İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emel ÜNLÜKAL

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

TEMMUZ 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emel ÜNLÜKAL
(503041304)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Temmuz 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Oktay BODUR
Prof.Dr. Nurullah GÜLTEKİN

TEMMUZ 2007

ÖNSÖZ

Otomotiv sanyii, farklı imalat yöntemlerinin kullanıldığı, yüksek kalite elde etmeyi amaçlayan sanayii dalıdır. Otmotiv gövdesinin imalatında başlıca direnç nokta kaynağı olmak üzere MAG, projeksiyon ve oksiasetilen kaynağı kullanılır.

Otomotiv sektöründe, gövde imalatında en çok kullanılan üretim yöntemi olan direnç nokta kaynak kalitesini kaynak paremetreleri, kaynak makinası, kaynakla birleştirilecek iş parçasının özellikleri ve operatör belirler.

Bu çalışmanın birinci amacı, otomotiv gövdesinin üretiminin en önemli özelliği olan direnç nokta kaynağı tanıtmak, kaynak paremetrelerini ve kaynak kalitesini etkileyen etmenleri incelemektir. Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı tanıtıldıktan sonra, otomotiv sanayindeki uygulamaları ve direnç nokta kaynağını etkileyen etmenler anlatılmıştır. Yapılan deneylerle kaynak paremetrelerinin direnç nokta kaynak kalitesine etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmayı gerçekleştirmem için tüm deneyim ve bilgisini bana sunan başta danışmanım Sayın Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU olmak üzere üniversitedeki teorik bilgilerimi pratikte uygulama fırsatı tanıyan ve her konuda her çalışanından aldığım destek için TOFAŞ-FİAT fabrikasına ve beni her konuda daima destekleyen aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2007 Emel ÜNLÜKAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY

1. GİRİŞ

2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI **4**
2.1 Direnç Nokta Kaynağı 4
2.1.1 Direnç Kaynağı Tarihçesi 5
2.1.2 Avantajları 6
2.1.3 Dezavantajları 6
2.1.4 Uygulama Sahaları 6
2.2 Punta Kaynağı Aşamaları 7
2.3. Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu 8
2.4 Direnç Nokta Kaynağı Paremetreleri 11
2.4.1 Kaynak Akımı 11
2.4.2 Kaynak Kuvveti 12
2.4.3 Kaynak Zamanı 13
2.4.4 Kaynaklanabilirlik 14
2.4.5 Kaynakla Birleştirlecek Metalin Kimyasal Bileşimi 15
2.4.6 Elektrod Uçları 15
2.4.7 Elektrod Ucu Malzemesi 15
2.4.8 Elektrod Geometrisi 17
2.4.9 Kaynak Noktası Sıklığı 18
2.4.10 Elektrod ve İş Parçasının Temas Durumları 18

3 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI **19**
3.1 Otomotiv ve Direnç Nokta Kaynağı 19
3.1.1 Otomotiv İmalatı 19
3.1.2 Otomotiv Gövdesi ve Direnç Nokta Kaynağı 19
3.2 Otomotiv Gövdesinin İmalatı 20
3.3 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Paremetrelerin Belirlenmesi 23
3.3.1. İş Parçasının Geometrik Özellikleri 23
3.3.2 İş Parçasının Fonksiyonel Sınıflandırması 24
3.3.3 Punta Kaynak Sembolleri ve Tanımları 25
3.3.4 Gövde İmalatı Punta Paremetreleri 27
3.4 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Makinaları 30
3.4.1 Direnç Nokta Kaynağı Makinası 30

3.4.2 Direnç Nokta Kaynağı Makinasının Mekanik Özellikleri 44

4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINI ETKİLEYEN ETMENLER VE KAYNAK KALİTESİ 50
4.1 Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Önemi 50
4.2 Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Kontrolü 52
4.2.1 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler 52
4.2.2. Ultrasonik Kontrol 53
4.3 Direnç Nokta Kaynak Hataları 64
4.3.1 Kaynak Hataları 64
4.4 Direnç Nokta Kaynak Hatalarının Sebepleri 66
4.5 Direnç Nokta Kaynak Makinasının Kalitesi – Bakım İşlemleri 68
4.5.1 Geri Dönüşüm ve Elektrod Ömrü 68

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 73
5.1 Kuvvet Çekirdek Çapı İlişkisinin İncelenmesi 73
5.2 Soğutma Sisteminin İncelenmesi 80
5.3 Elektrod Temas Alanı Etkileri 83
5.4 Elektrod Uçlarının Birbirine Göre Eksenlerinin Etkileri 86

6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR 95

KISALTMALAR

MAG	: Metal Aktif Gaz Kaynağı
TSE	: Türk Standarları Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standarlar Organizasyonu
HDG	: Optimal Galvaniz Kaplı Sac
HG	: Optimal Galvanil Kaplı Sac
RSW	: Resistance Spot Welding

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Saç Kalınlığı – Çekirdek Çapı	9
Tablo 2.2	: Elektrod ucu malzemesi ve özellikleri	15
Tablo 3.1	: Argonark5 Gazının Özellikleri	20
Tablo 3.2	: Kaynak Telinin Özellikleri	20
Tablo 3.3	: Kaynak Telinin Özellikleri	20
Tablo 3.4	: Sac Kalınlığı Ve Çekirdek Çapı	25
Tablo 3.5	: Elektrod Ucu Seçim Tablosu	26
Tablo 3.6	: Kaynak Zamanı Seçimi Tablosu	27
Tablo 3.7	: Kuvvet Seçimi Tablosu	27
Tablo 3.8	: Malzemelerin Mekanik Özellikleri	44
Tablo 3.9	: Saç Kaplamasının Özellikleri	44
Tablo 3.10	: Kaplamnın Cinsi Ve Korozyon Direnci	45
Tablo 4.1	: Direnç Nokta Kaynak Hatalarının Sebepleri	64
Tablo 5.1	: Kuvvet – Çekirdek Çapı Deneyi Kaynak Parametreleri	70
Tablo 5.2	: Elektrod Ucu Seçim Tablosu	72
Tablo 5.3	: Çekirdek Çapı Seçim Tablosu	73
Tablo 5.4	: 0,8 + 0,8 Lik Saçla Yapılan Deney	74
Tablo 5.5	: 1 + 1 Lik Saçla Yapılan Deney	75
Tablo 5.6	: 2 + 2 Lik Saçla Yapılan Deney	76
Tablo 5.7	: Soğutma Sistemi İncelenmesi Kaynak Paremetreleri	77
Tablo 5.8	: Kaynak Ucu Ömrü – Soğutma Suyu Debisi	79
Tablo 5.9	: Akım Konsantrasyonu Kaynak Paremetreleri	80
Tablo 5.10	: Akım Odaklanması – Çekirdek Çapı	82
Tablo 5.11	: Elektrod Temas Alanı Etkileri Kaynak Paremetreleri	82
Tablo 5.12	: Elektrod Uçları Eksenleri – Çekirdek Çapları	86
Tablo 5.13	: Akımın Çekirdek Çapına Etkisi Kaynak Paremetreleri	88
Tablo 5.14	: Deney Sonuçları	89

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	:Direnç Nokta Kaynağı..	2
Şekil 2.2	: Direnç Kaynak Prosesinin Aşamaları.	5
Şekil 2.3	: Kaynak Dirençleri	7
Şekil 2.4	: Kaynak Dirençleri...	8
Şekil 2.5	: Elektrod Uç Çeşitleri...	19
Şekil 3.1	: Albea Gövde İmalatı	22
Şekil 3.2	: Standart Kalınlık Oranları	23
Şekil 3.3	: Mesafeler.	23
Şekil 3.4	: Kesit Görünüm.	24
Şekil 3.5	: Çekirdek Çapları..	24
Şekil 3.6	: Ayrılmış Bir Sac'daki Çekirdek Çapları	25
Şekil 3.7	: Eşdeğer Kalınlık	26
Şekil 3.8	: B Tipi	27
Şekil 3.9	: P Tipi	27
Şekil 3.10	: Punta Kaynak Makinasının Bileşenleri....	28
Şekil 3.11	: Pnömatik Kaynak makinesı..	28
Şekil 3.12	: Pnömatik Tabanca	29
Şekil 3.13	: Servo Kaynak makinesı	29
Şekil 3.14	: Askılı Kaynak Makinasının Genel Yapısı	29
Şekil 3.15	: Askılı Kaynak Makinasının Parçaları...	31
Şekil 3.16	: Askılı Kaynak Makinası Taşıyıcı Profil...	32
Şekil 3.17	: Askılı Kaynak Makinasının Alt Detayları	32
Şekil 3.18	: Kaynak Ünitesi.	33
Şekil 3.19	: Kaynak Pense Çeşitleri.	34
Şekil 3.20	: Direnç kaynak makinasının genel yapısı..	35
Şekil 3.21	: Elektrod Soğutma Sistemi	36
Şekil 3.22	: Elektrod Soğutma Sistemi -1	36
Şekil 3.23	: Elektrod Soğutma Sistemi -2	37
Şekil 3.24	: Elektrod Soğutma Sistemi Mesafeler...	37
Şekil 3.25	: Elektrod Soğutma Sistemi Uygunsuz Mesafeler Olması Durumu	38
Şekil 3.26	: Soğumaya Bağlı Elektrod Isısının Değişimi	39
Şekil 3.27	: Stepper..	40
Şekil 3.28	: Difüzyon Katmanı	41
Şekil 3.29	: Bakır-Çinko Faz Diagramı...	42
Şekil 4.1	: Direnç Kaynağı – Etkileyen Etmenler.	48
Şekil 4.2	: Ayırma Testi.	49
Şekil 4.3	: Yuvarlama Metodu...	49

Şekil 4.4 : Keski Testi 49
Şekil 4.5 : Transduser 53
Şekil 4.6 : Transduser 54
Şekil 4.7 : Transduserin Konumlandırılması. 55
Şekil 4.8 : Ultrasonik Sesin Optimizasyonu.. 56
Şekil 4.9 : Echogram Örneği. 56
Şekil 4.10 : Sacın Kaynağı Ve Elde Edilen Echogram Grafiği... 57
Şekil 4.11 : Punta Kalite Sorunları Analiz Formu... 60
Şekil 4.12 : Kaynak Hataları 62
Şekil 4.13 : Frezeleme Ve Tornalama İşlemleri.. 65
Şekil 4.14 : El Frezesi.. 66
Şekil 4.15 : Robot Frezesi 66
Şekil 4.16 : Tornalama İşlemi.. 67
Şekil 4.17 : Geri Dönüşüm Akış Şeması. 68
Şekil 4.18 : Elektrod Yüzey Karşılaştırılması. 69
Şekil 5.1 : Çekirdek Çapının Ölçülmesi 71
Şekil 5.2 : Kuvvet Ölçümü 72
Şekil 5.3 : 0,8 + 0,8 Lik Saçla Yapılan Deney Sonuçları.. 74
Şekil 5.4 : 1 + 1 Lik Saçla Yapılan Deney Sonuçları 75
Şekil 5.5 : 2 + 2 Lik Saçla Yapılan Deney 76
Şekil 5.6 : Soğutma Suyu Debisinin Ölçümü Ve Kontrolü... 78
Şekil 5.7 : 1,5 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç.. 78
Şekil 5.8 : 2 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç. 78
Şekil 5.9 1 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç... 79
Şekil 5.10 : Deneyin Şematik Anlatımı... 80
Şekil 5.11 : B Ve G Tipi Uçlarla Kaynak İşlemi. 81
Şekil 5.12 : Soyma Deneyi.. 81
Şekil 5.13 : Elektrodun Dikliğini Kontrol İşlemi 83
Şekil 5.14 : Kaynak Ucunun Açılı Basması 83
Şekil 5.15 : Testere.. 84
Şekil 5.16 : Grinder (Zımparalama Cihazı). 85
Şekil 5.17 : Elektrod Ucu Aynı Eksende Bastığında Soyma Deneyi... 85
Şekil 5.18 : Elektrod Ucunun Aynı Eksende Basmadığı Durumda Soyma Deneyi.. 86
Şekil 5.19 : Elektrod Ucunun Düzgün Bastığı Durumda Elde Edilen Yapı... 87
Şekil 5.20 : Elektrod Ucunun Açılı Bastığı Durumda Elde Edilen Yapı... 87
Şekil 5.21 : Punta Kaynak Atılması. 88

SEMBOL LİSTESİ

Q	**:** Kaynak ısısı
I	**:** Kaynak akımı
R	**:** Kaynak bölgesi toplam direnci
T	**:** Kaynak akımının geçtiği süre
$\mathbf{R_m}$	**:** Kullanılan malzemelerin direnci
$\mathbf{R_t}$	**:** Temas dirençleri
s	**:** Levha kalınlığı
D	**:** Kaynak çekirdek çapı
$\mathbf{F_e}$	**:** Elektrod kuvveti
a	**:** Kenar mesafesi
b	**:** Kaynak noktası mesafesi
t	**:** Sac kalınlığı
F	**:** Penetrasyon
H	**:** Hata büyüklüğü
d	**:** Saclar arası aralık
r	**:** Çekirdek merkezi ile çentiğin dışı arasındaki mesafe (çentik yarıçapı)
$\mathbf{Q_T}$	**:** Plağı etkileyen bileşke yayılı yük

OTOMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN ARTIRILMASI

ÖZET

“Otomotiv sanayinde kullanılan direnç nokta kaynak kalitesinin artırılması” başlıklı bu çalışmada ilk olarak direnç nokta kaynağı ve paremetreleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı incelenmiştir ve TOFAŞ taki uygulamalardan örenekler verilmiştir. Dördüncü bölümde otomotiv sektöründe direnç nokta kaynak kalitesini etkileyen etmenler incelenmiştir. Beşinci bölümde, Direnç nokta kaynak kalitesini etkileyen etmenlerin incelendiği deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmıştır.

İlk bölümde çalışmayı tanıtıcı bir giriş yapıldıktan sonra, ikinci bölümde direnç nokta kaynağı, paremetreleri, kullanılan makinalar ve malzemeler, kaynak prosesi, uygulama alanları, avantajları ve dezavantajları, kaynak çekirdeğinin oluşumu ve direnç nokta kaynağını etkileyen etmenler anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, otomotiv sanayinde direnç nokta kaynağının kullanımı, paremetreleri, kaynak çekirdeği, etkileyen etmenler kullanılan makinalar ve bu makinaların parçaları anlatılmıştır. Konunun örneklendirilmesi için TOFAŞ’taki uygulamalara yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, otomotiv üretiminde direnç nokta kaynak kalitesini etkileyen etmenler incelenmiştir. Direnç nokta kaynak kalitesinin önemi, etkileyen etmenler, kaynak kalite kontrolünde kullanılan tahribatlı ve tahribatsız metodlar, kaynak hataları, bu hataların sebepleri ele alınmıştır. Ayrıca, kaynak makinalarının bakım işlemleri anlatılmıştır. Konunun daha iyi açıklanması için TOFAŞ taki kalite kontrol işlemleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde,direnç nokta kaynak kalitesini etkileyen etmenleri belirlemek için yapılan deneysel çalışmalar ve bu deneylerin sonuçları anlatılmıştır.

Sonuç kısmında tüm bu bölümlerin değerlendirilmesi yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

INCREASING RESISTANCE SPOT WELDING QUALITY IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

In this study titled "Increasıng Resıstance Spot Weldıng Qualıty In Automotıve Industry", after a brief introduction, resistance spot welding, welding equipment, welding paremeters, materials and tests that are used to measure weld quality are explained. In the third part, resitance spot welding in automotive industry is explained and applications in TOFAŞ are given. In the forth part, paremeters that effect resistance spot welding are given. After these parts, experiments that are made to observe effects of resistance spot welding quality are explained. In the last chapter, results are discussed.

After the work is introduced briefly in the first chapter, resistance spot welding (RSW), equipments used for welding, paremeters, materials, welding process, applications, advantages and disadvantages, weld nugget and effects on the resitance spot welding are explained.

In the third part, resistance spot welding applications in automotive industry, paremeters, weld nugget, effects, equipments and members of eqipments are given. To make the subject more clear, applicatioons in TOFAŞ are explained.

In the forth part, effects of RSW quality are discussed. Importance of RSW quality, effects of RSW quality, control tests that are destructive and undestructive, weld defects and reasons of defects are explained. Beside, maintanence works of weld equipments are introduced. Examples from TOFAŞ are given.

In the fifth part, effects of RSW process, experimental studies and their results are explained.

In the last chapter, concerns of RSW and the results of implementations of RSW are discussed.

1.GİRİŞ

Otomotiv sanayinde öncelikli beklenti yüksek kalitedir. Birçok sanyii koluyla beraber çalışan otomotiv sanayinde, yüksek teknolojinin kullanıldığı üretim sistemleri, daha kaliteli daha az maliyetli araçlar üretmek için büyük yatırımlarla kurulmaktadır. Aracın tasarım, prototip, önseri ve seri üretim çalışmalarında yüzlerce mühendis daha yüksek kalite için çalışmaktadır.

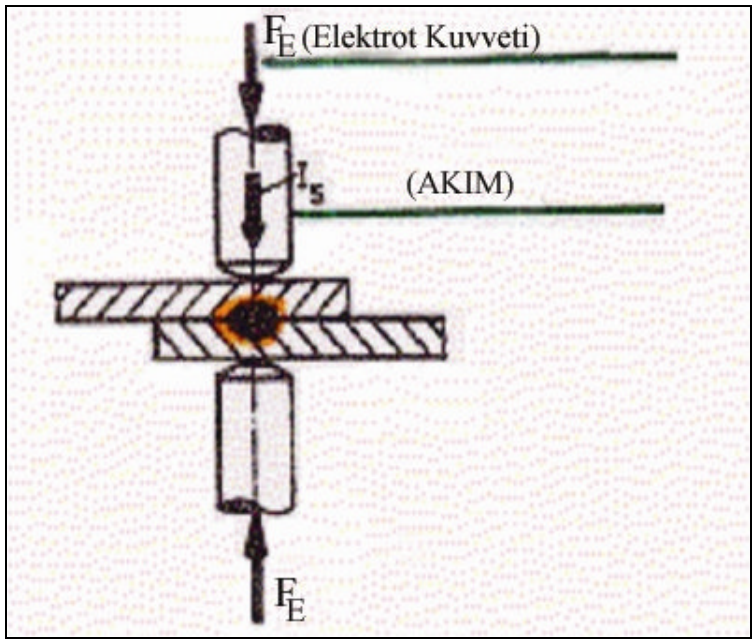
Araç gövdesinin üretilmesi için yüzlerce farklı panel ve parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem yapılmaktadır. Araç dayanımı açısından en önmeli özellikler malzeme ve kaynaktır. Otomotiv gövdesinin üretilmesinde en çok kullanılan kaynak metodu direnç nokta kaynak olmakla beraber MAG , projeksiyon ve oksiasetilen kaynağı kullanılır. Diğer kaynak yöntemerine göre araç gövdesinin oluşturulmasında %85 oranında direnç nokta kaynağı kullanılır.

Direnç nokta kaynağı, ısı tesir altında kalan bölgenin küçük olması, hızlı yapılabilirlik, malzeme ve güvenirlik, gözle muayene edilebilme, kaynak makinasının otomasyonu, iş parçalarına elektrodların kolay erişebilirliği sebebiyle tercih edilmektedir. Otomotiv gövdesinin dayanımı, kalitesi ve güvenirliğini belirlemesi sebebiyle direnç nokta kaynağı ve kalitesinin artırılması tez konusu olarak seçilmiştir.

2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

2.1 Direnç Nokta Kaynağı

Elektrik direnç kaynağı bir elektromekanik birleştirme işlemidir [2].
Direnç kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği elektrik direncinden elde edilen ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen kaynak yöntemidir [1].



