaştırıldığında, montaja ağırlık ve maliyet ekler. Genellikle, ekipman maliyetleri çoğu ark kaynağı metodundan yüksektir.

Kısa zaman, yüksek akım gereksinimleri, özellikle tek fazlı makinalarda, uygun olmayan güç talebine sebep olmaktadır. Çelikte 5 ilâ 20 V'ta 5000 ilâ 20000 A çeken bir direnç nokta kaynağı, yüksek miktarda kVA talep etmektedir. Alüminyum ve bakır alaşımları gibi daha iletken metallerin direnç nokta kaynağında bu talep daha da yüksektir.

Levhalar arasındaki çekirdeğin çevresindeki çentikten dolayı, nokta kaynakları düşük gerilme ve yorulma dayanımlarına sahiptir. Bir nokta kaynağı bağlantısından sacın dayanımının tamamı elde edilemez, çünkü erime süresiz ve yükleme bindirmeden dolayı eksantriktir [4].

2.7 Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu

Kaynak noktasının oluşumundaki temel prensip (2.1) ifadesi ile verilen Joule yasasıdır. Bu ifadede verilen R , kaynak akımının bir elektrodan diğerine geçerken karşılaştığı elektrik dirençlerinin toplamıdır. Şekil 2.7'de elektrodlar arasındaki çeşitli dirençler gösterilmiştir. Bu dirençler, (1) elektrod direnci, (2) elektrod-levha arası temas direnci, (3) levha direnci ve (4) levhalar arası temas direncidir.



Şekil 2.7 Direnç nokta kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı [4]

Uygulanan akıma karşı sistemde ortaya çıkan dirençler esas olarak iki türdür:

- a) Kullanılan malzemelerin dirençleri (R_m)

b) Temas dirençleri ($R_t=R_d+R_f$)

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

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

$$2R_m = \frac{8.s.\rho}{\pi.d.b} \quad (2.2)$$

Burada, s: levha kalınlığı (mm), ρ : malzemenin özgül direnci ($\text{mm}^2.\text{ohm/m}$), d: akım yolu çapı (elektrod çapı) (mm), b: kesik koninin taban çapıdır (mm).

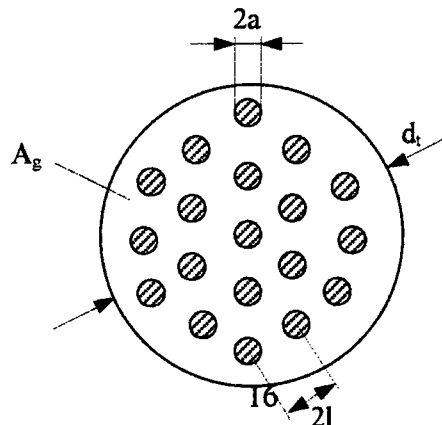
İki metalin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci (R_t) iki farklı bileşenden meydana gelmiştir:

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

$$R_d = \frac{\rho}{\pi.n.a} \arctan \frac{(l^2 - a^2)^{1/2}}{a} - 4,8 \frac{\rho(l^2 - a^2)^{1/2}}{\pi.d_t^2} \quad (2.3)$$

Bu denklemde, ρ : malzemenin özgül direnci ($\text{mm}^2.\text{ohm/m}$), a: temas noktalarının ortalama yarıçapı (mm), n: nokta sayısı, l: temas noktalarının merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı (mm) ve d_t : görünür temas yüzeyinin çapıdır (mm) (Şekil 2.8).

Şekil2.8 Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları [1]



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

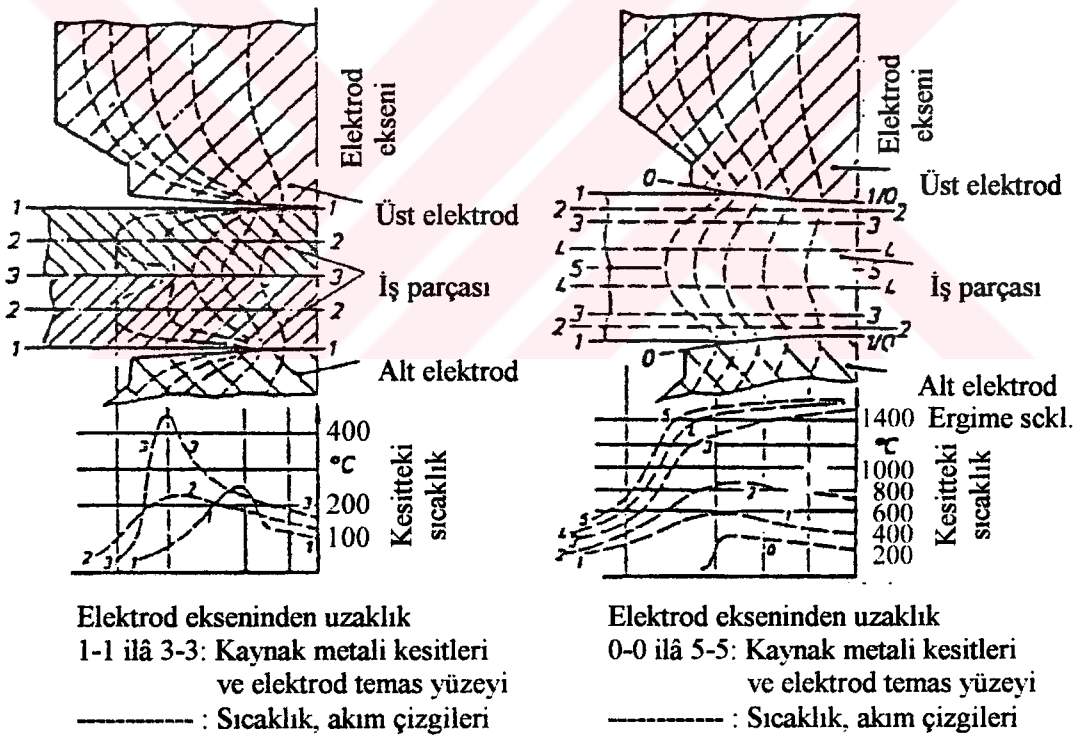
Sonuç olarak, temas direnci genel halde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R_t = R_d + R_f \quad (2.4)$$

Kaynak akımı uygulanmadan önce ölçülen toplam direnç (R_{top}), aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R_{top} = R_t + R_m \quad (2.5)$$

gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ile parça yüzeyleri üzerinde mevcut olan oksit filmlerinin meydana getirdiği film direncinin toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır [1].



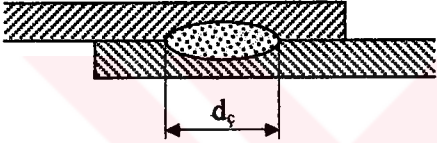
Şekil 2.9 Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı [6]

Isı, Şekil 2.7'deki bölgelerin her birinde bölgenin direnciyle orantılı olarak üretilmektedir. Bu dirençlerden en büyüğü, levhalar arası temas direnci olduğundan, başlangıçta en fazla ısı burada üretilir. Bu bölgede sıcaklığın yükselmesi bölgenin iç direncini de arttırdığından, ısı üretim hızı diğer bölgelere oranla daha yüksek olur.

Bu nedenle, erime ilk defa levhalar arası temas yüzeyinde başlar ve levha içine doğru gelişir. Kullanılan elektrodların yüksek ısı iletkenliğe ve düşük elektrik direncine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle, elektrodlarla levhalar arasındaki temas yerinde herhangi bir erime meydana gelmez. Şekil 2.9’da kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı verilmiştir [6].

Yukarıda bahsedilen esasa dayanarak oluşan kaynak çekirdeklerinin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına bağlı olarak boyutları değişmektedir. Tablo 2.1’de değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları verilmektedir.

Tablo 2.1 Değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları [7]

Tek sacın kalınlığı	mm	0,5	1,0	1,5	2,0
	En büyük	6,0	9,0	10,0	13,0
	En küçük	2,5	4,0	5,0	7,0

2.8 Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri

2.8.1 Kaynak Akımı

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

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

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

Çeliğin ısı iletimi yaklaşık olarak bakırınkinin %12’sidir. Bu yüzden, çeliğin bakır esaslı elektrodlarla kaynağında, yeterli kaynak akımı kullanıldığında, iş parçalarının ara yüzeyinde oluşan ısı, kaynak bölgesinden, elektrod uçlarında oluşan ısının su soğutmalı elektrodlara iletilmesine oranla, daha yavaş uzaklaşmaktadır. Böylece,

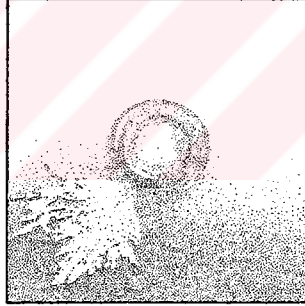
önce iş parçalarının ara yüzeyi erime sıcaklığına ulaşmakta ve kaynak bu ara yüzeyde oluşmaktadır.

Akım yoğunluğu için erimenin meydana gelmediği bir alt sınır mevcuttur.

Elektrodlarda, çevreleyen havada ve elektrodlar arasında olmayan iş parçasında iletim boyunca kaybolan ısıyı karşılamak üzere yeterli ısı üretilmelidir.

Akım yoğunluğu artınca, elektrod temas yüzeylerini birkaç yüz dereceden fazla ısıtmadan kaynak oluşturmak için, kaynak süresi yeterli miktarda düşürülebilir.

Kaynak akımı için bir de üst sınır mevcuttur. Kaynak akımı çok yüksek ise, elektrodlar arasındaki metalin tamamı, kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşmasıyla, plastik bölgeye kadar ısınmış olur ve elektrodlar derinlemesine metale gömülür. Elektrodların dış yüzeyleri aşırı ısınabilir ya da yanabilir. Bu, özellikle, akım fişkirmaya sebep olacak kadar yüksekse gerçekleşir. Bu üst sınırın üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fişkirir (Şekil 2.10). Bu olay, kaynak dikişinde dayanıklılığın azalmasına neden olur. Elektrodlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir ve elektrodlar levhalara yapışarak tahrip olur. Bunun sonucunda elektrodların ömrü azalır.

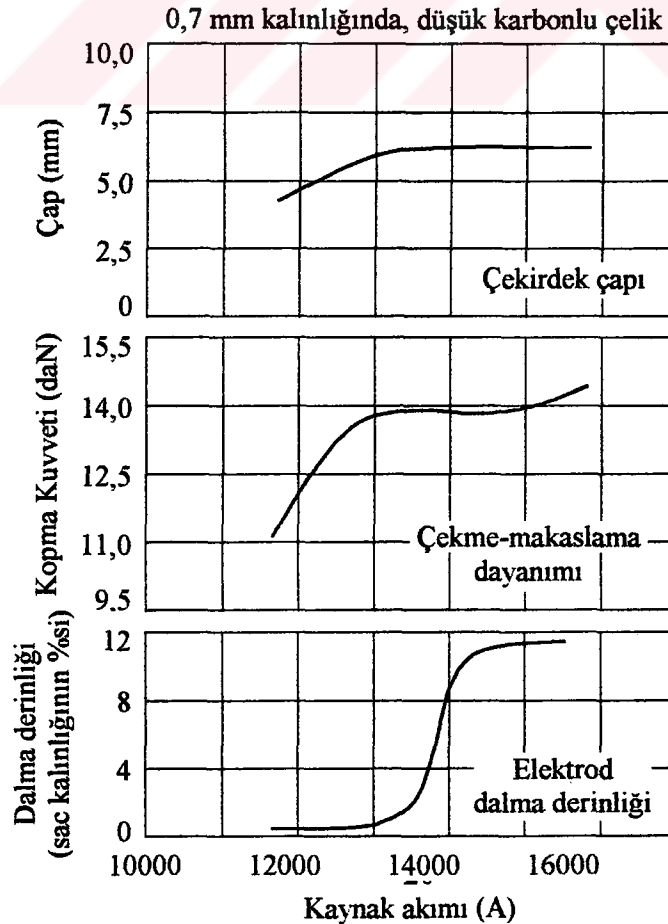


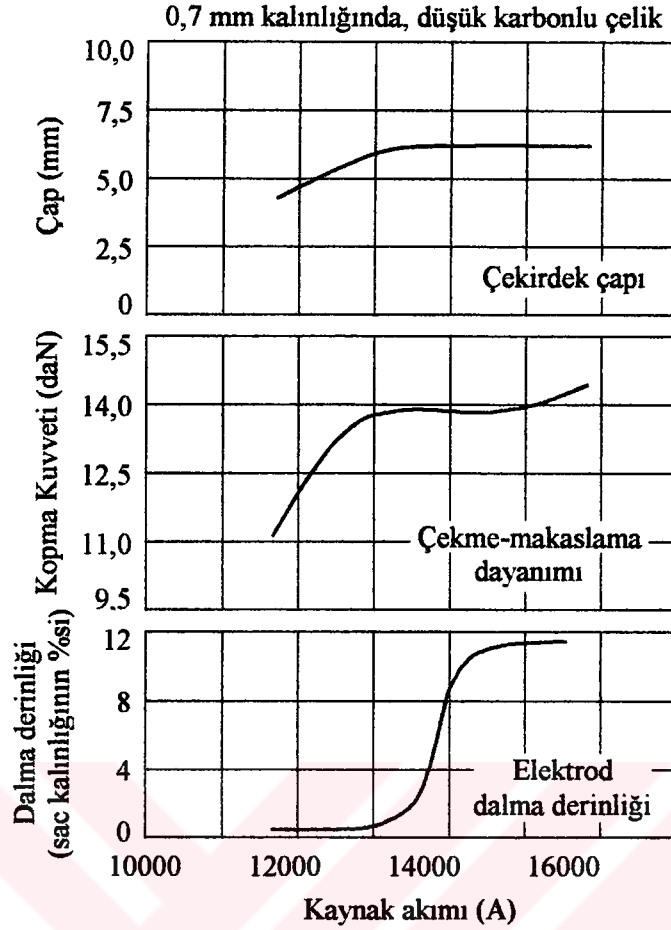
Şekil 2.10 Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fişkirme

Belli bir elektrod için, düşük kalitede kaynaklara sebep olan, bir veya daha fazla iş parçasında sıcak metalin yapıştığı ya da fişkırdığı, akımın bir üst sınırı vardır.

Maksimum nokta dayanımı, fişkirmanın meydana geldiği değerin biraz altındaki akım yoğunluğunda kaynakla elde edilir. Bu akım, imalatla bu sınır göz bulundurularak ayarlanmaktadır

Kaynak akımı, bağlantı çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliğinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Akım 13500 A’ın üzerine çıktığında 6 mm’lik çekirdek çapında önemli bir artış olmamıştır fakat elektrod dalma derinliğinde bir artış meydana gelmiştir. Optimum akıma ulaşılan kadar çekme-makaslama dayanımı hızlı bir şekilde artmakta, fakat akım 14000 A’ın biraz üzerine çıktığında dayanım biraz düşmektedir. Dalma derinliği, 13500 A’lık kaynak akımında sac kalınlığının %2’sinden, 14000 A’ın biraz üstünde %10 civarına kadar çıkmaktadır. Belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrod uç çapı ve verilmiş bir elektrod kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür (Şekil 2.12). Bu diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır. A bölgesinde herhangi bir erime ve birleşme yoktur. B bölgesinde basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan zayıf bir birleşme meydana gelir. C bölgesi erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı d_n , elektrod çapı d_e ’ye yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır.

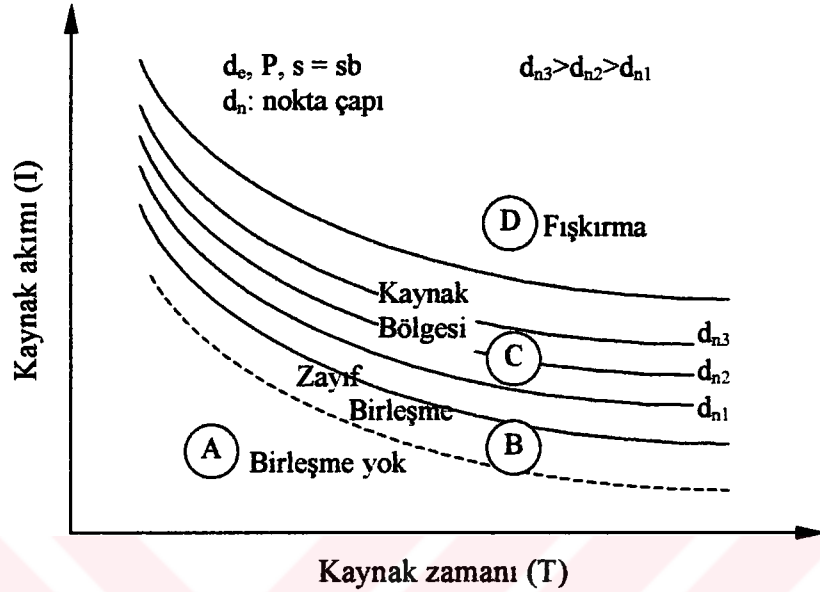




Şekil 2.11 Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliği üzerindeki etkileri

C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı d_n , elektrod çapı d_e 'ye yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akım ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın kalacak şekilde seçilir. D bölgesi fişkırmaya başlar, C bölgesinin üst sınırından itibaren fişkırmaya başlar. Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, dikkatlice kontrolünü gerektirmektedir. Akım değişimlerine şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinasının sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer yandan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak

noktasından ve elektrodların etki alanı dışındaki metalik temas noktalarından kısa devre olması sonucunda ortaya çıkar. Kısa devre nedeniyle nokta çapı yeterli bir değere erişemez.



Şekil 2.12 Kaynak kabiliyeti diyagramı [1]

Ayrıca, kullanım sırasında, uç çapı çeşitli sebeplerden dolayı büyümüş elektrodlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olur [1, 4].

2.8.2 Kaynak Süresi

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

Isı (enerji) formülü $Q=K.I^2.R.T$ (2.1), toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi parçasında oluşan ısının hem kaynak süresi (akımın geçtiği süre) hem de kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının gelişmesi için gereken süre, akım ne kadar yükseltirirse yükseltilsin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir.

Temas yüzeylerinde ısı oluşumu çok hızlı olduğunda, özellikle elektrod temas yüzeylerinde, oyuklanma ve fişkırtma meydana gelir.

Kaynak akımı ve basınç artırılarak kaynak süresinde biraz azalma sağlanabilir. Akımdaki yükselmeden dolayı oluşan fişkırtmayı önlemek için yüksek basınç gereklidir.

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

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

$$T=8.s \quad (2.6)$$

Yukarıdaki bağıntıda, T (periyod) kaynak süresi, s (mm) levha kalınlığıdır. 50 Hz frekanslı bir şebekede 1 periyod 1/50 saniyedir.

Kısa süreli kaynakta işlemin hızlı olması sebebiyle sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Bu nedenle, elektrodların dokunma yüzeyleri bozulmaz. Uzun süreli kaynakta ise, levhaların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bunun sonucunda, levhaların dış yüzeyleri yumuşar ve elektrodlar levha içine gömülerek derin izler bırakır.

Kısa süreli kaynak, ısının çok sınırlı bir bölgede yoğunlaşmasının gerektiği özel şekilli parçaların kaynağında ve alüminyum gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır.

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

kaynak kullanılır. Diğer yandan, elektrodlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar için de uzun süreli kaynak tercih edilir [1, 4].

2.8.3 Elektrod Malzemesi ve Boyutları

Ticarî saf bakır en iyi iletkendir. Saf bakır elektrodlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilene kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek elektrod kuvveti ve daha yüksek kaynak hızı kullanan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrod malzemesi olarak kullanımını engellemiştir. Soğuk çekilmiş bakır, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticarî saf bakırın istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Direnç kaynağında kullanılan başlıca elektrod alaşımları ve özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir .

Tablo 2.2 Direnç kaynağında kullanılan elektrod alaşımları [1]

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

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

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

Standart elektrod uç şekilleri ile levha kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrod temas yüzeyi (uç) çaplarının seçimi Bölüm 3.3'te verilmiştir.

Küresel uçlu elektrodlar kullanıldığında, elektrod temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak, hassas bir biçimde ayarlanması gerekmemektedir. Bu nedenle, küresel uçlu elektrod, üst elektrodun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektroddur. Bu elektrod mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksek olduğundan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılır [1, 4].

2.8.4 Elektrod Kuvveti

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

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

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

$$\text{Alaşımsız çelikler için } P = 2.s \quad (2.7)$$

$$\text{Yüksek alaşımlı çelikler için } P = 3,5.s \quad (2.8)$$

$$\text{Alüminyum için } P = 2,5.s \quad (2.9)$$

Elektrod kuvveti, cihazın kapasitesi dahilindeki bir kaynak akım ile uyumlu olmalı ve tekrar oluşmasına yetecek kadar uzun kaynak zamanının kullanımına müsaade etmelidir. Ayrıca, iş parçaları kaynak alanında aşırı elektrod kuvvetine maruz kalmadan oldukça yakın temasta olmalıdır. İş parçaları, kaynak bölgesindeki temas çok yakın olmayacak şekilde deforme olmuşsa, deformasyonu yenibilmek için çok

yüksek kuvvet gerekebilir. Özellikle pres parçaların, şekilli iş parçalarının veya iş metalinin kalın kesitlerinin nokta kaynağında, kaynak dayanımı ve kalitesindeki farklılıklar, iş parçalarını uygun bir şekilde biraraya getirmek için gereken elektrod kuvvetindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu, özellikle ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında geçerlidir. Bu malzemelerin yüksek dayanımından dolayı, oldukça yüksek geri yaylanmaya sahiptirler ve bu yüzden basit karbonlu çeliğe oranla daha yüksek elektrod kuvveti gerektirirler.

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

Elektrod kuvveti, kaynak işleminin üç safhasında da önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 2.3). Basma safhasında, elektrod kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, levhaların, elektrodlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirlemektedir. Elektrod kuvveti, kaynak safhasında, levhalar arasından fişkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, bu fişkırmayı engellemektedir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu dövme kuvveti yoluyla önlemektedir [1, 4].

2.8.5 Esas Metalin Kimyasal Bileşimi

Çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerinde karbon içeriğinin çok büyük etkisi vardır. Kaynak sertliği karbon içeriğindeki ufak artışlarla hızlı şekilde artar. Bu yüksek

sertlik çekirdek içi yırtılmalara ve çekirdek bozulmasına sebep olur. Kabul edilebilir kaynak performansı için karbon miktarı, s (mm) levha kalınlığı olmak üzere, $0,10\% + 0,12s$ 'nin altında tutulmalıdır. Bu değerin üstündeki malzemeler için kaynak sonrası temperleme gerekli olabilir.

Metalin bileşimindeki diğer maddelerin de kaynak kabiliyetine etkisi vardır. Fosfor ve kükürt genellikle çekirdek ara yüzeyinde yırtılmayı ilerletici rol oynamaktadır. Titanyum içeriğini arttırmak çoğunlukla çekirdek çapını, çekme-makaslama dayanımını ve kaynak akım sınırını düşürmektedir. Azot, ara yüzeysel hasarı ilerletici rol oynamaktadır. Yüksek oksijen seviyeleri, ara yüzeysel hasara neden olmaktadır. Bunların dışında, yüzey yağlarından yayılan hidrojen de kaynak metali hasarına yardımcı olmaktadır [4].

2.8.6 Esas Metalin Gördüğü Isıl ve Mekanik İşlemler

Çelik levhalar ek dayanım elde etmek için farklı şekillerde işlem görebilir. Bir malzemenin mukavemetini arttırmanın bir yöntemi soğuk haddelemedir. Genellikle soğuk haddelenmiş malzeme sünek değildir. Normalde, sünekliği sağlamak için tavlayıcı ısıl işlemler uygulanmaktadır, ancak bu aynı zamanda dayanımını düşürmektedir. Soğuk işlenmiş yapının yeniden kristalleşmeyi tamamlamadan toparlanması için tasarlanan ısıl işleme toparlanma tavlama adı verilmektedir. Bu işlem, oldukça yüksek dayanım seviyeleri sağlamakla birlikte bir miktar süneklik kazandırmaktadır. Dayanım arttırıcı diğer yöntemler, hadde ostenitlemesini takiben sulama ve martenzitik ya da beynitik mikroyapılar elde etmek için yapılan temperleme işlemleridir [4].

2.8.7 Esas Metalin Yüzey Durumu

Yüksek kalitede nokta kaynakları elde etmek için, elektrodlarla temas eden iş parçası yüzeyindeki direnç minimumda tutulmalıdır. Bu, düzgün, temiz iş metali yüzeylerine sahip olarak ve elektrod kuvveti kontrol edilerek yapılabilir. Elektrodlarla temas halindeki iş parçası yüzeyleri çok yüksek temas direncine sahipse, bu yüzeylerdeki sıcaklık artışı kaynak bölgesindeki yüzeylerdeki kadar hızlıdır. Ayrıca, temas direncindeki değişimler ve buna bağlı olarak kaynak akımının oluşması için geçen süredeki değişimlerden dolayı tutarsız sonuçlar elde edilebilir.

Metal levhaların yüzeyleri mikro ölçekte düzgün değildir ve düşük elektrod basınçları kullanıldığında, gerçek metal-metal temas bölgesi tüm temas bölgesinin sadece küçük bir yüzdesi olabilir. Elektrod kuvveti arttırıldıkça, yüksek noktalar bastırılarak gerçek metal-metal temas bölgesi artar ve böylece elektrik direnci düşer. Artan elektrod kuvveti iş parçalarının ara yüzeyindeki direnci düşürür. Elektrod malzemesinin iş metalinden daha yumuşak olduğu durumlarda, belli bir elektrod kuvvetinin uygulanması elektrodlar ve iş parçaları arasındaki temas yüzeylerinde, iki iş parçasının ara yüzeyine oranla daha iyi bir temas sağlar. Elektrod kuvveti, ısı formülünde (2.1) direkt olarak yer almamasına rağmen elektrik direnci üzerindeki etkisi kaynak akımı üzerinde direkt olarak etkilidir. Yüzey direnci elektrod kuvvetiyle ters orantılıdır.

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

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

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

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

c) Pas, Hadde Cürufu veya Oksidin Etkisi: Pas, hadde cürufu veya ısı yolla meydana gelen siyah veya mavi oksit tabakaları ile kaplanmış çeliğe direnç nokta kaynağı yapılabilir ancak kaynakların kalite ve sürekliliği bu kaplamalardan arındırılmış çeliğe yapıdana oranla daha düşüktür. Düşük ve düzgün elektrik direncine sahip ince

filmler kaynakta en az etkiye sahiptir. Çok kalın ve düzgün olmayan bir cürufle kaplı çelik bundan arındırılmadan pratik imalatla kaynak edilemeyebilir.

Fazla miktarda cüruf veya oksit kaplamalarına sahip metal kaynak edildiğinde kaynak bölgesindeki yüzeyde bulunanların çoğu ya da hepsi, akım, yüzey dirençleri veya elektrod basıncı ne olursa olsun, kaynakların içinde kalır. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, bazan belirlenmesi zor olan boşluklar veya diğer iç kusurlara neden olabilir [4].

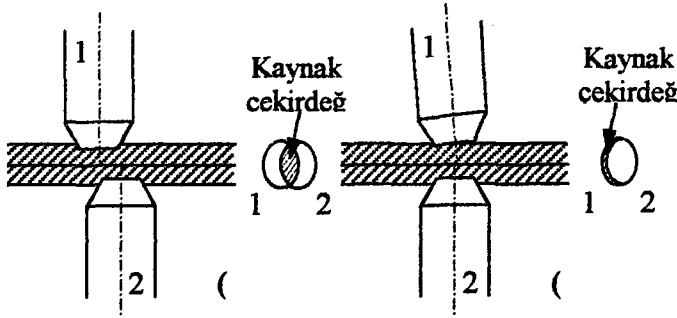
2.8.8 Kaynak Noktası Sıklığı

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

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

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

Düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında minimum aralık, metalin kalınlığı, erimiş bölgenin çapı ve kaynak bölgesindeki yüzeylerin temizliğine bağlıdır. Daha yüksek akım ve elektrod kuvveti, daha kısa kaynak süresi ve hızlı takip ile kaynaklar, önemli bir atlama olmadan, çeşitli tablolarda tavsiye edilen kaynak aralığından daha düşük bir değerde yapılabilir. Kaynaklar levhanın kenarına ya da flanşa çok yakın yapılırsa, elektrod basıncı ve ısıya dayanabilecek esas metal hacmi yetersiz kalır. Bu, kaynaktan sıcak metalin uzaklaştırılmasına sebep olacak şekilde, kenar boyunca etkili kuvvette düşüşe ve eşit

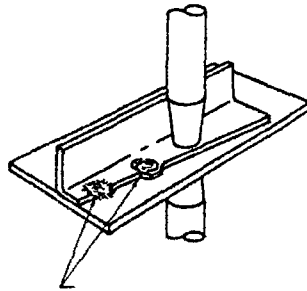


Şekil 2.13 Elektrodların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri

olmayan ısınmayla sonuçlanır. Nokta kaynakları dikey flanşa veya yan duvara çok yakın yapıldığında, elektrod ve iş parçası arasında arklanma meydana gelebilir ya da kıvrılma açısından dolayı kaynak bölgesindeki yüzeylerde zayıf bir oturma meydana gelebilir. Metal kalınlığından dolayı büyük çaplı elektrodlar gerektiğinde eksantrik veya ofset uçlar kullanılabilir. İki metal parça arasındaki temas eden minimum bindirme, bir dereceye kadar elektrod çapı ve erimiş bölgenin çapını etkileyen metal kalınlığına bağlıdır [1, 4].

2.8.9 Elektrod ve İş Parçasının Temas Durumları

Kaynak kalitesi ve kabiliyetini etkileyen bir diğer faktör elektrodların ve iş metallerinin birbiriyle temas etme durumudur. Elektrodlar, iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine paralel olmalıdır. Ancak iyi bir kaynak için bu koşul yeterli değildir. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrodun aynı ekseninde olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrodlarla yapılan kaynaklarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi, kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir. Şekil 2.13 (a)'da görülen kaynak bölgesi, gerekli alanın yaklaşık olarak üçte biri olup gerekli basıncın üç katına çıkmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.13 (b)'de ise birbirine paralel olmayan iki ucun meydana getirdiği kaynak görülmektedir. Yukarıda belirtilen durumların yanı sıra bindirme ve kenar mesafelerinin de kaynak kalitesinde önemi vardır. İyi bir kaynak elde edebilmek için nokta kaynağının kenara uzaklığı en az çekirdek çapının yarısı kadar



Şekil 2.14 Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar

2.9 Direnç Nokta Kaynağı İçin İstenmeyen Yüzey Koşulları

Direnç nokta kaynağının sonrasında istenmeyen yüzey durumları ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzey durumları, derin elektrod izi, yüzeyin erimesi, çatlaklar vb. şekillerde olabilmektedir. İstenmeyen yüzey koşulları, bunların neden ve sonuçları Tablo 2.3'te belirtilmiştir [5].