Şekil 2.1 : Direnç Nokta Kaynağı

Isı, birleşme bölgesinde Joule kanuna göre oluşur.

$$Q = K. I^2 . R. T \qquad \textbf{(2.1)}$$

Q üretilen ısı, K sabit, I kaynak akımı ve R kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı ve T kaynak akımının devrede kalma zamanıdır. Üretilen ısının bir kısmı iletim ve ışınım yoluyla kaybolur. Direncin değeri düşük olduğu için gerekli kaynak ısısını üretebilmek için yüksek şiddette akımlara ihtiyaç vardır. Gerekli akım, yüksek akım ve düşük gerilim transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti aynı zamanda akımıda ileten elektrodlar vasıtasıyla iletilir. Kuvvet, pnömatik veya mekanik düzenleyiciler vasıtasıyla sağlanır [1].

Direnç kaynağı üç temel guruba 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

Direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesi gerektirir. Akım kapalı devre boyunca akar. Akımın sürekliliği, kullanılan yönteme uygun olarak şekillendirilmiş elektrodların uyguladığı basma kuvveti sayesinde gerçekleşir [1].

Kaynak sırasındaki işlemler en genel halde şöyle ifade edilir. Önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bu metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına olanak sağlamaktır. İş parçasının ısıtma 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].

2.1.1 Direnç Kaynağı Tarihçesi

1877'de Elihu Thomson tarafından keşfedilen direnç kaynağı, 1898'de düşük karbonlu çeliklerde direnç nokta kaynağı olarak uygulandı. 1960'larda otomotiv üreticileri galvanizli çeliğe direnç nokta kaynağını uygulamaya başladı [1].

2.1.2 Avantajları

Saç metal guruplarının yüksek sayıdaki üretimlerinde otomasyona adapte edilebilirliği ve yüksek hız başlıca avantajlarıdır. Kaynama ve ısı tesiri altındaki bölgenin küçüklüğü, malzemenin özelliklerinin bozulmaması direnç nokta kaynağının sunduğu önemli kazançlardır. Ayrıca sağlam ve birbirinin aynı özellikleri taşıyan bağlantılar oluşturulur. Montaj hattında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilir. Kaynak oluşumunun kontrol edilebilirliği, yarı otomotik makina kullanımının ekeonomik oluşu, akım, zamanlama ve elektrod kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek üretim hızlarında kaliteli kaynak üretilebilirliği diğer avantajlarıdır [2]

2.1.3 Dezavantajları

Kontrol altında tutulması gereken kaynak paremetreleri çok fazladır. Yüksek güç tüketimi gerektirir. Özellikle tek fazlı makinalarda güç tüketimi yüksektir [3].

Bağlantılar minimum distorsiyonla oluştulur [5].

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

Ekipman açısından bazı dezavantajları vardır; ilk ekipman kurulumunun maliyeti, akım için sökme ve tamirin zor olmasıdır [2].

2.1.4 Uygulama Sahaları

Nokta kaynağı, yaklaşık 3 mm kalınlığa kadar olan levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde çok geniş bir şekilde kullanılır. Genellikle aynı birleşimde ve aynı kalınlıktaki saçların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber ikiden daha fazla metal levhanın birleştirilmesi, kalınlıkları ve birleşimleri farklı metallerin başka bir metal ile kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılır. Gaz veya su sızdırmazlığı istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan meydana gelen birleşik parçalar yüksek bir üretim hızıyla en ekonomik şekilde nokta kaynağı vasıtasıyla birleştirilebilirler [1].

Bazen 6 mm kalınlığa kadar çelik saçların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Daha çok otomobil, kabin mobilya ve benzeri ürünlerin düşük karbonlu çelik saç parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Ticari olarak paslanmaz çelik ve çelik saç parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Konteynerler özellikle nokta kaynağı ile üretilmektedir. Barketlerin, tamponların veya kliplerin sandık, kapak, taban veya tabla gibi şekillendirilmiş saç metal parçalara bağlanması nokta kaynağının diğer uygulama alanlarıdır [2].

2.2 Punta Kaynağı Aşamaları

Punta kaynağı sırasında,

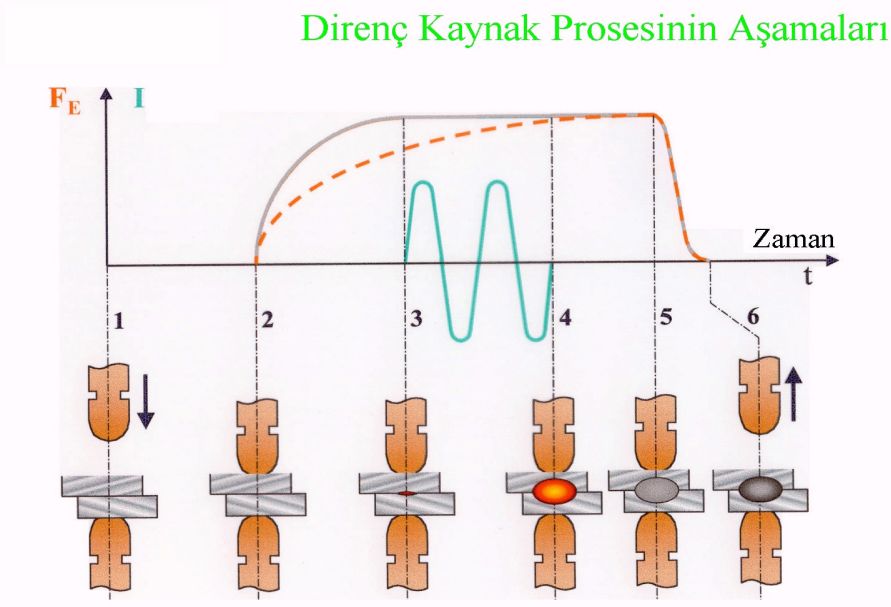
1. aşama pensenin ağzının kapanıp saca temas ettiği süreyi kapsayan ilk yaklaşma dır.

2. aşama olan baskı ise ağzı kapalı konuma gelen pensenin ayarlanan baskı kuvvetine ulaşmak için geçen süreyi kapsar.

3. Aşama rampa ayarlanan kaynak akımının kademeli olarak artarak istenen değere ulaşmasıdır. Rampanın amacı sacları yavaş yavaş ısıtarak (tavlıyarak) saclar arasındaki boşluğun kapanmasını sağlamaktır.

4. aşama kaynak yeterli baskı kuvvetine ulaşan ve rampa ile ısıtılan saca kaynak akımının verilerek kısmi olarak metal sacın eritilip sıvı hale geçişini kapsar.

5. aşama soğuma pensenin ağzı kapalı ve baskı konumundayken erimiş metalin soğuyarak katı hale geçmesini kapsar.Son aşama açma ise kaynak işleminin sona ermesini takiben pensenin ağzını açıp bir sonraki kaynak için hazır konuma geçme evresidir.

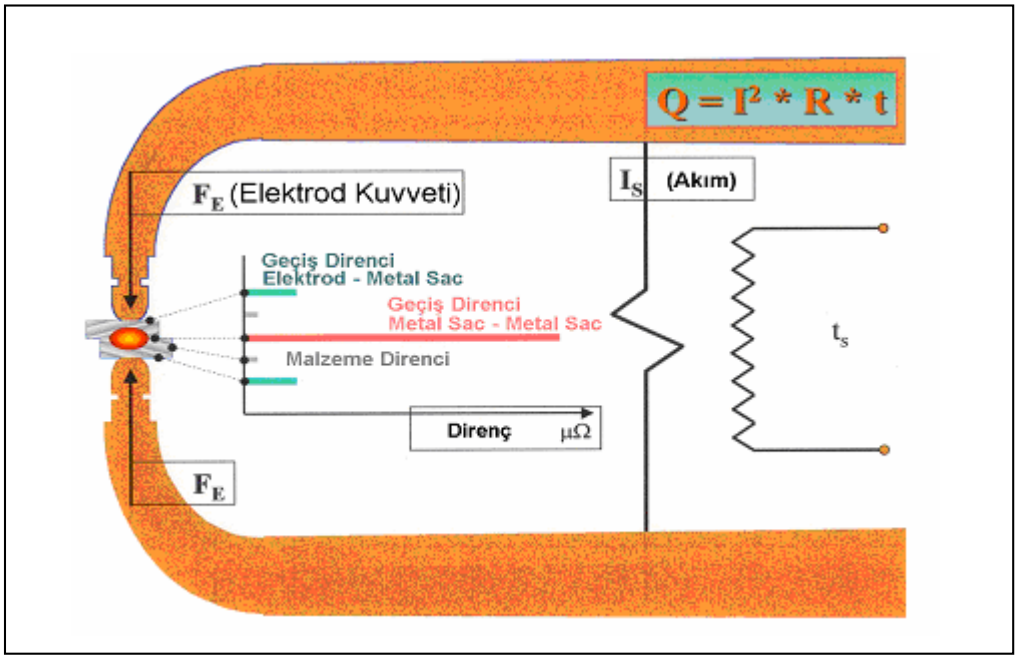


Şekil 2.2: Direnç Kaynak Prosesinin Aşamaları

Elektrod uçları temas ettikten sonra akımın uygulandığı ve kaynağın oluştuğu süreye "kaynak zamanı" denir. Tutma süresi, akımın uygulanmadan iş parçasının kuvvetin etkisinde kaldığı süredir [5].

2.3. Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu

Kaynak çekirdeğinin oluşumundaki temel prensip joule yasasıdır. Bu ifadede verilen R, kaynak akımının bir elektroddan diğerine geçerken karşılaştığı elektrik dirençlerinin toplamıdır. Bu dirençler, (1) elektrod direnci, (2) elektrod-levha arası temas direnci, (3) levha direnci, (4) levhalar arası temas direncidir.



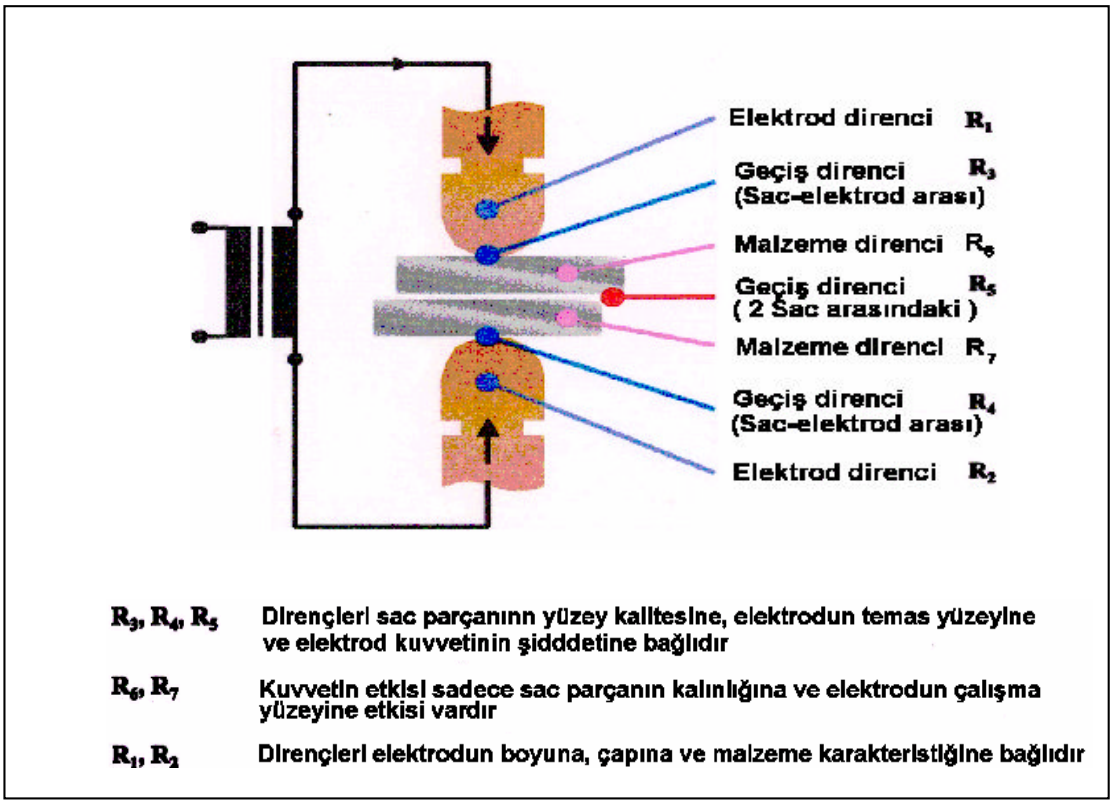
Şekil 2.3: Kaynak Dirençleri

Uygulanan akıma karşı sistemde oluşan dirençler temel olarak iki çeşittir;

Kullanılan malzemelerin dirençleri (Rm)

Temas dirençleri (Rt = Rd + Rf)

Malzeme dirençleri (Rm), kaynak yapılacak malzemenin özellikleri, elektrod çapı, levha kalınlığı gibi etkenlerle akım yoğunluğuna, sıcaklığa ve elektrodların öz direncine bağlıdır. Alaşım elemanları, metalin öz direncini saf haline oranla oldukça artırır. Ancak, 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 [4].



Şekil 2.4: Kaynak Dirençleri

Gerçekte, levhaların temas çapı elektrod çapına eşit olmamakla birlikte, toplam malzeme direnci aşağdaki formül ile verilir.

$$2Rm = \frac{8sp}{\pi db} \qquad \textbf{(2.2)}$$

s : levhanın kalınlığı (mm)

ρ : malzemenin özgül direnci (mm2. ohm / m)

d : elektrod çapı (mm)

b : kesik koninin taban çapı (mm)

Isı, üst elektrod, iş parçası ve alt elektrodun oluşturduğu bölgelerin direnciyle orantılı olarak üretilir. Bu dirençlerin en büyüğü, levhalar arası temas direnci olduğundan, başlangıçta en fazla ısı burda üretilir. Bu bölgede, sıcaklığın yükselmesi bölgenin iç direncini de artırdığından, ısı üretim hızı diğer bölgelere oranla daha yüksek olur.

Bu sebepten, erime ilk defa levhalar arası temas yüzeyinde başlar ve levha içine doğru gelişir. Kullanılan elektrodların yüksek ısı iletkenliğine ve düşük elektrik

direncine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle, elektrodlarla levhalar arasındaki temas yerinde erime oluşmaz [5].

Sonuç olarak, kaynak çekirdeklerinin, kaynağın yapıldığı sacın kalınlığına bağlı olarak boyutları değişmektedir. Aşağdaki tabloda değişik saç kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları verilmektedir [2].

Tablo 2.1 : Saç Kalınlığı – Çekirdek Çapı

Saç Kalınlığı	**Minimum Çekirdek Çapı**	**Optimum Çekirdek Çapı**
0,7	3,5	4,6
0,8	3,8	4,9
0,9	4,0	5,2
1,0	4,2	5,5
1,2	4,6	6,0
1,5	5,2	6,7
1,8	5,7	7,4

2.4 Direnç Nokta Kaynağı Paremetreleri

Direnç kaynağını daha çok akım, kuvvet ve zaman etkiler. Düşük karbonlu saçlar, bu etkenlerin çok farklı değerlerinde başarıyla kaynatılabilirken, galvanizli saçlar için bu geçerli değildir. Kabul edilebilir paremetreler, kaynak kitaplarında verilir [3].

2.4.1 Kaynak Akımı

Transformatör sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan esnek bantlar, kollar, elektrodlar ve iş parçasından oluşan sekonder devreden akar. Isı, devrenin her kısmında

$$Q = I^2 . R . T \qquad \textbf{(2.3)}$$

formülüyle iletilir.

Q ısı enerjisi (Watt-sn veya Joule), I akım (A), R direnç (Ohm) ve T (sn) akımın geçtiği süredir. Isının bir bölümü elektrodlardan ve iş parçalarından iletim, taşınım ve ışınım yoluyla kaybolur [2].

Akım yoğunluğu için erimenin oluşmadığı bir alt sınır mevcuttur. Elektrotta, çevreleyen havada ve elektrodlar arasında iletim boyunca kaybolan ısıyı karşılamak üzere yeterli ısı üretilmelidir [2].

Kaynak akımı için bir de üst sınır mevcuttur. Kaynak akımı çok yüksekse, elektrodlar arasındaki metalin tamamı, kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşmasıyla, plastik bölgeye kadar ısınmış olur, böylece elektrodlar derinlemesine metale gömülmüş olur. Elektrodların dış yüzeyleri aşırı ısınabilr veya yanabilir. Bu üst sınırın üstündeki değerlerde, kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar aarsında ve bölge dışına doğru fışkırır. Elektrod-saç temas yüzeylerinde erime meydana gelir ve elektrodlar levhalara yapışarak tahrip olur. Sonuçta, kaynak kalitesi düşer [2].

Kaynak akımı dikkatlice seçilmelidir. Eğer kaynak akımı yetersizse, ısı birikmeden önce kaybolacak, yeterli füzyon gerçekleşmeyecektir. Düşük akım seviyeleri, minimum çekirdek çapından küçük, kırılgan kaynak oluşumna neden olur [3].

Eğer kaynak akımı çok yüksekse, saç kalınlığı boyunca ısınarak plastik bölgeye geçer, Eriyik metal aşırı kıvılcım çıkmasına neden olur [2].

2.4.2 Kaynak Kuvveti

Kaynak kuvveti veya elektrod kuvveti, kaynak çevrimi boyunca elektrodlar tarafından iş parçalarına uygulanan kuvvettir. Kaynakla birleştirilecek iş parçaları, kaynak noktasında akımın geçişini sağlayacak şekilde sıkıca tutulmalıdır.

Elektrod kuvveti, kaynak işleminin üç safhasında da önemli rol oynar. Basma safhasında, elektrod kuvveti, levhalar arasındaki elektrod direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-levha direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Ayrıca, levhaların, elektrodlar altında belli bir alanda temas etmesi sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belli etmektedir. Elektrod kuvveti, kaynak safhasında levhalar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, eriyik metalin fışkırmasını engeller.

Elektrod kuvvetinin artması, iş metalinin temas direncini azaltacağı ve böylece kaynak akımı tarafından iş parçalarının kaynak bölgesindeki yüzeyleri arasındaki

toplam ısıyı düşüreceği için, elektrod kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Ayrıca, çok yüksek elektrod kuvveti levhalarda istenmeyen distorsiyonlara sebep olur [2].

Yüksek basınç ve daha yüksek elektrod çapı yüksek akım kullanmayı gerektirir.

Kuvvet, kaynağın ısınmasında çok önemli bir rol oynar. Kuvvet, saçlar arası teması sağlayacak kadar yüksek olmalıdır ve belirlenen akım miktarıyla uyumlu olacak kadar düşük olmalıdır. Saçların temas dirençleri ve kaynak kuvveti arasında denge olmalıdır. Daha yüksek elektrod kuvvetleri, temas direncini düşürür [3].

Hirsch ve Leibovitz, elektrod kuvveti düşük olduğunda olabilecekleri belirlemişlerdir. Eğer saçlar temas etmeden kaynak atılmaya başlanırsa, ısınma normalin üstüne çıkar, erime elektrod-saç arasında ergime olabilir, ve çekirdek optimize olmaz. Çalışmalar, düşük kuvvetin, kaynak dayanımını %21 oranında ve çekirdek çapının %90 oranında azalmasına sebep olur [3].

Elektrod kuvvetinin çok yüksek olması durumunda, temas direnci düşer, çekirdek oluşumu daha çok zaman alır, ısı düşer ve daha yüksek akım kullanılması gerekir. Yüksek elektrod kuvvetleri, elektrod aşınmasını da etkiler. Yüksek kuvvet uygulanması, düşük çekirdek çapı oluşmasına yol açar. Kaynak işlemi sırasında yüksek kıvılcım çıkmasına sebep olur [3].

2.4.3 Kaynak Zamanı

Kaynak zamanının alt ve üst limitleri vardır. Uzun kaynak zamanları, o kadar düşük akımda çalışmayı gerektirir ki füzyon gerçekleşmez. Kısa kaynak zamanları, yüksek kaynak akımı gerektirir [3].

Q = I2. R. T toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi bir parçasında oluşan ısının hem kaynak süresi hemde kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının gelişmesi için gereken süre, akım ne kadar yükseltilirse yükseltilsin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir [2].