2.10 Kaynak Programları

Düşük karbonlu çelik, zaman, akım ve elektrod kuvvetinin geniş sınırlarında tatmin edici bir biçimde nokta kaynağı yapılabilir. Makina kapasitesinden dolayı bu değişkenlerden herhangi birindeki sınırlamalar diğerlerinde uygun ayarlamalar yapılarak telafi edilebilir. Toplam kalınlığı 0,8 mm'den 6,0 mm'ye kadar olan iki kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen değerler Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

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

Tablo 2.4 Kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri [8]

Toplam kalınlığı 0,8 mm'den 6,0 mm'ye kadar olan iki kaplamasız düşük karbonlu çelik sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri								
Tek sacın kalınlığı		Elektrod uç çapı	Kaynak Koşulları					
			Orta kuvvet, orta süre			Yüksek kuvvet, kısa süre		
>	≤		Elektrod kuvveti	Kaynak süresi	Kaynak akımı	Elektrod kuvveti	Kaynak süresi	Kaynak akımı
mm	mm	Mm	daN	periyot	kA	daN	periyot	KA
0,4	0,6	4	0,9	5	5,0	1,3	5	6
0,6	0,8	4	0,9	7	6,0	1,3	6	7
0,8	1,0	5	1,4	9	6,5	2,1	7	8
1,0	1,2	5	1,4	11	7,5	2,1	7	10
1,2	1,6	6	2,0	14	8,5	3,0	8	12

1,6	2,0	7	2,7	18	9,5	4,0	10	14
2,0	2,5	8	3,5	22	10,5	5,3	12	16
2,5	3,0	9	4,5	28	12,0	6,7	15	18

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

1. Elektrod kuvvetinin ilk seçimi: Bu, kaynak edilecek parça ve kullanılacak elektrodlar için seçilir. Tavsiye edilen değerlerin yer aldığı Tablo 2.4 gibi tablolar, bu seçim için başlangıç noktaları sağlamakla birlikte, elektrod kuvvetinin bu ilk seçimini doğrulamak veya düzeltmek için yapılan deneme kaynaklarının akım, kaynak süresi ve tutma süresi ilk değerlerinin seçilmesinde rehber olarak da kullanılmaktadır.

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

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

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

5. Şartların seçiminin doğrulanması: 1. ve 4. adımlarda belirlenen kaynak şartlarında, bu seçimleri doğrulamak ve kaynak kalitesi ve proses kontrolünde kullanımının güvenilirliği ile ilgili referans verisi oluşturmak için, deneme kaynakları yapılır. 1. ve

4. adımlardakine oranla tamamlanmış bir değerlendirme bu adımda gerçekleştirilmektedir.

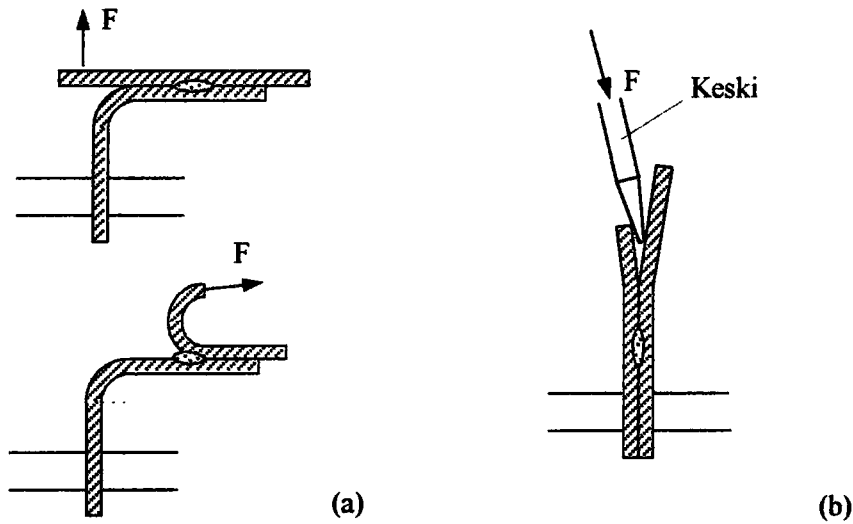
5. adımdaki deneme çalışmalarının sonuçları tatmin edici değilse, deney sonuçlarının gösterdiği şekilde kaynak değişkenleri değiştirilerek, prosedür tekrar edilir. Teçhizat, elektrod malzemesi ve elektrod tasarımındaki değişiklikler bu aşamada yapılabilir ve prosedür, ya da kısaltılmış versiyonu, kabul edilebilir sonuçlar elde edilene kadar tekrar edilir.

Bu beş adım, sadece, her kaynak değişkeni için optimum değerler belirlemekle kalmaz, tatmin edici değerlerin sınırlarını ve her değişkenin kritikliğini de belirler.

Bir direnç nokta kaynağı programının yapılmasında takip edilen basamakların sırası, teçhizat veya işin farklı durumları, benzer tip işlerle deneyimin artırılması ve müşteri ya da uygulanabilir şartnamelerin gerektirdiklerine bağlı olarak, farklılık gösterebilir. Kaynak şartlarının başlangıçta ya da üretim sırasında ayarlanması gerektiğinde, ayarlama, çoğunlukla uygun ve etkili olan kaynak süresi, tutma süresi ya da akım üzerinde yapılır [4, 8].

2.11 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler

Direnç nokta kaynaklarının mekanik özelliklerinin ölçülmesinde kullanılan deneyler, soyma deneyleri, keski deneyleri, gerilme deneyleri, burulma deneyleri, darbe deneyleri ve yorulma deneyleridir. Bunlar içinde pratikte yaygın olarak kullanılanlar, soyma, keski ve çekme deneyleridir [4, 5].



Şekil 2.15 Soyma ve keski deneyleri

2.11.1 Soyma Deneyi

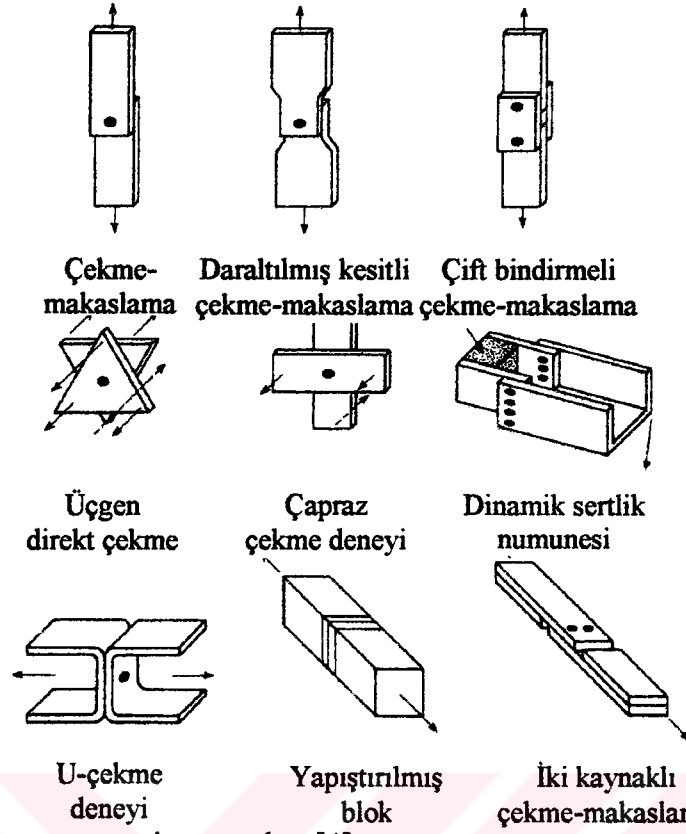
Soyma deneyi, nokta kaynakları için çoğunlukla kullanılan mekanik deneydir (Şekil 2.15 (a)). Bu deney, tüm otomotiv şartlarında, kaynak edilebilirliğin tayininde kullanılmaktadır. Bu deneyin genellikle kabul edilmesinin çeşitli sebepleri vardır: (1) Performans kolaylığı, (2) düşük maliyet ve (3) atölyede kalite kontrol deneyi olarak kullanılabilirliği. Deney, çekirdekte kabul edilebilir ölçünün (iç yapıda hata olmadan) sağlanıp sağlanmadığını belirlemesine karşın, sadece sınırlı durumlarda kaynak çekirdeğinin dayanımına ya da işteki performansına bağlı nicel değerler elde edilmektedir.

2.11.2 Keski Deneyi

Keski deneyi, levhaların arasına nokta kaynağının yanına keski veya takoz yardımıyla yük uygulanması dışında soyma deneyine benzemektedir (Şekil 2.15 (b)). Keskinin varlığı çekirdek kenarında yırtma tipi bir yük oluşturur. Çalışmalar, bu yırtma tipi yüklemenin kaynak için en düşük dayanım değeriyle sonuçlandığını göstermektedir. Bu yüzden, keski deneyinin en zor şartlarda denenmiş deney şartı olduğu kabul edilir; imalattaki kaynaklar keski deneyi sonuçlarıyla belirlenenlerden daha güvenilirdir. Buna ek olarak, soyma ve keski deneyleri kullanılarak elde edilmiş kaynak kabiliyeti eğrilerini karşılaştıran sınırlı sayıdaki çalışma, keski deneyiyle elde edilen çekirdeklerin, %10 daha küçük bir eğriyle sonuçlanacak şekilde, daha küçük olduğunu belirlemiştir.

2.11.3 Çekme Deneyi

Nokta kaynağının çekme özelliklerini belirlemek için sayısız çekme deneyi numune tasarımı kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Genellikle, bu numunelerin kullanıldığı deneyler iki gruba ayrılabilir: normal gerilmeleri ölçmek için tasarlananlar ve makaslama dayanımlarını ölçmek için tasarlananlar. Normal gerilmeleri ölçmek için tasarlanan deneyler, çapraz çekme deneyi, U-çekme deneyi, üçgen direkt çekme deneyi ve yapıştırılmış blok deneyi. Makaslama gerilimini ölçmek üzere tasarlanmış deneyler, çekme-makaslama deneyi, daraltılmış kesitli çekme-makaslama deneyi ve iki kaynaklı çekme-makaslama deneyi.



Şekil 2.16 Çekme numunesi tasarımları [4]

Bir deney numunesinde nokta kaynağı etrafında oluşan gerilimin yerel durumu, bir ölçüde, numunenin bir yükü taşıma yeteneğini belirtir. Kolaylık açısından, bir nokta kaynağının yük taşıma yeteneği gerilme yerine kuvvet birimleriyle ölçülen nokta kaynağı dayanımı ile tanımlanmıştır. Soyma ve keski deneyi numuneleri en düşük dayanıma sahiptir. Normal yükleri taşımak üzere tasarlanan numuneler daha dayanıklı, makaslama numuneleri ise en dayanıklıdır.

Numune tasarımının yanı sıra, nokta kaynak dayanımını etkileyen diğer faktörler, ana metalin dayanımı, levha boyutu, çekirdek boyutu, kaynak süresi, nokta dağılımı, kaplamalar ve deney işlemleridir. Tablo 2.5'te belli sac kalınlıkları için olması gereken minimum çekirdek çapları ve minimum çekme-makaslama dayanımları verilmiştir.

Tablo 2.5 Minimum çekirdek çapları ve çekme-makaslama dayanımları [9]

İnce sacın kalınlığı (mm)		Minimum çekirdek çapı (mm)	Minimum çekme-makaslama dayanımı (daN)
≥	<		
0,50	0,80	3,6	2,5
0,80	1,00	4,0	3,2

1,00	1,25	4,5	4,0
1,25	1,60	5,0	5,0
1,60	2,00	5,6	6,3
2,00	2,50	6,3	8,0
2,50	3,15	7,1	11,2
3,15	3,55	8,0	16,0
3,55	4,00	8,5	19,0

2.12 Otomotiv Sanayiinde Direnç Nokta Kaynağı

Direnç nokta kaynağı, sanayide en yaygın olarak kullanılan kaynak metodlarından biridir. Bu kaynak metodu, seri imalat yapılan işlerde ve özellikle otomotiv sanayiinde kaporta ve sac kısmı montajında en çok kullanılan kaynak türüdür.

Prensibinin basitliği ve uygulanmasının kolaylığı açısından seri imalata çok uygundur. Bu bölümde, direnç nokta kaynağının otomotiv sanayiindeki uygulamalarına ve kullanılan kaynak makinası tiplerine değinilecektir.

2.12.1 Otomotiv Ürünleri

Otomobil imalatında genel olarak metallerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliği esastır. Belli bir üründe uygulanacak spesifik kaynak metodunun seçimi, ürün tasarımı, hizmet talebinin tipi, üretim hızı ve ekonomikliğe bağlıdır. Otomotiv sanayiinde çeşitli tipte metaller kaynak edilmektedir ancak düşük karbonlu soğuk haddelenmiş sac çelik ve sıcak haddelenmiş levha ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Birleştirilecek metaller, demir ya da demir dışı olsun, kullanılacak kaynak yönteminin seçiminde etkili olur. Daha yüksek korozyona dayanım elde etme eğilimi bu amaçla kaplanan çeliklerin kullanımını arttırmıştır. Günümüzde, birçok yeni araçta, gövdenin tamamı galvaniz kaplamalı sacdan imal edilmektedir. Korozyona dayanıklı metalik ve boya kaplamaları kaynak yöntemleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olup, teçhizat ve üretim tekniklerinde modifikasyonları zorunlu kılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan başlıca metaller Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Otomotiv parçalarında kullanılan başlıca metaller [11]

Parçalar	Kullanılan Metaller
Gövde elemanları	Düşük karbonlu, soğuk haddelenmiş sac çelik Düşük karbonlu, sıcak haddelenmiş çelik Galvanizli soğuk haddelenmiş sac çelik
Motor blokları ve kafaları	Alaşımli dökme demir ve alüminyum
Kapı menteşeleri ve şasi braketleri	Dövülebilir demir
Montaj	Paslanmaz çelik, dökme alüminyum ve çinko
Ticarî vasıta parçaları	Sac alüminyum

Ürün tasarımı, belli ölçüde hangi kaynak prosesinin kullanılacağını açıkça belirler.

Bağlantıya erişebilirlik, montaj operasyonlarının sırası ve bitmiş parçanın görüntüsü bir kaynak yönteminin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

Herhangi bir parçanın tasarlanan görevi, ürün tasarımı, alt parçalar için metal seçimi ve mamulün imalatında kullanılacak birleştirme metoduyla doğrudan ilgilidir. Birçok durumda, birden fazla metod uygulanabilir olup bir seçim yapılmalıdır.

Otomotiv parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özellikler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir:

1. Yapısal karakteristikler

- a) Mekanik dayanım
- b) Yorulma dayanımı
- c) Eğme veya burulma ya da her ikisinde rijitlik

2. Korozyon dayanımı

3. Sızdırmaz karakteristikler

4. Görüntü karakteristikleri

Otomotiv endüstrisindeki yüksek imalat sayıları yüksek derecede otomasyon ve özel teçhizata yönelmeyi gerektirmiştir. Otomobil gövde elemanlarında, çok noktalı kaynak makinalarıyla aynı anda ya da robot teknolojisi ile kısa bir süre içinde yüzlerce nokta kaynağı yapılmaktadır. Örneğin, taşınabilir nokta kaynağı tabancalarıyla ortalama 4 sn/nokta, robot tabancası ile 2.5 sn/nokta hızda kaynak yapılabilir. Buna göre, bir otomobile saatte ortalama 800 nokta kaynağı yapılmaktadır. Bu imalat sayısı esas alınarak imalatla kullanılacak kaynak metodu, ekonomikliği göz önünde bulundurularak, belirlenmektedir. Yüksek sayıdaki

imalatta, bir parçada bir Lira'lık bir kazanç bile yıllık üretim göz önüne alındığında önemli miktarda kazançlar sağlayabilir [10, 11].

2.12.2 Otomobil Gövdesi İmalatı

Bu bölümde, otomotiv sanayiinde direnç nokta kaynağı uygulamaları ve kullanılan malzemelere örnek teşkil etmesi açısından Ford Otomotiv Sanayi A.Ş. (Ford Otosan) İstanbul fabrikasında üretilen Ford Escort marka otomobilin gövde imalatıyla ilgili bilgiler sunulmaktadır.

Ford Escort marka otomobil için 3 farklı model gövde üretilmektedir:

- 4-kapı (sedan) gövde,
- 5-kapı (hatchback) gövde,
- Station wagon gövde.

Bu gövdelerin imalatında kullanılan sac parçalar üç ayrı tedarikçiden temin edilir:

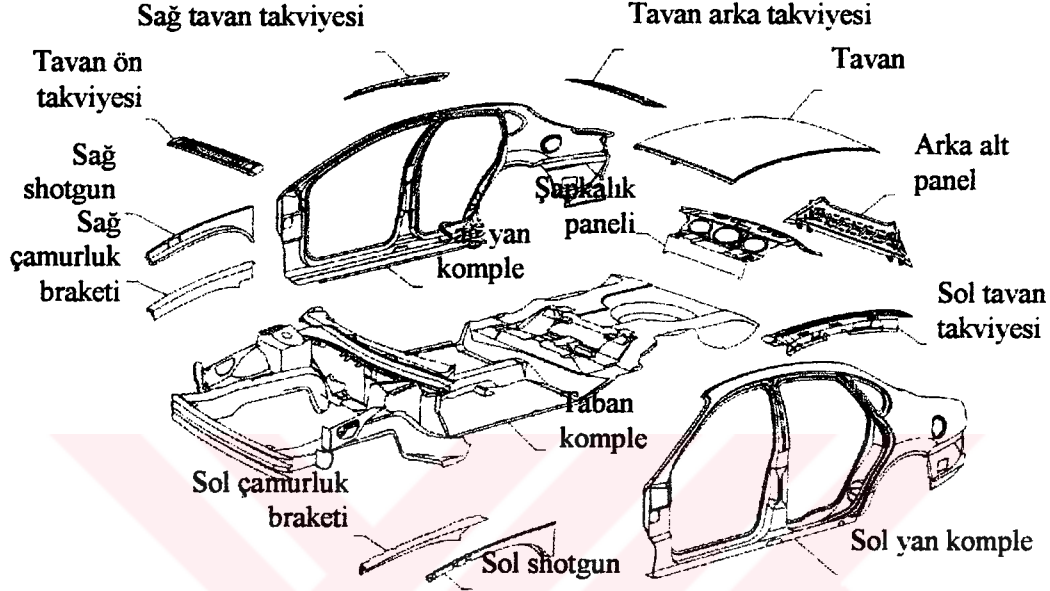
- Ford Motor Company'nin Avrupa'daki preshaneleri,
- Yerli yan sanayi,
- Ford Otosan preshanesi.

Ford Otosan preshanesinde tüm modeller için (otomobil, hafif ticarî araç, kamyon) imal edilen parçalarda 23 farklı özellikte sac metal kullanılmaktadır. Bu saclar malzemenin yanı sıra kaplama ve boyut bakımından 73 farklı tiptedir. Saclar, ikisi yerli, yedisi yabancı olmak üzere toplam 9 firmadan rulo halinde ambalajlanmış olarak temin edilmektedir. Özel saclar dışında, en çok kullanılan sac malzemeleri, DIN 1623 St 14, DIN 1314 UST W 23 ve DIN 17100 St 44-2'dir. Bunlar aynı zamanda, otomobil gövde imalatında en yaygın olarak kullanılan malzememelerdir. Escort gövdesinde kullanılan sacların kalınlıkları 0,7 mm ilâ 1,5 mm arasında değişmektedir.

Escort gövde imalat hattı, bir ana hat ve bu hattı besleyen alt montaj gruplarından meydana gelmektedir. Escort Kaynak Atölyesi alt montaj grupları 6 gruptan oluşmaktadır:

1. Yan kompleksi imalat grubu
2. Motor kompartmanı imalat grubu
3. Taban ve detay parça imalat grubu
4. Gövde hattı
5. Kapı ve kaput imalat grubu
6. Kaporta grubu

Şekil 2.17, kapısız ve kaputsuz bir otomobil gövdesini oluşturan ana parçaları göstermektedir. Yukarıda bahsedilen grupların dışında, malzeme hareket grubu, kalite sistemleri grubu (gövde değerlendirme, istatistiksel proses kontrol, tahribatlı deneyler, üç boyutlu ölçme gibi), fiktür bakım grubu ve genel bakım grubu gibi imalata destek birimler de mevcuttur.



Şekil 2.17 Kapısız ve kaputsuz bir otomobil gövdesini oluşturan ana parçalar

Ford Escort marka otomobilin 3 farklı tipteki gövdesinin imalatı için yapılan toplam nokta kaynağı sayıları Tablo 2.7’de verilmiştir [12].

Tablo 2.7 Ford Escort marka otomobilin gövdelerine yapılan nokta kaynağı sayıları

Montaj Grup Adı	Toplam Nokta Kaynağı
4-kapı komple gövde	3583
5-kapı komple gövde	3507
Station wagon komple gövde	3739
4-kapı komple taban	1881
Station wagon komple taban	1915
4-kapı sağ yan	488
4-kapı sol yan	480
5-kapı sağ yan	541
5-kapı sol yan	541

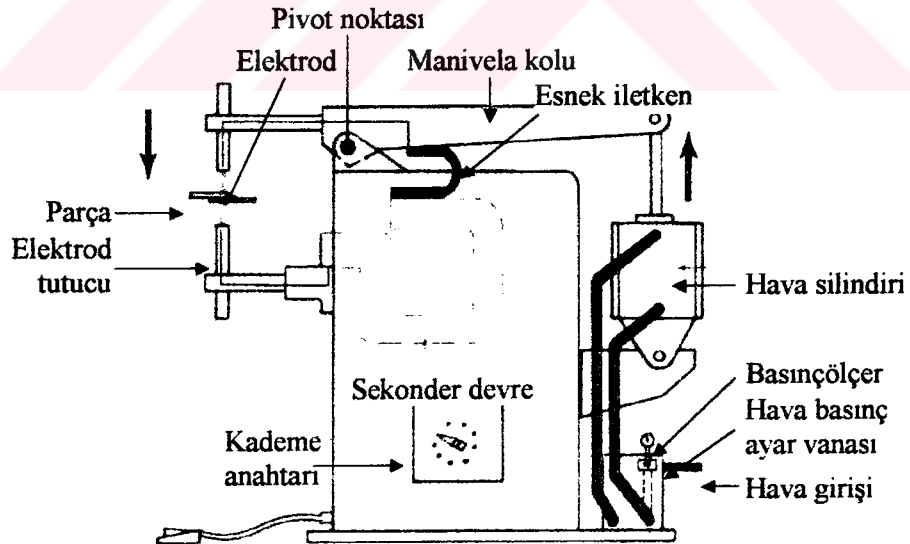
Escort Kaynak Atölyesi ile ilgili bazı sayısal değerler ise şöyledir: Bu atölyenin kapasitesi vardiya başına 60 gövdedir. İmalat hacmine bağlı olarak, günde 2 ya da 3 vardiya yapılabilmektedir. Kaynak edilecek parçaların yerleştirildiği 135 adet fiktür mevcuttur. Kaynak işleminde, 137 adet taşınabilir, 7 adet sabit nokta kaynağı makinası ve 19 adet robot tabancası kullanılmaktadır. Robotik uygulamalarda 12 adet robottan yararlanılmaktadır.

2.12.3 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Makinaları

Mekanik konstrüksiyona bağlı olarak, direnç nokta kaynağı makinaları dört ana gruba ayrılır: manivela kollu, pres tipi, taşınabilir ve çok elektrodlu makinalar. Günümüzde, otomotiv sanayiinde, çoğunlukla pres tipi ve portatif kaynak makinaları robot teknolojisi ile entegre olarak kullanılmaktadır [4, 5, 13-15].

2.12.3.1 Manivela Kollu Kaynak Makinası

Manivela kollu kaynak makinaları, en basit sabit nokta kaynağı makinaları olup, ayak, pnömatik silindir veya motor tahriki ile kullanılmaktadırlar. Makina, işletim yönteminden bağımsız olarak, transformator ve kademe anahtarından oluşan bir çerçeve, dikey olarak ayarlanabilen alt yatay kol ve bir manivela koluna monte edilmiş üst koldan oluşmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Manivela kollu kaynak makinası [5]

Manivela kollu makinalar, 30 ilâ 120 cm kol uzunluğunda ve 10 ilâ 300 kVA'lik transformator kapasitesinde bulunabilmektedir. Manivela kollu makinanın üst elektrodunun yay şeklinde hareket etmesinden dolayı, elektrodlar, üst elektrod iş

parçasına dik ve iki kol birbirine paralel olacak şekilde, kapalı (ya da kaynak) pozisyonda ayarlanmalıdır. Paralel olmayan kollarla ayarlama, elektrod kaymasına ve iş parçalarının işaretlenmesine sebep olur.

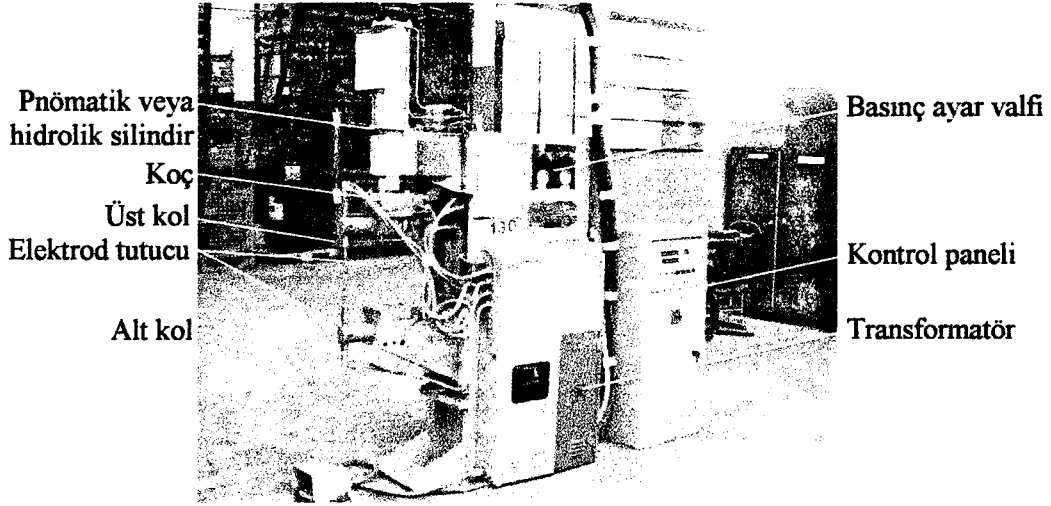
Ayakla tahrik edilen manivela kollu kaynak makinası, bir çubuk ve bir sıkıştırma yayından oluşan iki basit koldan oluşmaktadır. Ayak çubuğuna uygulanan kuvvet, yay boyunca manivela koluna ve oradan da kaynak elektroduna iletilmektedir. Bu makina kısa süreli üretim gerektiren atölye işlerine uygundur.

Pnömatik tahrikli makina, ayak çubuğunun yerini alan pnömatik silindir, bağlantı çubuğu ve ayak tahrikli makinanın yayına sahiptir. Silindirin stroku, istenen elektrod açıklığına göre ayarlanmalı ve silindirin çapı elektrod kuvveti ve kol uzunluğu ile orantılı olmalıdır. Belli bir silindir çapı, stroku ve işletme hava basıncı için, manivela kolu mili ve silindir bağlantısı arasındaki mesafe değişmemek şartıyla, makinanın kol uzunluğu arttıkça elektrod açıklığı da artmaktadır. Belli bir silindir tarafından sağlanan kaynak kuvveti, hava basıncı ile doğru orantılı olup bir basınç regülatörü ile kontrol edilmektedir. Pnömatik tahrikli nokta kaynağı makinaları, minimum kurma zamanı gerektiren kısa veya orta süreli imalatlarda kullanılmaktadır.

Motor tahrikli makinalar, manivela kolunun ayak çubuğu yerine güçle işletilen kamla hareket ettirilmesi dışında, ayakla tahrik edilen makinalara benzemektedir. Elektrod açıklığı, kaynak kamının yükselmesi ve kol uzunluğu ile belirlenmektedir. Kaynak kuvveti, yay sıkıştırması ve manivela düzeninin oranlarına bağlıdır. Motor tahrikli makinaların kurulması ve ayarlanması çoğunlukla ayak ya da pnömatik tahrikli makinalara oranla daha zordur. Bu makinalar uzun süreli imalatlarda ya da sıkıştırılmış havanın temininin zor olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

2.12.3.2 Pres Tipi Kaynak Makinası

Pres tipi kaynak makinaları, dikey olarak düz bir doğrusal hareket yapan üst elektrod ve kaynak kafasından oluşmaktadır (Şekil 2.19). Kaynak kafası yataklarla ya da maruz oldukları merkezden kaçık yüklere dayanabilecek şekilde kızaklanmıştır. Bu makinalar 120 cm'ye kadar kol uzunluklarına ve 5 ilâ 600 kVA ve daha yüksek transformatör kapasitesine sahiptir. Radyo, diş veya mücevher işlerinde kullanılan tezgah tipi modellerde kol uzunlukları 5-10 cm'ye ve kapasite 5 kVA'e kadar düşmektedir. Kaynak kuvveti, pnömatik veya hidrolik silindir tarafından sağlanmakta olup, manuel operasyon küçük tezgah tipi makinalarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.19 Pres tipi kaynak makinası

Pnömatik silindirler genellikle 300 kVA ve daha yüksek kapasiteli kaynak transformatörüne sahip makinalarda kullanılmaktadır. Hidrolik operasyon 200 kVA'den düşük kapasiteli makinalarda nadiren kullanılmakta olup, uygulamada 500 kVA'den daha yüksek transformatör kapasiteli tüm makinalarda kullanılmaktadır. Pres tipi kaynak makinaları genellikle hem nokta hem de projeksiyon kaynağı için tasarlanmıştır. Projeksiyon kaynağı için tablalar, nokta kaynağı için de fikstür ve elektrod tutucular mevcuttur. Tablalar, koç ve pnömatik veya hidrolik silindir ortak merkeze sahiptir. Alt tablayı destekleyen dirsek, projeksiyon kaynak kalıplarındaki kalınlık ya da nokta kaynak elektrodlarındaki uzunluk farklılıklarını telafi etmek için, dikey olarak ayarlanabilmektedir.