Kısa kaynak süresi ve yüksek akım şiddeti, veya uzun kaynak süresi düşük akım şiddeti kullanarak aynı nokta çapını elde etmek mümkündür.

Kaynak zamanı azaldıkça, ısı kayıpları da azaldığı için işlemin ısıl verimi artar. İşlem hızlı olduğu için, sadece kaynak bölgesinde erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış

yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Sonuçta, elektrod uçları da bozulmaz.

Uzun süreli kaynakta, sacın dış yüzeyi de ısındığı için elektrod içine gömülür ve derin izler bırakır.

Kısa süreli kaynak, ısı sınırlı bölgede yoğunlaştığı için, özel şekilli parçaların kaynağında ve alüminyum gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında kullanılır.

Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Kaynak süresinin uzun olması düşük soğuma hızına yol açar.

Elektrodlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar için uzun süreli kaynak gerekir [2].

2.4.4 Kaynaklanabilirlik

Kaynakla birleştirilmesi kolay olan, elektrod aşınmasını azaltacak yönde davranış gösteren, kabul edilebilr kaynak çekirdeği oluşturabilen malzemeler "kaynaklanabilir" olarak tanımlanır.

İş parçasının iki davranışı kaynaklanabilirliği belirler:

- Malzeme bileşenleri
- Yüzey durumu

Kaynak sonrası daha iyi sonuçlar almak için sac yüzeyinin oksitlenmemiş ve temiz olması, boyalı veya yağlı olmaması gerekir. Bu etkenler kimyasal veya mekanik temizlemeyle optimize edilebilir.

İş parçasının yüzeyindeki kalın yağ tabakaları, kaynak içinde inklüzyona sebep olabilir. Yüzeydeki oksitlerde kaynağın içine girerek inklüzyonlara sebep olabilir. İnce, homojen oksit tabakaları kolay kaynak yapılabilir, daha kalın tabakalar proseste değişkenliklere yol açarlar. Paslı saçlara asla kaynak işlemi uygulanmamalıdır.

Bazı durumlarda, kaynak sonrası oluşan görüntüde kaynaklanabilirliği belirleyen etmenlerden biri olabilir. Gözle görülebilen küçük hatalar, yanık kaynak görünümü otomotiv panelleri gibi iş parçalarında sorun oluşturur.

Kaynakla birleştirilecek iş parçasının hızlı soğuması, sert ve kırılgan martenzit oluşmasına sebep olabilir. Kaynak çekirdeğinin yırtılmasına sebep olabilir. Çelik

saçların içerdiği kaynak miktarı, kaynaklanabilirliği belirler. Karbon miktarının artması, sacın dayanımı artırırken, martenzit oluşması riskini de artırır.

Yüksek karbon çelikleri genel olarak spot kaynakla birleştirilmez. Uygun kaynak koşulları oluşturulduğunda, düşük karbonlu çelikler kaynak çekirdeğinin içinde perlit oluşturabilirler [3].

2.4.5 Kaynakla Birleştirlecek Metalin Kimyasal Bileşimi

Çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerinde karbon içeriğinin çok önemi vardır. Kaynak sertliği karbon içeriğindeki ufak artışlarla hızlı şekilde artar. Bu yüksek sertlik, çekirdek içi yırtılmalara ve çekirdek bozulmasına sebep olabilir. Kabul edilebilir kaynak kalitesi için, karbon miktarı s (mm) levha kalınlığı olmak üzere, 0,10 % + 0,12 s in altında tutulmalıdır. Bu değerin üstündeki malzemeler için kaynak sonrası temperleme gerekli olabilir.

Metalin bileşimindeki diğer maddelerin kaynak kabiliyetine etkisi vardır. Fosfor ve kükürt genellikle çekirdek ara yüzeyinde yırtılmayı ilerletici rol oynamaktadır. Titanyum içeriğinin artması çoğunlukla çekirdek çapını, çekme-makaslama dayanımını ve kaynak akımı sınırını düşürmektedir. Azot, ara yüzeysel hasara neden olmaktadır [2].

2.4.6 Elektrod Uçları

Yapılan kaynak işlemini düşündüğümüzde sacları birbirine puntalarken pensenin tüm ekipmanları arasında sadece elektrod ucu saca temas etmektedir. Bu yüzden punta kaynak işleminde doğru elektrod kullanımı, yapılan puntanın istenen kalitede olması için en önemli etkenlerden biridir.

2.4.7 Elektrod Ucu Malzemesi

Elektrodlar ısıl, elektrik iletkenliği ve sürünme direnci yüksek olan malzemelerden yapılır. Elektrod malzemesinin tavlanma sıcaklığı ve sertliği yüksek olmalıdır. Sıcaklıkla dayanım ve iletkenlik özellikleri bozulmamalıdır.

Elektrodlar A,B ve C olarak gruplandırılır. A gurubu bakır esaslıdır ve üç ana sınıfa ayrılır. Grup A, Klas 1 elektrodlar sıcak işlem uygulamaya uygun olmayan ve soğuk şekillendirmeyle dayanımı arttırılan elektrodlardır. Bu durum elektrodun iletkenliğini etkilemez. Saf bakıra göre daha yüksek sıcaklık dayanımına sahiptirler. CuCd ve CuZr içerir.

Grup A, Klas 2 elektrodlar daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Ancak Klas 1'e göre daha düşük iletkenlik özellikleri vardır. Mekanik özelliklerini ısıl işlemle veya sıcak ve soğuk işlemin beraber uygulanmasıyla kazanırlar. Klas 2 en çok kullanılan elektrod malzemesidir.

Klas 2 komposizyonu Cu-% 0,8 Cr, Cu-%0,15 Zr ve Cu-%0,7 Cr-%0,1 Zr alaşımlarıdır. CuCr elektrodları ısıl işlem görmüş saf bakırın %80'i oranında iletkenliğe sahiptir. CuZr elektrodları, CuCr elektrodlarına göre daha yumuşaktır. Ancak saf bakırın %93'ü oranında iletkenliğe sahiptir. CuCrZr elektrodları CuCr elektrodlarından daha yüksek dayanıma ve yaklaşık aynı değerde iletkenliğe sahiptir.

Grup A, Klas 3 elektrodları yüksek ısıl işlem sıcaklıkları ve aşınma dayanımına sahiptirler. Bu malzeme daha sert olmasına karşın daha düşük iletkenliğe sahiptir. Saf bakıra göre %50 oranında iletkendir [3].

Grup B elektrodları Cu-W veya saf W gibi refraktör malzemelerden yapılırlar. Bu gurubun alt sınıfları 10-14 arasında numaralandırılmıştır. Çok yüksek sıcaklık ve basınç uygulanacağı zaman tercih edilirler. İletkelnlik değerleri Grup A dan daha azdır [3].

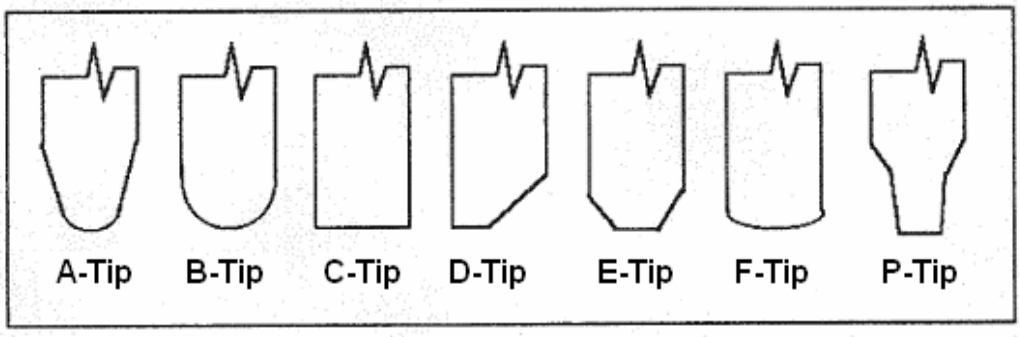
Grup C özel alaşımlar içerir. Grup C, Klas 20 elektrodları dispersiyon sertleştirilmesi yapılan bakır (DSC) elektrodları, genellikle Al2O3 içeren bakır matriks en çok kullanılanlardır. Daha iletken olması için DSC elektrodları Ti2B partikülleri içerir. DSC elektrodları yüksek sertlik, yüksek sıcaklık dayanımına sahiptirler, ancak daha düşük iletkenliktedirler. Toz metelurjisi ve soğuk işlemle üretilirler [3].

Tablo 2.2 : Elektrod Ucu Malzemesi Ve Özellikleri

Grup	Klas	Bileşenler	Mekanik Özellikler			Uygulama
			HRB	Elektrik İletkenliği (%IACS)	Mukavemet (ksi)	
A	1	% 1 Cd	50-65	80	(+) 40-60	Düşük karbon çelikleri
	2	% 0,8 Cr	65-75	70-75	(+) 45-65	Düşük karbon çelikleri
	3	% 0,5 Be % 1 Ni	90	45	(+) 85-100	Düşük karbon çeliklerinin kalın kesimleri
B	10	Cu-W refraktör metalleri	72	35	(-) 135	Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve düşük soğutma proseslerinde kullanılır.
	11		94	28	(-) 160	
	12		98	27	(-) 170	
	13	Alaşımsız W	69 HRA	30	(-) 200	
	14	Alaşımsız Mo	85	30	-	
C	20	% 0,5 - 1,1 Al2O3	-	78	-	Galvanizli çelik saç

2.4.8 Elektrod Geometrisi

Aşağdaki şekil, standardt elektrod ucunu göstermektedir. Yapılacak işleme göre uygun uç seçilmelidir. Örneğin, eğer kaynak yapılacak parça düzgün oturuyorsa E tipi elektrod tercih edilir. B tipi elktrodlar parça düzgün oturmuyorsa ve kaynak işlemi sırasında uygulanan kuvvetin parçaya zarar vermesi istenmiyorsa B tipi uç tercih edilir.



Şekil 2.5 : Elektrod Uç Çeşitleri

Elektrod yüzeyinin çapı çok önemlidir. Eğer yüzey çok küçükse yüksek akım yüksek sıcaklığa yol açar. Eğer yüzey çok büyük olursa, birim yüzeye düşen basınç azalır. Yapılan çalışmalar, 2,3 mm'den ince saçlar için elektrod ucunun istenen çekirdek çapından %5 büyük olması gerektiğini göstermiştir [3].

2.4.9 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 "kısa devre" olarak ta adlandırılan kaynak atlaması oluşur. İkinci kaynağa ait akımın bir kısmı, birinci kaynağa atlar. Akımın bölünmesi, ikinci kaynağın kalitesini düşürür ve çekirdek çapı küçük kalır.

Bu durumdan kaçınmak için dn çekirdek çapı olmak üzere, çekirdek çapları arasındaki uzaklık 3dn' den büyük olmalıdır.

Elektrod uçları arasındaki metalin sıcaklığı artınca o noktadaki direnç artar ve "kısa devre" etkisi oluşturur. Yüksek elektrik direncine sahip metaller düşük dirençli metallere oranla bu durumdan daha az etkilenirler [2].

2.4.10 Elektrod ve İş Parçasının Temas Durumları

Kaynak kalitesini etkileyen bir etmende, elektrodların ve iş metallerinin temas durumudur. Elektrodlar iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine parelel olmalıdır. Birbirine parelel olan alt ve üst elektrodun aynı eksende olması gerekmektedir. Birbirine parelel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrodlarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir [2].

3 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI

3.1 Otomotiv ve Direnç Nokta Kaynağı

3.1.1 Otomotiv İmalatı

Gövde

(Araç üretimi metal parçaların birleştirilmesi ile ana gövdenin oluşturulması)



Boya

(Metalik gövdenin boyanması)



Montaj

(Plastik, metalik, elektrik donanımı, motor, şanzuman.. vs. parçaların gövdeye montajı)

3.1.2 Otomotiv Gövdesi ve Direnç Nokta Kaynağı

Otomotiv parçalarında kaynak bağlantılarında beklenen özellikler kısaca;

1. Yapısal karakteristlikler
    a) Mekanik dayanım
    b) Yorulma dayanımı
    c) Eğme, burulma ya da her ikisinde rijitlik
2. Korozyon dayanımı
3. Sızdırmaz karakteristlikler
4. Estetik özellikler

Otomotiv sanayinde yüksek imalat sayıları, bir gövdeyi oluşturmak birleştirilmesi gereken parça sayılarının çokluğu otomosyonu gerektirmiştir. Otomobil gövde elemanlarında, çok noktalı kaynak makinalarıyla aynı anda ya da robot teknolojisi ile kısa zamanda yüzlerce nokta kaynağı yapılmaktadır [2].

3.2 Otomotiv Gövdesinin İmalatı

Otomotiv gövdesinin imalatında direnç nokta kaynağı uygulamalarına örnek vermek amacıyla TOFAŞ-FİAT fabrikasında üretilen modellerden örnekler verilecektir.

Gövde imalatı alt grupların oluşturulması ve bunların birleştirilmesine dayanır.

Gövde alt gruplar

1 – Burun imalatı

2 – Taban imalatı

- Şasi kolları
- Arka taban
- Orta taban

3 – Yan çerceve imalatı

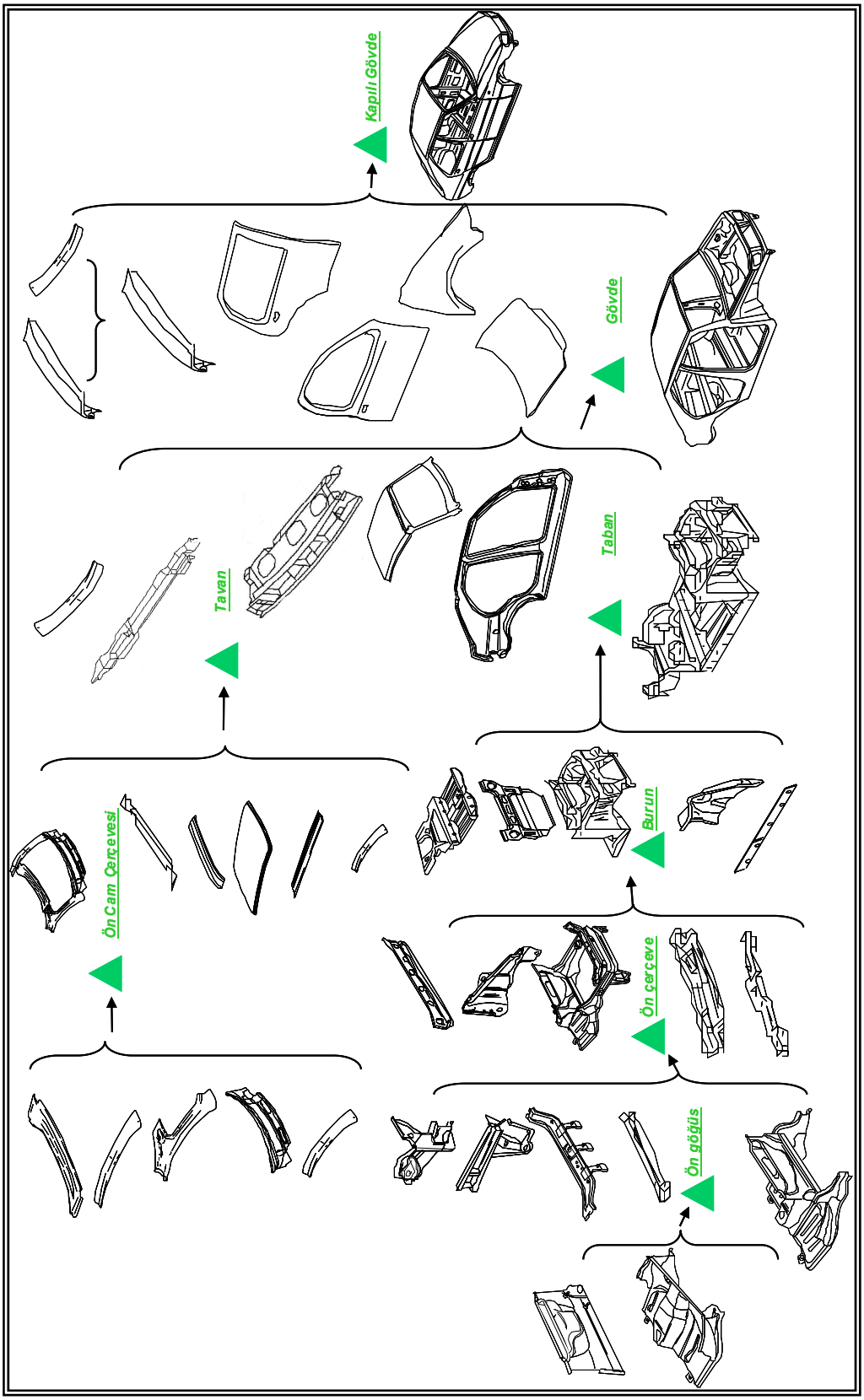
4 – Hareketli parçalar (kapılar, motor kaputu, bagaj kapağı) toplama hattı

5 – Gövde toplama (oluşturulan alt grupları birleştirme)

Aşağıdaki şekilde verilen Albea modelin imalatında kullanılan saç parçaların kaynak prosesleri sonrası oluşturulan alt grupları ve bu grupların birleştirilmesi ile oluşan metal gövde görülmektedir.

Albea marka otomobilin gövde imalatı için yapılan toplam punta kaynak sayısı 4000 dir. Gövdenin oluşturulması için farklı kalınlıktaki saçlar (0,8 – 1 – 1,2 – 2 mm) birleştirilir.

En çok kullanılan kaynak metodu punta kaynak olmakla beraber MAG , projeksiyon ve oksiasetilen kaynağı kullanılır.



Şekil 3.1 : Albea Gövde İmalatı

3.2.1 Otomotiv Gövdesi ve MAG Kaynağı

MAG (Metal Aktiv Gaz) kaynağı bağlantı çizgisinde esas metal ile elektrod ucu arasında bir ark oluşturularak yapılan kaynak şeklidir. Bu kaynakta elektrod sabit bir hızda bir motor tarafından beslenir. Elektrod besleme hızı, akım şiddetini belirler. Ark uzunluğu, güç ünitesi tarafından kontrol edilir. Ark bölgesi ve kaynak metali, kaynak yapılan metale uygun şekilde seçilmiş bir gaz tarafından korunur. Otomotiv sektöründe Argonark5 gazı kullanılır.

Tablo 3.1 : Argonark5 Gazının Özellikleri

Özellik	**Argonark5**
Yoğunluk (Gas, 15^0C , 1 atm)	1,66 kg / m^3
Gazın özgül ağırlığı	1,38

Albea model araçlarda kaynak teli olarak SG 2 kullanılıyor. Kaynak telinin özellikleri ise;

Tablo 3.2 : Kaynak Telinin Özellikleri

Kimyasal Bileşimi	
Karbon	0,08
Silisyum	0,85
Mangan	1,45

Tablo 3.3 : Kaynak Telinin Özellikleri

Mekanik Özellikleri	
Akma Dayanımı (N / mm^2)	Min. 420
Çekme Dayanımı (N / mm^2)	540-640
Darbe Dayanımı (ISO-V / - 30^0)	Min. 47 J
Uzama (L_0 = 5 do) (%)	Min.22

3.2.2 Otomotiv Gövdesi ve Oksiasetilen Kaynağı

Sadece kaynak malzemesinin (non-ferritik alaşımlar) eritilip, birleştirilecek parçaların ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta, arada metalurjik bir bağ kurularak birleştirilmesi prosesidir. Aradaki bağ ergiyen kaynak metalinin birleştirilecek parçaların üst üste gelen bölgelerindeki boşluklara kapiler sızıntısı şeklinde oluşmaktadır. Otomobil üretiminde oksiasetilen kaynağı, parçaları birleştirmek için değil, macun uygulamasının yapılamadığı bölgelerde araca su ve toz girişini önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Uygulama sırasında sac üzerindeki kaplamaya zarar verdiği için kullanımı tercih edilmemektedir.