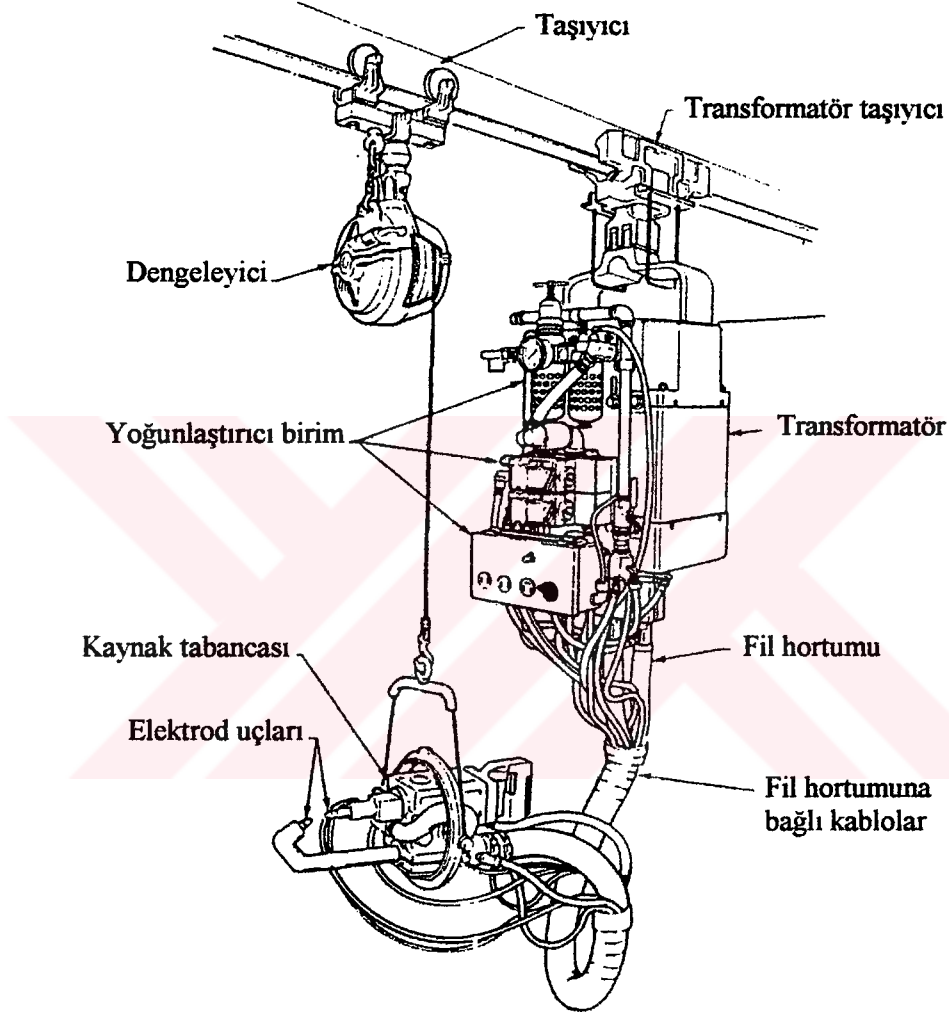
2.12.3.3 Taşınabilir Kaynak Makinası

Taşınabilir (portatif) makinalar ya da diğer adıyla tabancalar, nokta kaynağında sabit makinanın uygun olmadığı durumlarda kullanılır. Genelde şu parçalardan meydana gelmektedir:

- Portatif kaynak tabancası,
- Elektrik kontrolleri (kaynak kontaktörü ve sıra zamanlayıcı),
- Kaynak transformatörü,
- Sekonder kablolar ve transformatör ve kaynak tabancası arasında güç taşıyan hortum.

Taşınabilir kaynak tabancası, su soğutmalı elektrod tutucular, pnömatik ya da hidrolik tahrikli silindir, el tutacakları ve başlatıcı anahtardan oluşmaktadır. Tabanca

çoğunlukla ayarlanabilir dengeleyiciye asılmaktadır. Kaynak kuvveti pnömatik ve hidrolik silindir ile sağlanmaktadır. Hidrolik basınç genellikle pnömatik-hidrolik motordan sağlanmaktadır. Taşınabilir makinaların yüksek sekonder kayıplarından dolayı, bu makinalarda kullanılan transformatörler aynı kapasitedeki sabit makinalarda kullanılan transformatörlerin iki ya da dört katı kadar sekonder gerilime sahiptir.

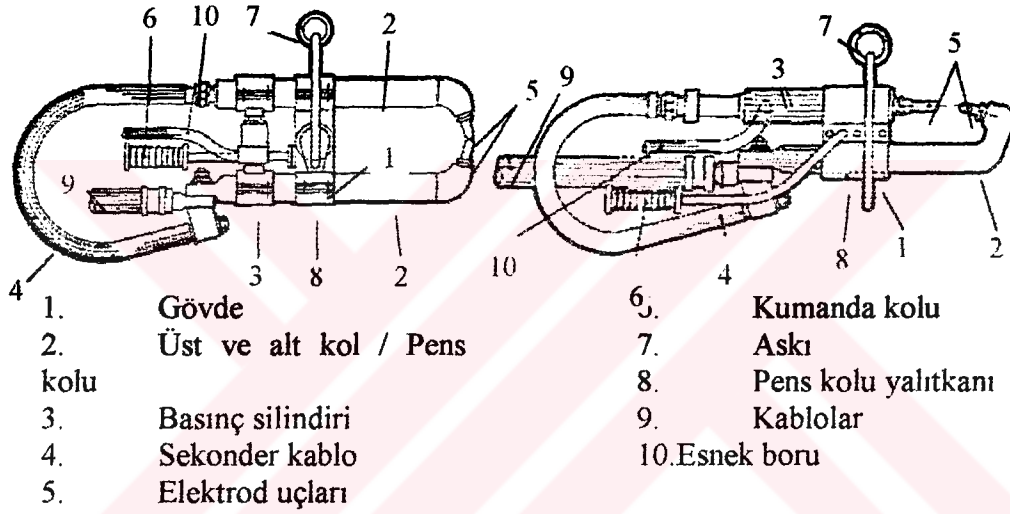


Şekil 2.20 Taşınabilir kaynak makinası istasyonu [13]

Transformatör, kademe anahtarları, elektrik kontrolleri ve hava hattı aksesuarları iş alanının üzerinde kirişin bir ucuna monte edilmiştir. Kirişin diğer ucunda kaynak tabancasını dengeleyen yaylı bir dengeleyici bulunmaktadır (Şekil 2.20). Tabanca, dengeleyicinininkine eşit ve operatörün erişimine eşit ya da daha büyük bir dikey hareket kapasitesine sahiptir. Sistem 360°lik dönme serbestliğine ve sadece sekonder kabloların uzunluğuna bağlı olan bir çalışma alanı sağlamaktadır.

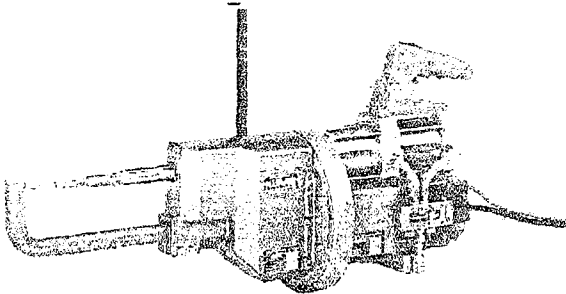
Kaynak akımı transformatör ile tabanca arasında düşük empedanslı ya da fil hortumu tipindeki sekonder kablo ile iletilmektedir. Bu tip kablo yüksek güç çarpanı ve düşük kVA sarfıyatı sağlamaktadır. Bununla beraber, suyla soğutma gereklidir. Sekonder elektrik kablolarına ek olarak, hava veya hidrolik basınç hortumları, soğutma suyu hortumları ve başlatma anahtarı kablosu bulunmaktadır. Bu anahtar güvenlik sebebinden dolayı genellikle düşük gerilimde çalıştırılmaktadır.

Taşınabilir kaynak tabancası, yapısına bağlı olarak iki tiptir: makas tipi ve C-tipi tabanca. Kullanılacak parça boyutuna ve şekline bağlı olarak bu iki tip tabanca, özellikle otomotiv sanayinde, sıkça kullanılmaktadır. Bu tabancaları oluşturan elemanlar Şekil 2.21 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Makas tipi ve C-tipi taşınabilir kaynak tabancası [14]

Taşınabilir direnç nokta kaynağı makinalarının bazı tipleri tabanca ve transformatörü tek bir portatif birimde birleşmektedir. Aynı birimlerden oluşanlara oranla bu tip tabancalar daha düşük kapasiteye sahip olmakla birlikte, daha az yer kaplamaları ve kullanım kolaylığı açısından günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Entegre transformatörlü C-tipi bir kaynak tabancası Şekil 2.22’te gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Entegre transformatörlü taşınabilir kaynak tabancası

2.12.3.4 Çok Elektrodlü Kaynak Makinası

Çok elektrodlü kaynak makinaları özel amaçlı makinalar olup, çoğunlukla belli bir iş için tasarlanıp imal edilirler. Bu makinalar, kaynak yapılacak çok sayıda parça veya bir parçada çok sayıda kaynak gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Yüksek maliyetlerine rağmen, her sefer tek bir kaynak yapılması yerine bu makinaların kullanılması daha ekonomiktir. Bu makinaların çoğu, her kaynak tabancası ya da tabanca çiftleri tek bir transformatöre bağlı olan ve tüm kaynakların sırayla olduğu gibi aynı anda da yapılabilirdi, çok transformatörlü tiptedir. Bu tip işlem için yapılan transformatörler, her biri iki tabancayı besleyen iki sekondere sahiptir.

0,6 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş çeliğin nokta kaynağında 5 cm'lik tandem pnömatik silindirli tabancalar kullanılmaktadır. 10 cm çapındaki tandem silindirler ile 3 mm kalınlığa kadar çelik kaynak edilebilir. Nokta kaynaklarının aralıkları silindir çapı ile belirlenmektedir. Daha kalın metaller için küçük çaplı, yüksek basınçlı hidrolik silindirli tabancalar kullanılabilir [4].

3.ULTRASONİK KAYNAK TESTİ

3.1. Ses ve Yayılım Teorisi

Çeşitli fiziksel mekanizmalarla yaratılan mekanik titreşimlere veya dalgalara “Ses” denmektedir. Bazı sesler, insanlar tarafından duyulabilmektedir. Ancak tanımda belirtilen seslerin tamamı insanlar tarafından duyulamamaktadır. Günlük yaşamımızda konuşmalarımız tarafından algılanabilen titreşimlere ses denir. Bir başka deyişle kulağımız algılayamadığı ses dalgalarında mevcuttur

Kulağımızın algılayamadığı kadar küçük olan seslere Sesaltı, buna karşın kulağımızın algılayamayacağı kadar yüksek olan seslere ise Sesüstü (Ultrason) adı verilmektedir. Kulağımız tarafından algılanabilen sesler 10~20.000 Hz arasında olan seslerdir. Bu durumda 20 Khz üzerindeki sesler Sesüstü olmaktadır.

Mekanik dalgaların yayılması için bir ortama ihtiyaç vardır. Bu ortam madde ihtiva eden bir ortam olmak zorundadır. Ses boşlukta yayılamayacağı için katı, sıvı veya gaz ortamlarından biri içinde olmalıdır. Ses maddeler üzerindeki elastik ortamların titreşimi ile yayılır. Bir madde üzerine yüklenen ses titreşimi madde içinde skünet halinde duran atomları veya molekülleri hareket ettirir. Maddenin atomları veya molekülleri arasındaki bağ kuvvetleri elastik sınırlar dahilinde etkilenmesi sonucu ses dalagaları yayılmaya başlar. Dalgaların uyguladığı basınç, yayıldığı ortamın atomları üzerinde titreşim halinde yayılır. Katılar arasındaki bağlar kuvvetli olduğu için yayılma katılar arasında daha iyidir. İkinci olarak sıvılar içinde ve son olarak gaz ortamlarda yayılma gerçekleşir. Sıvı ve gazlarda parçacıklar hareket halindedir fakat sıkıştırma ve genleşmeye karşı direnç gösterdikleri için elastik dalgaları iletebilirler.

Titreşimler ortamda dalgalar olarak yayılırlar. Dalga, zaman ve hacim olarak periyodik bir harekettir.

3.2. Ultrasesin Oluşumu Ve Özellikleri

Ultrasonik dalgalar, piezoelektrik, magnetostiriktif, elektrodinamik, mekanik, termik, elektrostatik, optik gibi fiziksel yollarla üretilebilir. Genel olarak piezoelektrik olay yöntemi ile üretilen ultrason dalgaları kullanılmaktadır.

Piezoelektrik Olay:

Bazı maddelerin elektrik gerilimi altına boyut değiştirmelerine Piezoelektrik olay denir. Diğer bir deyişle bazı maddeler elektrik akımı içinde kaldıklarında mekanik deformasyona uğrarlar. Bu olayın tersi olarak bazı maddeler mekanik deformasyon geçirirken yüzeylerinde elektrik yükleri açığa çıkar. Bu işlemin oluşmasına ise “Piezoelektrisite” denir. Bu maddelere örnek olarak Kuvatz, lityumsülfat, rochelle tuzu, baryum titanat, kurşun zirkonat titanat, kurşun metanyobat sayılabilir.

Piezoelektrik olayda, belirli bir kristal yüzeyine oluşan elektriksel kutuplaşmalara “Polarizasyon” denir. Bu nedenle kristalin piezoelektriksel eksene olması gerekmektedir. Yani polar eksene sahip olması gerekmektedir. Bu özellikteki bir kristali bir elektrik alanı içine bıraktığımızda elektrik alanı yönü ile polar eksen yönü aynı ise, iyon kafeslerinde kristali belli bir yönde sıkıştıran ve gevşeten kuvvetler oluşur. Bu sıkışma ve gevşemeler sonrasında titreşimler doğar. Bu titreşimler ise Ultrases'i oluşturur.sahip

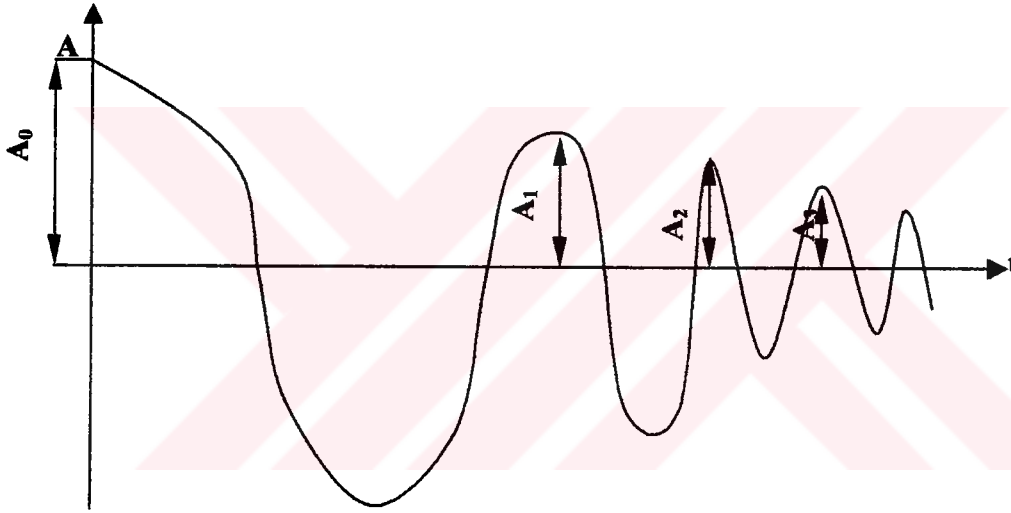
Piezoelektrik olay iki şekilde oluşur.

- a) Boyuna Piezoelektrik olay
- b) Enine Piezoelektrik olay

Boyuna piezoelektrik olay kalın kristallerde olur. Kristalin titreşimi uygulandığı alan yönünde olur. Enine piezoelektrik olayda ise, kristal titreşimi, uygulanan alana dik doğrultuda oluşur. Bu durumda sıkışma ve gevşeme daima iki yönlü olur. Bir piezoelektrik kristal üzerine F gibi bir kuvvet uygulandığında q gibi bir yük açığa çıkar. Bu durum aşağıdaki bağıntı ile açıklanmıştır.

$$q = \delta \frac{S_q}{S_f} F \quad (3.1)$$

Bir piezoelektrik olay plaka üzerine kısa bir elektrik darbesi uygulandığında sinüzoidal bir titreşim yapar. Bu titreşimlerde zayıflama etkisi görülür. Başka bir deyişle iç sürtünmeden dolayı enerji kaybı doğar Bu durum aşağıdaki grafikte açıklanmıştır.

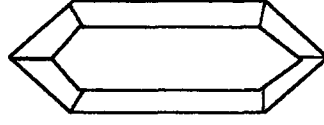


Şekil 3.1 : İç Sürtünmeden doğan enerji kaybı grafiği

Titreşimlerin genliğinin dalgadan dalgaya azalması sönüm faktörü olarak ifade edilir ve bunun bağıntısı yukarıda verilmiştir.

3.3 Kristal tipleri

Bu gün yaygın olarak piezoelektrik olay kullanılmaktadır. Bu olayı sağlayan iki tip kristal bulunmaktadır. Doğal ve Suni Kristaller. Kristaller kimyasal ve fiziksel olarak dengeli bir yapıya sahip maddelerdir. Kristal yapısı altı yüzlü olup uc kısımları piramit şeklindedir. Bu kesim şekli piezoelektrik olay için önem taşımaktadır.



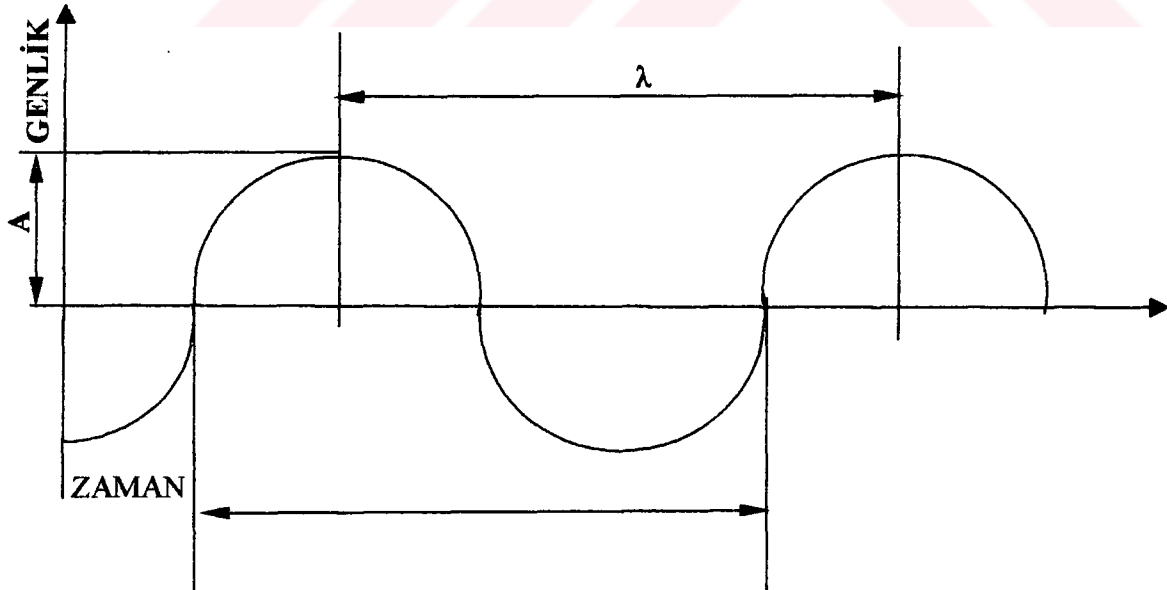
Şekil 3.2 : Kristal yapısının şekli

Doğal kristallerin bazı özellikleri ve az miktarda bulunması nedeni ile suni kristaller üretilmiştir. Bunlar Ultrases için zenginleştirilmiş malzemelerdir. Doğada bulunan kristal Kuvartz olup diğer kristal özelliklerini belirlemede referans olarak kullanılır. Kuvartz özelliklerinin ultrasoniğin her kullanım alanına uygun olmayışı nedeni ile çeşitli amaçlar için

n suni kristaller üretilmiştir. Kullanım alanına göre üretilen suni kristal tiplerine örnek olarak lityumsülfat, baryum titanat, kuşun zirkonat ve kurşun menobat sayılabilir.

3.4. Ultrasesin Kavramları

Bir ultrasonik sesin oluşumunda dalga, frekansı, genliği, dalga boyu ve yayılma hızı ile karakterize edilir. Bu kavramlar aşağıdaki şekil üzerine gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Ultrasonik sesin oluşum şekli

3.5 Frekans

Bir parçacığın saniyedeki titreşim sayısına “Frekans” denir. Birimi sn^{-1} olup Hertz (Hz) olarak anılmaktadır. Buna göre 1 Hz saniyede 1 salınımı tanımlamaktadır. Biriminin üst katları kullanılmaktadır. Küçük f harfi ile gösterilir.

$$1 \text{ KHz} = 1,000 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ Mhz} = 1,000,000 \text{ Hz}$$

Açısal frekans cycle olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\omega = 2\pi f \quad (3.2)$$

3.6 Periyod

Bir titreşimin tamalanması için geçen süreye “Periyod” denir. Büyük T harfi ile ifade edilir. Bu durumda frekansla olan ilişkisi aşağıdaki bağıntı ile açıklanmıştır.

$$T \cdot f = 1 \quad (3.3)$$

Burada periyodun birimi sn dir.

3.6 Dalga Boyu

Aynı titreşim fazında bulunan iki komşu parçacık arasındaki mesafeye “Dalga Boyu” denir. Bir başka deyişle dalga botyu ardışık iki dalga tepesi arasındaki mesafeyi tanımlamaktadır. Birimi (m) metredir. Alt katı olan (mm) milimetre kullanılır. Lamda (λ) ile gösterilir.

3.8 Yayılma Hızı

Belirli bir dalga fazının birim zamanda aldığı yola “Yayılma Hızı” denir. Yayılma hızı (v) harfi ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$v = \lambda \cdot f \quad (3.4)$$

3.9 Akustik Empedans

Ortamın ses yayılımına gösterdiği dirence “Akustik Empedans” denir. Matematiksel olarak Akustik Empedans (z) ile ifade edilirse, sesin yayıldığı ortamın yoğunluğu (p) ile sesin yayılma hızının (v) çarpımına eşittir.

$$z = p \cdot v \quad (3.5)$$

Akustik empedansı yüksek olan malzemelere sese karşı sert ve akustik empedansı düşük olan malzemelere sese karşı yumuşak malzemeler denir.

3.10 Genlik

Dalga tepesi veya dalga çukurunda bulunan parçacığın maksimum yer değiştirme miktarına “Genlik” denir ve büyük A harfi ile gösterilir.

3.11 Ses Basıncı

Sesin içinde yayıldığı malzemeye uyguladığı basınca “Ses Basıncı” denir. Küçük (p) harfi ile ifade edilir ve aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır.

$$p = z \cdot A \cdot \omega \quad (3.6)$$

3.12 Ses Enerjisi

Sesötesi duyulan ses gibi bir mekanik titreşim olduğuna göre bir enerjisi vardır. Bu enerji aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$I = \frac{1}{2} z \cdot \omega^2 \cdot A^2 \quad (3.7)$$

Ses enerjisini ses basıncına bağlı ifade edersek;

$$I = \frac{1}{2} \cdot \frac{p^2}{z} \quad (3.8)$$

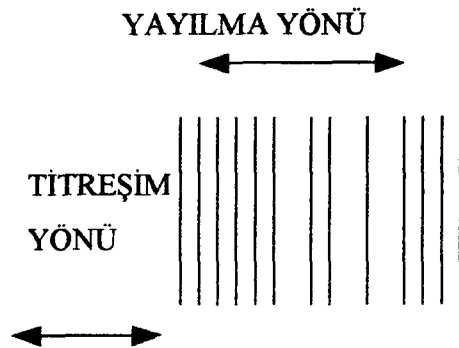
3.13 Ultrasonik Dalga Çeşitleri

Ultrasonik dalgalar yayılma ve titreşim şekline göre farklılıklar gösterir. Bu dalga tipleri aşağıda gruplandırılmıştır.

- 1- Boyuna Dalgalar (Basınç Dalgaları)
- 2- Enine Dalgalar (Kesme Dalgaları)
- 3- Yüzey Dalgaları (Rayleigh Dalgaları)
- 4- Plaka Dalgaları (Lamb Dalgaları)
- 5- Sürünen Dalgalar

3.13.1-Boyuna Dalgalar (Basınç Dalgaları)

Bu dalgalarda titreşim ve yayılma yönü aynıdır. İçinde bulundukları ortamı esneklik sınırları içinde sıkıştırmaya ve çekmeye zorlayarak yayıldıkları için bunlara Basınç Dalgaları'da denir.



Şekil 3.4 Dalgaların Yayılması

Bu dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler. Genel dalganın yayılma hızı aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

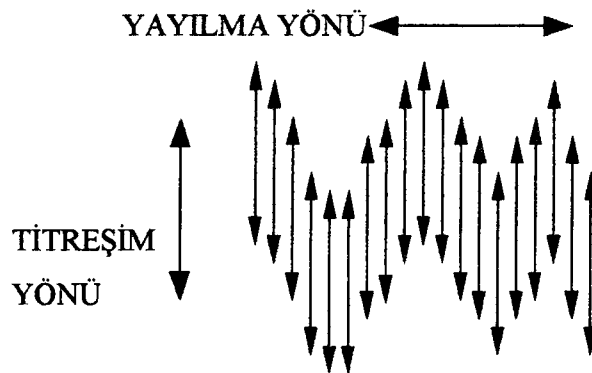
$$v = \frac{E}{\delta} \cdot f(\sigma) \quad (3.9)$$

Burada E young modülü, σ Poisson oranı, δ yoğunluk ve v dalga hızını tanımlıyor. Boyuna dalga hızı aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$V_B = \frac{\sqrt{E}}{\delta} \cdot \frac{\sqrt{1-\sigma}}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} \quad (3.10)$$

3.13.2 Enine Dalgalar (Kesme Dalgaları)

Titreşim ve yayılma yönü birbirine dik olan dalgalardır. Bu dalgalar yayıldıkları ortam içinde parçacıkları çapraz yönde kaymaya zorlarlar. Bu nedenle yalnız KATI ortamlarda yayılırlar.



Şekil 3.5 Enine Dalgaların Yayılması

Enine dalgaların hızı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

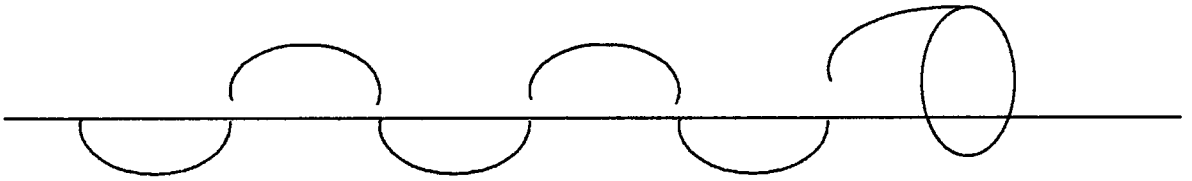
$$V_E = \frac{\sqrt{E}}{\delta} \cdot \frac{1}{2(1+\sigma)} \quad (3.11)$$

Enine dalgaların hızı yaklaşık olarak boyuna dalga hızının yarısına eşittir.

$$V_E \cong \frac{1}{2} \cdot V_B \quad (3.12)$$

3.13.3 Yüzey Dalgaları (Rayleigh Dalgaları)

Malzemenin yüzeyinde yayılan dalgalardır. Boyuna dalgaların çelik yüzeyine belli bir kritik açı ile gelmesi sonrası enine dalgaların malzeme yüzeyine paralel olarak kırılması ile oluşan dalga türüdür. Pleksiglas- çelik için bu kritik açı 57°'dir. Titreşim şekilleri elipsoittir. Elipsin büyük ekseni dalga yayılma yüzeyine düşey, küçük ekseni ise paraleldir. Dalganın parça içindeki nüfuziyet derinliği bir dalga boyudur. Bu dalgalar yüzey pürüzlüğünden ve kirliliğinden etkilenirler.



Şekil 3.6 Yüzey Dalgaların Yayılması

Yüzey dalgalarının yayılma hızı V_y titreşim modu elipsoide dönüştüğü için enine dalgalardan biraz daha azdır. Bu aşağıdaki bağıntı ile belirtilmiştir.

$$V_Y \cong 0,92 \cdot V_E \quad (3.13)$$

Yüzey dalgalarının yayılma hızı aşağıdaki bağıntı ile açıklanmıştır.

$$V_E = \frac{\sqrt{E}}{\delta} \cdot \frac{0,87+1,12\sigma}{(1-\sigma)\sqrt{2(1+\sigma)}} \quad (3.14)$$

3.13.4-Plaka Dalgaları (Lamb Dalgaları)

Boyuna dalgaların ince plakalar üzerine belli bir kritik açı altında gelmesi ile oluşur. Plaka dalgalarının yayılma karakteristiği malzemenin özelliklerine, yapısına , kalınlığına ve nominal frekansına bağlıdır. Dalga hızı sabit olmayıp esas olarak malzeme kalınlığı ile değişmektedir. Tipik bir kalınlık-hız diyagramı oluşturmaktadır.