3.2.3 Otomotiv Gövdesi ve Projeksiyon Kaynağı

Bu kaynak türünde, ergiyecek metal bölgeleri parçanın dizaynı sırasında, bu bölgelerde oluşturulan bir kaç bölgedeki çıkıntı ile belirlenir. Birleştirilecek parçaların tek temas ettiği bölge bu çıkıntılar olup kaynak sırasında bu kısımlar üzerinden elektrik akımı geçişi olur ve ergime gerçekleşerek parçaların birbirine birleşmesi sağlanır. Otomobil gövdesi imalatında bu kaynak çeşidi, daha çok somunların sac üzerine kaynatılması veya amacı ile kullanılmaktadır. Bu kaynak çeşidinde en ince 0.5mm sac üzerine kaynak yapılabilmekte ve kaynak basıncının uniform dağılımının sağlanması için en az üç adet çıkıntı olması gerekmektedir.

3.3 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Paremetrelerin Belirlenmesi

Bu bölümde, otomotiv sektöründe kullanılan direnç nokta kaynağı paremetreleri TOFAŞ-FİAT'taki uygulamalar örnek verilerek açıklanacaktır.

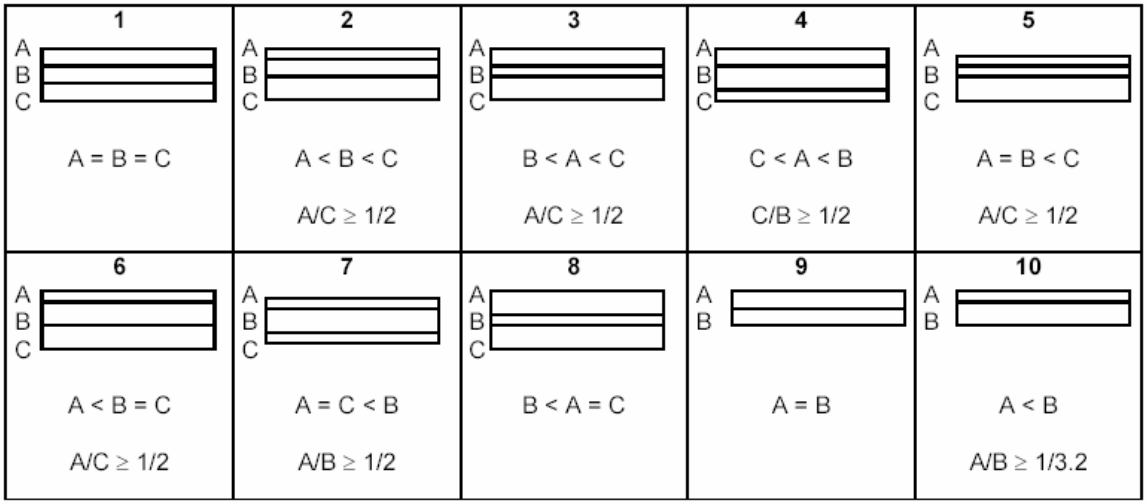
3.3.1. İş Parçasının Geometrik Özellikleri

3.3.1.1 Kaynak Yapılabilir Geometriler

Aşağıda belirtilen şartları sağlayan iki/üç sac parçaların punta kaynağı için geçerlidir.

3.3.1.2 İzin Verilen Kalınlık Oranları

Her geometri için standart kalınlık oranları aşağdaki şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.2 : Standart Kalınlık Oranları

Kaplamasız çelikler için FIAT AUTO/Adam Expert Team tarafından onaylanması durumunda, üstekki şekilde belirtilen kalınlık oranlarından düşük oranlar mümkündür.

Mümkünse, üç sac parça kullanılması durumunda, en ince sac ortada olmalıdır.

3.3.1.3 Kalınlık Sınırları

Aşağıdaki kalınlık sınırları sadece şekilde belirtilen geometriler için geçerlidir:

Tek bir sacın minimum kalınlığı : 0,6 mm

Maksimum toplam sac kalınlığı : 6,00 mm

Ancak özel sebeplerden dolayı maksimum 10 mm toplam kalınlığa çıkmak mümkündür.

Parametreleri belirtilen standarda uymayan saclar da kaynak yapılabilir, fakat daha uzun ve daha kompleks işlemlere ihtiyaç duyulur.

3.3.2 İş Parçasının Fonksiyonel Sınıflandırması

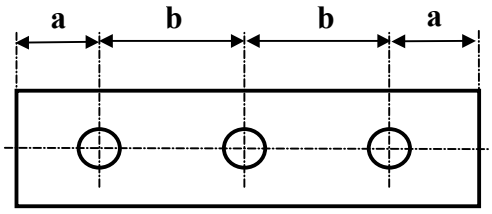
Sınıf 1: Yüksek kuvvet altındaki kaynaklar

Sınıf 2 : Kullanış ve/veya görünüm açısından önemli sayılan kaynaklar

Sınıf 3 : Diğer tüm kaynaklar

Not: Teknik resimlerde aksi belirtilmedikçe tüm kaynak noktaları Sınıf 3 olarak alınır.

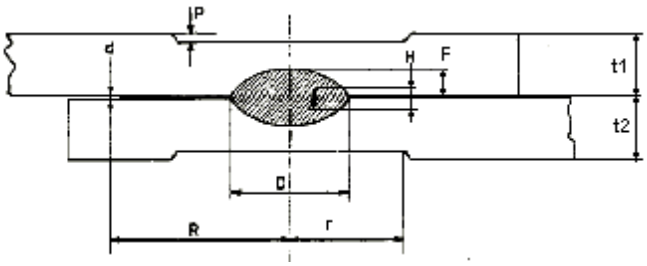
3.3.3 Punta Kaynak Sembolleri ve Tanımları



Şekil 3.3: Mesafeler

a : Kenar mesafesi

b : Kaynak noktası mesafesi



Şekil 3.4: Kesit Görünüm

t : Sac kalınlığı

D : Çekirdek çapı

F : Penetrasyon

H : Hata büyüklüğü

P : Çentik derinliği

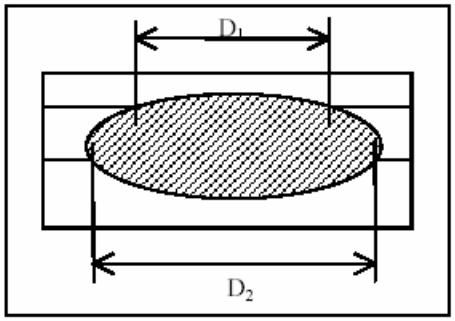
d : Saclar arası aralık

r : Çekirdek merkezi ile çentiğin dışı arasındaki mesafe (çentik yarıçapı)

R(1,5r) Çekirdek merkezinden sacların ayrılma noktasına kadar olan mesafe

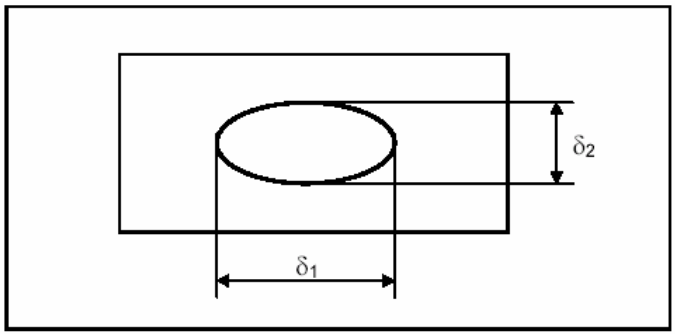
Üç sacın birleşmesi durumunda, şekilde görüldüğü üzere iki birleşme çizgisi üzerinde ölçülen iki farklı çekirdek çapı bulunur. Bu standartta bulunan genel

çekirdek çapı D'ye ait bütün ifadeler, sınırlar ve formüller aynı zamanda D1 ve D2 çekirdek çapları için de geçerlidir.



Şekil 3.5: Çekirdek Çapları

Ayrılmış bir sacın (ayırma testi sonrasında, paragraf 4.1) üzerindeki gerçek bir çekirdeğe ait düzlemsel görünüş Şekil 11'de görülmektedir. Çap hesaplamada kullanılacak formül:



Şekil 3.6: Ayrılmış Bir Sac'daki Çekirdek Çapları

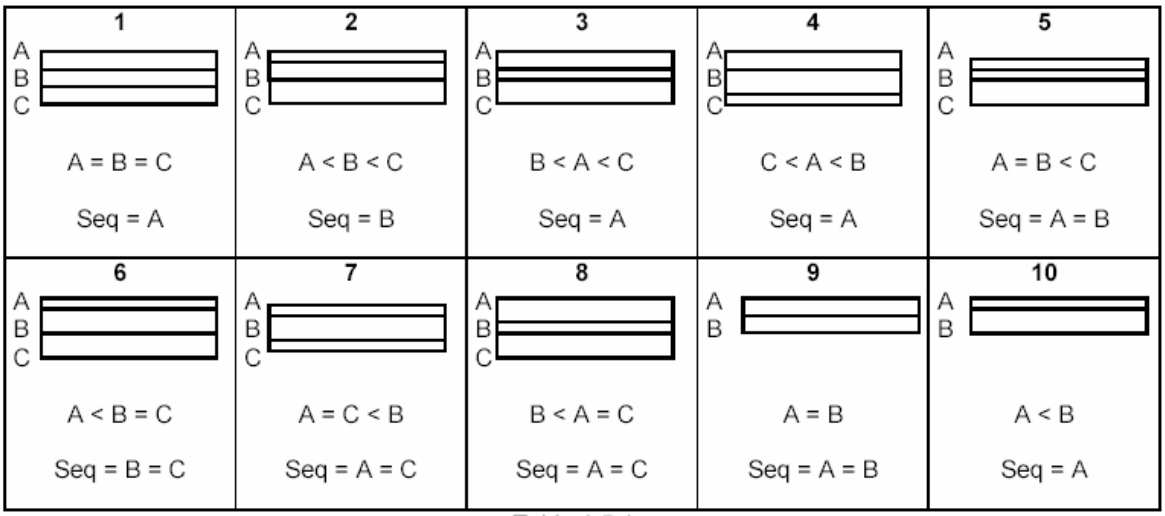
3.3.3.1 Eşdeğer Kalınlık

Saclar için eşdeğer kalınlık Seq:

- Eşit kalınlıktaki saclar için bir sacın kalınlığı
- İki sac için en ince sac kalınlığı
- Üç faklı sac için kalınlığı orta değerde olanın kalınlığı

- İkisinin kalınlığı eşit olan üç sac için eşit kalınlıktaki saclardan birinin kalınlığı

Grafik gösterim aşağdaki şekilde görülmektedir[4].



Şekil 3.7: Eşdeğer Kalınlık

3.3.4 Gövde İmalatı Punta Paremetreleri

Bu bölümde, konunun örneklerle açıklanması için TOFAŞ-FİAT'ta otomobil gövdesi imalatında kullanılan temel paremetreler anlatılacaktır.

3.3.4.1 Saç Kalınlığı – Çekirdek Çapı

Tablo 3.4 : Sac Kalınlığı Ve Çekirdek Çapı

Saç Kalınlığı	**Minimum Çekirdek Çapı**	**Optimum Çekirdek Çapı**
0,7	3,5	4,6
0,8	3,8	4,9
0,9	4,0	5,2
1,0	4,2	5,5
1,2	4,6	6,0
1,5	5,2	6,7
1,8	5,7	7,4

3.3.4.2 Elektrod Ucu Seçimi

Punta kaynak kalitesi açısında her operasyonun ilgili pensesinde uygun elektrod kullanılmalıdır.

Tablo 3.5 : Elektrod Ucu Seçim Tablosu

Saç	**Elektrod Tipi**
1,5 mm kalınlığa kadar	B
0,6 mm ve altındaki saçlar	P
1,5 mm ve üzerindeki saçlar	P

Aracın gövdesinin oluşturulmasında, %95 oranında B ve P tipi elektrod kullanılmaktadır. B tipi elektrod görünüm itibariyle daha sivri tiptedir, P tipi ise uç kısmı B tipine göre daha düzdür.



Şekil 3.8 : B Tipi

- Elektrodların yüzeye dik basmadığı

- Sac kalınlığı 1,5mm'den az olan yerlerde tercih edilir.



Şekil 3.9: P Tipi

3.3.4.3. Kaynak Zamanı Seçimi

Kaynak zamanı seçimi, Fiat standartlarında verilen değerlere göre yapılır.

Tablo 3.6 : Kaynak Zamanı Seçimi Tablosu

Sac	**Kaynak zamanı**
1,5 mm kalınlığa kadar	10-12
1,2 – 2 mm arasındaki saclar	12-15
2 mm ve üzerindeki saclar	14-18

3.3.4.4 Kuvvet Seçimi

Kaynak kuvveti deneysel çalışmalar ve Fiat'ın birikimine göre aşağdaki tabloda verilen bilgilere göre yapılır.

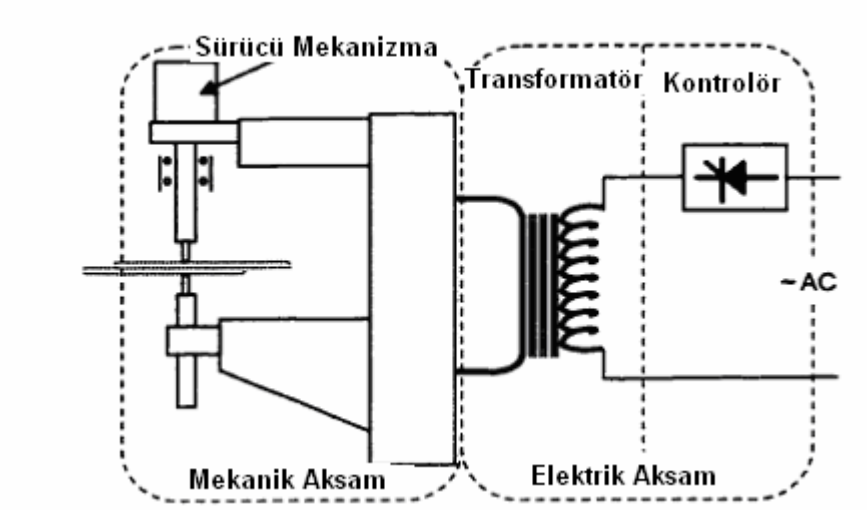
Tablo 3.7 : Kuvvet Seçimi Tablosu

Sac (mm)	Elektrod baskı kuvveti (kN)
1,5 mm kalınlığa kadar	2-2,5
1,2 – 2 mm arasındaki saclar	3-4
2 mm ve üzerindeki saclar	4-5

3.4 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynağı Makinaları

3.4.1 Direnç Nokta Kaynağı Makinası

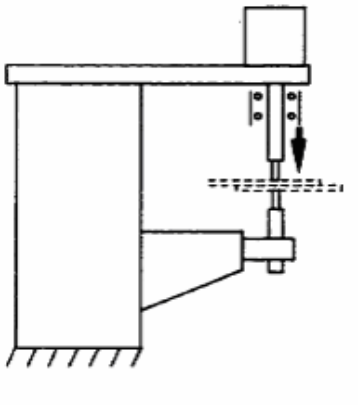
Direnç nokta kaynağı makinası kaynak prosesi kalitesi açısından çok önem taşır. Temel olarak iki parçadan oluşur, bunlar mekanik ve elektrik aksamlardır. Direnç nokta kaynak makinaları, mekanik aksamın sürücü mekanizmasına göre pönematik, hidrolik veya servomotorlarla elektrik olarak gruplandırılır.



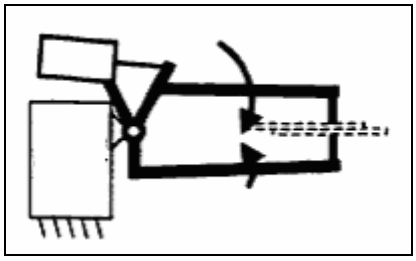
Şekil 3.10: Punta Kaynak Makinasının Bileşenleri

Otomotiv sektöründe en çok kullanılan pnömatik makinalardır.

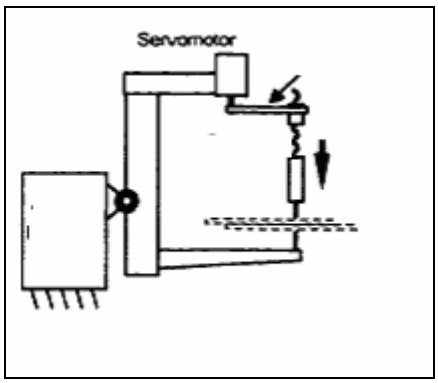
Elektro veya servomotor olarak isimlendirilen kaynak aparatları nümerik kontrollüdür. Kaynak sistemlerindeki en son teknoloji olan bu makinalar, otomotiv sektöründe yeni yeni yerini almaktadır.