3.12.5 Sürünen Dalgalar

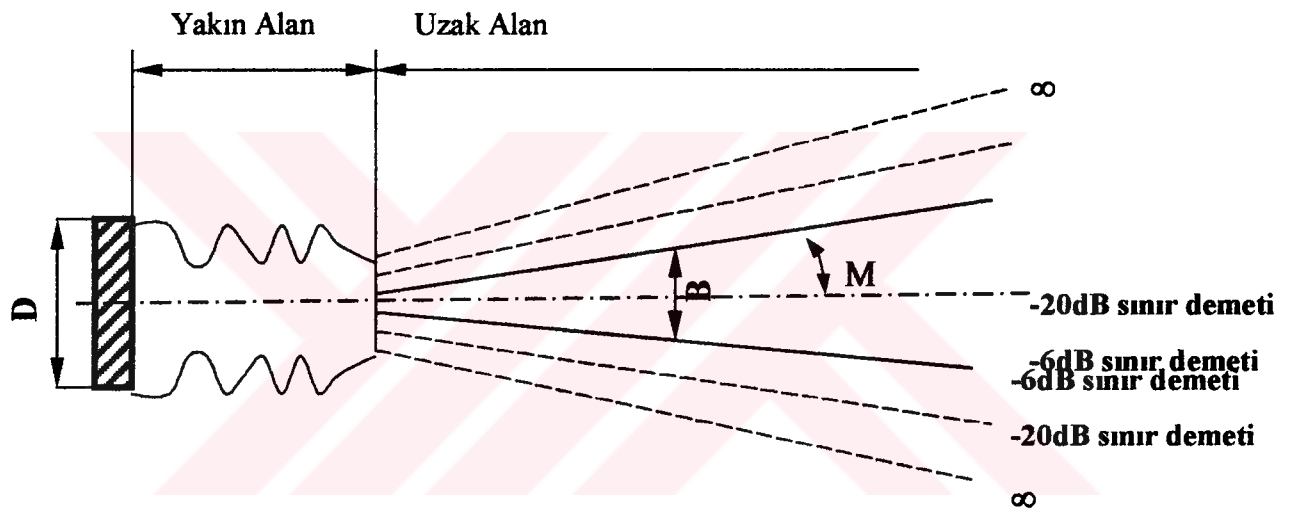
Malzemenin yüzeyine yayılan dalga türlerinden olup bunlar boyuna dalgaların malzeme yüzeyine belli bir kritik açı ile gelmesi sonucu oluşmaktadır. Bu kritik geliş açısı boyuna dalgalarda çelik-pleksiglas için $27,6^\circ$ olmalıdır. Bu durumda Enine dalga'nın kırılma açısı 33° , Kristal boyutuna ve dalga boyuna bağlı olarak boyuna dalga'nın kırılma açısı 80° dir.

3.14 Ses Demeti ve Karakteristikleri

Ultrasonik dalgalar probdan çıktıktan sonra yayıldıkları ortamda oluşturdıkları şekle ses demeti denir. Ses demeti, probdan herhangi bir mesafedeki yansıtıcının genliği ile karakterize edilir. Bu yansıtıcı (reflektör) mükemmel, yeteri kadar küçük ve genliği algılanan akustik basınçla orantılı, küresel dalgalar yayan ikinci bir ses kaynağı (Kristal)

olarak düşünülür. Dalgaların yayıldığı ortam homojen, izotrop ve zayıflatmasız kabul edilir.

Ses demeti teorik olarak sesin yayıldığı ortamdaki basıncı göz önüne alınarak hesap edilir. Demet alanı içinde nokta yansıtıcının gönderdiği sinyalin genliği kristalde oluşturulan basıncın karesi ile orantılıdır. Akustik demetin şekli ve boyutları kristal şekline ve boyutlarına, hıza ve frekansa bağlıdır. Yakın alan (N), odak genişliği (B) ve genişleme açısı (M) demet şeklini belirleyen elemanlardır.



Şekil 3.7 Ses Demeti

3.14.1 Yakın Alan (N)

Ses demetinin probdan çıktıktan sonra odak noktasına kadar biraz daralarak yayıldığı ve ses basıncının sürekli değiştiği bölgedir. Buna Fresnel Alanı (bölgesi) de denir. Bu alanda, nokta yansıtıcının yankı genliği sürekli olarak değişim gösterir. Akustik eksen üzerindeki basınç yakın alanın ilk yarısında minimumda odak noktasında maksimumdur.

Yakın alan uzunluğu N , sesi üreten kristalin boyutuna (D) ve dalga boyuna (λ) bağlı olup disk tipi kristaller için aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$N = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{V}{f} \quad (3.15)$$

Eğer $D \gg \lambda$ ise, λ^2 D'ye göre çok küçük olacağından, ihmal edilerek bağıntı aşağıdaki şekle dönüşür.

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (3.16)$$

Eğer kullanılan kristal dört köşe veya dikdörtgen şeklinde ise yakın alan dörtgenin kenar oranına göre değişir. Bu durumda aşağıdaki formül kullanılır.

$$N_{\square} = h \cdot \frac{a^2}{4\lambda} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki bağıntıda a dikdörtgenin uzun kenarı h ise kenar oranına (b / a) bağlı bir faktör olup aşağıdaki tablodan tespit edilecektir.

Tablo 3.1 Kenar Oranı , Faktör Tablosu

KENAR ORANI (b / a)	Faktör (h)
1,0	1,37 (Kare)
0,9	1,25
0,8	1,15
0,7	1,09
0,6	1,04
0,5	1,01
0,4	1,00
0,3	0,99

3.14.2 Uzak Alan

Ses demetinin odaktan itibaren belli bir açı ile genişlediği ve akustik eksen üzerindeki basıncın eksponansiyel olarak azaldığı bölgedir. Bu alana Fraunhofer Alanı (bölgesi) de denir. Akustik basıncın karmaşık bir değişim gösterdiği ve akustik eksen üzerine maksimum ve minimumların olduğu yakın alanın tersine, uzak alanda basınç bütün kesitlerde akustik eksen üzerinde maksimumdur.

Akustik eksen üzerindeki ses basıncı uzaklığın ve dalga boyunun fonksiyonu olup, disk tipi kristaller için aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$p = 2.p_0 \cdot \sin \left[\pi / \lambda (\sqrt{(D/2)^2 + z^2} - z) \right] \quad (3.18)$$

Burada p_0 kristale sıfır mesafedeki ($z=0$) basınç, p z mesafesindeki basınç ve D kristal çapıdır.

Akustik eksen düşey kesitteki ses basıncı değişimi ile ses demetinin yön karakteristiğini belirlemektedir. Hataların genliğini hesaplamada büyük önem taşıyan yön karakteristiği (Γ), disk tipi kristaller için uzak alanda aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\Gamma_0 = 2 \cdot \frac{J_1(x)}{x} \quad x = \frac{2 \pi a}{\lambda} \sin M \quad (3.19)$$

Burada J_1 1.dereceden Bessel fonksiyonu, a diskin yarı çapı ve M kartezyen koordinatlarında genişleme açısıdır. Dikdörtgen şeklinde bir kristal için yön karakteristiği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\Gamma_{\square} = \frac{\sin x_1}{x_1} \cdot \frac{\sin x_2}{x_2} \quad x_1 = \frac{\pi a}{\lambda} \sin M_1 \quad x_2 = \frac{\pi b}{\lambda} \sin M_2 \quad (3.20)$$

Burada a ve b dikdörtgenin kenarları olup, kare şeklindeki bir kristalde $x_1=x_2$ olduğu için bağıntı kare kristaller için aşağıdaki şekli alır.

$$\Gamma_{\square} = \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 \quad (3.21)$$

3.14.3 Demet Genişlemesi

Akustik eksen ile ses demetini belirleyen sınır demeti arasındaki açıya genişleme açısı denir. Genişleme açısı %50 (-6dB) veya %10 (-20dB) sınır demetleri için farklı olmaktadır. %50 sınır demet, yankı tekniğinde bir nokta yansıtıcının yankı yüksekliğinin akustik eksene göre yarıya indiği veya 6 dB düştüğü sınır çizgisidir. %10 sınır demet de 20 dB kriteri benzer şekilde tanımlanır.

Disk tipi kristaller için %50 ve %10 sınır demet genişleme açıları aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir.

$$\sin M_{\%50} = 0,51 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad \sin M_{\%10} = 0,87 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (3.22)$$

Bağıntıların genel formülü aşağıda gösterilmiştir.

$$\sin M_{\Delta dB} = k_{\Delta dB} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (3.23)$$

Yankı tekniğinde genlik serbest alandaki genliğinin 2 katı olup $k_{\Delta dB}$ faktörü serbest alan yankı tekniği için tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Serbest Alan (ΔdB)	Yankı Tekniği (ΔdB)	k _{ΔdB}
-1,5	-3	0,37
-3	-6	0,51
-6	-12	0,70
-10	-12	0,87

Tablo 3.2 k_{ΔdB} Faktörü Değerleri

Herhangi bir z mesafesindeki demet genişliği B, genişleme açısından gidilerek aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$B = 2 \cdot z \cdot \tan M_{\Delta dB} \quad (3.24)$$

Küçük açılar için $\tan M \approx \sin M$ olduğundan, bağıntı aşağıdaki şekli alır.

$$B = 2 \cdot z \cdot k_{\Delta dB} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (3.25)$$

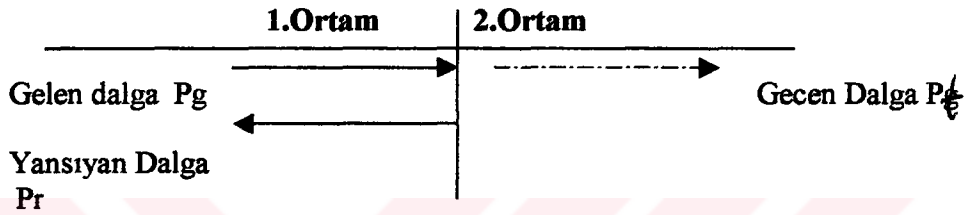
Dikdörtgen kristaller için demet genişleme açıları ve demet genişlikleri yukarıdaki bağıntılarda D yerine dikdörtgenin kenarlarından a veya b konularak hesaplanır.

3.15 İki Farklı Malzeme Arasında Ses Dalgasının Hareketi

Sınırsız bir madde ortamı ancak teoride mümkündür. Pratikte her madde sınırlıdır. Ultrasonik dalgalar sınır yüzeylerden etkilenir. Eğer bir madde ortamının

sona erdiği yerde başka bir madde başlamıyorsa, buna Serbest sınır yüzeyi denir. Ultrasonik dalgalar serbest sınır yüzeyine çarptıklarında yansır. Dalganın yayıldığı ortam bittiğinde ikinci bir madde yayılıyorsa dalga yansıma yanında belli bir yönde kırılarak yoluna devam eder.

Bir düzlemsel dalga birinci madde ortamından düz bir arayüzeyden geçerek ikinci bir madde ortamına dik olarak geliyorsa bir kısmı geri yansır bir kısmı ikinci madde içinde yoluna devam eder.



Şekil 3.8 Dalgaların Hareketleri

Yukarıdaki şekile göre aşağıdaki bağıntılar geçerlidir.

$$z_1 = \delta_1 \cdot v_1 \quad z_2 = \delta_2 \cdot v_2 \quad (3.26)$$

z: Akustik Empedans

p: Ses Basıncı

Bu durumda yansıma faktörü (R =Refleksiyon) ve Geçirgenlik (T =Transmisyon) faktörü aşağıdaki bağıntılarla verilir.

$$R = \frac{p_r}{p_g} \quad T = \frac{p_t}{p_g} \quad (3.27)$$

Akustik ortamlarına göre bu iki bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (3.28)$$

Yansıma ve geçirgenlik birimsiz değerlerdir.

Örnek olarak çelik-su ara yüzünün yansıma ve geçirgenlik faktörleri aşağıda verilmiştir.

$$R = -0,935$$

$$T = 0,065$$

Ultrasonik tekniğinde dalga genlikleri dB (desibel) olarak hesaplandığı için yansıyan ve geçen dalgaların genlikleri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$dB = 20 \cdot \log \left(\frac{p}{P_0} \right) \quad (3.29)$$

Çelik-su ara yüzeyi için bu bağıntıyı uygularsak;

$$0,935$$

$$A_r = 20 \cdot \log \left(\frac{1}{1} \right) = -0,58 \text{ dB}$$

$$1$$

$$0,065$$

$$A_t = 20 \cdot \log \left(\frac{1}{1} \right) = -23,74 \text{ dB}$$

$$1$$

Bu değerler yansıyan ve geçen dalgaların genliklerinin gelen dalganın genliğinden, sırayla 0,58dB ve 23.74dB daha küçük olduğunu göstermektedir.

Dalga hareketi tersine sudan çeliğe doğru olsaydı R ve T faktörleri aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned} R &= 0,935 & T &= 1,935 \\ A_r &= -0,58 \text{ dB} & A_t &= 5,73 \text{ dB} \end{aligned}$$

Burada geçen dalganın genliğinin gelen dalgadan fazla olması enerjinin korunumu kanunu ile tersmiş gibi görülebilir. Çünkü ses basıncı p doğrudan akustik empedansa bağlı olduğundan geçen dalganın basıncı gelen dalganın basıncından fazla olmaktadır. Basıncın denge bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$P_g + P_r = P_t \quad \text{veya} \quad 1 + R = T \quad (3.30)$$

Birim kesitten birim zamanda geçen enerji miktarı olan şiddet (intensite) I , basıncı ve akustik empedansa bağlı olup aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$I = \frac{1}{2} \cdot \frac{p^2}{z} \quad (3.31)$$

Enerji denge bağıntısı ise,

$$I_g = I_r + I_t \quad (3.32)$$

Olarak verilebilir.

Ultrasonik dalgaların ikitane ara yüzeyden geçmesi sonucu geçirgenlik T su-çelik ve çelik-su ara yüzeyleri için aşağıdaki örnekte açıklanmıştır. Toplam geçirgenlik T_t ,

$$T_t = T_1 + T_2 = \frac{p_1}{p_0} \cdot \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_2}{p_0} \quad (3.33)$$

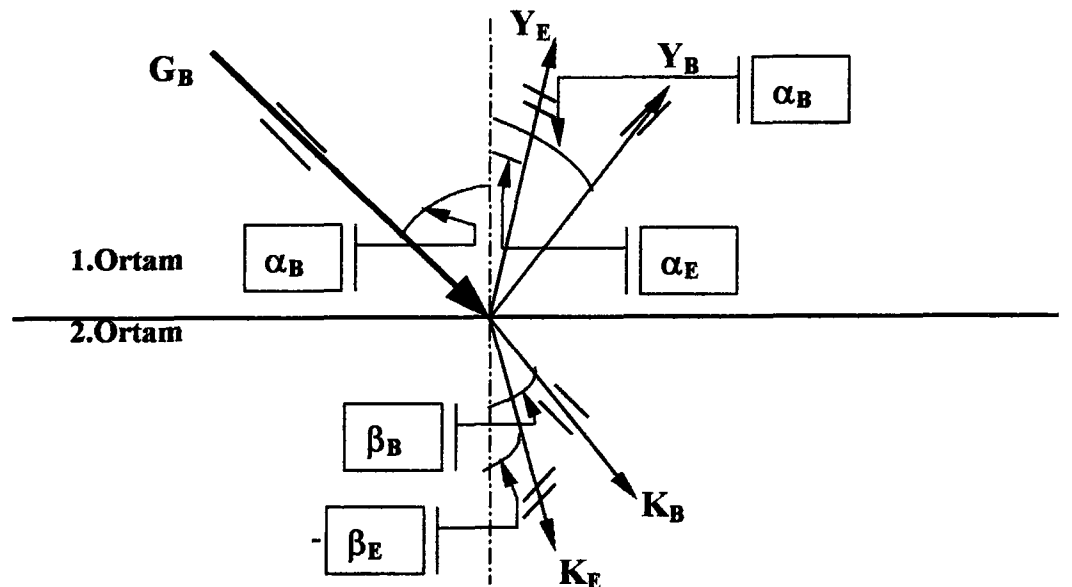
olur. Bu durumda formülü örneğe uygularsak,

$$T_t = \frac{4 \cdot z_1 \cdot z_2}{(z_1 + z_2)^2} = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 45}{(1,5 + 45)^2} = 0,12$$

Olarak bulunur. Burada, alıcı proba ulaşan sesin basıncının verici probdan çıkan ses basıncın %12'si olduğu anlaşılır.

İki ortamın ara yüzeyine düşey doğrultuda gelen ultrasonik dalgaların yansıma ve geçirgenlik faktörleri, ikinci ortamın ince olması durumunda daha farklı şekilde ifade edilir. Bu prob tabanına konulacak blok kalınlığı ve prob-test yüzeyi arasındaki temas maddesi kalınlığının belirlenmesinde önem taşıyacaktır. Maksimum geçirgenlik ve minimum yansıma faktörünün oluşması arzu edilir.

Ses bir ortamdan diğerine eğik bir açı ile gelirse, iki ortamın ara yüzeyinde yansıma ve kırılmalar oluşacaktır. Yansıyan dalgalar birinci ortamda, kırılan dalgalar ise ikinci ortamda yollarına devam eder. Birinci katı ortamdan ikinci katı ortama eğik açı ile gelen bir boyuna dalga iki ortamın arayüzeyinde kırılma sonucu boyuna ve enine dalgalara dönüşür. Bu olaya Dalga dönüşümü (mode conversion) veya ayrışması denir. Dalga dönüşümü Snell Kırılma Kanunu'na göre aşağıdaki şekil ve bağıntı ile açıklanmıştır.



G_B : Gelen boyuna dalga
 Y_B : Yansıyan boyuna dalga
 Y_E : Yansıyan enine dalga
 K_B : Kırılan boyuna dalga
 K_E : Kırılan enine dalga

Şekil 3.9 Dalgaların Yansıma Ve Kırılması

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.34)$$

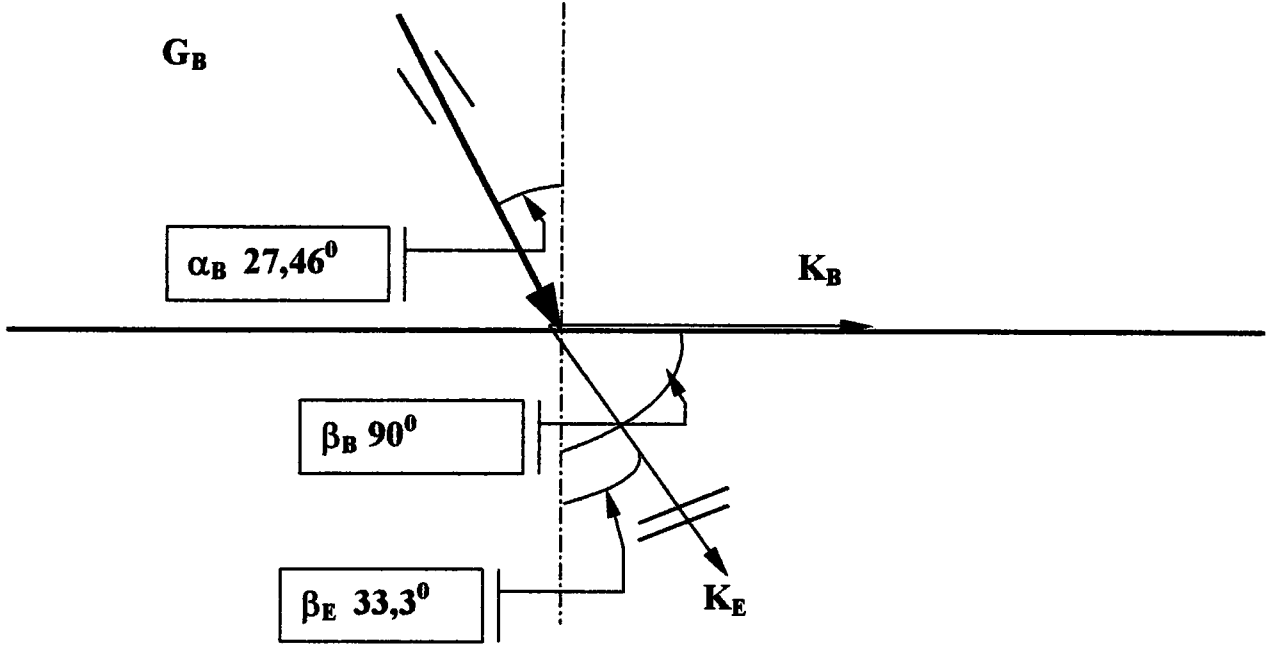
Burada α ve β birinci ve ikinci ortamların açılarını V_1 ve V_2 birinci ve ikinci ortamdaki ses hızlarını temsil etmektedir.

Ultrasonik testlerde yansıyan dalgalar kullanılmadığı için bu dalgalar prob içine yerleştirilen sönüm blokları yardımı ile yok edilir. Birden fazla dalga türü ile çalışmaksa test işlemini zorlaştırdığı için test edilecek malzeme içine bir dalga türünün gönderilmesi sağlanmalıdır.

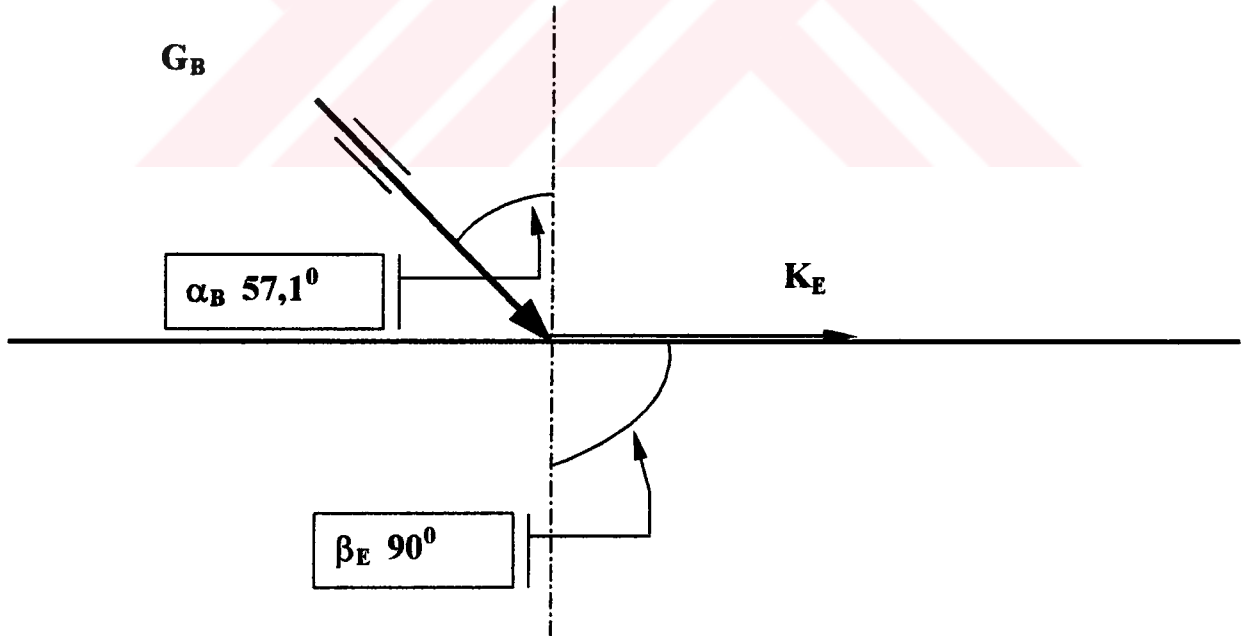
Özel amaçlı problemler dışında, standart açılı problemler çelik içinde enine dalga gönderir. Açılı problemlerin çelik-pleksiglas ortamı değişiminde gelen dalgaların kırılmasında belli kritik açılar vardır. Bu açılarda gelen ses dalgaları mod dönüşümüne uğrayarak malzeme içinde hareket edecek ses dalgasının oluşmasına etki eder. Bu açılar;

27,46° : Bu açıda gelen boyuna ses dalgalarından, malzeme içinde yalnız enine dalga kalmaktadır. Malzeme içinde kırılan enine dalga ise 33,3°'dir. Bu açıda gelen boyuna dalgalar 90° kırılarak malzeme yüzeyinde kalır.

57,1° : Bu açıda gelen boyuna ses dalgalarından malzeme içinde hiçbir dalga yayılmaz. Kırılan boyuna dalgalar malzeme dışında ve Kırılan enine dalgalarda malzeme yüzeyinde kalır. Bu durum aşağıda şekiller üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Boyuna Dalgaların Kırılarak Enine Dalga Haline Dönüşmesi



Şekil 3.11 Boyuna Dalgaların Kırılarak Malzeme İçerisinde Dalga Kalmaması

Dalgaların iki ortamın ara yüzeyine eğik olarak gelmeleri nedeni ile yansıma ve geçirgenlik faktörleri geliş açısına göre değişmektedir. Bunların hesaplanması ancak karmaşık hesaplamalar sonrasında yapılabilir. Gelen boyuna dalganın boyuna ve enine dalgalara dönüşmesi durumunda yansıma faktörleri R_{BB} ve R_{BE} aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir.

$$R_{BB} = \frac{(V_E/V_B)^2 \cdot \sin 2\alpha_B \cdot \sin 2\alpha_E - \cos^2 2\alpha_E}{N} \quad (3.35)$$

$$R_{BE} = \frac{2(V_E/V_B)^2 \cdot \sin 2\alpha_B \cdot \cos 2\alpha_E}{N} \quad (3.36)$$

$$N = (V_E/V_B)^2 \cdot \sin 2\alpha_B \cdot \sin 2\alpha_E + \cos^2 2\alpha_E \quad (3.37)$$

Dalgaların eğik gelmesi durumunda geçirgenlik faktörleri T_{BB} ve T_{BE} aşağıda verilmiştir.

$$T_{BB} = \frac{2\delta_2 V_{2B} \cdot V_{2E}^2 \cdot V_{1B} \cdot \cos^2 2\alpha_{2E} \cdot \cos 2\alpha_{1E}}{\delta_1 V_{1E}^4 \cdot \cos 2\alpha_{1B} \cdot \sin \alpha_{1B} \cdot N} \quad (3.38)$$

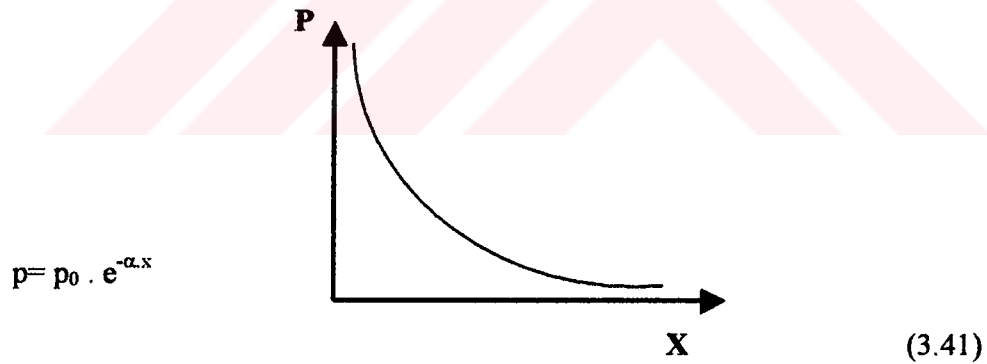
$$T_{BE} = \frac{2\delta_2 \cdot V_{2E}^3 \cdot V_{1B} \cdot \cos 2\alpha_{1E}}{\delta_1 V_{1E}^4 \cdot \sin 2\alpha_{1B} \cdot N} \quad (3.39)$$

$$N = 2\cotg \alpha_{1E} + \frac{V_{1B} \cos^2 2\alpha_{2E}}{2V_{1E} \cos \alpha_{1B}} + \frac{2\delta_2 \cdot V_{2E}^4}{\delta_1 V_{1E}^4} \cdot \cotg \alpha_{2E} + \frac{\delta_2 V_{2E}^3 V_{1B} \cos^2 2\alpha_{2E}}{2\delta_1 V_{1E}^4 \cdot \cos \alpha_{1B}} \quad (3.40)$$

Yukarıdaki bağıntılarda 1 indisi 1.ortamı, 2 indisi 2.ortamı ve δ yoğunluğu ifade etmektedir

3.16 Ultrasonik Dalgaların Kristal Yapıya Göre Zayıflaması

Ultrasonik dalgalar hangi ortamda yayılırsa yayılsın zayıflama oluşur. Düzlemsel dalgalarda oluşan basınç mesafe ile eksponansiyel olarak azalmaktadır.



Şekil 3.12 Dalgalarda Basıncı Mesafe Diagramı

Burada p_0 başlangıçtaki akustik basıncı, p x mesafesindeki akustik basıncı ve α zayıflama faktörünü simgeliyor. Zayıflama faktörünü aşağıdaki bağıntı ile tanımlıyoruz.

$$\alpha = \frac{\ln (p_0 / p)}{x} \quad (3.42)$$

veya

$$\alpha = \frac{20 \log (p_0 / p)}{x} \quad [\text{dB/mm}] \quad (3.43)$$

Ultrasonik demetin zayıflamasına esas olarak demet genişlemesi, absorpsiyon (soğurma) ve saçılma neden olmaktadır. Demet genişlemesi, ultrasonik demetin probdan çıktıkdan sonra geometrik olarak açılması ve mesafe ile enerji yoğunluğunun azalmasıdır.

Ses zayıflama katsayısı (α), absorpsiyon (α_a) ve saçılma (α_s) katsayılarının toplamına eşittir.

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s \quad (3.44)$$

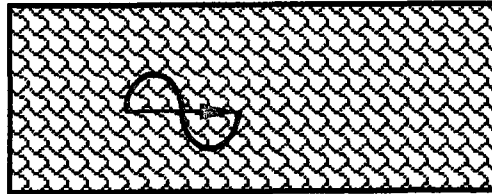
Metal ve seramiklerde zayıflamanın büyük bir kısmını saçılmalar, sıvı ve plastiklerde ise absorpsiyon oluşturmaktadır. Absorpsiyon Ultrasoniğin malzemedeki iç sürtünmeler sonucu ısıya dönüşmesi olayıdır. Absorpsiyon katsayısı frekans ile doğru orantılı olarak artar.

$$\alpha_a = A \cdot f \quad (a : \text{malzemeye bağlı faktör}) \quad (3.45)$$

Saçılma dalgaların tane sınırı yüzeyleri ile etkileşmeleri sonucu meydana gelir. Çok kristalli malzemelerdeki taneler ve alaşımlardaki farklı fazlar Ultrasonik dalgalar için heterojen ortam sayılır ve saçılmaya neden olur. Ultrasonik demette çeşitli yönlerde doğru oluşan saçılmaların bir kısmı proba geri döner. Bunlar Ultrasonik cihazın ekranında çimlenme denilen belirtiler olarak gözlenir. Ortalama tane boyutuna (D) ve dalga boyuna (λ) bağlı olarak çeşitli saçılma mekanizmaları aşağıda tanımlanmıştır.

a) $D/\lambda \ll 1$

Dedekte edilebilir bir saçılma görülmez. Dalgalar bir engellenmeksizin yayılabilirler.