Şekil 3.11: Pnömatik Kaynak Makinası



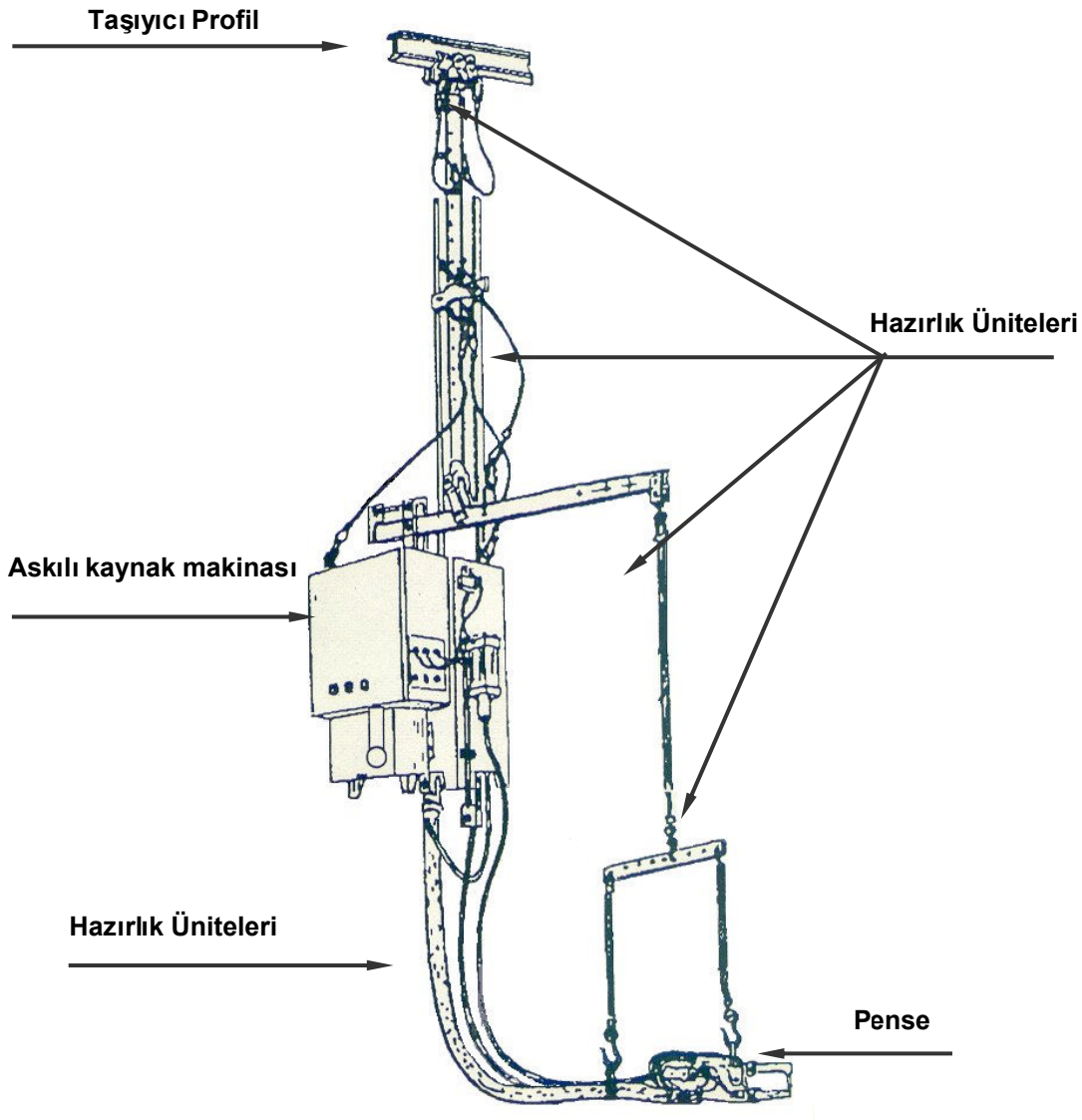
Şekil 3.12: Pnömatik Tabanca



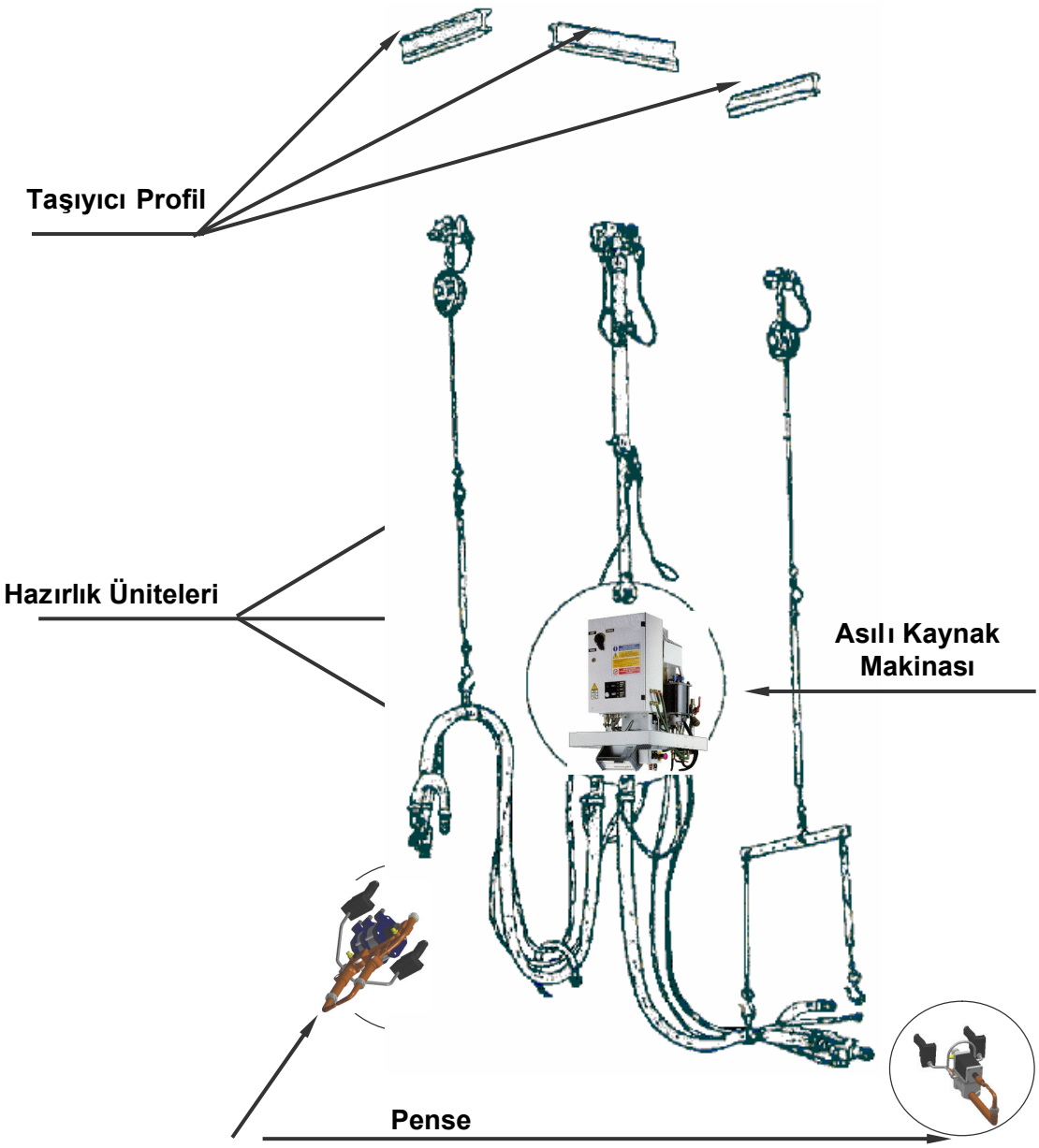
Şekil 3.13: Servo Kaynak Makinası

3.4.1.1 Sabit Punta Kaynak Makinasının Genel Yapısı

Aşağdaki şekilde sabit punta kaynak makinasının genel yapısı görülmektedir. Askılı kaynak pensesi taşıyıcı profil, hazırlık üniteleri, askılı kaynak makinası ve penseden oluşur [7].

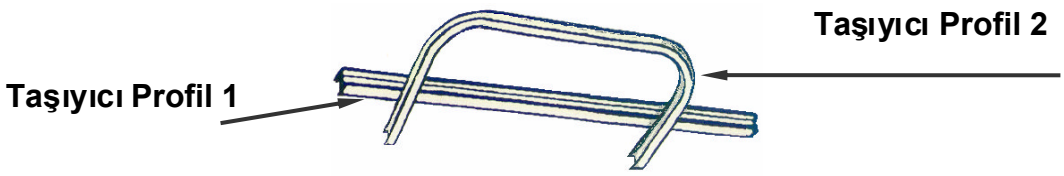


Şekil 3.14 : Askılı Kaynak Makinasının Genel Yapısı

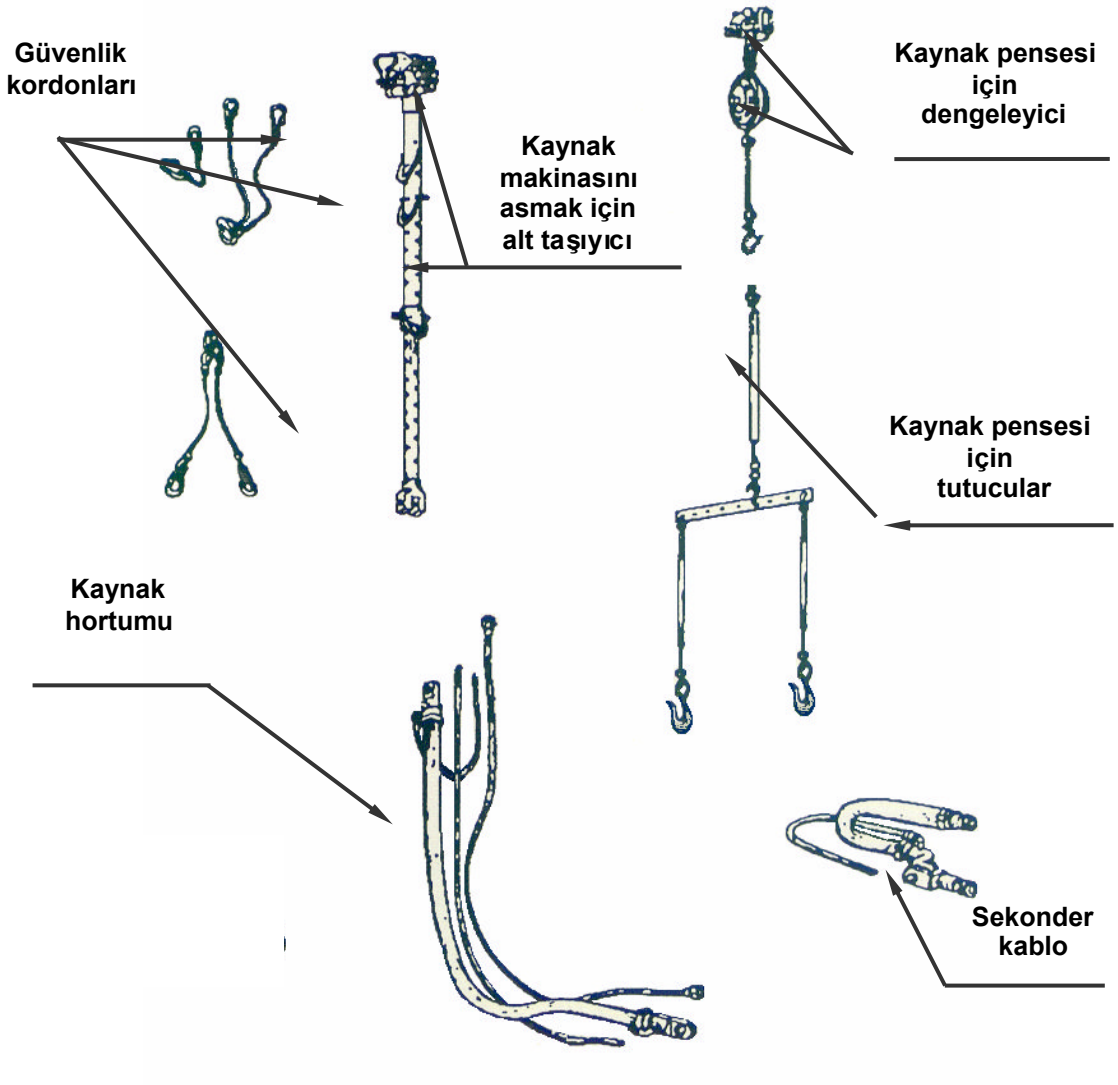


Şekil 3.15 : Askılı Kaynak Makinasının Parçaları

Askılı kaynak makinası taşıyıcı profiller üzerinde hareket edebilir. Taşıyıcı profiller punta makinasını ve kaynak penselerinin terazilerini asmaya yararlar. Taşıyıcı profil 1'e kaynak trafosu asılır. Taşıyıcı profil 2'ye pense balans yeri asılır.



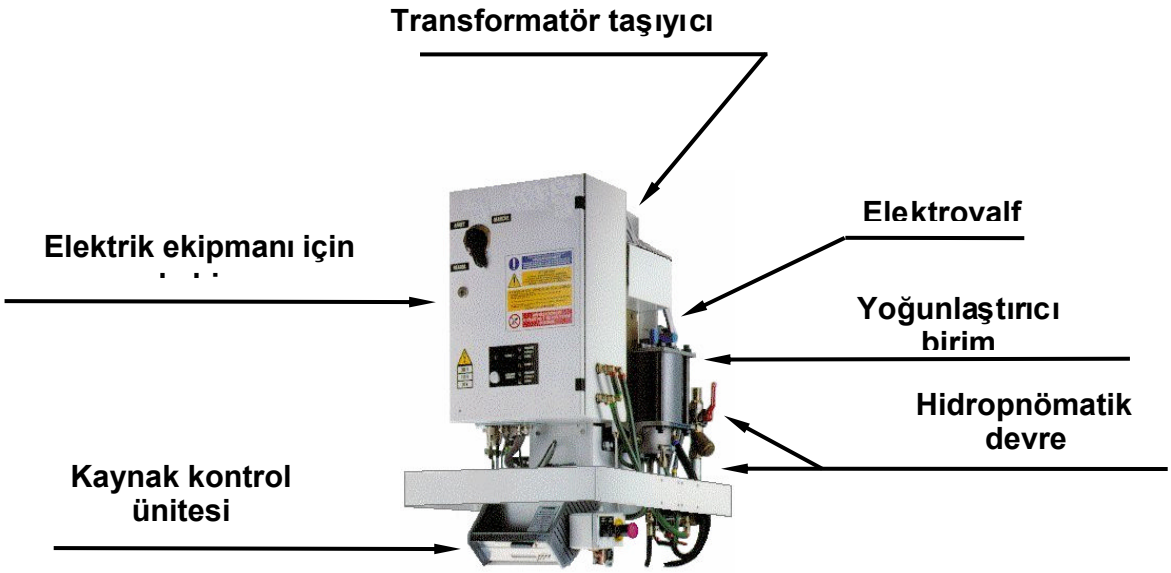
Şekil 3.16 : Askılı Kaynak Makinası Taşıyıcı Profil



Şekil 3.17 : Askılı Kaynak Makinasının Alt Detayları

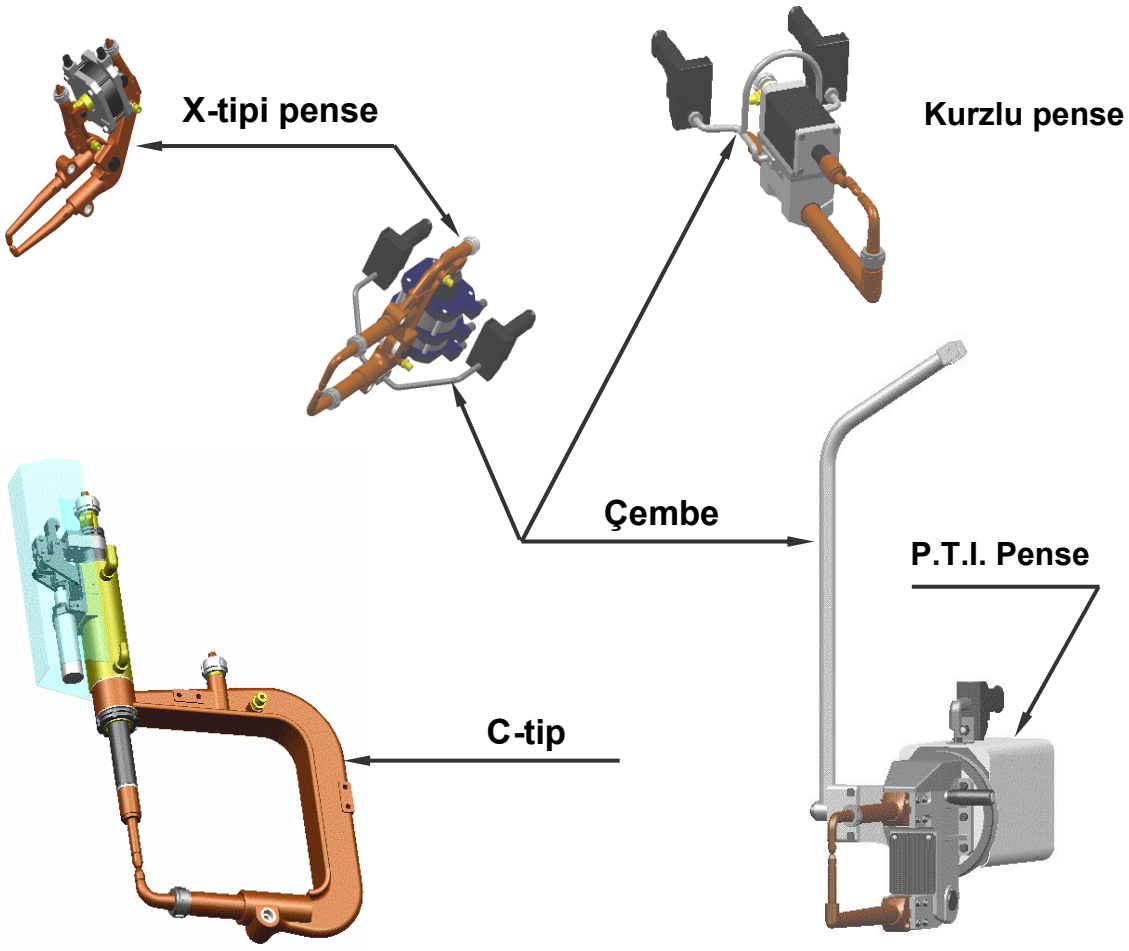
Kaynak ünitesi, transformatör taşıyıcı, elektrovalf, yoğunlaştırıcı birim, kaynak kontrol ünitesi ve hidropnömatik devreden oluşur.

- Kaynak ünitesinin başlıca fonksiyonları;
- Kaynak pensesine akım sağlamak,
- Hidrolik veya pnömatik olarak penseyi kontrol etmek,
- Kaynak paremetrelerinin kontrolüdür.



Şekil 3.18 : Kaynak Ünitesi

Kaynak pensesi tipleri; C-tip, kurzlu, entegre ve X-tipi kaynak pensesidir. Kaynak pensesinin döndürülmesi çember aracılığı ile yapılır.



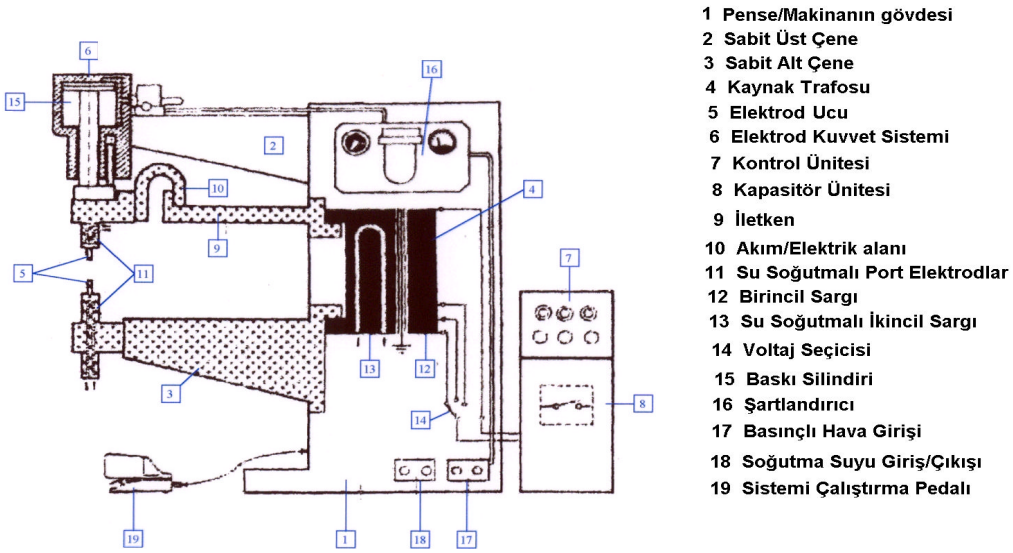
Şekil 3.19 : Kaynak Pense Çeşitleri

Pense, operatöre kaynağı gerçekleştirmesi için yardımcı araçtır.

Pense aşağıdaki formlarda olabilir:

- X-tipi, 90° X-tipi, kurzlu, C tipi ve entegre.

Kaynak pensesi daima dengeleyici ile asılmaya olanak sağlayan bir kanca ile donatılmıştır. Bununla beraber çember üzerinde idare etmeyi ve manevra yapmayı sağlatan el tutamakları bulunmaktadır.