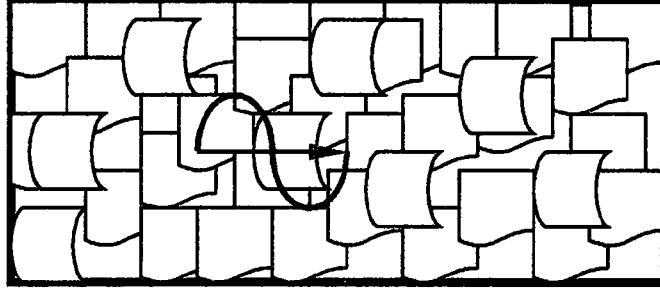


Şekil 3.13 Dalga Yayılımı

b) $0,02 < D/\lambda < 0,2$ Rayleigh Saçılması

Tane sınırları ile ses dalgaları arasında bir miktar etkileşme olur. Saçılma katsayısı frekansın 4. Kuvveti ile artar. Bu ultrasonik testte en çok karşılanmekanizmadır.

$$\alpha_s = a \cdot D^3 \cdot f^4 \quad (a: \text{Malzemeye bağılı faktör}) \quad (3.46)$$

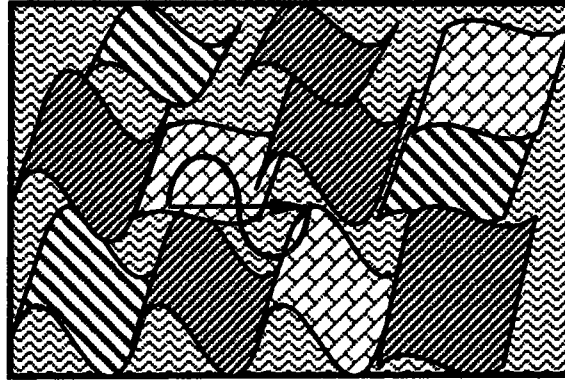


Şekil 3.14 Malzeme Yapısı

c) $D/\lambda \approx 1$ Rasgele Saçılma

Tane sınırlarında yansıma kırılma ve dalga dönüşümleri oluşur. Bu saçılma mekanizması ses basıncının maksimum oranda düşmesine neden olur. Saçılma katsayısı frekansın karesi ile orantılıdır. Bu saçılma daha ziyade gri döküm, östenitik döküm ve kaynak dikişi gibi kaba taneli yapılarda meydana gelir.

$$\alpha_s = b \cdot D \cdot f^2 \quad (b: \text{Malzemeye bağılı faktör}) \quad (3.47)$$

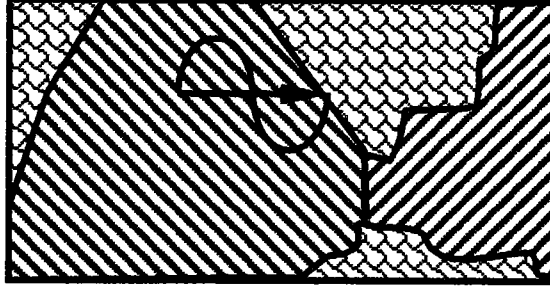


Şekil 3.15 Tane Sınırlarında Yansıma Ve Dalga Dönüşümleri

c) $D/\lambda \gg 1$ Yaygın Saçılma

Tane sınırlarında birbirinden bağımsız olarak meydana gelen saçılma. Yaygın saçılma katsayısı frekansa bağlı değildir.

$$\alpha_s = c / D \text{ (c: Malzemeye bağlı faktör)} \quad (3.48)$$



Şekil 3.15 Tane Sınırlarında Bağımsız Saçılma

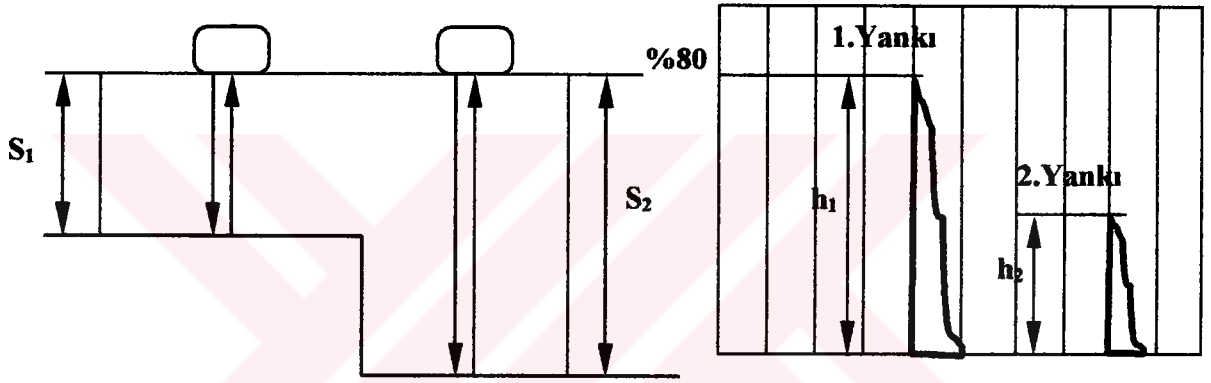
Farklı yayılma şekillerinden dolayı boyuna dalgaların zayıflaması enine dalgalara göre daha azdır. Ses zayıflama katsayısını basit ölçümlerle kabaca tayin etmek mümkündür. Yansıma kayıpları ve prob-test parçası arasındaki temas farklılığı ihmal edilirse iki arka cidar yankısını karşılaştırmak yeterlidir. Açılı problemler kullanıldığında ise V veya W transmisyon sinyalleri karşılaştırılmalıdır. Farklı ses yolu mesafelerine göre demet genişleme kaybı (ΔV_d) düzeltilmesi yapılarak bu değer ölçülen zayıflama miktarından çıkartılmalıdır. ΔV_d DGS diyagramında belirlenebilir. Geriye kalan zayıflama miktarı malzeme içindeki ses zayıflatma miktarını verecektir. Ultrasonik probu, aynı malzemenin aynı kalınlıktaki konumlarına temas ettirerek, alınacak iki yankı yüksekliği mukayase edilerek ses zayıflama katsayısı aşağıdaki bağıntı ile tespit edilebilir.

$$\alpha = \frac{V_2 - V_1 - \Delta V_d}{2(S_2 - S_1)} \quad [\text{dB/mm}] \quad (3.49)$$

veya

$$\alpha = \frac{20 \log h_1 / h_2 - \Delta V_d}{2(S_2 - S_1)} \quad [\text{dB/mm}] \quad (3.50)$$

Yukarıdaki bağıntılarda, v_1 , s_1 mesafesinden alınan yankının referans yükseklikteki (%80) genliği, v_2 , s_2 mesafesinden alınan yankının referans yükseklikteki (%80) genliği, h_1 , s_1 mesafesinden alınan yankının referans yüksekliği (ekran yüzdesi olarak), h_2 , s_2 mesafesinden alınan yankının referans yüksekliği (ekran yüzdesi olarak)



Şekil 3.16 İşleme Baslanacak Yankının Yüksekliği

3.17 Ultrasonik Test Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Ultrasonik test işlemlerinde kullanılan teknik sesin bir süreksizliğe çarparak yansıyan dalgaların algılanması ve bunların ekran üzerindeki echo'larının yorumlanması ile tespit edilir. Bu nedenle bazı unsurlara dikkat edilmesi gerekir ve uygulanması gereken bazı işlemler vardır . Bunlar başlıklar halinde aşağıda hazırlanmıştır.

3.17.1 Yüzey Durumu

Aşağıdaki şartların yerine getirilebilmesi için test parçasının taranacak yüzeyinin boya, talaş, aşırı pas, toz vb maddelerden arındırılmış olmalıdır;

- Ultrasonik Dalga transferi
- Prob ile kolay tarama ve probu zedelenmeye karşı koruma
- Hata yankısını istenmeyen yankılardan ayırt etme

Özel olarak belirtilmediği takdirde, yüzey pürüzlülüğü 12 µm'den az olmalıdır. Tarama şekli dedekte edilmek istenen hata türüne bağlı olarak seçilmelidir.

Ayrıca malzemenin test edilebilirliği yapısına bağlıdır. Yapıdaki bu etkiler aşağıda sıralanmıştır.

- a) **Katılma Şartları (Örnek; dökümler ve kaynak dikişleri):** Katılma sırasında kristal büyümesi yüzeyden başlar. Tane karakteristiği soğuma hızı tarafından etkilenir. Hızlı soğuma küçük tane boyutu ile sonuçlanır. Dolayısı ile malzeme kalınlığında tane boyutunu etkiler.
- b) **Saflık Derecesi:** Ürünlerin bir çoğu ötektik olmayan alaşımlardan yapılır. Saf bir metal, belli tek bir sıcaklıkta katılmasına karşılık, ötektik alaşımlar farklı sıcaklıklarda katılırlar. Burada segregasyon oluşabilir.
- c) **Isıl İşlem:** Dönüşüm sıcaklığına sahip çeliklerde ısıtma işlemi ile tane boyutunu kontrol etmek mümkündür.
- d) **Soğuk İşlem (Örnek; dövme ve haddeleme) :** Malzemenin mekanik deformasyonu tanelerin mekanik deformasyonu ile sonuçlanır. Bu tane boyutuna kristal yapısına ve tane yönelmesine etki eder.

Yukarıda sayılan işleme yöntemleri test edilecek malzeme yüzeyinin tespitinde önemlidir. Aranacak hatalar bu yöntemlerin genel hataları olmakta ve bu hataların tespiti için uygun yüzey şartlarının sağlanması gerekmektedir.

3.18 Test Sisteminin Kalibrasyonu Ve Kontrolü

Kalibrasyon ultrasonik alet ekranının yatay ve düşey skalalarını birimlendirmek için yapılan işlemdir. Test malzemesinden alınan yankıların yerlerini ve genliklerinin doğru olarak değerlendirilebilmesi için, test işleminden önce kalibrasyon yapılmalıdır. Ayrıca, ultrasonik aletin ve problemlerin test öncesi fonksiyon kontrolleri yapılmalıdır.

Normal, açılı ve çift kristalli (TR) problemlerle yapılan çeşitli kalibrasyon kontrolleri ASME Section V Article 4, DIN 54124 Teil 1 ve 2 ve AFNOR NFA 09320'de tanımlanmaktadır. Burada anlatılacak olan kontroller Fransız standardı NFA 09320'ye göre verilmiştir.

3.18.1 Kalibrasyon Blokları

Kalibrasyon işlemi eğer geometrisi uygunsa direk test edilecek parçanın üzerinden yapılabilir. Eğer uygun değilse bu işlem için standart olan test blokları geliştirilmiştir. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding, IIW) tarafından hazırlanan V1 ve V2 blokları en çok kullanılan standart bloklardır.

V1 ve V2 blokları özellikle cihaz ve prob kontrollerinde işlem görmekle beraber üzerinde bulunan delikler, çentikler ve V1 bloğundan buluna pleksiglas sayesinde test alanı oluşturmaktadır kullanılır. Aşağıda bu kalibrasyon blokları ile yapılabilcek olan kontroller tablo halinde açıklanmış.

Tablo 3.5 US Alet Kontrol Tablosu

Kontrol Şekli	V1 Bloğu	V2 Bloğu
US Alet Kontrolü		
1) Elektrik Kararlılığı	X	X
2) Yatay Doğrusallık kontrolü (zaman eksen)	X	X
3) Düşey Doğrusallık Kontrolü	X	X
4) Elektronik Gürültü	X	X
Normal Prob Kontrolü		
1) Zaman Kalibrasyonu	X	X
2) Ayırma Gücü	X	X
3) Ölü Alan Uzunluğu	X	Kabaca
Açılı Prob Kontrolü		
1) Zaman Eksenine Kalibrasyonu	X	X*
2) Ses Çıkış Noktası	X	X*
3) Kırılma Açısı	X	X*
4) Demet Eksen	X	X*

5) Taban Bloğu Mesafesi	X	X*
6) Ayırma Gücü Kontrolü	X**	X**

* Sadece minyatür problemlerle yapılır.

** Çift blok kullanılarak mümkündür

3.18.2 Ultrasonik Alet Kontrolleri

3.18.2.1 Elektrik Kararlılığı Kontrolü: Ultrasonik alet açılır ve bir normal prob V1 bloğuna temas ettirilerek bir kaç tane arka cidar yankısı alınır. Elde edilen yankı yüksekliği ve yankının sol ayağının konumları kaydedilir. 10-30 dakikalık ısınmasonrasında;

- Görüntü odaklığı tam olmalı
- Yankıların konumları değişmemeli
- Yankılarda genişleme olmamalıdır.

Eğer bu sayılan hatalardan herhangi biri olursa cihaz bakıma alınmalıdır.

3.18.2.2 Yatay Doğrusallık (Zaman Ekseni) Kontrolü: Bu kontrol kullanılacak her test alanı (range) için uygulanmalıdır. Bir normal prob ile V1 bloğunun 25 mm kalınlığına temas ettirilerek Yatay eksen 250 mm test alanına kalibre edilir. Kaydırma düğmeleri ile 1. Yankı 1.Skalaya 10.Yankı 10.Skalaya

konumlanır. Bu durumda iken birbirini takip eden iki yankı arasındaki mesafe $\pm 2\text{mm}$ ise yatay doğrusallık kabul limitlerindedir. Aksi takdirde cihaz bakıma alınmalıdır.

3.18.2.3 Düşey Doğrusallık (Güç) Kontrolü : Bu işleme cihazda bulunan gürültü bastırma düğmesinin sıfırlanması ile başlanır. Normal bir prob ile V1 bloğunun 25mm'lik kalınlığından 250 mm'ye kalibrasyon yapılır. Son yankı ekran yüksekliğinin %10'undan fazla olacak şekilde ayarlanır. Daha sonra en yakın yankı %80 ekran yüksekliğine getirilir. Daha sonra bu yankı 6 dB düşürüldüğünde %40 olmalıdır. Bir daha 6 dB düşürüldüğünde %20 bir daha 6 dB düşürüldüğünde %10 olmalıdır. Eğer yukarıda belirtilen uygulama sonrasında %10 tolerans ile belirtilen değerler elde edilirse düşey doğrusallık doğrudur. Aksi takdirde cihazın bakıma alınması gerekir.

3.18.2.4 Elektronik Gürültü Kontrolü: Gürültü bastırma düğmesi kapatılarak normal prob ile V1 bloğunun 25mm olan kısmından 250 mm test alanına cihaz kalibrasyonu yapılır. Kullanılması gereken prob normal sönümlemeli, 3-5 MHz frekansında ve 20-30 mm çapında olmalıdır. Birinci arka cidar yankısı %20 ekran yüksekliğine getirilerek probun blok ile teması kesilir. Daha sonra elektronik yankı seviyesi ekranın %20 sine gelinceye kadar kazanç artırılır. Kabul sınırları

Yumuşak koruyuculu problarda $>70\text{dB}$

Sert koruyuculu problarda $>76\text{dB}$ olmalıdır.

3.18.3 Normal Probların Kontrolleri

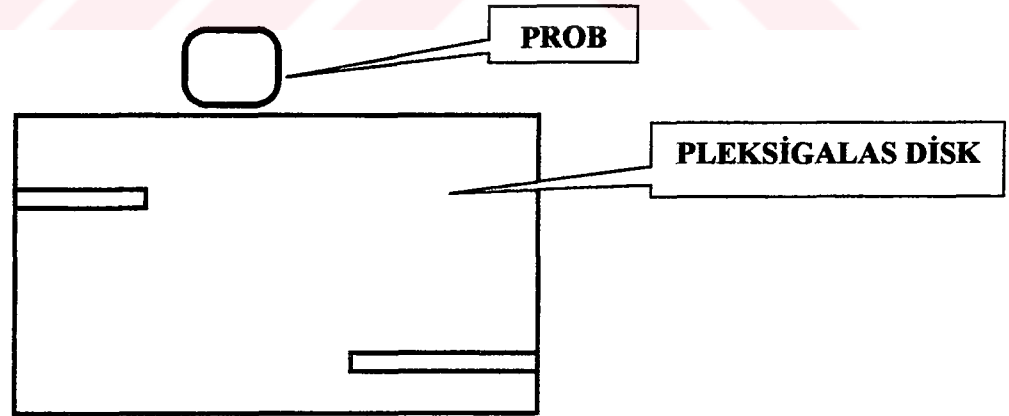
3.18.3.1 Ayırma Gücü Kontrolü: Normal prob ile test alanı 100 mm'ye kalibre edilir. Prob, V1 bloğunun 85 mm'lik kalınlığından yankı alacak şekilde konumlanır. Prob üzerinde 91 mm ve 100 mm mesafelerden gelen yankılar eşit yükseklikte olacak şekilde prob kaydırılır. Bu iki yankının yüksekliği %80 ekran yüksekliğinde olacak şekilde ayarlanır. 85mm kalınlıktaki yankı %20 ekran

yüksekliğinde yatay çizgiyi kestığı noktadaki genişlik probun ayırma gücünü R, karakterize eder. Yankı genişliği R, 6 mm çelik eşdeğerinden daha az ise, ayırma gücü kabul sınırları içindedir.

3.18.3.2 Ölü Alan Kontrolü: Prob V1 bloğu üzerinde bulunan pleksiglas merkezine temas ettirilerek 1. Arka cidar yankısı ekranın ortasına gelecek şekilde ayar yapılır. Disk içinde farklı çentiklerden yankı alacak şekilde prob pleksiglas üzerinde hareket ettirilir. Diskin her iki yüzeyide kullanılmalıdır. Ölü alan, yüzeye en yakın derinlikteki çentikten alınan yankının başlangıç yankısından tamamen ayrılması ile değerlendirilir. Pleksiglas kalınlığı aşağıdaki bağıntı ile çelik eş değerine dönüştürülür.

$$d_{\text{çelik}} = \frac{V_{\text{çelik}}}{V_{\text{pleksiglas}}} \cdot d_{\text{pleksiglas}} \quad (3.51)$$

Eğer pleksiglas disk çentikleri içermiyorsa ölü alan probu V1 bloğundaki 50mm çaplı diskin üzerindeki ve yanındaki yüzeylere temas ettirip 5mm ve 10mm'lik kalınlıklardan faydalanılır. Bu durumda hangi yankının başlangıç yankısından tamamen ayrıldığına bakılır.



Şekil 3.17 Probun kullanımı

3.18.3.3 Bağıl Duyarlılık Kontrolü: Bu işlem için iki ayrı prob aynı işlem için kullanılır. Her iki probunda V1 bloğundaki 1,5 mm çapındaki silindirik delikten alınan maksimum yankı yükseklikleri birbiri ile karşılaştırılır.

3.18.4 Açılı Problemin Kontrolleri

3.18.4.1 Ses Çıkış Noktasının Kontrolü: Açılı prob prob dizaynında verilen ses çıkış noktası V1 bloğundaki 100 mm yarı çaplı dairenin merkezine oturacak şekilde konulur. Maksimum yankı elde edileceye kadar hareket ettirilir. Maksimum yankı elde edildiğinde prob üzerindeki skala taksimatı ile V1 bloğundaki dairenin yarı çapının merkezinin çakıştığı nokta işaretleridir. Bu nokta o probun ses çıkış noktasını belirtir.

3.18.4.2 Kırılma Açısının Kontrolü : Prob gerçek ses çıkış noktası V1 bloğundaki ilgili açı işaretine denk gelecek şekilde yerleştirilir. 50mm çaplı diskten maksimum yankı elde edilecek şekilde prob hareket ettirilir. Maksimum yankı konumunda prob gerçek ses çıkış noktasının V1 bloğundaki denk geldiği açı değeri not edilir. Prob üzerinde verilen açı değeri ile not edilen açı değeri arasındaki fark $\pm 2^0$ 'den daha büyük değilse prob açı değeri kabul edilebilir seviyededir. Aksi takdirde yapılan ölçüm ve kontroller hatalı sonuçlar verebilir. Böyle bu durum gerçekleşirse yapılan ölçümler yeni açıya göre yapılmalı ve değerlendirilmelidir.

3.18.4.3 Demet Yönü Kontrolü: Açılı prob V1 bloğunun yan yüzeyine temas ettirilir ve 1,5 mm'lik delikten yankı elde edilecek şekilde konumlanır. Prob hafifçe sağa-sola dödürülür. Probun boyuna ekseni delik merkezinden geçmelidir. Probun boyuna ekseni ile demet ekseni arasındaki açı $\pm 2^0$ 'den daha az olmalıdır.

3.18.4.4 Ayırma Gücü Kontrolü: İki tane V1 bloğu yanyana yapıştırılır. Açılı prob iki bloğun 100mm yarı çaplı dairenin merkezlerine konur. Yankı genliği %50 ekran yüksekliğine ayarlanır. Bloklardan biri sabit tutulurken diğeri geriye

doğru hareket ettirilerek 100mm mesafesi küçültülür. Burada birbirinden tamamen ayrılmış iki tane yankı oluşur. İki yankı arasındaki mesafeye göre kalibrasyon blokları arası mesafe 6mm'den az ise ayırma gücü kabul sınırları içindedir. Aksi takdirde prob ömrü dolmuştur.

3.18.4.5 Taban Bloğu Mesafesinin Kontrolü : Ekran normal prob ile 200mm'ye kalibre edilir. Boyuna dalgaların 91mm'si enine dalgaların 50mm'sine eşdeğerdir. Açılı prob ses çıkış noktası V1 bloğunun 100mm yarıçaplı dairenin merkezine denk gelecek şekilde konumlanır. Enine dalgaların 100mm kadranından gelecek yankısı, boyuna dalgaların 182mm'sine eşdeğerdir. Dolayısı ile taban bloğundaki gecikme olmasaydı yankı ekranın 9.1 skala taksimatında olacaktı. Taban bloğundaki mesafeden dolayı yankı R kadar daha uzak bir mesafede belirecektir. R mesafesi taban bloğunun çelik eşdeğeridir. Bu mesafenin pleksiglas olarak değeri R_{p1} aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$R_{p1} = R \cdot \frac{V_{p1} \cdot B}{V_{\varphi} \cdot B} \quad (3.52)$$

3.18.4.6 Bağlı Duyarlılık Kontrolü: Bu işlem için iki ayrı prob aynı işlem için kullanılır. Her iki probunda V1 bloğundaki 1,5 mm çapındaki silindirik delikten alınan maksimum yankı yükseklikleri birbiri ile karşılaştırılır

4. FORD OTOSAN'DA UYGULANAN NOKTA DİKİŞ KAYNAK SİSTEMİ

Son yıllarda rekabet ortamı ve gelişen teknoloji ile birlikte tüketici hakları ve tüketicilerin bilinçlenmesi ürünlerdeki kalitenin ve güvenilirliğinin artmasını sağlamıştır. Bizde bu bölümde ülkemizde otomotiv sanayiinin öncü kuruluşlarından olan Ford Otosan fabrikasını referans kuruluş olarak, otomotiv sanayiinde ki direnç nokta kaynağı uygulamalarını , kalitedeki standardı yakalamak için kurulan sistemi ve yapılan araştırmaları inceleyeceğiz.

Temel görevi müşterilerinin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak için ürün ve hizmetlerini sürekli olarak geliştirmek olan Ford Otosan , üretim zinciri içerisindeki yan sanayii arasında güvene dayalı bir işbirliği oluşturarak Ford Otosan markasını güvenilir, saygın ,devamlılık gösteren bir imaj lideri haline getirip, çalışanlarının mutluluğu ve şirketinin gelirini arttırmak üzere iş imkanlarını geliştirmek hedeflemektedir. Temel görevlerini gerçekleştirme tarzları , görevin kendisi kadar önemlidir. Ford Otosan Şirketini başarıya götürecek temel değerler aşağıda sayılan maddeler olarak belirlenmiştir:

- a)Çalışanlar : Ford Otosanın gücünün kaynağıdır.Çalışanların gelişmelerine fırsat tanımak suretiyle yetenek ve mutluluklarını arttırmak temel hedefleridir. Her alanda onların katılımlarını sağlayacak takım çalışmasını gerçekleştirmek prensipleridir.
- b)Ürün Ve Hizmetleri : Gösterdikleri çabalarını sonuçlarıdır. Ürün ve hizmetleri müşteriler tarafından ne kadar beğenilirse Ford Otosan için o kadar değeri artacaktır.
- c)Kazaları : Ürün ve hizmetlerin müşteri beklentilerini ne derece karşılandığının göstergesidir. Ürün ve hizmetleri iyileştirmek için gerekli kaynakları temin etmek üzere kar etmek hedefleridir.

Toplam kalite de Mükemmellik ilkesi Ford Otosanyönetimi tarafından benimsenmiştir. Bu ilke “Her ne yaparsak en mükemmeli olacak “ şeklinde ifade edilebilir. Temel görev olarak değerlerinde ve kalite uygulamasında da mükemmel olmayı hedeflemektedirler. Müşteri mutluluğunu mükemmelleştirmek için ürün ve hizmet kalitelerini öncelikli hedefleri kabul ederler. Ford Otosan ın kalite anlayışına göre :

- a) Kalite seviyesini müşteri belirler
- b) Mükemmel toplam kaliteye ulaşmanın en kısa yolu çıkan sorunlara çözüm bulmak yerine sorunun çıkmasını önleyecek tedbirler almak,
- c) Şirketin bütün çalışanları , yan sanayileri ve yetkili satıcıları tarafından yapılan çalışmaların hepsi , müşteriye yönelik ürün veya hizmet sürecinin bir parçasıdır.
- d) Mükemmel toplam kaliteye ulaşmak için proseslerin ki yalnızca üretim proseslerinin -ki değil aynı zamanda üretimi ve satışı destekleyen tüm proseslerin – sürekli olarak gözden geçirilmesi , iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gereklidir.
- e) Bu gelişmeleri gerçekleştirmek için çalışanların fikir üretmeleri ve planlı şekilde faaliyette bulunmaları şarttır.

Sürekli kaliteyi ve daha iyiyi yakalamak için çaba gösteren Ford Otosan mükemmel toplam kaliteye ulaşmak için üretim prosesleri geliştirmiş bazı talimat ve prosedürlerle yapılması gerekenleri belirtmiştir. Bu bölümde Ford Otosanda nokta direnç kaynakları uygulamaları ve kontrolleriyle ilgili talimat ve prosedürleri inceliyelim.

Ford Otosan Fabrikasında yaptığım incelemelerde fabrikanın kaynak standartını ve güvenilirliğini yakalamak için değerlendirme klavuzu hazırlamış olduklarını gördüm. Yapılan tüm deneyler ve testler bu Punta Kaynağı Değerlendirme Klavuzuna göre değerlendirilir. Yapılan kaynak incelemelerinde aşağıdaki hatalara dikkat edilir:

- a) Punta kaynakların kırılma yüzeyleri metal parlaklığında olmalı ve yanık görülmemeli
- b) Punta kaynakları , yanık veya gözeneklilik tespit edilirse hata olarak kabul edilir , punta kaynağın her hangi bir yerinde çatlaklara izin verilmez
- c) Kırılma yüzeylerinde metal kopması olmayan kaynaklara izin verilmez
- d) Punta kaynak yorulma çapları standartlarından az olmamalı
- e) Flaş punta kaynakları aksi belirtilmedikçe flanşın ekseninde olmalıdır ,flanşın kenarlarında punta kaynağına izin verilmez.
- f) Punta kaynaklarında atılması istenen ve belli özellik taşıyan kaynakların atılmamasına izin verilmez

g)Punta kaynakların ytüzeysel deformasyonlarına %25 fazlasına izin verilmez.

h)Yüzeylerde deformasyon istenmiyen bölgelerde punta izlerine izin verilmez

l)Kaçık punta resimde istenen bölge dışına atılan punta olup red kabul edilir.

j)Yeri yanlış punta : aynı bölge içinde olup istenen noktaya atılmayan puntaya denir.

Punta Hata Kodları

G	Gevşek Punta
K	Düğme çapı küçük
E	Eksik
F	Fazla
Y	Yanık
S	Sert
L	Kenarda
W	Yüzey deforme
P	Kaçık
X	Yeri Yanlış

4.1 Gevşek Punta

Metalleri tutma özelliği olmayan hatalı puntalardır.

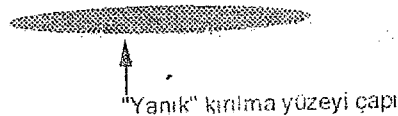
- İki yüzeyden metal kırılması olmıyan
- İki yüzeyde az miktarda kırılması olan
- Kaynak puntaların kayma mukavemetiminimumun altındadır.

4.2 Fazla Punta

The diagram shows a three-phase system with phases 1, 2, and 3. Phase 1 is labeled '1 F 2 3' and has a fault symbol (a triangle with a cross) at its base. Phases 2 and 3 are labeled 'X₂ X₃ X₃' and have fault symbols at their bases. The fault on phase 1 is indicated by a triangle with a cross.

Şekil 4.2 Fazla Punta

Punta kaynaklarının kırılma yüzeyleri metal parlaklığında olmalı ve yanık görülmemelidir.Bu kaynaklar yanık veya ghözenekli tespit edilirse hata olarak kabul edilir.



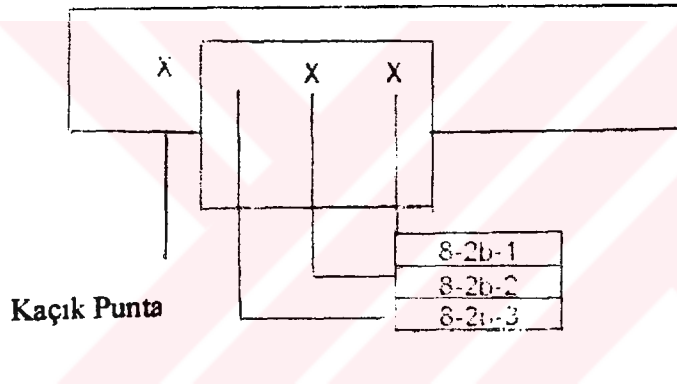
- 85 -

4.4 Sert Punta

Kullanılan malzeme ve yöntemi sertlik 400 HV yi geçmemelidir. Sert kaynaklarda tutma mukavemeti minimum değerin altındadır. Sert kaynak puntaları test esnasında yolunmada mukavemet göstermez. Kırılma yüzeyi yapısı digger “OK” punta yüzeyinden farklı görünümde dir.

4.5 Kaçık Punta

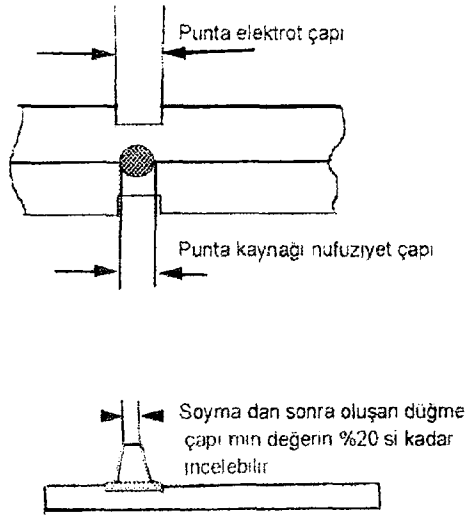
Resimde (mühendisliğin belirttiği) istenen bölge dışına atılan punta olup red kabul edilir. Bağlı bulunduğu bölgenin özelliklerini taşımaz.



Şekil 4.4 Kaçık Punta gösterimi

4.6 Düğme Çapı Küçük

Punta kaynağın soymadan sonar parçalar üzerinde kalan yüzey çaplarını aşağıda verilen değerlerden küçük olduğu kaynaklardır.



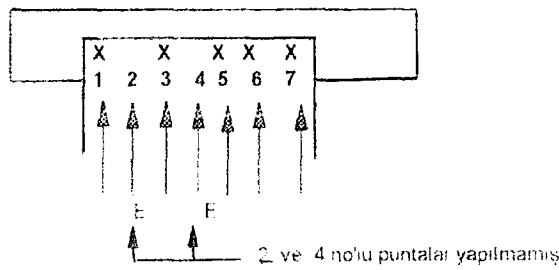
İnce sacın kalınlığı: mm	Kaynak düğmesi Kaynak kırılma yüzeyi çapı (min:mm)	Minimum kayma dayanımı (kn)
0.50	0.79	3.60
0.80	0.99	4.00
1.00	1.24	4.50
1.25	1.59	5.00
1.60	1.99	5.60
2.00	2.49	6.30
2.50	3.14	7.10
3.15	3.54	8.00
3.55	3.99	8.50
4.00	4.49	9.00
4.50	4.99	9.50
5.00	5.59	10.00
5.60	6.00	10.60

Not 1-Bu tablo metal kaplı saclar için geçerli değildir
Not 2-Düğme çapı değerlendirilmesi ince saca göre dir

Şekil 4.5 Sac Kalınlıklarına Göre Belirlenen Kaynak Düğmesi Kırılma Yüzey Çapı

4.7 Eksik Punta

Punta Kaynak yapılmamış bölgelerde hatalı punta Kabul edilir.Hatalı kaynaklar , tüm bağlantılar için bir bölgede minumum % 80 tatmin edici kaynak olmalıdır.



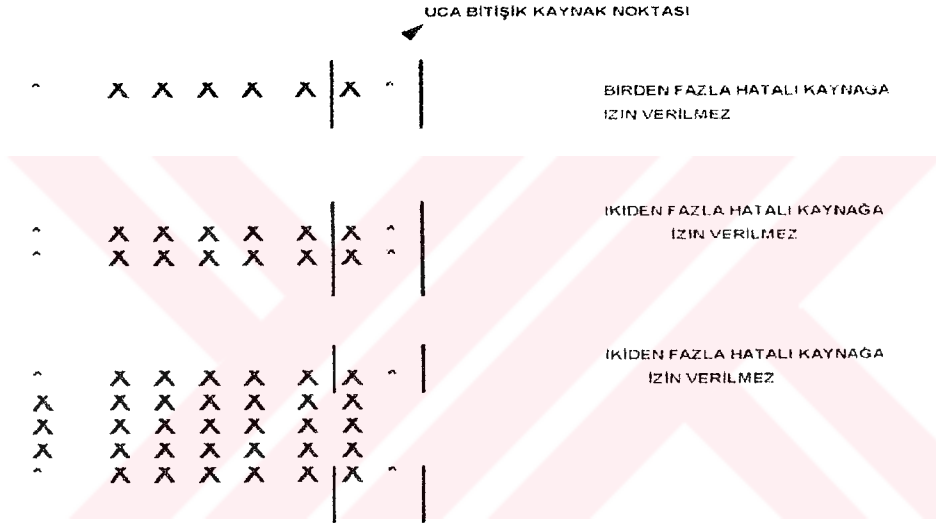
Şekil 4.6 Eksik Punta gösterimi

Kaynaklanmış bir montaj grubunu diğer parçalarla birleştirirken de dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Puntalama yaparken başlama yönünün ve yerinin önemi olduğu gibi ikiden fazla hatalı kaynağa izin verilmez.

Gr. punta sayısı:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Kritik	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Normal	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4

BİR KAYNAK GRUBUNUN UÇLARINA KOMŞU KAYNAKLAR

- * İşaretleri uç punta noktasını gösterir.
- X İşaretleri diğer punta noktaları gösterir



Şekil 4.7 Uç Puntaların Hatalarını Gösterimi

4.8 Ford Otosan Fabrikasında Nokta Direnç Kaynak Operasyonları ve Kontrol Prosedürleri

Bu prosedür Ford OTOSAN Kocaeli Fabrikası bünyesinde sac parçaların, punta kaynak operasyonu ile imal edilen parça ,alt komple ve gövdelerin,kaynak muayene ve kontrollerinin yapılması için yöntem ve sorumlulukları açıklar..Aşağıda Ford Otosan Kaynak Atelyelerinde Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibinin çalışma şeklini belirlemek amacıyla kullanılan bir prosedür örneği bulabilirsiniz.

Etkilenen Bölümler

Kaynak Alan Müdürlüğü

Sorumluluk ve Yetki

Bu talimatın tüm organizasyonda sürekli olarak uygulanmasından ve uygulandığının takibinin yapılmasından Kaynak Müdürü sorumludur.

İlgili Formlar

KTGKY 001 010F : Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu

KTGKY 001 020F : Robot Punta İstasyon Bilgileri Formu

KTGKY 001 030F : Kaynak Atelyesi Periyodik Parametre Kontrol Çetelesi

Tanımlar

Ekip : Punta istasyonlarının ayar ve kontrolünü yapan **Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi** operatöründen oluşan ekip. Bu ekibe gerektiğinde Mekanik ve Elektrik bakım operatörleride katılır.

Kaynak Parametreleri : Tutma süresi, kaynak süresi, soğutma süresi, darbe sayısı, kaynak akımı, elektrod kuvveti gibi kaynağın oluşmasını etkileyen değerlerdir..

Genel

Ekip, periyodik olarak ayda 1 defa kaynak atelyelerindeki çalışır vaziyetteki tüm punta istasyonlarını (manuel punta istasyonları, sabit punta istasyonları ve robot punta istasyonları) kontrol eder. Bu çalışma için gerekli düzenleme yapılırken ilgili Atelye Ekip Lideri'nin görüşü alınır.

Atelyelerde kullanılan her türlü punta cihazının ayarlarında yapılacak bir değişikliği bu ekip yapar. Zorunlu durumlarda değişiklikleri, Atelye Elektrik Bakım Operatörü yapar. Atelye Elektrik Bakım Operatörü yaptığı değişiklikleri Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi ve Atelye Ekip Liderine bildirmek zorundadır. Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi ve Atelye Elektrik Bakım Operatörü dışındaki operatörler, kaynak parametrelerine müdahale edemezler.

Günlük imalatla parametrelere acil müdahale edilmesi gerektiğinde öncelik, stoksuz çalışan ana hat, ardından stoğu az olan detay istasyonundadır.

Ekibin, kontrol sırasında kullanacağı test için numune sac parçaları, kontrol edilen bölgenin Proses Mühendisi yardımı ile Çalışma Gurubu lideri tarafından temin edilir.

Kaynak Atelyesi Parametre Kontrol Çetelesi (KTGKY 001 030F) formunun nasıl doldurulacağı bu talimatta açıklanmıştır. Ayrıca bir form doldurma talimatına gerek yoktur.

Talimatta, ekibin Atelye Ekip Liderine haber vermesi gereken durumlarda, Atelye Ekip Lideri atelyede değil ise, postabaşı veya hat sorumlusu onun yerine işlem yapabilir.

KTGKY 001 010F : Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu ve KTGKY 001 020F : Robot Punta İstasyon Bilgileri Formu, proses ekipman, kaynak parametre, revizyon, doküman no ve fotoğraf bölümlerinden oluşur.

KTGKY 001 010F : Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu ve KTGKY 001 020F : Robot Punta İstasyon Bilgileri Formu revize edilirse Transit Punta İstasyon Parametreleri listesinde güncellenmelidir.

KTGKY 001 010F : Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu ve KTGKY 001 020F : Robot Punta İstasyon Bilgileri Formundaki bilgiler KTGKY 001 030F Kaynak Atelyesi Periyodik Parametre Çeteles'indeki bilgilere uyumlu olmalıdır.

Bu talimat herhangi bir punta istasyonu, proses, ekipman veya kaynak parametrelerinin revize edilmesi durumunda kullanılır.

4.9 Ford Otosan Şirketinde Uygulanan Punta Operasyon ve Kontrol Sistemi

4.9.1 Yeni Punta Kaynak Parametreleri Belirlenmesi

Operasyona uygun punta parametrelerini belirlemek için ekibini kurduktan sonra oluşturulan ekip punta istasyonunun yeni kaynak parametrelerini ayarlar ve operasyonda kullanılan panellerle numune parça yapar. Numune parçayı görsel olarak aşağıda belirtilen maddelere göre kontrol eder.

- Yanık

- Dairesel olmayan düğme çapı
- Aşırı çöküntü
- Delik punta düğmesi

Numune parça üzerindeki puntalara görsel kontrolde OK. ise keski testi uygular.Yapılan görsel kontrol veya keski kontrol sonucu red ise kaynak parametreleri tekrar ayarlanır. Operasyonda kullanılan panellerle ikinci numune parçayı yapar ve tear-down testi yapılması için talepte bulunur. Tear-down sonucu red ise kaynak parametreleri tekrar ayarlanır.

Her kaynak programının aşağıda belirtilen yeni punta kaynak parametrelerini belirler :

- Sıkma süresi
- Kaynak süresi
- Soğutma süresi
- Kaynak akımı
- Darbe sayısı
- Elektrod kuvveti

Punta robot tabancaları için ön uyarı, hat stop değeri ve eğer akım yükseltme özeliği varsa, her kademedeki punta sayısı ve akım değerlerini belirler.

4.9.2 Punta Parametrelerinin Kontrolü ve Ayarlanması

Punta parametrelerinin kontrolü ve ayarlanmasından kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi sorumludur.Oluşturulan Ekip Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi Amirinin vereceği talimat doğrultusunda kontrol edeceği punta istasyonuna gider. İmalatı aksatmayacak şekilde hat operatöründen punta istasyonunu devralır. Robot istasyonlarını, tabancanın ucu değiştikten ve sayacı sıfırlandıktan hemen sonra Robotlardan sorumlu elektrik bakımcısı ile beraber devralır. Punta istasyonu ekipmanlarının, parametre kontrolü yapmaya uygun olduğunu kontrol eder. Punta tabancasının elektrodlarını kontrol eder ve gerekirse uçları değiştirir. Şöntü, adaptörleri, kabloları, vs. görsel olarak kontrol eder. Tabancanın punta

attığı saclar ile aynı malzeme ve adetteki hazır numunelere deneme puntası atar ve saclara keski kontrolü uygular. Ortaya çıkan düğme şeklinin daire olup olmadığını kontrol eder. Sonuç O.K. ise Kaynak Atelyesi Parametre Kontrol Çetelesi doldurulur. Değil ise gerekli kontrolleri ve ayarları yaparak O.K düğme oluşmasını sağlar. Punta istasyonunu, parametre kontrolü yapılmasına kısa zamanda müsait hale getiremiyorsa veya uygunsuzluk ürün kalitesini etkileyecek nitelikte ise o istasyondaki imalatı durdurması için Atelye Ekip Liderine ve Atelye bakım sorumlusuna haber verir. Kaynak Atelyesi Parametre Kontrol Çetelesi'ni Atelye Ekip Liderine teslim eder. Kaynak Atelyesi Parametre Kontrol Çetelesi'nde "İstasyon No, Tarih, İş No " bilgilerini doldurur. İstasyon robot tabancası ise robotun numarasını / tabancanın numarasını yazar "Nominal / Tolerans " sütununa, manuel tabancalar ve sabit puntalar için Manuel Punta İstasyon Bilgileri Formu'ndaki (KTGKY 001 010F), robot tabancaları için Robot Punta İstasyon Bilgileri Formu'ndaki (KTGKY 001 020F), nominal parametre değerlerini ve bu nominal değerlere göre hesapladığı $\pm\%2$ ve $\pm\%10$ tolerans değerlerini yazar. Punta İstasyon Bilgileri Formu'ndaki parametre değerleri, revize olmuş ise, formunu kapatır (kalan "tarih" kutularına - işareti koyar). Yeni bir Kaynak Atelyesi Periyodik Parametre Kontrol Çetelesi (KTGKY 001 030F) formu açarak kontrollerine devam eder.

Manuel punta istasyonlarında her kaynak programı için (KP1, KP2 KP3), robot punta istasyonlarında kullanılan programlar için (Step 1, step 2 gibi); kaynak süresi, kaynak akımı, darbe sayısı parametrelerini "Akım Ölçer "den; elektrod kuvveti parametresini "Kuvvet Ölçer"den; tutma süresi, soğutma süresi parametrelerini "Kaynak Kontrol Ünitesi" göstergelerinden okur. Okuduğu değerleri, Kaynak Atelyesi Periyodik Parametre Kontrol Çetelesi'ndeki (KTGKY 001 030F) "Ölçü" sütununa yazar. İki veya daha fazla Darbeli puntalarda kaynak akımı, kaynak süresi değerlerini okuduktan sonra ölçü (aynı şekilde ayar değeri için) sütununa iki değer arasına / i°areti koyarak iki değeri de yazar. Yazdığı ölçü değerlerini yüzde (%) tolerans değerleri ile karşılaştırır.

Tutma süresi, kaynak süresi, soğutma süresi ve darbe sayısı parametreleri nominal değer ile aynı olmalıdır. Toleransı yoktur. Bunlarda bir fark var ise nominal değere ayarlamaz. O istasyondaki imalatı durdurması için Atelye Ekip Lideri'ne haber vermesi gerekir.

a) Manuel punta istasyonlarında :

Kaynak akımı ve elektrod kuvveti ; manuel punta istasyonları için $\pm \%2$ 'lik aralıkta ise, herhangi bir ayar yapılmaz. Kaynak akımı ve elektrod kuvveti; $\pm \%2 - 10'$ luk aralıkta ise, $\pm \%2$ lik toleransın içine girecek şekilde nominal değere ayarlar.

Kaynak akımı ve elektrod kuvveti; $\pm \%10'$ luk aralığın dışında ise (örneğin voltaj değişkenliği veya ekipman hatası sebebiyle) ayar yapmaz. O istasyondaki imalatı durdurması için Atelye Ekip Lideri'ne haber verir, formu kendisine teslim edilmesi gerekir.

b.) Robot punta istasyonlarında Kaynak akımı $\pm \%10'$ luk, elektrod kuvveti $\pm \%2$ 'lik aralıkta ise , herhangi bir ayar yapmaz. Elektrod kuvveti; $\pm \%2 - 10'$ luk aralıkta ise, $\pm \%2$ lik toleransın içine girecek şekilde nominal değere ayarlar.

Kaynak akımı ve elektrod kuvveti; $\pm \%10'$ luk aralığın dışında ise (örneğin voltaj değişkenliği veya ekipman hatası sebebiyle) ayar yapmaz. O istasyondaki imalatı durdurması için Atelye Ekip Lideri'ne haber verir, formu kendisine teslim eder. Nominal değerlerde olan ve nominal değerlere ayarlanmış parametrelere sahip punta tabancası ile aynı malzeme ve adetteki numune saclara punta atar. Saclara keski kontrolü uygular. Punta OK değilse ayar yapmaz. O istasyondaki imalatı durdurması için Atelye Ekip Lideri'ne ve Kaynak Kalite Kontrol, Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibine haber verir, formu Atelye Ekip Liderine teslim eder. Punta Operatörü ,punta parametreleri nominal değerlere ayarlanmış punta tabancası ile ilk puntalanan parça üzerinde keski testi yapar. Keski testi sonucu red ise, atelye ekip liderine haber verir. Kaynak Kalite Kontrol Ayar ve Ultrasonik Kontrol Uygulama Ekibi parametrelerde ayar gerekmemiş ise formda "Ayar" sütununa - (tire) işareti koyar. Ayar gerekmiş ise, ayarladığı değeri "Ayar" sütununa yazar.

Atölye Ekip Lideri, aşağıdaki şartlar oluştuğu takdirde o istasyondaki imalatı durdurmak zorundadır.

- Punta istasyonu ekipmanı parametre kontrolü yapılmaya uygun değilse ve ekip tarafından kısa sürede uygun hale getirilemiyorsa

- Kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrod kuvveti değerleri $\pm$ % 10 içinde değilse,
- Tutma ve soğutma süreleri, darbe sayısı kontrol ünitesindeki değerler ile aynı değilse,
- Nominal değerlere ayarlanan tabancanın attığı punta red olduğu zamanlarda.

Punta Kaynak operasyonuna başlamadan önce kurulan ekip her sabah akımı kaynak akım süresi , tutma süresi, kaynak süresi düğme çapını kontrol eder.



Şekil 4.8 Ford Otosan Fabrikası Prototip Atölyesinde kontrol malzeme dolabı

Şekil 4.8 de görülen malzeme dolabı kaynak atölyelerinde test saclarının saklandığı dolaptır. Punta kaynak operasyonu başlamadan önce operatörler, yapılacak olan punta kalınlığına ve sac özelliklerine göre örnek saclar bu dolaptan seçerek test işlemine başlar.



Şekil4.9 Kaynak akımı testi

Kaynak akımının seçimi için belirlenmiş kaynak süresi, tutma süresi ve elektrod kuvveti kullanılarak, geniş bir akım sınırını kapsayacak akım seviyelerinde deneme kaynakları yapılır.En iyi sonuç alınan kaynakla operasyonlara başlanır.Şekil 4.9 da gösterildiği gibi kaynak akımı operasyonlarda önce test edilerek bulunur.

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



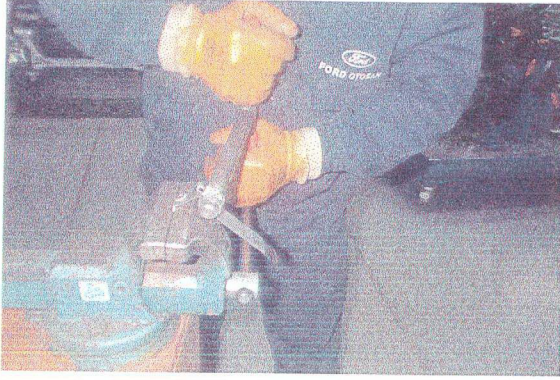
Şekil 4.10 Elektrod kuvvetinin seçimi

Elektrod kuvvetinin seçimi için kaynak zamanı ve tutma süresinin belirlenmiş kombinasyonlarından yararlanarak ve geniş bir kuvvet sınırını kapsayacak sayıdaki elektrod kuvveti değerlerini kullanarak, farklı akım seviyelerinde kaynaklar yapılır.Şekil 4.10 da elektrod kuvvetinin seçimini görmekteyiz.



Şekil 4.11 Elektrod Ucunu Düzeltme

Punta kaynak operasyonundan randıman alabilmek için şekil 4.11 de gösterildiği gibi punta ucu ege ile düzeltilerek düğme çapının elips yada başka bir şekilde çıkması engellenir.



Şekil 4.12 Atölyede yapılan soyma testi

Soyma testinde operatör kaynak parametrelerini seçtikten sonra örnek saclara punta atar. Çok sık kullanılan soyma deneyi düşük maliyet, kolay ve kısa yapılabilirliği, kolayca eğitiminin verilebilmesi, kaynak testi bakımından yeterli sonuçları verebilmesi nedeniyle tercih edilir.

Bunlardan başka punta kaynak kontrolleri tüm kaynak operasyonu süresince devam eder. Punta ekibi punta ekipmanı ile ilgili görsel ve fonksiyonel kontrolleri yapar. Görsel kontrol sırasında şüphelendiği punta varsa bu puntaları keski ve çekiçle kontrol eder. Eğer yoksa parça üzerine attığı her 10 puntadan en az 2'sini, parça üzerindeki dağılımlarını göz önüne alarak (her farklı punta tabancası, farklı tipte veya kalınlıkta sac parçalar, farklı kaynak parametreleri için) kontrol eder.

Punta kaynağı kontrol şekli, punta kaynağı ile birleştirilmiş iki sacın arasını keski ve çekiç ile aralayıp puntanın atıp atmadığını tespit şeklindedir. Ancak bu kontrolleri yaparken ;Bir punta sırasında eğer kaynak değerleri ve sac değişmiyorsa sadece baştaki ve sondaki puntalar kontrol edilir. Keski sadece iki punta düğmesi arasına sokulur ve direkt olarak düğmeyi hedeflememelidir. Kaynak bağlantısının mukavemetini düşürmemek için, kontrol edilen puntadan sonraki 2 adet punta atlanır ve sonraki aralığa girilir. 3 sac atılan kaynaklarda ise her bir sac katına ayrı ayrı keski sokulup kontrol edilmektedir. Düz bir sıra takip eden normal punta kaynak gruplarında her seferinde önce

birinci ve sonuncu puntalar daha sonra ortadaki bir punta kontrol edilir.Vardiya içinde yapılan kontrollarda her seferinde farklı bir punta kontrol edilmelidir.(Böylece vardiya içinde yapılan kontroller süresince tüm puntaların kontrol edilmiş olması sağlanır.) Düz bir sıra takip etmeyen normal punta kaynak gruplarında ise ilk kontrolda bakılan puntalardan sonra her kontrolda saat ibresi yönünde değişecek şekilde farklı puntalar kontrol edilir.

Kontrollü kaynaklar, yapılan kontroller sırasında her bir kontrolda değişik puntalar kontrol edilerek tamamı kontrolden geçirilir.Keskinin giremediği kontrollü puntalar için aynı sac kalınlık ve özelliklerinde olmak şartıyla hazırlanan deney parçalarına punta atılır ve keski kontrolü yapılır.

Günlük keski kontrolleri gövde üretim adetlerine bağlı olarak aşağıdaki adetlerde yapılacaktır :

1-9	gövde üretiminde	1. kontrol
10-19	gövde üretiminde	2. kontrol
20-29	gövde üretiminde	3. kontrol
30-39	gövde üretiminde	4. kontrol
40-49	gövde üretiminde	5. kontrol

Ford Otosan Fabrikasında bulunan transit gövde ana hattında bulunan 2 model için 2 ayrı kart tutulmaktadır.Modellerinden birinden diğerine geçişte ilk alt montaj (taban,gövde gibi) mutlaka keski kontrolüne tabi tutulmaktadır.

5. DENEYLER VE ÇALIŞMALAR

Direnç nokta kaynağı otomotiv sektöründe en yaygın olarak kullanılan kaynak metodlarından biridir.Bu kaynak metodu özellikle otomotiv sanayiinde kaporta ve sac kısmı montajında kullanılır.Otomobil parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özellikler aşağıda sıralanmıştır :

- Mekanik dayanım
- Yorulma dayanımı
- Eğme veya burulma rijitliği
- Korozyon dayanımı
- Sızdırmaz karakteristiği
- Görüntü karakteristiği

5.1 Galvaniz Kaplamalı Sacların Direnç Nokta Kaynağı

Direnç Nokta Kaynağı uygulamalarında birleştirilecek metaller büyük önem taşır.Yüksek korozyona dayanım elde etme zorunluluğu kaplanan çeliklerin kullanımını arttırmıştır.Günümüzde birçok araç gövdesi galvaniz kaplamalı sacdan imal edilir.Buu konuda yapılmış araştırmayı inceleyelim

USX ve US Steel Grup ve Bethlehem Steel Corporation tarafından yapılan araştırmalarda galvanizli ve galvanilli çelik sacların kaynak performansını etkileyen birkaç önemli faktör olduğu ortaya çıkmıştır.İstatiksel analizine göre aliminyum kaplamasının elektrod ömrüne etki ettiği ortaya çıkmıştır.Yapılan testlerde yüksek oranda aliminyum içeren panellerin punta kaynak işlemlerinde hızlı elektrod yıpranması ve kısa elektrod ömrü gözlenmektedir. Galvaniz kaplamasının demir içermesi elektrod ömrünü pozitif olarak etkiler fakat bu etki aliminyumun negatif etkisi kadar önemli değildir.

Galvanil kaplama içerisindeki Fe/Al (Demir /Aliminyum) oranının iyi ayarlanması elektrod ömrünü artırabilir.Laborotuvardaki araştırmalar sonucunda kaynak

makinalarının elektrod ömrü üzerine önemli etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bethlehem Steel ve US Steel'in Araştırma ve Teknoloji Departmanlarının araştırmalarına göre çeşitli kriterler için galvanizli ve galvanil kaplamaları için optimize edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda kaplama malzemelerinin optimizasyonu ve optimal galvanizlenmiş (HDG) ve galvanilli (GA) kaplamalarının özelliklerini saptayarak optimum kaynak performansını saptamaktadır. Özellikle direnç punta kaynaklarında elektrot performansı otomotiv sektöründe önemli bir kriterdir. Bu çalışmada kaplama malzemesinin, kaynak makinasının vb faktörlerin kaynak performansını nasıl etkilediği üzerinde durulacaktır. Özellikle alaşımlar elektrodların bakırları arasında ve kaplamada aşınmaya neden olurlar. Birçok araştırmacı, alüminyum içeren galvanizli kaplamalar elektrod yıpranmasına ve elektrod ömrünü etkilediğini kanıtlamıştır. Alüminyum içeren galvanizli kaplamanın (HDG) artması elektrod ömrünü azaltır. HDG kaplamasıyla ilgili elektrod yıpranması mekanizmasıyla ilgili birkaç mekanizma vardır. Oksitlenmiş alüminyum , formun kaynaklanması sırasında yüksek direnç ve yüksek elektrod yüzey sıcaklığı beklenir. Bu artan sıcaklık elektrod yüzeyindeki pirinç alaşımların ekstrüzyonu ve erozyonun artmasına neden olur. Alüminyum artışı elektrod yüzeyinde sıcaklık artışına ve çok daha hızlı elektrod yıpranmasına neden olur. Araştırmalar sonucunda ince Fe-Al-Zn tabakası (düşük Al içeren) fazla Fe-Zn alaşımı elektrod ömrünü artırır. Bundan önce yapılan çalışmalar kaynak makinası tipinin ve makina karakteristiğinin elektrod ömrü üzerinde önemli bir etkisi vardır. HDG kaplamaları içerisinde ki alüminyum etkisi çok iyi bilinirken önceki araştırmalarda galvanil kaplamalarında (GA) alüminyum ve demir için kesin bir şey söylenememiştir.

5.1.1 Malzeme ve Deneysel Prosedür

Bu çalışmada 2 farklı ısıdan 2 farklı bileşeni ve 2 farklı grade i ele alacağız. Bu deneyde 6 bobin kullanılıyor. Her ısıda her grade için 3 bobin bulunacak . Bobinler US Steel Gary Works kuruluşunda üretilmiştir. Bu 2 örnek Ti-Cb-P ve Ti-Cb içerir. Her 2 malzemenin bileşenlerini Tablo 1 de görmemiz mümkündür. Her 2 malzemede 0.75 mm kalınlığındadır. Kullanılan tüm malzemelerin kaplama bileşenleri tablo 2 de

gösterilmiştir. Bobinler farklı oranlarda aliminyum içeren HDG kaplaması ve aliminyum ve demir içeren galvanil kaplama malzemesiyle kaplandı.

Tablo5.1 Malzeme içerisinde bulunan katışkılarının oranı

Grade	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	Cr	Cu	Ti	Cb	B	N
Ti-Cb-P	0.0032	0.23	0.059	0.009	0.008	0.038	0.014	0.020	0.020	0.036	0.039	0.0037	0.0041
Ti-Cb	0.0031	0.18	0.009	0.006	0.006	0.047	0.011	0.020	0.014	0.035	0.032	<0.0002	0.0028

Tablo5.2 Kaynak çalışmasında kullanılan malzemelerin özellikleri

Grade	Kaplama Tipi	Kod	Kaplama Ağırlık (g/m ²)		Kaplama Bileşenleri (mean wt. %Al, mean wt. %Fe)	
			SR Side	NSR Side	(mean wt. %Al)	(mean wt. %Fe)
Ti-Cb-P	HDG	243	50.0	49.4	0.48	0.58
	HDG	245	45.7	49.7	0.32	0.65
	HDG	246	50.2	45.2	0.28	0.53
	HDG	240	50.7	51.0	0.48	0.50
Ti-Cb	HDG	241	47.3	47.5	0.33	0.67
	HDG	242	48.3	47.6	0.30	0.64
Ti-Cb-P	GA	245A	51.4	53.6	0.31	10.45
	GA	245D	51.8	54.4	0.31	9.25
	GA	246B	52.0	53.2	0.255	10.5
	GA	246D	52.0	56.5	0.26	9.4
Ti-Cb	GA	241A	53.3	56.1	0.35	11.75
	GA	241F	53.7	50.4	0.31	9.45
	GA	241E	53.2	50.7	0.32	6.65
	GA	242A	53.5	53.8	0.205	10.0
	GA	242D	54.6	50.4	0.275	8.45

Kullanılan GA malzemeleri bu çalışma için geniş aralıkta demir ve aliminyum içeren tipik malzemelerdir. GA malzemelerinden farklı olan yalnız düşük miktarlarda Fe içeren 241E malzemesidir.

5.1.2 DeneySEL Prosedür

HDG ve GA malzemeleri için test matrisi tablo 5.2 de gösterilmiştir. Her malzeme için minimum 5 kopya yapıldı. Her 2 laboratuvarın test sonuçları arasında ki uyumsuzluktan dolayı eklenen kopyalar (X satırında görünen) ve malzemelerde HDG malzemelerinden bazıları tekrar test edildi.