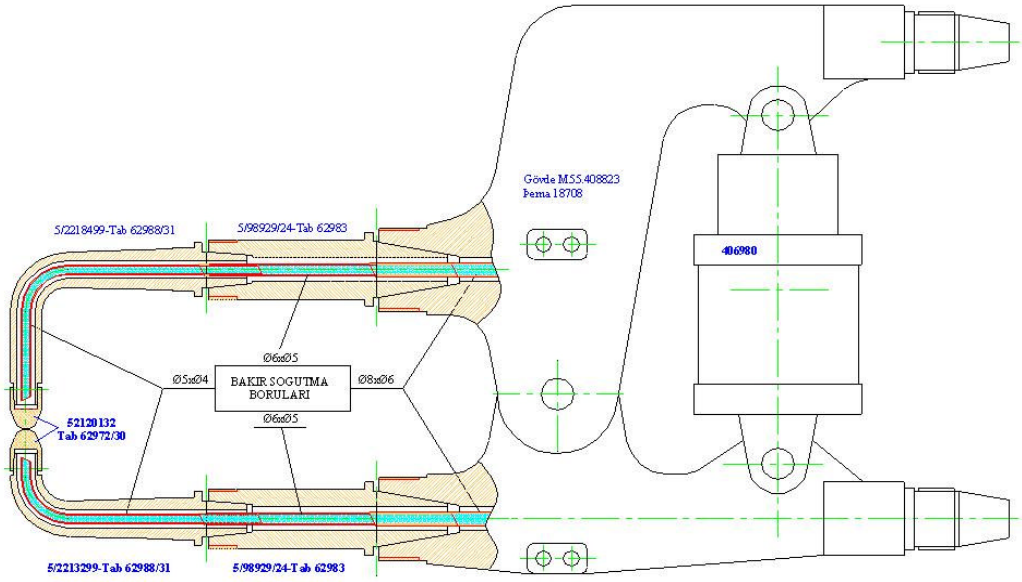


Şekil 3.20 : Direnç kaynak makinasının genel yapısı

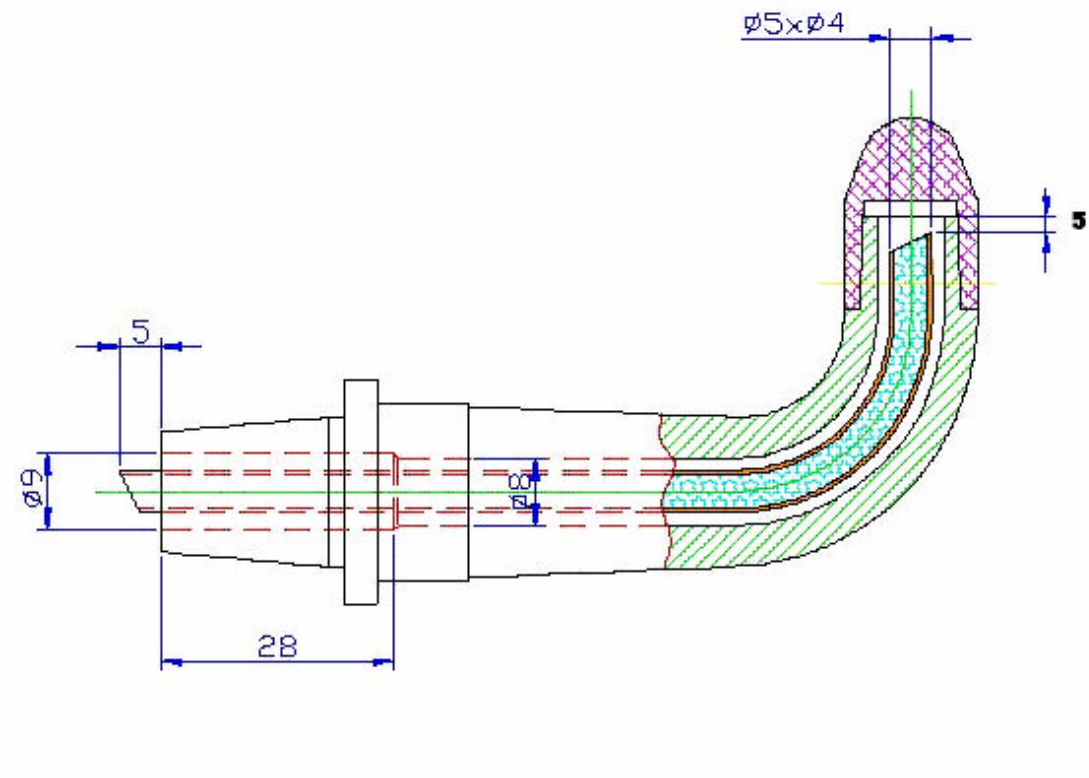
3.4.1.2 Elektrod Soğutma Sistemi

Elektrod soğutma sistemi, kaynak prosesi sırasında elektrotda oluşan yüksek sıcaklığın elektrodun malzeme yapısını bozmaması, elektrod ömrünü uzatma ve punta kalitesinin yüksek olması için kullanılır.

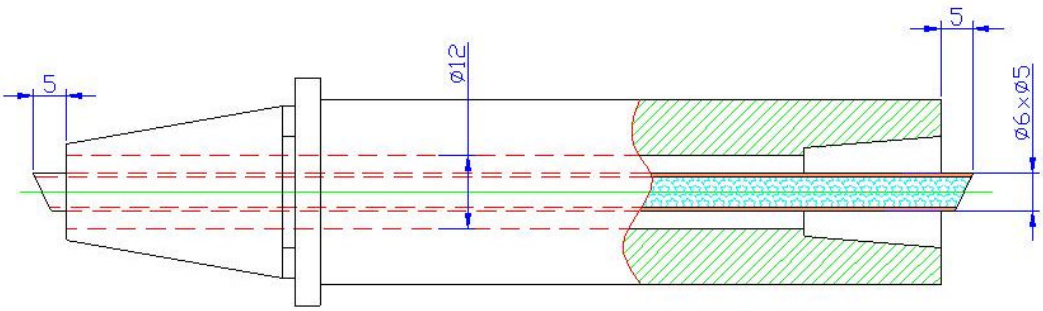
Elektrodların içinde bulunan bakır borulardan soğutma suyunun döngüsü sağlanır. Etkili soğutma yapılması için soğutma suyunun minimum debisi 3 lt / dak. olmalıdır. Soğutma borusunun elektroda mesafesi 5 mm olmalıdır.



Şekil 3.21 : Elektrod Soğutma Sistemi



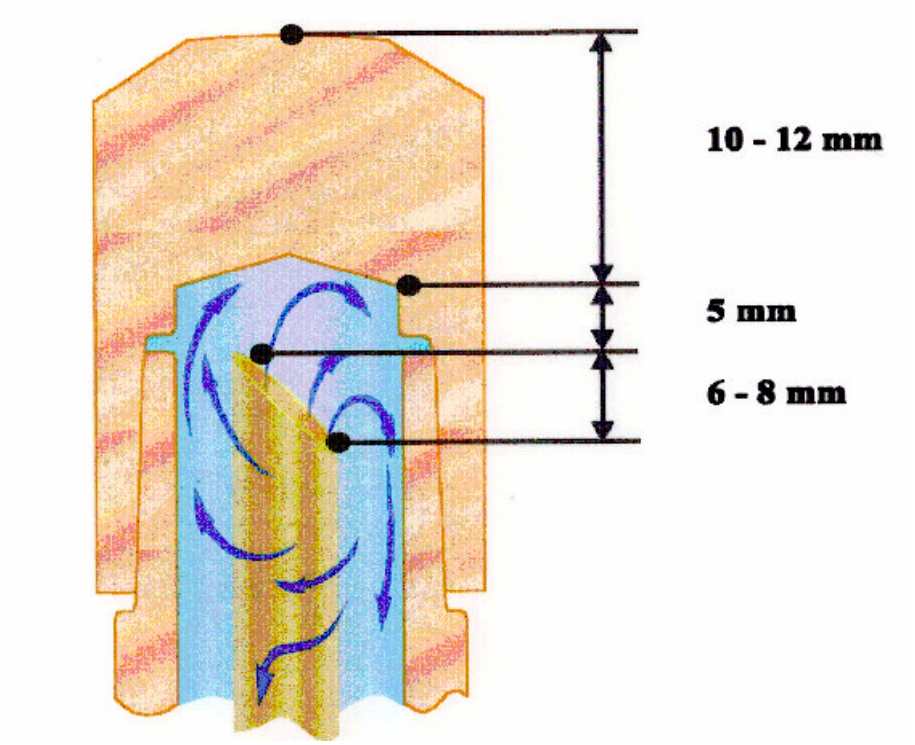
Şekil 3.22 : Elektrod Soğutma Sistemi -1



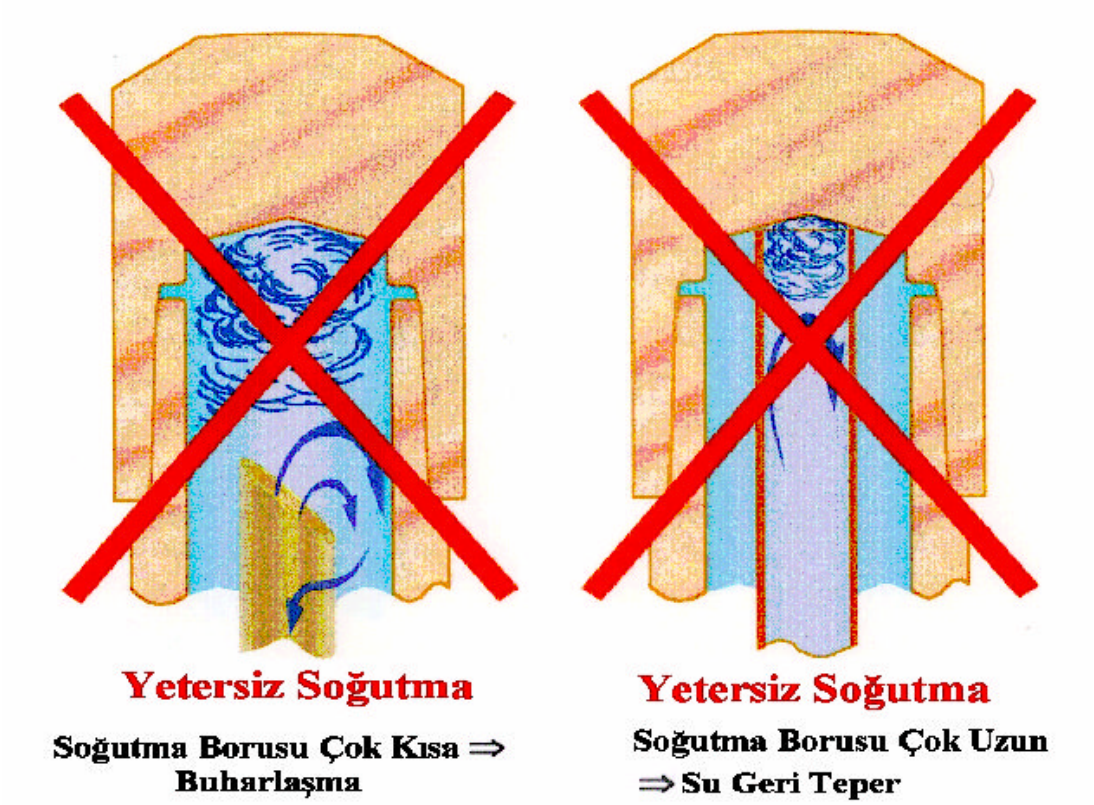
Şekil 3.23 : Elektrod Soğutma Sistemi -2

Soğutma borusu mesafesi uzak olursa uc elektrodun arkasında buharlaşma olur, yeterli soğutma sağlanamaz ve kalsit oluşmasına sebep olur. Eğer soğutma borusu mesafesi kısa olursa veya elektroda dayanırsa soğuma suyu boru içinde geri teper. Borunun elektroda temas ettiği alanda borunun kesiti şeklinde kalsit oluşumu gözlenir. İstenen soğutma sağlanamaz.

Aşağıdaki şekilde uç elektroda olması gereken soğutma mesafeleri verilmektedir.



Şekil 3.24 : Elektrod Soğutma Sistemi Mesafeler



Şekil 3.25 : Elektrod Soğutma Sistemi Uygunsuz Mesafeler Olması Durumu

Soğutma sistemi ile ilgili yapılan çalışmalar soğumaya bağlı elektrod ısısının değişimi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada alınan parametreler aşağdaki gibidir.

Kaynak zamanı : 24 Cycles

12 Cycles

3 Cycles

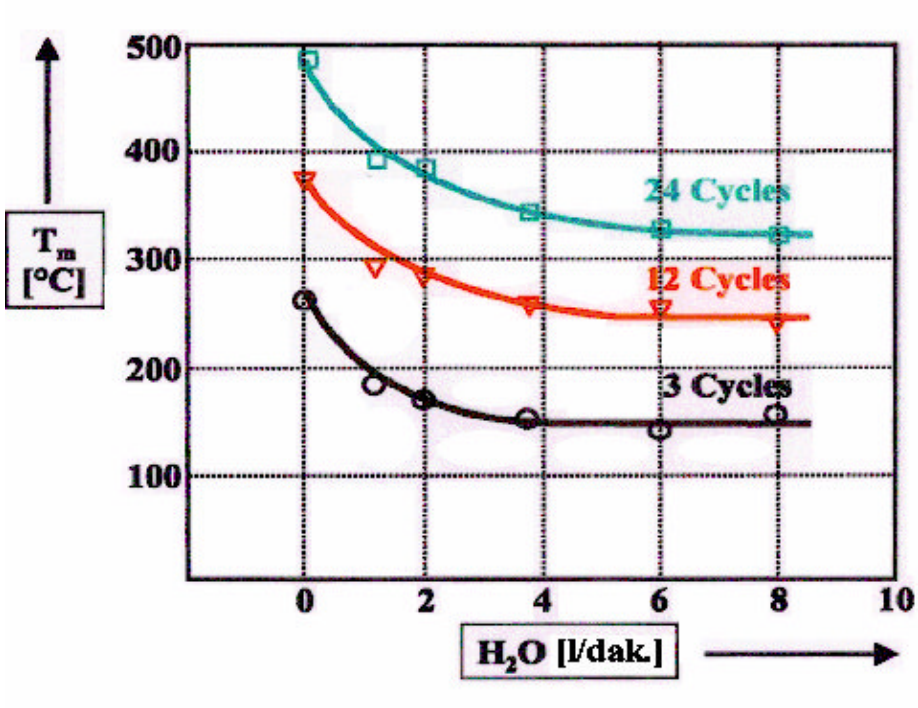
Elektrod kuvveti : 10 dN / mm2

Puntalama hızı : 15 Punta / dak.

Çalışma (elektrod) temas yüzeyi : Ø 6 mm

Sıcaklık ölçümünde temas yüzeyinde 2 mm uzaklıkta 0,2 mm çapında Fe-Ko thermoelement kullanılmıştır.

$$T_m = \frac{1}{10}\sum_{i=11}^{i=10} T_i \qquad \textbf{(3.1)}$$



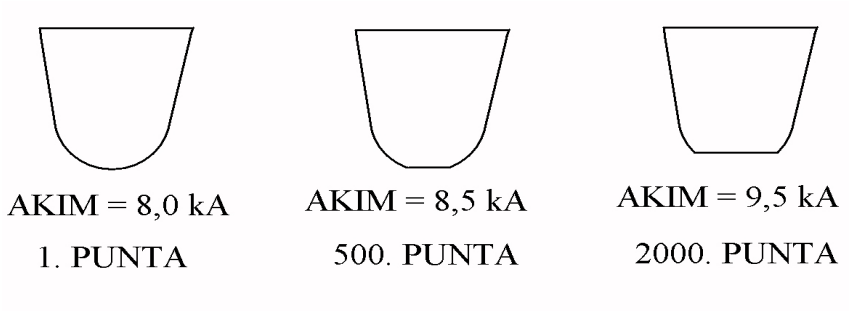
Şekil 3.26 : Soğumaya Bağlı Elektrod Isısının Değişimi

Deneysel veriler sonucu yukardaki grafik elde edilmiştir. 5 lt / dak. sonunda rejime girdiği gözlenmiştir [5]

3.4.1.3 Stepper

Yeni elektrod, kullandıkça elektrodun saca temas eden yüzeyinde aşınma olacaktır. Elektrodun temas yüzeyi çapı, elektrod kullandıkça çapta büyüme oluşur. Bu aşınma ile elektrodun yüzeyinden saca geçen akım miktarı azalacağından, atılan punta sayısına göre kullanılan kaynak akımı ucun aşınmasına bağlı olarak sürekli olarak artırılmalıdır. Atılan punta sayısına bağlı olarak kaynak akımının artmasını sağlayan programa STEPPER denir.

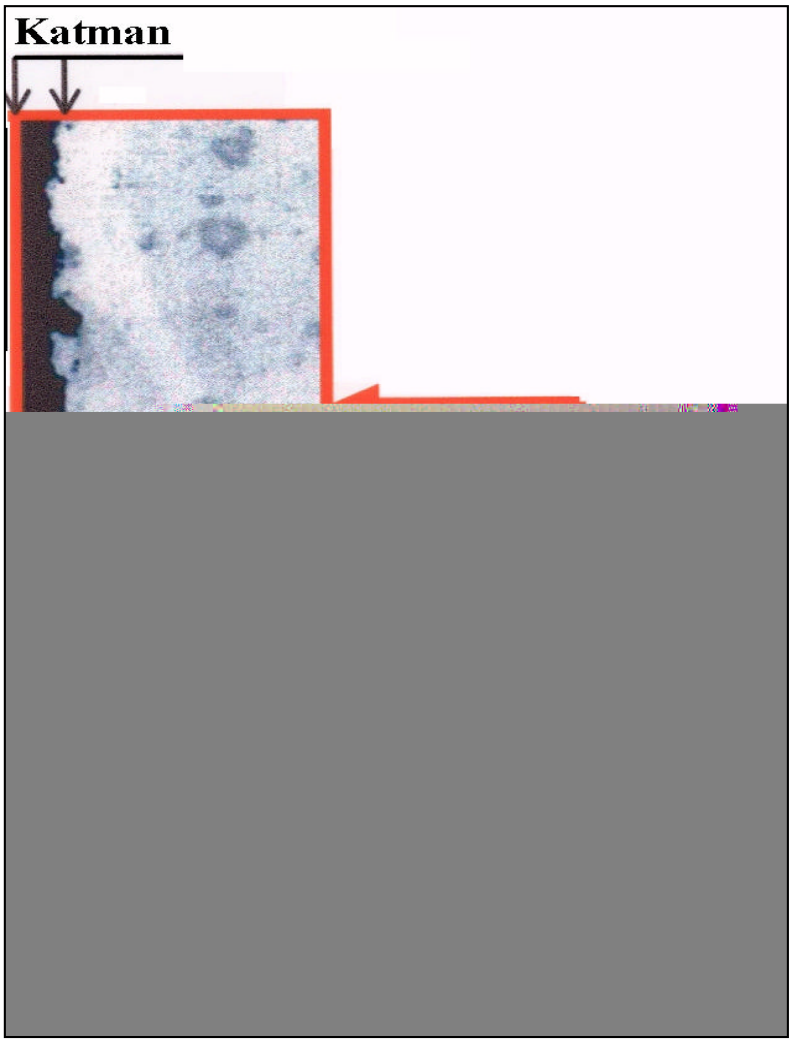
TOFAŞ-FİAT fabrikasındaki uygulamalardan örnek olarak; yeni uç takılıp punta yapılmaya başlandığında başlangıç akımının 8,0 kiloamper olduğunu düşünürsek 500. puntaya gelindiğinde kaynak akımı stepper programı ile otomatik olarak 8,5 kiloampere çıkacaktır. 2000.puntaya ulaşıldığında kaynak akımı 9,5 kiloampere ulaşılacaktır. Böylece elektrod ucunun eskimesi sebebiyle oluşan kayıp punta sayısına bağlı otomatik stepper akım artışıyla telafi edilmiş olur [5].



Şekil 3.27: Stepper

3.4.1.4 Elektrod Ucunda Alaşım Birikmesi

Elektrod uçlarında, yaklaşık 20 puntadan sonra bakır alaşımı birikesi görülür. 250 puntadan sonra alaşım katmanları halini alır. Bu alaşım katmanları daha düşük erime sıcaklığına, daha yüksek elekktrik dayanımı sahiptirler ve bakırdan daha ince bir yapıdadırlar. Alaşımlanma elektrod yüzeyine çinko difüzyonu sonucu oluşur. Alaşımlanma iş parçası elektrod yüzeyi temasından, kaplamanın elektrod yüzeyine difüzyon hızından, kaplamanın özelliklerinden ve tane sınırlarından etkilenir.