5.1.3 Test Methodları

Bütün testler A/SP Kaynak Kalite Test Metodu kitabındaki talimatlara göre yapıldı. Bu testle, rastgele seçilen malzemeye her kaplama tipi için dayanma limiti saptandı. Testlerden önce kaplama tipi için dayanma limiti saptandı. Testlerden önce kaplama özellikleri ve bileşenleri için bütün malzemeler karakterize edilmiştir. Test matrisi içerisindeki Fe ve Al karışımlarının kombinasyonları nedeniyle bütün GA kaplamaları için Fe/Al oranı hesaplanmıştır.

5.1.4 Kaynak Parametreleri

Tablo 5.3 te , GA malzemeleri için kaynak oranının dakikada 25 ten 30 a artması hariç A/SP manuele karşılık gelen kaynak parametrelerini kullanabilirsiniz. HDG malzemesi için kaynak oranı dakikada 25 kaynak olarak sabit tutuldu. Deneyde kullanılan her iki makinada minimum parametre ve makina değişkenine ayarlandı ve operasyonlar doğru akımda gerçekleşti.

Tablo 5.3 HDG ve GA malzemeleri için Test Matrisi

Lab	HDG Ti-Cb-P			HDG Ti-Cb			GA Ti-Cb-P				GA Ti-Cb				
	243	245	246	240	241	242	245A	245D	245B	246D	241A	241F	241E	242A	242D
BS	5 + 3x	5	5 + 3x	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
USG	2 + 3x	—	2 + 3x	2 + 3x	—	2 + 3x	—	5	5	—	—	—	5	5	—

Tablo 5.4 HDG malzemeleri için Elektrod Ömrü Sonuçların İncelenmesi

Parametre ya da Ekipma	Bethlehem	USS
Elektrod No	A/SP No 2	Aynı
Elektrod Tipi	Konik 45° Açılı	Aynı
Elektrode Çapı	5.0 mm	Aynı
Kuvvet	2 KN	Aynı
Çevirim	11 cy	Aynı
Tutma Zamanı	5 cy	Aynı
Basma Süresi	40 cy ,20 cy	Aynı
Elektrod Sogutma Akışı	4 lt/dak	Aynı
HDG İçin Kaynak Oranı	25/dak	Aynı
GA İçin Kaynak Oranı	30/dak	Aynı
Hız	80mm/sn	Aynı
Kaynak Makinası	TW2	TWERE
Kontrol Modeli		
Kontrol Modu	Doğru Akım	
Kuvvet Göstergesi	IFLC-2	AL 113 DR
Panel Durumu	Robotik	Manuel

HDG malzemelerin davranışlarını tablo 5.4 te her 2 laboratuvar için bulabilirsiniz. Ti-Cb-P malzemeleri için artan aliminyum oranına göre elektrot ömrünün azalışı farkedilir.

Ti-Cb grade için artan Al miktarıyla azalan elektrod ömrü pek anlamlı değildir.Ti-Cb malzemesi yüksek Al ihtiva eder (% 0.46) ve kod numarası 242 dir. Testlerde kaynak limiti 2280 kaynak, kod numarası 241 olan malzeme % 0.33 Al ihtiva ediyordu ve kaynak limiti 2360 kaynaktı.Bethlehem kriterlerini kullanarak yapılan aynı test sonucunda kod 241 malzemesi için 2280 kod 242 için 1680 kaynak limitleribulunmuştur.Bu yapılan testlerin doğru olduğunu kabul ettiğimiz zaman 241 ve 242 numaralı malzemelerin Al oran farkı çok küçüktür.Burada beklenen 242 malzemesinin kaynak limitinin azda olsa 241 malzemesinden daha fazla olmasıdır.Kod

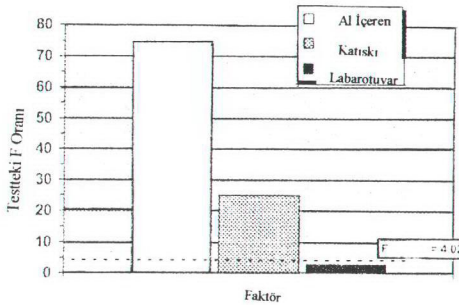
numarası 240 olan malzeme (%0.46 Al içeriyor ve her iki kriterde kaynak limiti 1390dır.) U.S. Steel tarafından Ti-Cb HDG malzemelerinin (sadece 240 ve 242 test edildi.) testleri çok farklı sonuçlar vermişlerdir.Kod numarası 240 olan parça %0.46 Al ihtiva edip kaynak limiti 2040 iken 242 numaralı malzeme (% 0.30 Al içeren)kaynak limiti 1120 dir.Bu araştırmalar düşük Al oranıyla kaynak elektrot ömrü arasında ters orantı olduğunu ortaya koyan araştırma larla taban tabana zıt sonuçlar vermiştir.Bu beklenmedik sonucun tek açıklaması 242 numaralı malzemenin tipik kaplama malzemesi karakteri göstermemesinden olabilir.

5.1.5 İstatistik Analiz

Elektrod ömrünü etkileyen (HDG malzemesi için) istatistiksel analizini Tablo 5.5 de ve Şekil 5.1 de görebiliriz.Bu analizler sonucunda elektrot ömrünü etkileyen 2 ana faktörü kaplama Al oranı ve katışkı olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.5 Bütün HDG Elektrod Ömür Verileri İçin Analiz Sonuçları

Faktör	F Oranı	Prob>F	F _{KRİTİK}
Al İçeren Kaplama	74.71	<0.0001	4,02
Katışkı Gradi	24.95	<0.0001	4,02
Labarotuvuar	2.82	0.0988	4,02



Şekil 5.1 Elektrod Ömrü Verileri İçin F Oranı

Analizler sonucunda bileşen tipinin elektrot ömrüne olan etkisi kaplamanın alüminyum ömrü kadar büyük değildir. Ti-Cb malzemesi için USS ve Bethlehem laboratuvarlarında yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar arasında önemli farklar yoktur. HDG kaplaması içerisindeki Alüminyum elektrot ömrü üzerine etkisi diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalarla da kesinleşmiştir. Araştırmalarda bileşenlerinde küçük değişiklikler olan iki bileşenin elektrot ömrü üzerine etkisi olduğu gözlenmiştir.

5.1.6 Sonuç

Test sonuçlarına baktığımız zaman GA malzemesinin HDG sonuçlarına göre daha iyi olduğunu gözlemleriz. Sadece 241E Ti-Cb malzemesi (düşük Fe ve yüksek Al ihtiva eden) farklı sonuçlar vermektedir. Tipik Fe ve Al kombinasyonu yaklaşık 4000 ve 20.000 kaynak arasındadır. Çeşitli malzemelere göre GA malzemesindeki standart sapmalar HDG'ye göre daha büyüktür. Her 2 laboratuvar sonuçlarına göre her iki bileşen de Fe/Al oranı arttıkça zaman elektrot ömründe artar. Test sonuçlarına göre artan demir kaplaması ve azalan Alüminyum kaplaması elektrot ömrünün artmasına sebep olur.

5.2 Aracın Geliştirilme Evresinde Kullanılan Kuvvetlendirme Metodu

Araç gövdesini binlerce punta kaynak şekillendirir ve test sürüşü sırasında oluşan hasar kısmı punta kaynaklarının yakınında oluşur. Punta kaynaklarının yorulma sebeplerini bulmak ve o kısımları takviye etmek gerekmektedir. Punta kaynak gerilmelerini incelemek için birçok araştırma yapılmıştır ve bu konunun anlaşılmasında bu araştırmaların çok büyük yararı olmuştur.

Geliştirilen proses içerisinde hasar gören punta kaynak bölgesi, CO₂ kaynağı ya da diğer metodlarla test sırasında tamir edilebilir. Otomotiv sektöründe yeni bir araç üretilmesi zaman arabanın ısıtılma seviyeye gelebilmesi için yüzlerce prototipini üretirler. Bu araçlardan bazıları yapısal test dayanımı için kullanılır. Araçların ağırlığının maliyeti arttırması nedeniyle gövde yapısındaki gerilmeler büyük önem kazanır. Bu testler sırasında hasar oluşan ve oluşmayan yerleri tasarımcı farkeder ve tasarım değişikliğine gider. Tasarım değişikliğine uğrayan prototip araçlar testler sonunda

istenilen dayanım performansını gösterirler. Bir aracın prototipini yapmak çok pahalı ve çok uzun zaman alan bir süreçtir. Bu kısımda yeni prototip tasarım yapmadan ,daha ucuz ve kısa bir method olan punta kaynak yorulma hasarını kuvvetlendirme yöntemini anlatacağız. Böylece kuvvetlendirme (reinforcing) metoduyla ,prototip araç sayısını ve süresini azaltmış olacağız. Kuvvetlendirme metodun özelliklerini karşılaştırarak tasarım için önerilerde bulunabiliriz.

5.2.1 Malzeme Ve Test

Bu test içerisinde kullanılan malzeme araç gövdesinde kullanılan soguk çeliktir. Tablo1 de ve Tablo 2 de malzemelerin mekanik ve kimyasal bileşenleri bulabilirsiniz.

Tablo5.6 Testte Kullanılacak Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Elektriksel Özellik				Mekanik Özellik		
	Direnç $\mu\Omega/m$	iletkenlik $w/m^{\circ}C$	Uzama $\mu m/m^{\circ}C$	Erim Noktası $^{\circ}C$	TS kg/mm^2	YS kg/mm^2	EL (%)
SPCC	0.016	65	13.8	1539	30	18	40
SPRC35	0.016	65	13.8	1539	36	21	37
SGACEN	0.016	65	13.8	1539	29	16	45
EZFRCS 40/40	0.016	65	13.8	1539	36	21	37

Tablo 5.7 Testte Kullanılacak Malzemelerin Kimyasal Özellikleri

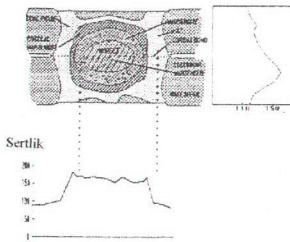
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cu
SPCC	0.04	-	0.25	0.01	0.005	0.05	-	-
SPRC35	0.04	-	0.3	0.06	0.005	0.05	-	-
SGACEN	0.01	-	0.15	0.01	0.005	0.05	-	-
EZFRCS 40/40	0.04	-	0.35	0.07	0.005	0.05	-	-

Malzeme	Akım (KA)	Basınç (kgf)	Kaynak Çevirimi	Düğme Çapı(mm)
SPCC	10	300	10	6
SPRC35	105	300	10	6
SGACEN	10	300	10	6
EZFRC35	10	300	10	6

Tablo 5.8 Numunelerin Punta Kaynak Koşulları

5.2.2 Punta Kaynak Bölgesinin Malzeme Özellikleri

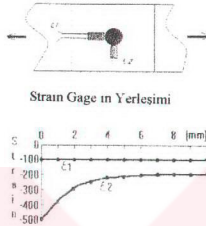
Punta kaynak işlemi sırasında kaynak akımı,elektrodlardan panele doğru akmaya başlar ve temas yüzeyinde dirençten dolayı maksimum ısı oluşur.Kaynak işlemine devam edildiğinde panellerde elektrod temas yüzeylerinde farklı sıcaklıklar gözlenir.Temas yüzeyindeki başlangıç ısısı metalde erimeye sebep olur.Punta kaynak işleminin sona ermesiyle panellerde hızlı soğuma ve ısı kaybı meydana gelir.Bu hızlı sıcaklık değişimi şekillde gösterildiği gibi punta kaynak bölgesinin sertliğinin değişimine neden olur.



Şekil 5.2 Punta Yapılmış Bölgenin Sertlik Dağılımı

5.2.3 Punta Kaynak Bölgesinin Yorulma Ömrü

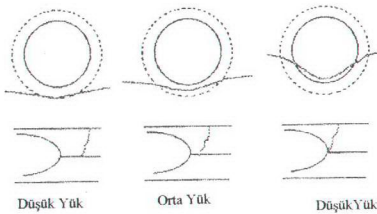
Şekil 5.3 de shear yükü altındaki punta kaynak alanına yakın bir bölgeye konulan “strain gage” yardımıyla ölçülen değerleri ve gerilme dağılımını bulabiliriz.



Şekil 5.3 Strain Gage Yerleşimi

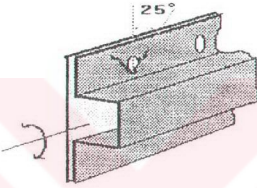
5.2.4 Yorulma Çatlağı Oluşumu

Genelde yorulma çatlağı kaynak arayüzünde düğmenin kenarından başlayarak sacın dış yüzeyine doğru ilerler. Düşük karbonlu çelik sacların punta kaynak yorulma çatlakları şekil 5.4 te gösterildiği gibi 3 bölüme ayrılır ; yüksek çevirimli, orta çevirimli , düşük çevirimlidir. Yüksek çevirimli yorulmada çatlak düğmeye bitişik olarak ortaya çıkar ve yük fazlaysa ısıdan etkilenen bölge (HAZ) nın dış yüzeyine doğru ilerler.

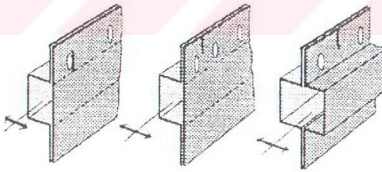


Şekil 5.4 Yükleme Koşulları İçin Oluşan Yorulma Çatlakları

Şekil 5.5 de tekrarlanan yük altındaki profilin yorulma test sonuçlarını gösterir. Çatlak üst kenarda dikeyle 25° lik bir açıyla oluşur .Düzlemsel bükülme testlerinde şekil 5.6 de görüldüğü gibi yorulma çatlağı plakanın arkasında oluşur. Punta kaynak derecesi yüksekse kırılma punta kaynak noktasında oluşur , kaynak derecesi düşükse kırılma flanşın kenarındaki 2 punta kaynak arasında oluşur. Tasarım mühendisi aracın yapısal kirişlerinde oluşan çatlağın oluşumunu gözlemliyerek uygulanan yükün tipine göre hangi alanda kuvvetlendirme uygulanacağına karar verir.



Şekil 5.5 Yük Altında Yorulma Çatlağının Oluşumu

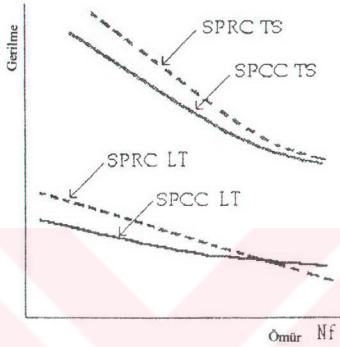


Şekil 5.6 Bükme Yüğü Altında Çatlak Oluşumu

5.2.5 Sac Gerilmesinin Etkisi

Kaynak işleminde metalin gerilme özellikleri ve mikro yapısı punta kaynağın etrafındaki ısı etkisiyle değişir. Figür 8 de metal gerilmelerin yorulma ömrüne etkisini görebiliriz. Gerilme testinde metal gerilmesinin artırılmasıyla shear gerilmesleride

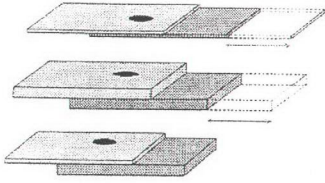
arttırılmış olur. Yorulma ömrü yüksek gerilme aralığında artan metal gerilmesiyle artar. Yani düşük gerilmeli çeliğin yorulma ömrü yüksek gerilmeli çeliğin yorulma ömründen çok daha iyidir.



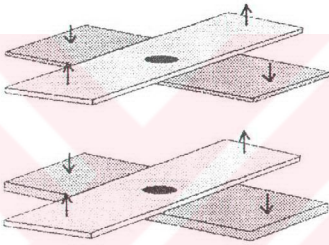
Şekil 5.7 Malzemelerin Yorulma Özellikleri

5.2.6 Metal Kalınlığının Etkisi

Aynı gerilme kontrol testlerinde, saç metalin kalınlığının punta kaynak bölgesinin yorulma ömrüne etki eder. Yırtılma yorulma testinde , aynı gerilme kontrol koşulları altında farklı kalınlıktaki numuneler benzer yorulma ömürleri gösterir. Şekil 5.8 de aynı yük kontrol koşulları içerisinde diğer saçların kalınlıkları artarken düşük karbonlu çelik saçların yorulma gerilmeleri farklılık gösterir. Yorulma ömrünü arttırmak için yapının tipine göre kalınlıkları seçmek gerekir.



Şekil 5.8 Yorulma Testi



Şekil 5.9 Yorulma Testi

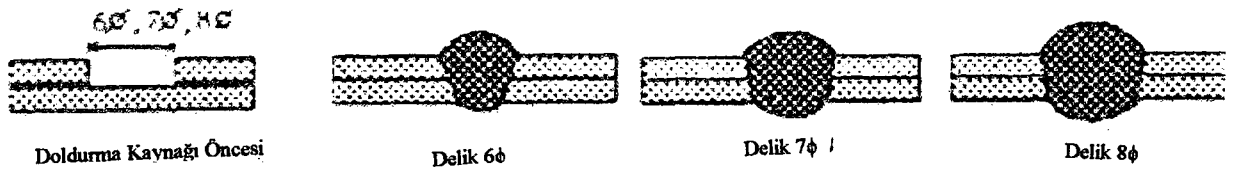
5.2.7 Yük Koşullarının Etkisi

Tablo 5.9 da gösterilen punta kaynak numunelerinin birkaç tipi tek malzemeden yapılır. Tablo 5.9 da A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L numunelerinin nasıl birleştirildiğini görebiliriz. Yırtılma gerilmesi statik gerilmenin sadece 1/3 lük yada 1/4 ü kadardır. Punta kaynağın farklı tipleri için , yorulma gerilmesini saptamak için statik gerilmelerden yola çıkmak yanlış olabilir. D numunesinde gösterilen kaynak şekli E de ki gibi kenar kenara yapılan punta kaynaktan çokda fazla verimli değildir. Minimum gerekli punta kaynak mesafesi 20 mm olarak belirleyebiliriz. F ve H da ise eklenen puntalar yapısal gerilimi arttırmayabilir.

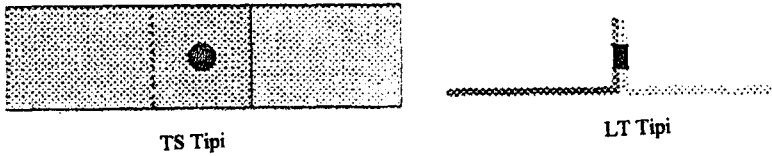
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)
Gerilme										2mm	5mm	10mm
Gerilme [kN]	6.6	6.7	5.9	11.4	10.4	13	11.45	13	3.3	2.7	2.3	1.7
Yorulma Gerilmesi [kN]	1.3	1.3	1.2	2.4	1.9	2.6	2.1	2.6	0.5	0.7	0.6	0.4

Tablo 5.9 Punta Kaynak Örnekleri

Punta kaynak bölgesinde çatlak oluştuğu zaman punta tabancasının limitlerinden dolayı punta kaynak yerine doldurma kaynak metodu kullanılabilir. Doldurma kaynak birleşit gaz metal ark kaynağıdır. Şekil 5.10 da erimiş metal ile dolduran panel üzerindeki bir deliği görebiliriz. Eger test mühendisleri bunun kuvvetlendirme etkisini bilmezse, hız dayanımı testi yapılamıyabilir. Bu yüzden punta kaynak ve doldurma gerilmeleri yırtılma ve yorulma gerilmeleriyle karşılaştırıldı. Bu bölümde punta kaynak tabanca çapı olarak 6 mm lik çap kullanılırken doldurma kaynakta çeşitli çaplar kullanılabilir. CO₂ kaynağında delik büyüklüğü $\phi 6$, $\phi 7$ ve $\phi 8$ mm olabilir. Şekil 5.10 da şematik olarak doldurma kaynak tipleri gösteriliyor.

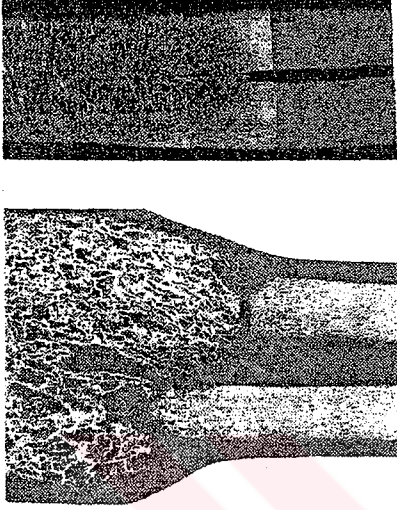


Şekil 5.10 Farklı Delik Çapları İçin Plug Kaynak



Şekil 5.11 Numunelerin Şekilleri

Şekil 5.11 de görülen numuneler yorulma ve yırtılma gerilme testleri yapıldı. Şekil 5.11 de nokta direnç kaynağı ve karbon kaynağı uygulanmış numunelerin iç yapılarını görebilirsiniz. Karbon kaynağının nokta direnç kaynağına göre sertliği daha fazla olur.



Şekil 5.12 Numunelerin İç Yapısı

5.3 Aliminyum Alaşımlarının Direnç Nokta Kaynak Özellikleri

Otomotiv gövdesinde kullanılan malzemelerden şekilsel güzellik ve uygun gerilmelerin yanında iyi kaynak olabilirliğide beklenir. Birçok birleştirme metodu arasından, direnç punta kaynak işlemi çok uzun zamandır uygulanan yüksek üretkenliği olan güvenilir kaliteli ve çok kullanılan bir yöntemdir. Aliminyum alaşımlı sacların punta kaynak uygulamaları temelde diğer çelik saclardan farklı değildir fakat aynı kaynak şartları altında farklı sonuçlar vermektedir. Bunun ana nedeni malzemenin özellikleridir. 5XXX serisinin aliminyum alaşım sacların punta kaynaklarıyla ilgili birçok çalışma vardır ancak 5XXX ve 6XXX serisinin aliminyum alaşım saclarının birlikte kullanıldığı kaynak yapılması için çok fazla araştırma yapılmamıştır.

5.3.1 Deneysel Metodlar

Kimyasal kompozitler ve kalınlıklar 5XXX serisi ve 6XXX serilerinin aliminyum alaşımları sacların olduğu tablodan alalım. 6XXX serisine ait bu değerler boya işleminden sonra A₂, B₂, C₂ 5XXX serisine ait aliminyum alaşımlı saclar ve %35 uzama gösterebilir. Malzemeler rulolanmış ve pas önleyici koşullarda kullanılıyor.

Kod	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Kimyasal Bileşen (wt. %)				
			Mg	Si	Cu	Fe	Al
A ₁	TM 21-T4	1.0	0.50	1.28	0.68	0.13	rem.
A ₂	TG 25-0	1.2	5.60	0.07	-	0.10	rem.
B ₁	FA 643-T4	1.0	0.50	1.45	0.5	0.08	rem.
B ₂	FA 578-0	1.0	5.90	0.07	0.3	0.05	rem.
C ₁	KS 6386-T4	1.2	0.82	0.87	-	0.15	rem.
C ₂	KS 5030-T4	1.0	4.57	0.07	0.36	0.07	rem.

Tablo 5.10 Aliminyum Alaşımlarının Özellikleri

Bu deneyde AC alternatif akım kullanıldı (maksimum 33 KA) Bu kaynak makinası için elektrot tipi yuvarlak ,çapı 16 mm ve bakır alaşımından yapılmıştır.(Cu-Cr-Zn)

5.3.2 Düşme Çapının Ölçümü ve Yük Testi

Yırtılma Yüğü testinde sonuçlar 10 KN ve test hızı 10 mm/min olan Zwick firmasının makinasıyla ölçüldü. Tablo 5.11 de örnek üretim şartlarında elektrod kuvvet değerleri, kaynak akımları ve kaynak çevirimi değerlerini bulabilirsiniz.

Tablo 5.11 Test Koşulları

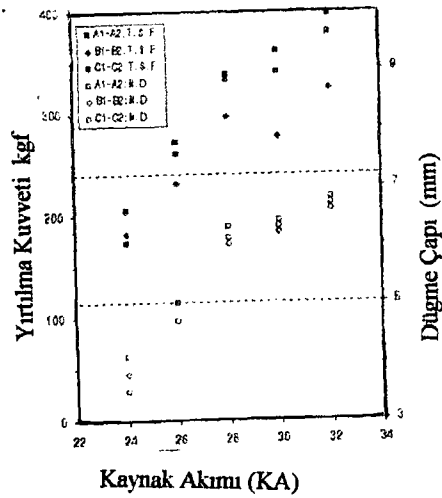
Malzeme	Elektrode Kuvveti (kgf)	Kaynak Akımı (KA)	Kaynak Çevirimi (1/60 sec)
		24	3
	400	26	4
A ₁ .A ₂	350	28	6
B ₁ .B ₂	300	30	8
C ₁ .C ₂	250	32	10

5.3.3 Ana Parametrelerin Etkisi

5.3.3.1 Kaynak Akımı

24 kA den 32 kA artan kaynak akımlarında A₁-A₂, B₁-B₂ ve C₁-C₂ nin shear yük içerisindeki değişimi ve düğme çapı ölçüldü. Elektrot kuvveti ve kaynak çevirimi 300 kgf ve 4-6 çevirimde sabitlenmiştir. Yırtılma yükü ve düğme çapı hızlıca 28 kA doğru artar bundan sonra artış oranı azalır. Çünkü düğme çapı maksimum değer olan 28 kA e yaklaşmış olur. Bu değerlerin üstünde yüksek oranlarda artan düğme çapı yada yırtılma yükü elde edilmez. Bunun yanında düğme çapı ve yırtılma yükü birbirlerine göre oranlıdır.

Bütün örnek malzemeler için delme ve yırtılma yükü doğrusal artış gösterir.



Şekil 5.13 Düğme Çapı ve Kaynak Akımıyla Yırtılma Kuvveti Arasındaki İlişki

Yırtılma yükü testlerinden gördüğümüz hatalı bölgede 28 KA den daha küçük akım kullanıldı. Örnekler incelendiğinde yırtılma yük testleri gösteriyor ki hatalı bölge 28KA den az akım kullanılmasından kaynaklanmaktadır. KSB 0850 standartına göre “Punta Kaynak İnceleme Methodu” kaynaklanan yerin kalitesinin metoduna karar vermek için modelin ince olan tarafının kalınlığı 1 mm ve maksimum gerilme 250N/mm^2 A sınıfı punta kaynak alanı için ortalama yırtılma yükü 240 kgf yada daha fazla iken ortalama düğme çapı 5 mm yada daha fazladır. Alüminyum alaşımlarının punta kaynaklarında, kaynak akımı düşükse düğme oluşumu zorlaşıyor. Bu yüzden uygun kaynak akımı yüksek akımı yüksek sıçrama oluşturmadan önceki akımdır.

5.3.3.2 Elektrod Kuvveti

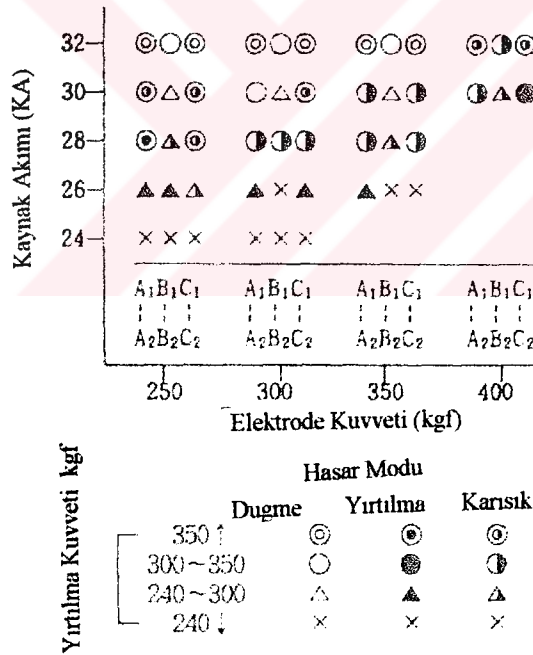
Çeşitli değerlerdeki yırtılma ve düğme çapları için elektrod kuvveti 250-400 kgf arasında değişmektedir. Elektrod kuvvetinin etkisi kaynak akımı kadar önemli bir etki değildir. Elektrod etkisi kaynak akımı kadar önemli bir etki değildir. Elektrod kuvvetinin azaltılması yırtılma yükünde ve düğme çapında azda olsa bir artışa neden olur. İstenilen düğme çapının oluşumu için kaynak akımı elektrod kuvvetiyle beraber artırılmalı. Yüksek kaynak akımı uygulandığı koşullarda eğer elektrod kuvveti çok düşükse yüksek miktarda sıçrama olur. Bu yüzden 1 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımları için uygun elektrod kuvveti 300-350 kgf arasındadır.

5.3.3.3 Kaynak Çevirimi

24-32 KA kaynak akımı uygulandığı zaman çevirimin sayısının 3 ile 10 arasında değişmesi yırtılma yükü ve düğme çapına önemli ölçüde etki etmezdi. Bunun sebebini alüminyum alaşımları çelikle karşılaştırıldığı zaman bağıl olarak düşük elektrik direnci ve yüksek ısı iletme özelliğiyle açıklayabiliriz. Ancak ısının artması mekanik özelliklerin kötüye gitmesine sebep olur. Kaynak çevirim sayısı alüminyum alaşımlarda çelik saclara göre daha az önem taşımaktadır. Araştırmalar ve tecrübeler göstermiştir ki istenilen düğme boyutu için alüminyum alaşımlarda 3 ile 5 arasında ki çevirim sayısı uygundur.

5.3.4 Optimun Kaynak Şartlarının Grafikle Anlatımı

Şekil 5.14 de elektrod kuvveti ve kaynak akımı (punta kaynak parametreleri arasındaki ilişkiyi) her malzemenin hasar modunu ve kaynak gerilmelerinin karakteristiğini bulabiliriz.Burada kaynak çeviriminin önemsiz etkisi hariç tutulmuştur.Şekil 5.14 de kaynak akımı artar kaynak gerilimide artar ve hasar durumu artar.Elektrot kuvvetinde zıt sonuçlar elde edilir.Burada aliminyum alaşım sacların her kombinasyonu için standart yırtılma gerilimi 240 kgf üstünde olması için elektrot kuvvetinin 250kgf ve kaynak akımının 26 KA yada daha fazla olması veya ikinci yol olarak elektrot kuvvetinin 350 kgf ve kaynak akımının 28 KA veya fazla olması gerekmektedir Bununla birlikte hasar modunda istenilen kaliteye ulaşılması ve istenilen kaynak gerilimine ulaşmak için elektrot kuvveti 300 kgf ve kaynak akımının 30 KA üzerinde olması gerekmektedir.



Şekil 5.14 Kaynak Akım Elektrot Kuvveti ve Yırtılma Kuvveti Tablosu

Şekil 5.15 te kaynak edilmiş aliminyum alaşımının mikroyapısını görmekteyiz. Fotoğrafta çok sayıda gözenek ve çatlak görülmektedir. Bunlar aliminyum alaşım

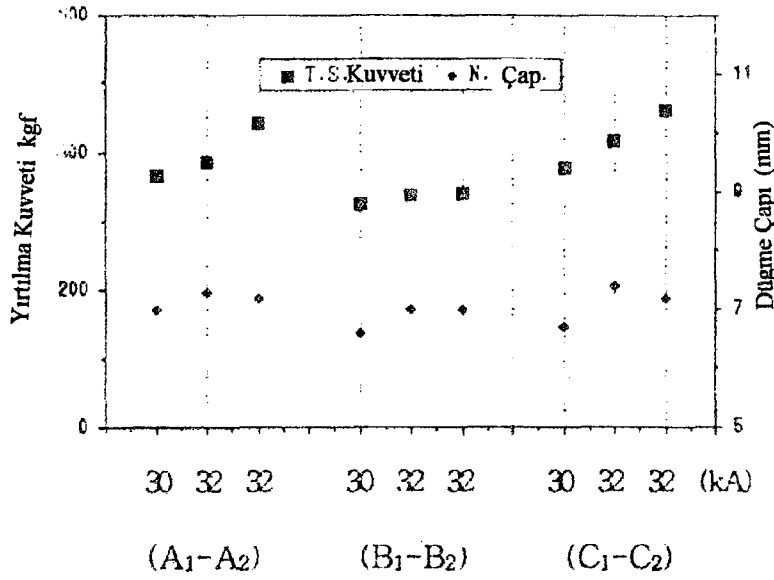
sacların diğerkombinasyonu içinde ortaktır.Şekil 5.15 te 6XXX ve 5XXX serisinin kaynaklanmış mikroyapının fotoğrafını gösterir.Farklı fiziksel özelliklere sahip (6XXX serisinin elektrik direnci düşük ve ısı iletimi 5XXX alaşımlarından yüksektir) 6XXX serisinin tanımlanan kaynak şartlarından eriyen bölgesi 5XXX serisi alaşımına göre daha küçüktür.6XXX serisinden 1 mm kalınlığında bir sac metalle 5XXX serisinin 1.2 mm kalınlığındaki başka bir sacla kaynağı 2 eşit kalınlıktaki sacın kaynak yapımından daha kuvvetlidir.



Şekil 5.15 Kaynak Düğmesinin kesiti

5.3.5 Optimum Koşullar Altında Kaynak Karakteristiğine Karar Verilmesi

Optimum kaynak koşulları denince 300 kgf , 30-32 KA ve 5 kaynak çevirimi (elektrod kuvveti,kaynak akımı ve kaynak çevirimi) akla gelir. Punta kaynak örneğinde , yırtılma yükü ,düğme çapı ve standart sapma (N=10) ölçüldü ve şekil 5.16 da bu degerleri görebiliriz.A1-A2,B1-B2 ve C1-C2 kombinasyonlarının herbirinin ortalama yırtılma test edildiğinde kaynak akımı 32 KA de bu değerler 367,324 ve 378 kgf değerlerindedir.30KA lik kaynak akımında hasar durumunda 32 KA de gerilme durumundadır.Model 30 dakikada 180°C de fırında tutuluyor.A₁-A₂ ve C₁-C₂ kombinasyonları yaklaşık 40-50 kgf lik artış olduğu gibi B₁-B₂ malzemesindeki yük artışı gözardı edilir.30KA de düğme çapı 7.0 mm den küçük , 32 KA de 7.0 mm den 0.3-0.7 mm arasında büyük olduğu saptanmıştır.Buradaki sapma 0.2 mm den azdır.Burdaki sapmanında yüzey bozukluğunun sonucudur. (oksitlenme , kalınlık , elektrot ağzı ve model arasındaki temas koşulları vb...)



Şekil 5.16 Kaynak Akımının Optimum Koşulları Altında Düğme Çapı ve Yırtılma Kuvveti

5.3.6 Başlangıç Ve İletilen Isının Etkisi

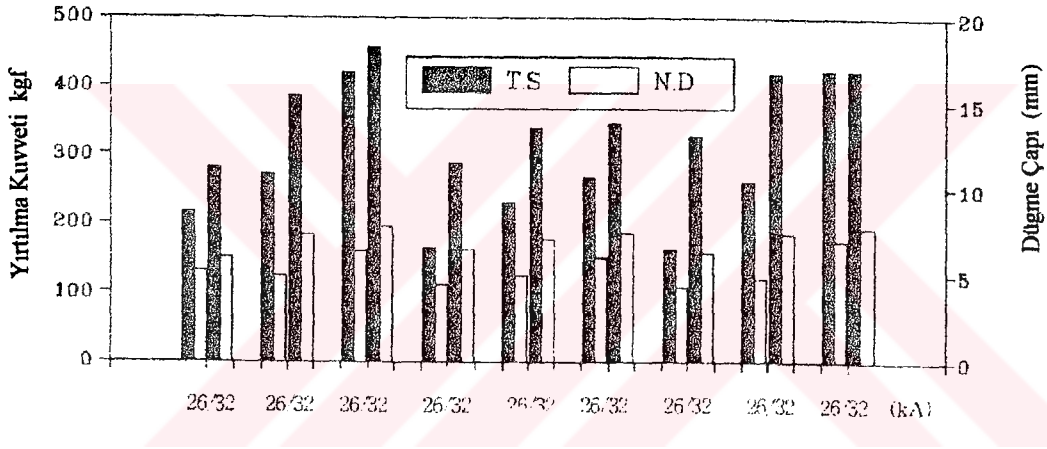
Başlangıç ısının ve iletilen ısının, punta kaynak uygulamaları üzerine olan etkisine karar vermek için, örnek bir parça üzerine olan etkisine karar vermek için, örnek bir parça üzerinde 16KA (kaynak akımının yarısı kadar) kullanılarak düğme çapını ve yırtılma yükündeki değişimlere bakılır. Ana akım kullanıldığı zaman temas yüzeyindeki küçültülmüş direnç ısı yüzünden düğme çapı küçük olur.

5.3.7 Farklı Malzeme Kombinasyonları İçin Kaynak Yapılabilirlik Karşılaştırılması

5XXX serisinin ve 6XXX serisini 26 KA ve 32 KA akımlarında test yapıldı. Şekil 5.17 de bu karşılaştırılma testlerinin sonuçlarını görebilirsiniz. 26 KA de 6XXX serisi kombinasyonlarında gerilme standart yırtılma yükünü (240 kgf) geçmez. Ancak 32 KA de bütün malzemelerin kaynak gerilmesi 240 kgf den fazladır özellikle C1-C2 kombinasyon 300 kgf den büyük gerilme oluşur. 5XXX ve 6XXX

serilerinin kombinasyonu ve 5XXX serisini karşılaştırdığınızda 6XXX ve 5XXX serisi için daha yüksek bir akıma ihtiyaç vardır.

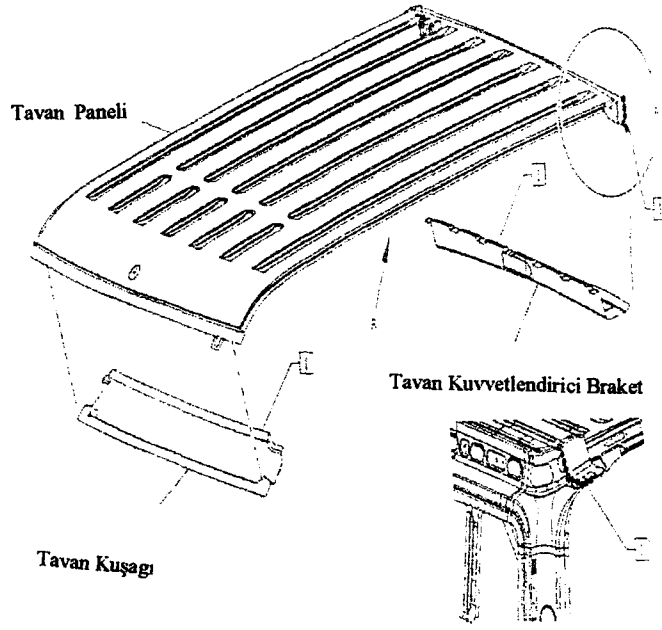
Sonuç olarak alüminyum alaşımlarının punta kaynak uygulamalarında önemli faktörlerden biriside kaynak akımıdır. Kaynak akımı arttığı zaman yırtılma yükü düğme çapı artacaktır ve hasar moduna geçecektir. Tavsiye edilen parametreler 300 kgf yük 3-5 kaynak çevrimi ve 30 KA den büyük bir akımla uygun sonuçlar elde edebilirsiniz. Alüminyum alaşımlarının punta kaynak uygulamaları yapılırken ilk ısı verme ile kaynak gerilimleri azaltılabilir. 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynak uygulamalarında yüksek akımlarda daha iyi gerilimler ve düğme çapı elde edilir. Gerekli kaynak akımlarında 6XXX serisinde oluşan kaynak gerilmesi 5XXX serisine göre daha azdır.



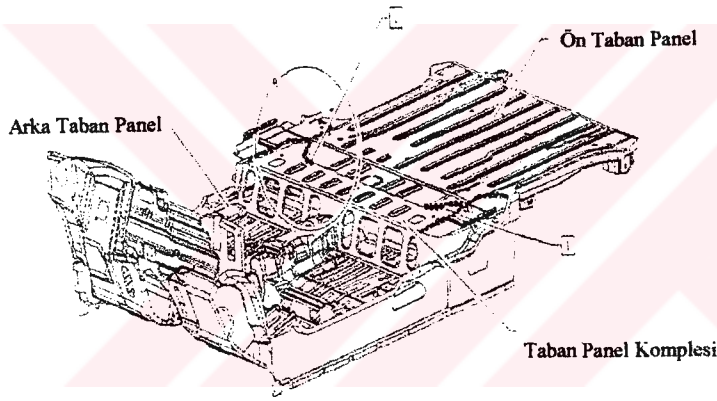
Şekil 5.17 Farklı Alüminyum Alaşımları İçin Yırtılma Kuvveti Ve Düğme Çapı

5.4 Direnç Nokta Kaynak Ve Sealerları Kullanarak Optimum Tasarım

Otomotiv parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özelliklerden biriside sızdırmazlıktır. Modellerin ve punta kaynak yapılan bölgenin ve yapıştırılan bölgenin araç gövdesinin yapısal performansı arasında kuvvetli bir bağ bulunmaktadır. Bu bölümde punta kaynak ve yapıştırma bölgesi arasındaki ilişkiyi açıklayacağız.



Şekil 5.18 Tavan Kısına uygulanan sealer



Şekil 5.19 Ön Taban Kısına uygulanan sealer

Bu method araç yapısının topoloji optimizasyonu üzerine odaklanmıştır. Bu optimizasyon için konvex yaklaşım methodu ve gradient sapması için birleştirme methodu kullanılır. Bu metodlar otomotiv endüstrisinde bileşen dizaynına kolaylıkla ve başarıyla uygulanabilir. Ayrıca bu method robotlara ve büyük ölçekli otomotiv gövdelerinde verimli bir şekilde uygulanabilir.

Punta kaynak ve yapıştırma bölgesi otomotiv sektöründe çok sık kullanılır. Otomotiv bileşenlerini alt montaj elemanlarını ve sistemin performansı

üzerinde punta kaynak yerleri ve yapıştırma bölgesi oldukça etkilidir. Araçların yapısal dizaynı içerisindeki yapısal performansını koruması için punta kaynak sayısı ve yapıştırma miktarı önemli bir faktördür. Geleneksel olarak dizayn mühendisi punta kaynak bölgesi ve yapıştırma tecrübesiyle karar verir. Model üzerinde punta kaynak yerleri ve yapıştırma bölgesi optimize edilmesi önemli bir geliştirme olarak kabul edilir. Bu kısımda punta kaynak tasarımı ve yapıştırma modeli için geliştirilen yeni optimizasyon metodu ve uygulamaları anlatılacaktır.

Gövdenin sonlu elemanlar modelinin kontrol noktalarında yapıştırma bölgesi ve punta kaynak bölgesinin optimizasyonunun yapılmasıyla “optimal model” ortaya çıkar. Otomobil yapısının sonlu elemanlar modeli içerisinde punta kaynak ve yapıştırma bölgesi kullanılan rijit çubuk ve yaylarla modellenir. Burada, punta kaynak ve yapıştırma bölgesi her ikisini yay olarak kabul edilir. Yayın orta kademe katılık sabiti hatalıdır. Bu punta kaynağın katılığı ya da yapıştırma bölgesi optimumu olarak kabul edilir ve iki uç değer : maksimum katılık ve katılığın sıfır olduğu değerler arasındadır. Bu hata tekniği genellikle yapısal topoloji optimizasyonu içerisinde kullanılır.

Birçok bileşenden oluşan yapı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenir. Punta kaynak ve yapıştırma bölgesi sonlu elemanlar modelindeki kontrol noktalarında ki mümkün olan aday bölgelerin üzerinde yay olarak modellenir.

Yayın istenilen katılık sabiti

$$K_i = K_0 i X_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.1)$$

Burada

X_i = 0 dan 1 e değişen dizayn değişkeni

N : dizayn değişken sayısını belirtir

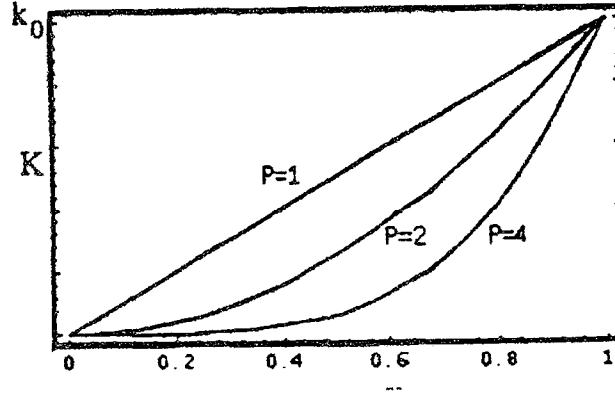
$K_0 i$: punta kaynak ve yapıştırma bölgesi katılığı

K_i : yayın katılığı

P : hata faktörü

Şekil 5.20 de gösterildiği gibi eğer dizayn değişkenler 1 e giderken yay elementine karşılık gelen katılık mümkün olan punta kaynak ve yapıştırma bölgesinin maksimum katılığa doğru gider. Dizayn değişkenleri 0 ise bunun karşılığı punta kaynak yada yapıştırma bölgesi optimal dizayn içerisinde silinmemeli. Eğer dizayn değişkenleri

bire eşitse buna karşılık gelen punta kaynak ve yapıştırma bölgesi etkilidir ve optimal tasarım içerisinde göz önüne alınmalıdır.



Şekil 5.20 Fonksiyonlar

Punta kaynak yada yapıştırma bölgesinin optimum dizayn için matematiksel modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$\text{Minimize } f_0 = \text{Min } \sum^m W_1 F_1 Tu_1 \quad (5.2)$$

$$f_1 = \sum^n X_i - N < 0 \quad (5.3)$$

$$0 < X_i < 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Denge Denklemi}) \quad (5.4)$$

Burada optimizasyon prosesini inceleyeceğiz. Kaynak punta adedini yada yapıştırma miktarını azaltmak yani maliyet azaltmak , performansı geliştirmek yada verilen kaynak adedi ve yapıştırma miktarındaki performansı arttırmak önemlidir.

Punta kaynak yada yapıştırma optimizasyon dizaynı için matematiksel modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$\text{Minimize } f_0 = \text{Min } \sum^m W_1 F_1 Tu_1 \quad (5.5)$$

$$f_1 = \sum^n X_i - N < 0 \quad (5.6)$$

$$0 < X_i < 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Denge Denklemi}) \quad (5.7)$$

burada F ve u yük (kuvvetler ve momentler içerir) ve yerdeğişimi (yerdeğiştirme ve dönel bileşenler içerir) vektörler I ve W indeks ve ağırlık faktörüdür. N ise punta kaynak sayısı yada yapıştırma alanı sayısını gösterir. Altaki denkleme göre punta kaynak yada yapıştırma alan sayısı optimaldir. F_0 tasarım değişkenlerinin fonksiyonudur ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak çözülen denge denklemlerinden elde edilen değerlerle f_0 bulunur. Farklı katılık ilk denklemden ki k_{0i} yapıştırma alanı olan modelde ya da punta kaynağın tasarım problemleri için atanır. Daha önceden söz edildiği gibi punta kaynak modelleri, otomobil gövdelerinin sonlu elemanlar analizi için rijit çubuk elementler gibi modellenir. Rijit çubuklar sonlu katılıktaki yaylardır. Bununla beraber punta kaynağın katılığı k_{oi} bilgisayar uygulamalarında çözülür. İlk denge denklemindeki yapıştırma alanı için katılık k_{oi} sonsuzdur. Yapıştırma bölgesi birbirine dik 3 doğrultuda bulunan 3 yay elemanlı küme gibi modellenir. Otomobil yapısının yapısal analizi için 3 yöndeki yapıştırma alanının katılığı :

$$k_x = k_y = k_{shear} (GA/t) \quad (5.8)$$

$$k_z = k_{normal} (EA/t) \quad (5.9)$$

burada E ve G young modülü ve yapıştırma shear modülüdür. t yapıştırma tabakasının kalınlığı bunun yanında k_{shear} ve k_{normal} tecrübeyle saptanan boyutsuz parametrelerdir. Bir numaralı denge denklemindeki k_{oi} her yöndeki yapıştırma alanının katılığıdır.

5.4.1 Gradyent Hesabı ve Optimizasyon Yöntemi

Performans optimizasyonu için gerekli olan nesnenin gradyenri yada sınır fonksiyonlarıyla dizayn değişkenleridir. Gradient hesabı için 2 metod vardır. Dizayn değişkenlerinin ve fonksiyonun ilişkili sayısına bağlı olan direk ve birleşmiş metodlardır. Her dizayn değişkeni için direk metotta denge denkleminde yerine konur , birleşmiş metotta her fonksiyonda kullanılır. Yapıştırma alan modeli ve punta kaynağın optimal problemi için formilize edildi ve burada birçok dizayn değişkeni sadece bir

fonksiyon analiz edildi.Bunun yanında birleşmiş metod burası için daha uygundur.Sınır fonksiyon gradyenti bütün dizayn değişkenleri için hesaplanabilir.Her optimizasyon problemi için 2 kriter gereklidir.Her optimizasyon iterasyonu içerisindeki optimizasyon işlemi sırasında yaklaşma tekniği kullanılarak nesnel fonksiyon hesaplanır.Diğer deyişle her iterasyon için bir yapısal analiz gereklidir.Birçok tasarım değişkeni için sadece bir sınırlama vardır bunları sıradan optimizasyon teknikleriyle çözmek oldukça zordur.Bu problemi çözmek için çok dizayn değişkenli problemi tek değişkenli probleme indirgeyerek etkili ve kuvvetli bir çözüm bulabiliriz.



6.SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı,otomotiv sanayiindeki uygulamaları ve kontrol yöntemleri tanıtıldıktan sonra Ford Otosan Fabrikası baz alınarak otomotiv sektöründe ki kaynak operasyonları ve kontrolü için kurulan sistem incelenmiştir. Artan rekabet ortamı ,düşük maliyetli güvenilir ve seri üretime uygun üretim yöntemi olarak seçilen direnç nokta kaynağı operasyonlarını iyileştirme zorunluluğu doğurmuştur.Otomobil sektöründe, gövde imalatında yaygın olarak kullanılan ,punta kaynak kalitesini etkileyen birçok faktör olduğu gibi bu faktörlere bağlı olarak da birçok problem yaşanmaktadır.Bu yöntemin uygulanmasında elektrodlar kaynak yapılacak parçanın boyutları, şekli, kimyasal bileşimi ve kaplaması,kaynak akımı,zamanı,elektrod sıkıştırma kuvveti,elektrod yüzey çapının yanında operatörün bilgisi kaynak makinasının punta kaynak yapılacak parçalara ulaşımı ve punta kaynaklarının kontrolüde çok büyük önem kazanmıştır.

Kaliteli ve güvenilir araç üretme şartının tasarımıyla başladığını kabul etmemiz gerekir.Punta kaynak operasyonlarının başarılı olabilmesi için kaynak makinasının punta kaynak yapılacak parçalara ulaşımının kolay olması gerekmektedir. Aksi takdirde ,punta makinasının zorunlu olarak farklı açılarda tutulması ,istenilen düğme çapının ve dolayısıyla kaynağın oluşumunu engeller.Seri yada prototip fiktürleri imal eden mühendis yada teknik ressamların parça üzerinde nerelere kaynak yapılacağını bilmesi ve punta tabancalarının rahatlıkla kaynak yapılacak parçalara ulaşabilmesini sağlayacak şekilde tasarım yapmaları gerekmektedir.

İkinci olarak atölyelerde çalışan direnç nokta kaynağı operatörlerinin ve kontrol elemanlarının eğitimlerini tamamlamış olmaları temel şartlardan birisidir. Ayrıca operatörlerin proses mühendisliğinin belirttiği şekilde (punta yerleri,punta sayısı punta yönü vb) çalışmaları ve bu çalışmanın önemini kavramaları gerekmektedir.Tüm işlemler prosedürlerde tanımlandığı gibi yapılmalıdır.

Kontrol işlemleri,tüm kaynak operasyonları boyunca sürmesi gerekir.Kaynak işlemi öncesi düzenli olarak yapılması gereken kaynak akımı, zamanı, elektrod sıkıştırma kuvveti,elektrod yüzey çapı kontrollerinin yanında punta ekipmanı ile ilgili

görsel ve fonksiyonel kontrolleri yapması gereklidir. Kaynak operasyonları süresince operatör parça üzerine attığı her 10 puntadan en az 2'sini, parça üzerindeki dağılımlarını göz önüne alarak (her farklı punta tabancası, farklı tipte veya kalınlıkta sac parçalar, farklı kaynak parametreleri için) kontrol eder. Üretilen her parti araçtan da bir araç seçilerek en küçük montaj bileşenlerine kadar ayrılması ve punta geçerliliği ultrasonik kontrol cihazıyla ve gözle kontrol edilmesi gerekmektedir.

Ford Otomotiv Kuruluşu bünyesinde yada yan kuruluşlarında direnç nokta kaynağının performansını etkileyen faktörler üzerine yapılan deneyler ve çalışmalar incelenerek deneylerin sonuçları sunulmuştur.

Kaplama malzemesinin, kaynak makinasının vb faktörlerin kaynak performansını nasıl etkilediği üzerine yapılan çalışmalarda özellikle alaşımlar elektrodların bakırları arasında ve kaplamada aşınmaya neden olurlar. Araştırmalar sonucunda alüminyum içeren galvanizli kaplamalar elektrod yıpranmasına ve elektrod ömrünü etkilediği alüminyum içeren galvanizli kaplamanın (HDG) artması elektrot ömrünü azalttığını ortaya koymuştur. Test sonuçlarına baktığımız zaman GA malzemesinin HDG sonuçlarına göre daha iyi olduğunu gözlemleriz. Sadece 241E Ti-Cb malzemesi (düşük Fe ve yüksek Al ihtiva eden) farklı sonuçlar vermektedir. Tipik Fe ve Al kombinasyonu yaklaşık 4000 ve 20.000 kaynak arasındadır. Çeşitli malzemelere göre GA malzemesindeki standart sapmalar HDG ye göre daha büyüktür. Her 2 laboratuvar sonuçlarına göre her iki bileşen de Fe/Al oranı arttıkça zaman elektrot ömründe artar. Test sonuçlarına göre artan demir kaplaması ve azalan Alüminyum kaplaması elektrot ömrünün artmasına sebep olur.

Otomotiv sektöründe alüminyum alaşımları özellikle ağırlık azaltılmak istenen araç gövdelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre alüminyum alaşımlarının punta kaynak uygulamalarında önemli faktörlerden biriside kaynak akımı olduğu anlaşılmıştır. Kaynak akımı arttıkça zaman yırtılma yükü düğme çapı artacaktır ve hasar moduna geçecektir. Tavsiye edilen parametreler 300 kgf yük 3-5 kaynak çevrimi ve 30 KA den büyük bir akımla uygun sonuçlar elde edebilirsiniz. Alüminyum alaşımlarının punta kaynak uygulamaları yapılırken ilk ısı verme ile kaynak gerilimleri azaltılabilir. 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynak uygulamalarında yüksek akımlarda daha iyi gerilimler ve düğme çapı elde edilir. Gerekli

kaynak akımlarında 6XXX serisinde oluşan kaynak gerilmesi 5XXX serisine göre daha azdır.

Bu kısımda yeni prototip tasarım yapmadan ,daha ucuz ve kısa bir method olan punta kaynak yorulma hasarını kuvvetlendirme yöntemini anlatıldı.Böylece kuvvetlendirme (reinforcing) metoduyla ,prototip araç sayısını ve süresini azaltmış olacağız.Kuvvetlendirme metodun özellikleri yorulma kriteri için karşılaştırarak tasarım için önerilerde bulunuldu. Ayrıca ,optimizasyon prosesi incelenerek,kaynak punta adedini yada yapıştırma miktarını azaltmak yani maliyet azaltmak , performansı geliştirmek yada verilen kaynak adedi ve yapıştırma miktarındaki performansı arttırmak önemli olduğu düşünülerek ,punta kaynak yada yapıştırma optimizasyon dizaynı için matematiksel bir denklem elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

[1] Abe H., Kataoka S. and Satoh, "Impartial Formula for Fatigue Strength of Single Spot welded Joint Specimens," SAE860601.

[2] Aidun, D.K. and Bennett R. w., Welding Journal. 64 (12) 15 – 25 (1985)

[3] Arthur. F AND Handley S. "Welding of Aliminum in the Automotive Industry" Autotech89

[4] "A/SP Weld Quality Test Method Manual", Rev.1 10/31/97 Auto/Steel Partnership.

[5] Bayrak Y. " Punta Kaynak Eğitim Notları " Ford Otosan 1997

[6] Bolton W., "Residual Stress Distribution In and Around Spots welds "British Welding Journal (1981)

[7] Cole F.J., "Effect of Aliminum ,Lead and Antimony Concentration on Spot Welding of Galvanized Steel" Republic Steel Research Report, June 1976

[8] Crow J. "Resistance Spot Welding Specifications" Ford Motor Company).

[9] Dickinson, D.W, "Welding in the Automotive Industry " AISI Research Report SG81-5 August 1981

[10] Domis W.R., "Spot Weldability of GP60XF70 Galvanized Shet Steel" U.S Steel Corp. Internal report 33-C-300(002-1) November 28, 1983

[11] Howe,P.,"The Effects of Aluminum in Hot Dip Galvanized Sheet Steel on Electrode Life –A Compilation of Research Data" Bethlehem SteelCorp.Internal Report July 30 1996

[12] Howe,P.,Kimchi M."The Effects of Coating Type and Spot Weldability and Electrode Wear During RSW of Various HDG Steels"Paper D2 of AWS Sheet Metal Welding Conference VI proceedings,October 1994

[13] Howe.P.,"The Effects of Spot Welding Machine Characteristics on Electrode Life Behavior "Paper A3 of AWS Sheet Metal Welding Conference VII proceedings,October 1996

[14] Gegez R. "Punta Kaynak Kontrol Yöntemleri" Ford Otosan 2000

[15] Gugel M.D.,White C.L.,Kimchi M.,Pickett K."The Effects Of Aluminum Content in HDG Coating on the wear of RSW Electrodes ",Paper D3 of AWS Sheet Metal Welding Conferenc VI proceedings October 1994.

[16] Kaya Y. "Ultrasonik Kaynak Testi Eğitim Notları" Ford Otosan 2000

[17] Lee A.and Nagel G.L. ,"Basic Phenomena in Resistance Spot Welding" SAE880277 (February ,1988)

[18] Matsuda H. "effects of Aluminum on Spot Weldability of Hot dipped Galvanized and Galvannealed Steel Sheets" Paper 1-5 of AWS Sheet Metal Welding Conference VIII proceeding October 14 1998

[19] Mizui M.,Matsumara O. and Sekine T. "Effects of Residual Stress on Cross Tension Fatigue Strength "Transaction ISIJ,Vol 26,(1986)

[20] Namba.N "Joining of Aliminum Alloys for Automobiles (1)" J.of Japan
Ins.of Light Metals, Vol 41, No.1,1993 pp.46-56

[21] Orts D.H. " Fatigue Strength of Spot Welded Joints in a HSLA Steel"
SAE810355 (February 1981)

[22] Oshima M. and Kitagawa H. "Bucking Assisted Fatigue of Spot Welded
Box Beam Under Bending " SAE860605 (February 1988)

[23] Patrick E.Auhl, J., "Resistance Welding Method " United States Patent No
4,633,054 December 30 (1986).

[24] Patrick E.Auhl ,J., " Understanding the process Mechanismis Key to
Reliable Resistance Spot Welding Auliminum Autobody Components "
SAE840291,pp.2.435-2 448

[25] Sasabe.S,"Resistance Spot Welding of Aliminum Alloys"Welding
Technique Vol 41, No 3 1993 pp 68-74

[26] Wilson R.B. and Fine T.E ." Fatigue Behavior of Spot Welded High
Strength Steel Joints" SAE810354 (February ,1984)

[27] Yener.S "Punta Kaynak Eğitim Notları " Ford Otosan 2000

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Ankara’ da doğan Murat Akyol ilk orta ve lise eğitimini İskenderun’da tamamladı. 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’nde eğitim hakkı kazanarak,1995 yılında mezun oldu.Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Eğitimine başladı.1996-1999 yılları arasında Autodesk Firmasının Türkiye temsilcisi Sayısal Grafik A.Ş. inde Ürün Yöneticisi olarak çalıştı.2000 yılından bu yana

Ford Otosan İstanbul Fabrikası Prototip Bölümünde Kaynak Fikstürü Dizayn mühendisi olarak çalışmaktadır.İyi derecede ingilizce bilen Murat Akyol I DEAS Mechanical Desktop Inventor Auto Plant gibi 3 Boyutlu dizayn programlarını kullanabilmektedir.