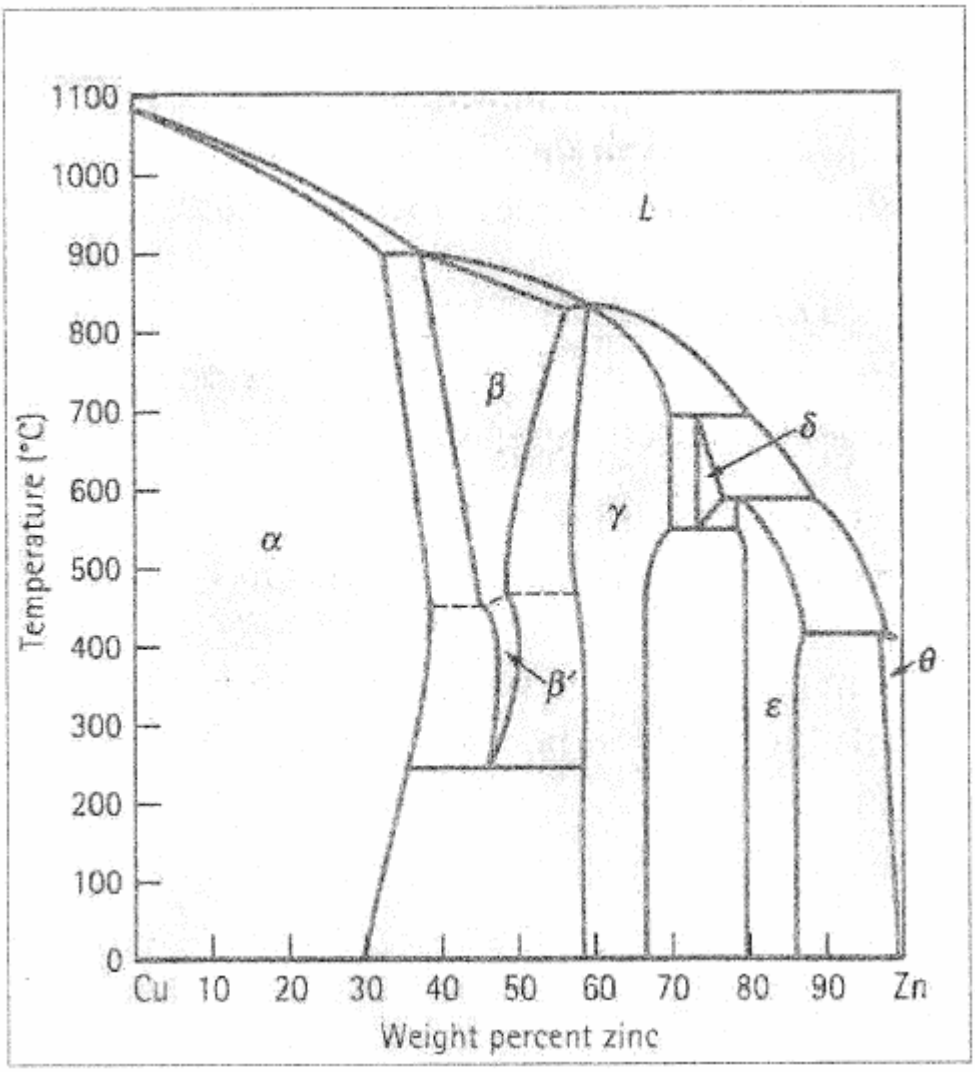


Şekil 3.28 : Difüzyon Katmanı

Aşınmış elektrod yüzeyi incelendiğinde, alfa-bakır tabakası, sarı renkli beta-bakır tabakası ve beyaz gama bakır tabakası, demir-çinko zengini koyu renkli tabaka görülür. Elektrod ucundan dışarıya doğru gidildiğinde, çinko içeriğinin azaldığı görülür.

Aşağdaki şekilde bakır-çinko faz diagramı verilmiştir. Gama-bakır kırılgan yapıdadır. Sadece gama-bakır alaşım tabakası oluşan elektrodların ömrü daha kısa olur.

Alaşımlanma aşınma mekanizmaları olan çukurcuk olşumu, mikro çatlaklar ve oyuklanmayı hızlandırır. Bu çatlaklar gama-bakır tabakasından başlayarak açısal yönlerde ilerleyerek gama-bakır sınırlarına gelir. Bu çatlaklar, bakır tabakasının kesilmesine ve çinkonun bakırla temasına yolaçar [3].



Şekil 3.29 : Bakır-Çinko Faz Diagramı

Difüzyon katmanı, elektrod ucundan yaklaşık 5 kat daha sert bir yapıya sahiptir. Bu sebepten elektrod aşınmasını yavaşlatırlar. Elektrod ucunun frezelenmesi ve tornalaması sırasında oluşmuş olan difüzyon katmanı alınırsa elektrod ucu daha çabuk aşınır. Bu aşınma, difüzyon katmanı tekrar oluşunca bir miktar azalacaktır[5].

3.4.2 Direnç Nokta Kaynağı Makinasının Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikler, maksimum-minimum elektrod kuvveti, basınçlı hava girişi, soğutma sistemi, v.b. özelliklerdir [6].

1) Doğal karakteristlikler: Bu karakteristlikler esas karakteristliklerdir; makina tokluğu, hareketli parçalar arasındaki sürtünme kuvveti, hareket eden kütle

Makina Tokluğu : Makinannın yük altında dayanımını ifade eder.

Makina Sürtünmesi : Sürtünme birbiriyle temas eden yüzeyler arasında kaynak sırasındaki relativ yer değişimidir.

Hareket Eden Kütle : Kaynak prosesi sırasında kaynak makinasındaki bazı parçaların (pense, silindir pistonu) hareket etmesidir.

2) Proses paremetreleri : Elektrod kuvveti, elektrod ağız açıklığı.

3) Makina konfigürasyonu : Makina tasarımı, silindir tipi, pense yapısı, elektrod şekli

4) Makina bakımı : Elektod aşınması ve uçların birbirini karşılaması

3.5 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Saç Malzemeler ve Direnç Nokta Kaynağı

Otomobil gövdesi metalerin farklı kaynak metodlarıyla birleştirilmesi ile oluşur. Gövdeyi oluşturmak için değişik tipte metaller kaynak edilirken, düşük karbonlu soğuk haddelenmiş saç çelik ve sıcak haddelenmiş levhalar daha çok kullanılır.

Otomotiv parçalrında kullanılan başlıca metaller

Parçalar	**Kullanılan Metaller**
Gövde Elemanları	Düşük karbonlu, soğuk haddelenmiş saç çelik
	Düşük karbonlu, sıcak haddelenmiş saç çelik
	Galvanizli soğuk haddelenmiş saç çelik
Motor blokları ve kafaları	Alaşımlı dökme demir ve alüminyum
Kapı menteşeleri ve şasi braketleri	Dövülebilir demir
Montaj	Paslanmaz çelik, dökme alüminyum ve çinko

TOFAŞ-FİAT fabrikasında Albea modelde temel olarak kullanılan saç malzemeler;

- FEPO5 ZNT / F /2S,
- FEPO4 ZNT / F /2S,
- FEPO5
- FEE 355 ZNT / F / 2S
- DP 450 ZNT / F / 2S

Bunlar arasında en çok kullanılanlar FEP 04 ve FEP 05'tir. Diğer malzemeler temel olarak motor bağlantıları gibi bazı özel bölgelerde kullanılır.

ZNT / F / 2S metal sacın iki tarafına da yapılan sıcak daldırma gazlvanizli sacı ifade eder. Kaplama kalınlığı 7,5 μm olarak uygulanır [5].

Tablo 3.8 : Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı Testi				Şekillendirebilirlik indeksi	
	Çekme Dayanımı R	Akma Dayanımı Rs	En Az Uzama L_0 = 80 mm %		Anizotropi r_{90} min.	Sertleştirme n_{90} min.
	N/mm²	N/mm²	s < 0.7 mm	s ≥ 0.7 mm		
FEP01	270 ÷ 410	140 ÷ 280	26	28	--	--
FEP02	270 ÷ 370	140 ÷ 240	32	34	1,3	0,16
FEP04	270 ÷ 350	140 ÷ 210	36	38	1.6	0.18
FEP05	270 ÷ 330	140 ÷ 180	38	40	1.9	0.20
FEP06	270 ÷ 350	120 ÷ 180 [8]	36	38	$\bar{r}$ 1.8	$\bar{n}$ 0.22

Bu malzemeler , küçük taneli ferritik yapıdadır. Bu tanelerin büyüklüğü 6-9 µm.

Saç malzemesinin sıcak daldırma yoluyla galvanizle kaplanır. Araç gövdesinde 2 tarafı kaplı ve 7,5 µm kalınlığında saç kullanılır.

Kaplamalı saç kullanılmasının sebebi korozyon direncini artırmaktır.

Tablo 3.9 : Saç Kaplamasının Özellikleri

		Kaplama Kalınlığı (µm)	Min Toplam
[redacted]			

İş parçasının kaplamalı veya kaplamasız olması elektrod ömrünü de etkiler. Kaplamasız haddelenmiş çeliklerde, elektrod ömrü 50000 puntaya kadar ulaşabilir. Uygun çekirdek çapına, elektrodun aşınmasıyla artan elektrod temas alanına rağmen ulaşılabilir, çünkü kaynaklar çelik yüzeyinde kolayca şekillendirilir.

Tablo 3.10 : Kaplamnın Cinsi Ve Korozyon Direnci

İnce Saç Ürünleri			İşleme Usulü					Boyalı sacın korozyon direnci		
Ürünler	Kaplama cinsi	Kaplama kalınlığı	Form verilebilirlik Aşınma Yapışma Çatlak	Kaynak yapılabilirlik	Korozyon etkisinden sonra verdiği tepki	Vernikleme		Kırılma pas hasarı	Delinme hasarı	Kenar koruması
						Elektrod daldırma işlemi	Sürtünme			
İnce saç	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıcak daldırmalı çinko galvanizli (Normal Galvaniz)	Zn	8....12	-	–	--	-	-	+++	+++	+++
Çinko galvanizli(özel)	Zn	8....12	-	–	--	-	-	+++	+++	+++
Çinko fosfat(galvanizli)	Fe-Zn	8....12	--	-	-	-	0	++	++	++
Çinko fosfat galvanizli (Monogal)	Fe-Zn	1	-	-	0	-	0	+	+	++
Çinko elektrolitik kaplamalı	Zn	7....10	-	–	-	-	-	+++	+++	+++
ZNE Karışık çinko kaplama	Zn-Ni	7....10	-	–	-	-	-	+++	+++	+++

Galvanizli sacların kaynak yapılması ise biraz daha farklıdır. Elektrod ömrü 2500 punta civarında olur. Bu elektrod ömürleri kaynak hız ile karşılaştırıldığında, elektrod ömrünün azalması zaman kaybına da neden olduğu görülür.

Elektrod ucu, galvanizli saca punta atılırken devamlı olarak aşınır. Bunun sonucunda elektrod temas alanı büyürken, birim alandan geçen akım azalacağı için kaynak çekirdeğinin çapı azalacaktır. Elektrod aşınmasındaki artış, kaplamanın içerdiği çinko miktarıyla ilgilidir.

Saç kaplamasının tipi, kalınlığı ve kimyasal bileşimi elektrod ömrü üzerinde büyük etkiye sahiptir. Genel olarak, elektrod ömrü çelikle temas ettiğinde artar. Çünkü, iş parçasının yüzey dayanımı yüksek olur ve gerekli akım miktarını azaltır.

Benzer olarak, daha sert elektrod kaplamaları daha uzun elektrod ömrü sağlar. Bu yüzden, kaplamadaki demir miktarı artığı zaman elektrod ömrü uzar. Sert kaplamalar (GA, ZnFe ve ZnNi) daha uzun elektrod ömrü sağlarken, yumuşak kaplamalar (HG, HDG) daha kısa elektrod ömrü sağlar.

Kaplamanın homojen olması elektrod yüzeyinde ısının homojen dağılmasını sağlayacağı için elektrod ömrünü uzatır. Aynı şekilde, kaplamanın erime noktasının, direncinin artması, elektrod ömrünün artmasını sağlar.

Kaplama kalınlığının artması daha yüksek akım ve daha uzun kaynak zamanı gerektirir [3].

4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINI ETKİLEYEN ETMENLER VE KAYNAK KALİTESİ

Bu bölümde direnç nokta kaynağı kalitesini etkileyen etmenler TOFAŞ-FİAT fabrikasındaki uygulamalar ve yüksek kalite bilinci esas alınarak anlatılacaktır.

Müşteri beklentilerini karşılayabilmeyi, dünya klasında üretim yapmayı, Türk ekonomisne katkı sağlayamayı, yatırımlarıyla yan sanayisi ile beraber büyümeyi ilke haline getiren ülkemizin köklü kuruluşu TOFAŞ-FİAT ta üretimden servise her aşamada kalite yapı taşıdır.

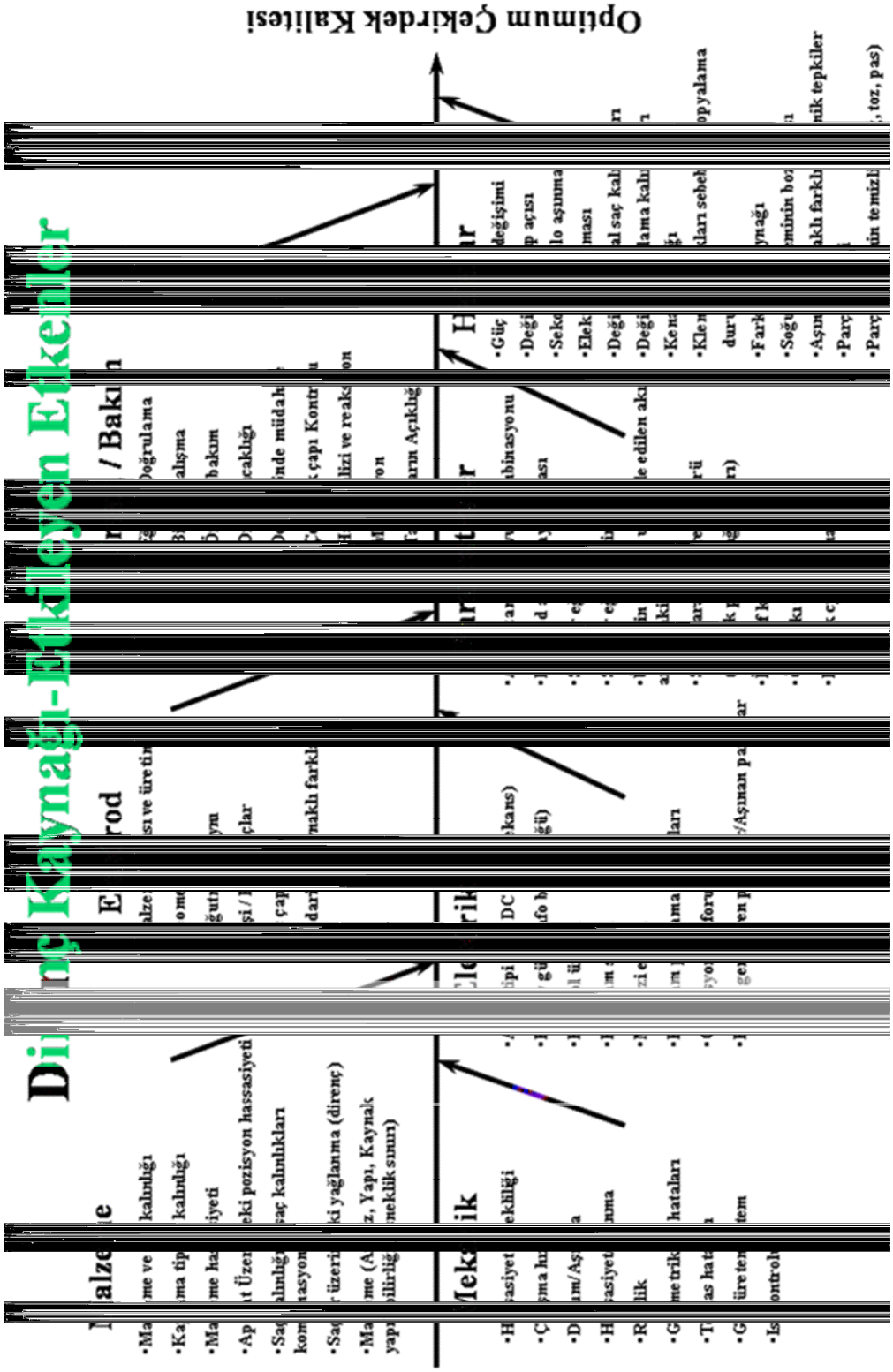
4.1 Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Önemi

Otomobil gövdesinin oluşturulmasını sağlayan direnç nokta kaynağı gövde geometrisinin uygunluğunu ve kalitesini sağlamak için çok büyük önem taşır.

Punta kaynak kalitesinde hedefler aşağdaki başlıklarla özetlenebilir.

- Ürün kalitesini artırmak
- Enerji tasarrufu sağlamak
- Direk ve endirek yardımcı malzeme sarfiyatını azaltmak
- Çalışma ortamının iyileşmesini sağlamak
- Çalışanların eğitilmesi
- Kaynak kalitesindeki sürekliliği sağlamak
- Planlı periyodik bakımlarla teçhizatın kalitesini yüksek tutmak
- Kaynak işlemi sırasındaki çapağı azaltmak
- Çapak temizleme gibi katma değeri olmayan işleri azaltmak

Aşağıdaki balık kılçığında kaynak kalitesini etkileyen etmenler özetlenmiştir.



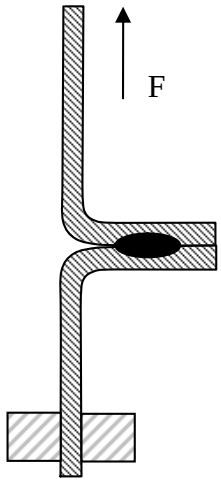
Şekil 4.1 : Direnç Kaynağı – Etkileyen Etmenler

4.2 Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Kontrolü

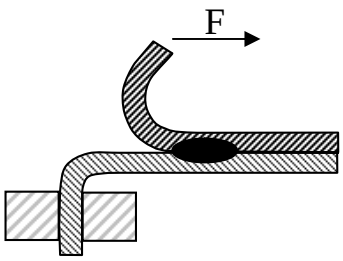
4.2.1 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler

Parçadan alınabilecek örnek, kaynak noktası kopana dek çekme gerilimine tabi tutulmalıdır.

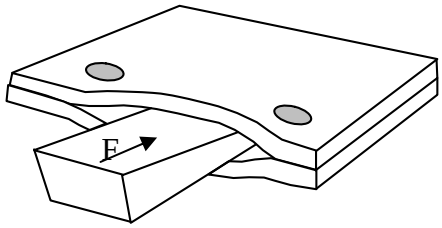
Ayrılma, çekirdeğin silindirik yüzünde (eriyerek birleşen alan) olan, bir sacta çıkıntı, diğerinde ise delik oluşturan bir hatadır [4].



Şekil 4.2 : Ayırma Testi



Şekil 4.3: Yuvarlama Metodu



Şekil 4.4 : Keski Testi

4.2.2. Ultrasonik Kontrol

4.2.2.1 Ultrasonik Kontrolün Tanımı

Ultrasonik kontrol, metal boyunca iletilen yüksek frekanstaki titreşimlerin iletim şekli gözlenerek metal içinde bulunan hataların tesbiti için kullanılan yüksek hassasiyete sahip bir yöntemdir. Eğer kontrol edilen malzeme hata içeriyorsa titreşimler yansır. Hataların varlığı ya da iletilmiş titreşimlerin şiddetindeki azalma gözlenerek ya da yansımalar kontrol edilerek çıkarılır [5].

Ultrasonik dalgalar yaygın oalrak piezoelektrik yolla üretilir. Bazı maddelerin elektrik gerlimi altında boyut değiştirmesine “piezoelektrik olay” denir. Bazı maddeler elektrik akımı içinde kaldıklarında mekanik deformasyona uğrarlar. Piezoelektrik olayda, belirli bir kristal yüzeyinde oluşan elektriksel kutuplaşmlara “polarizasyon” denir. Bu nedenle kristalin piezoelektriksel eksenlere yani polar eksenlere sahip olması gerekir. Bu özellikteki bir kristali bir elektrik alanı içine bıraktığınızda elektrik alanı yönü ve polar eksen yönü aynı ise, iyon kafeslerinde kristali belli bir yönde sıkıştıran ve gevşeten kuvvetler oluşur. Bu sıkışma ve gevşemler sonrasında titreşimler doğar. Bu titreşimler “ultrases” oluştururlar.

Piezoelekrik olay iki şekilde oluşur;

a) Boyuna piezoelektrik olay

b) Enine piezoelektrik olay [2]

Ultrasonik kontrol yöntemi piezoelektrik kristaller aracılığı ile üretilen ve algılanan ultrasonik dalgaların katı malzemeler içersinde yayınması ve sınır yüzeylerden yansıyarak malzemenin iç yapısı ile ilgili bilgileri vermesi temel prensibi üzerine kurulmuştur.

Ultrasonik dalgalar elastik niteliklere sahip, frekansları 16 kHz den büyük olan dalgalardır. Ultrasonik kontrolde kullanılan dalgaların frekansı 0,5 mHz ile 20 mHz arasında değişir. Ultrasonik dalga türleri arasında enine ve boyuna dalgalar en önemli dalga türlerini oluşturur. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz maddeler içerisinde yayılırken enine dalgalar sadece katı maddeler içersinde yayılırlar. Boyuna dalgaların salınım yönü ile yayılma yönü aynıdır. Enine dalgalar ise birbirine diktir. Katı maddeler içersinde enine ve boyuna dalgaların yayılma hızı karşılaştırıldığında boyuna dalgaların hızlarının enine dalgaların hızlarından daima daha büyük olduğu gözlenir.

Ultrasonik kontrolde faydanılan diğer önemli dalga türleri arasında yüzey dalgaları ve lamb dalgaları sayılabilir. Ultrasonik dalgalar piezoelektrik kristal adı verilen ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi elektrik enerjiye çeviren özelliklere sahip kristaller aracılığı ile üretilirler ve algılanırlar. Ters piezoelektrik etki ultrasonik dalgaların üretilmesinde, doğrudan piezoelektrik etki ise ultrasonik dalgaların algılanmasında kullanılır.

Ultrasonik ses dalgaları yayıldığı ortam değiştiğinde fizikteki optik kanunlarına uygun olarak yansırlar. Malzeme içerisinde katı ve gaz ortamlar arasındaki yansımaya neden olan sınır yüzeylere ultrasonik sınır yüzey denir. Ters piezo elektrik etkiye dayanılarak üretilen ultrasonik dalgalar muayene edilen parça içersine gönderilir. Söz konusu dalgalar sınır bir yüzeye gelince yansırlar, geri dönen ses dalgaları doğrudan piezoelektrik etki çerçevesinde piezoelektrik kristal tarafından algılanır. Ses dalgalarının piezo elektrik kristalden çıkış ve dönüş zamanları elektrik olarak ölçülüp bir osiloskop ekranı üzerine düşürülerek malzeme iç yapısı ile ilgili bilgiler elde edilir.

Ultrasonik kontrol cihazının ekranı üzerinde görüntüye gelen yankılar hatanın direk görüntüsünü değil, sadece hatadan gelen sinyalleri içerir. Bu veriler değişik açılardan değerlendirilebilir ve hata ile ilgili yorum yapma imkanı doğar.

Elde edilen verilerin ana başlıkla aşağıda özetlenmektedir.

Ekran üzerindeki yankının yeri; Probun gönderdiği ses demetinin üzerinde bulunan bir yansıtıcı noktadan (hata) alınan yankının oluşması için sesin katettiği yolun projeksiyonu yankının yerini verir. Bu temelde sesin yol alma süresi ve cihazın kalibrasyonuna bağlıdır.

Yankı yüksekliği; Yankının yüksekliği hata boyutuna bağlı olduğu kadar birçok paremetreye bağlı olduğundan hata boyutunun belirlenmesi tek başına yeterli değildir. Ancak, hataların kantitatif değerlendirilmesi ve yankı görüntülerinin sınıflandırılması amacıyla kullanılır.

Yankı ekodinamiği; Probun hareketine bağlı olarak yankıdaki değişiklik (yüksekli ve yeri), probun ve hatanın yön karakteristliği, uzaklığı ve sesin zayıflamasına bağlıdır. Bu durum özellikle çizgisel, hacimsel ve yüzeysel görüntülerdeki farklarda bariz olarak kendini gösterir. Hata boyutları büyüdükçe hata belirlenmesi daha kolay olur [7].

4.2.2.2 Ultrasonik Test Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Yüzey Durumu ; Ultrasonik dalga transferi, prob ile kolay tarama ve probu zedelemeye karşı koruma ve hata yankısını istenmeyen yankılardan ayırt etmeyi sağlamak için test parçasının yüzeyinin boya, talaş, aşırı pas, toz vb maddelerden arındırılmış olmalıdır.

Özel olarak belirtilmediği takdirde yüzey pürüzlülüğü 12 μm'den az olmalıdır. Tarama şekli belirlenmek istenen hata türüne göre seçilmelidir.

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 probların test öncesi fonksiyon kontrolleri yapılmalıdır [2].

4.2.2.3 Ultrasonik Kontrolün Otomotiv Sanayi Uygulamaları

Bu bölümde TOFAŞ-FİAT ta yapılan ultrasonik kontrol anlatılacaktır.

Ultrasonik test için geçerli kalibrasyon sertifikasyonuna sahip ultrasonik test cihazı aşağdaki özelliklere sahip olmalıdır;

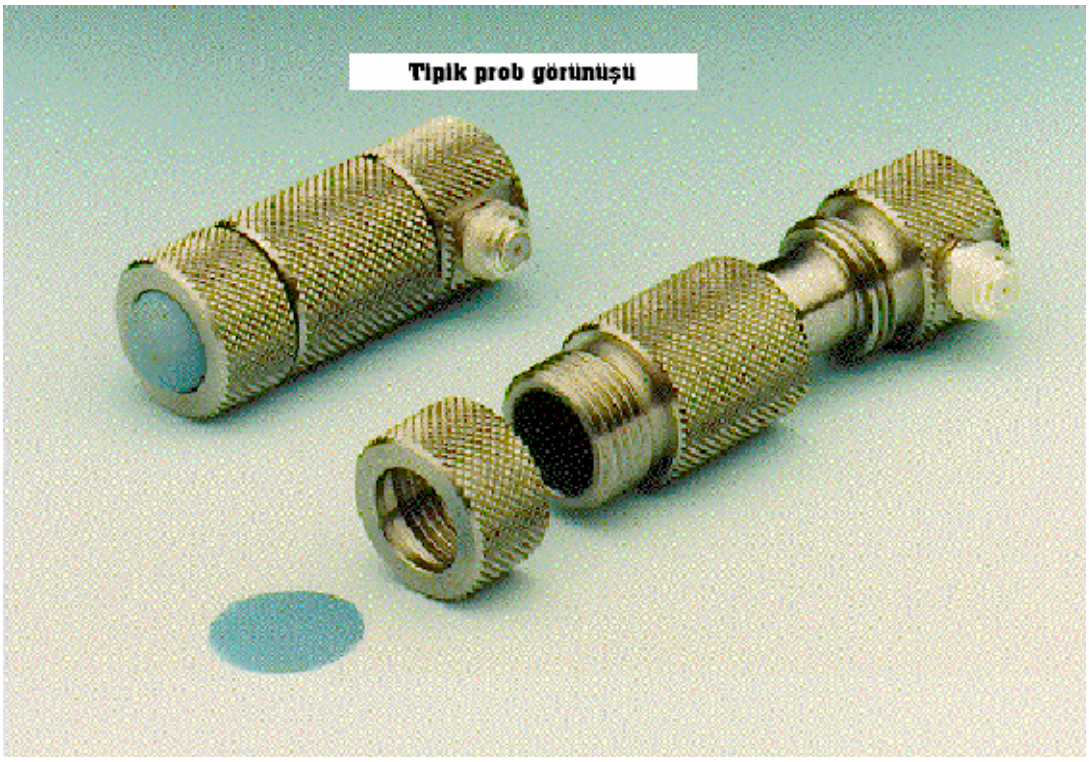
- Frekans alanı minimum 20 MHz,
- Kullanıcı tarafından belirlenen minimum eşik değerine ulaşıldığında otomatik dondurma fonksiyonuna sahip

- Kaynak noktası otomatik değerlendirme fonksiyonuna sahip yani kaynak hatalarını sınıflandırabilen: iyi, soğuk kaynak, yapışmış, küçük çekirdek, kaynak oluşmamış, yanık
- Kaynak noktasının komple, alt komple vs.'ye ait olduğunun atamasını yapabilen ve buna uygun ultrasonik parametreleri seçebilen bir veri tabanına sahip
- Network ile uyumlu
- Ekogramları ve ilgili parametreleri kayıt edebilme özelliğine sahip
- Detaylı raporlama yapabilen
- İstatistik fonksiyonuna sahip

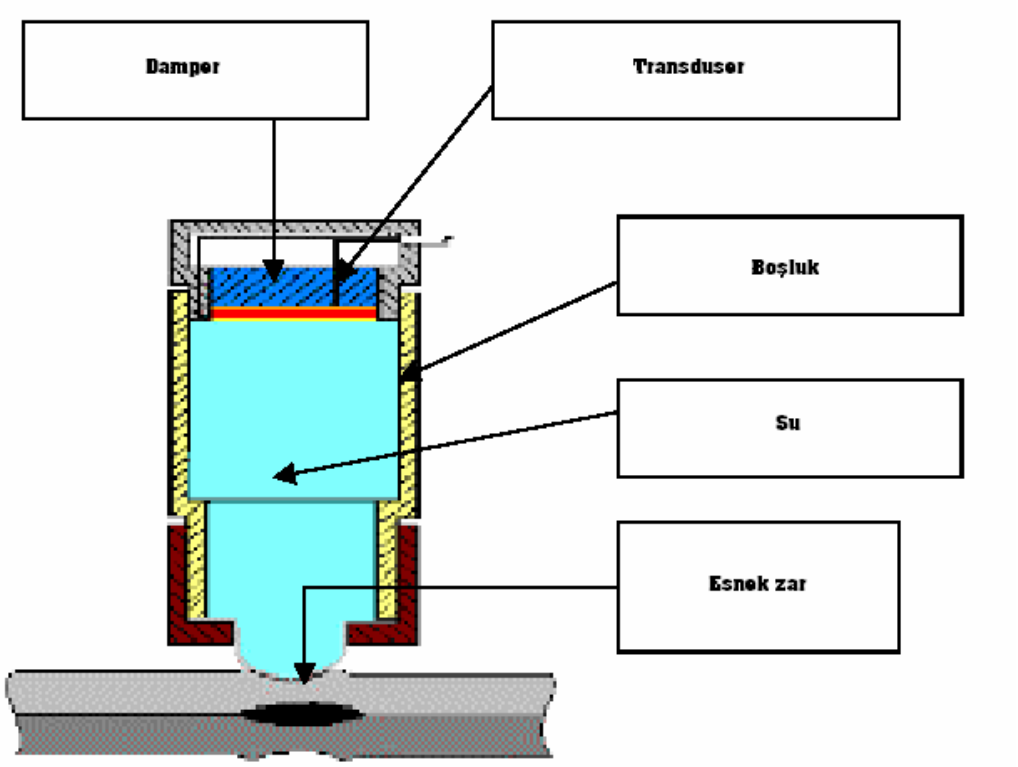
Kalibrasyon sertifikasını kullanıcı kontrol eder ve yeniler.

Transduserler:

İçerisinde su haznesi bulunan, ihtiyaca göre 15 ya da 20MHz frekansa sahip, ve test edilecek punta kaynağına uygun çapı olan özel transduserlerdir. Transduserlerin çapı, kaynak noktası için müsade edilen minimum kaynak çapına uygun olmalıdır.



Şekil 4.5 : Transduser



Şekil 4.6 : Transduser

Probun Yapısı:;

Tranduser, esnek zarı sayesinde kaynak noktasının çeşitli şekillerine uyum sağlayarak, doğru birleşmeye olanak sağlamaktadır.

Transduser üzerine zar takılıp, su ile doldurulduğunda, yeterli temas olabilmesi amacıyla zar 4-7 mm dışarıya doğru şişecektir. Bu olmadığında, transduser tekrar su ile doldurulmalı ve zar yenisi ile değiştirilmelidir. Transduseri su ile doldururken, içerisinde hava kabarcığı bulunmamasına dikkat edilmelidir. Hava kabarcıkları test sonucunu saptırır.

Test sırasında operatör elastik zarın şişkinliğini periyodik olarak konrol etmeli ve gerektiğinde değiştirmelidir.

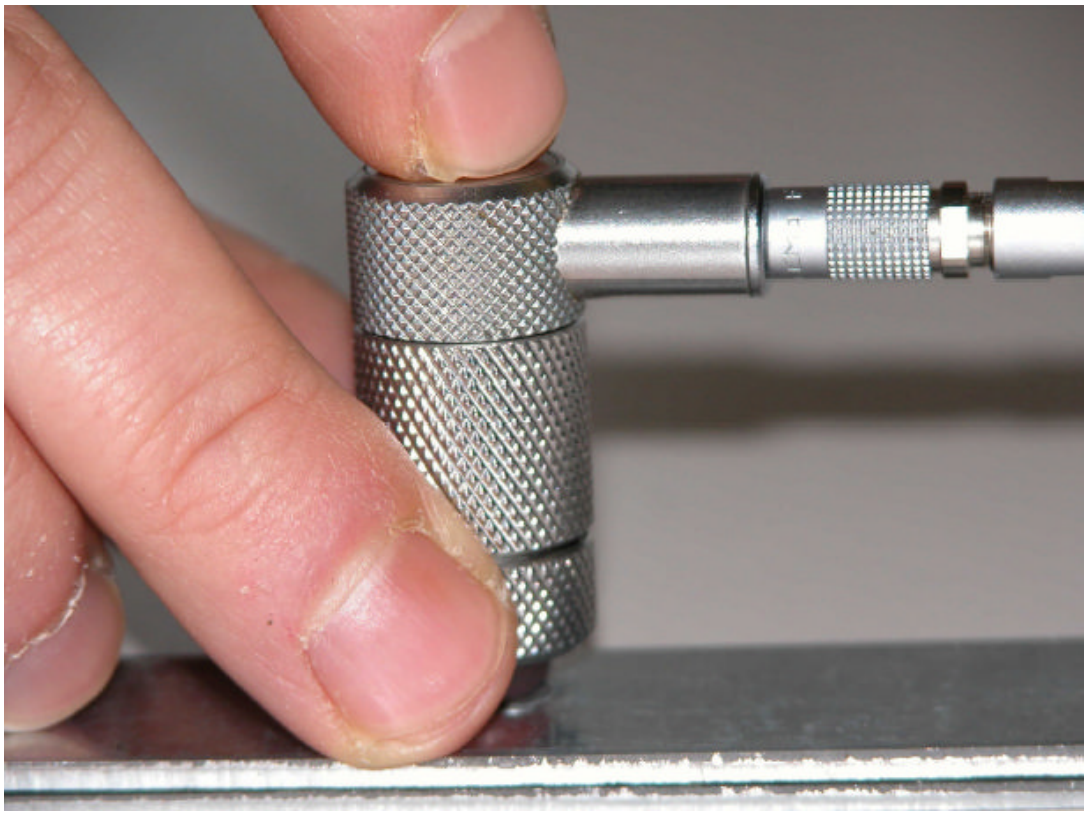
Temas Yüzeyindeki Sıvı:

Ultrasonik uygulamalar için özel yağlar temas yüzeyinde kullanılır. Yağ antikorozif ve operatör sağlığı için tehlikeli katkı maddelerini içermeyen özellikte olmalıdır.

Testin Yapılışı: Bir kaynağın durumunun ultrason yöntemiyle kontrol edilmesi için transdüserin test yüzeyine doğru konumlandırılması önemlidir.

Test edilecek kaynak yüzeyinde zarın zarar görmemesi için çapak bulunmamalıdır.

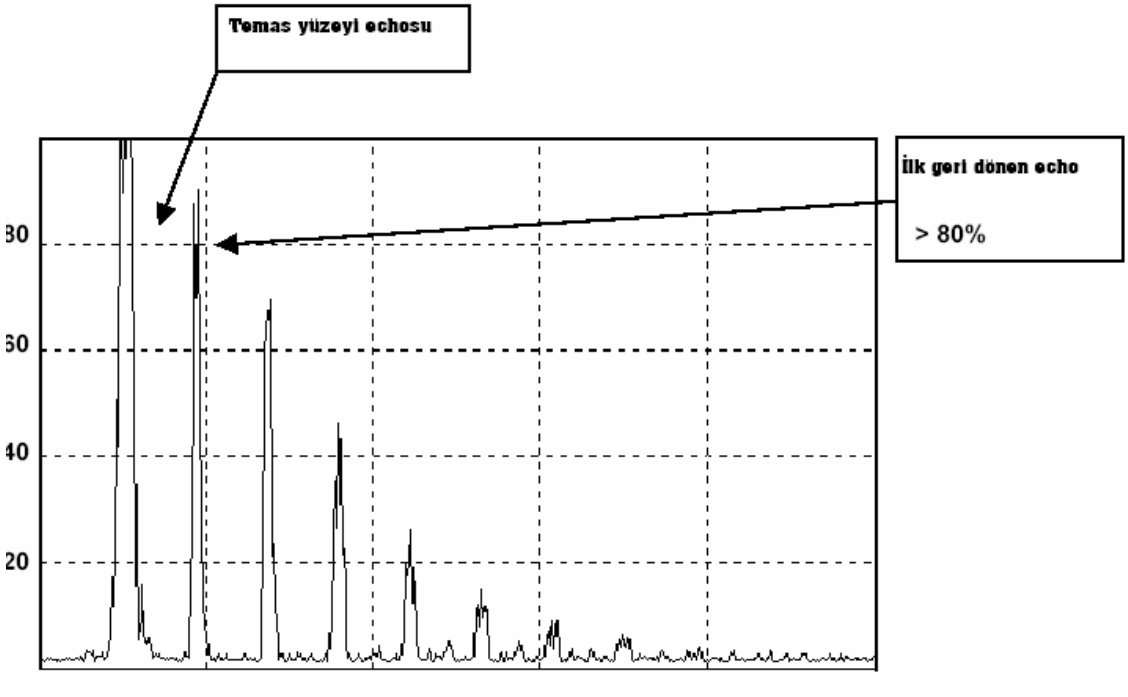
Transdüser şekilde görüldüğü gibi baş parmak ve orta parmak arasında tutulmalıdır. İlk başta test noktası üzerinde hafif eğimli olarak yerleştirilip daha sonra işaret parmağı ile dik pozisyona yavaşça getirilmeli ve hafifçe baskı uygulanmalıdır [5].



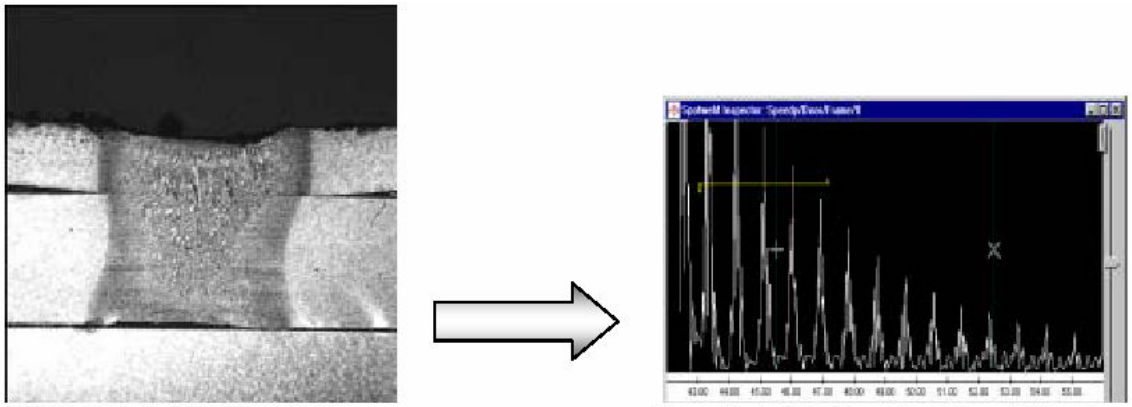
Şekil 4.7: Ultrasonik Sesin Optimizasyonu

Echogram

İlk geri dönen echo nun en az %80 olması gerekir.



Şekil 4.8: Echogram Örneği



Şekil 4.9 : Sacın Kaynağı Ve Elde Edilen Echogram Grafiği

4.2.2.3. TOFAŞ-FİAT Fabrikasında Direnç Nokta Kaynak Kontrol Talimatı ve İlgili Belgeler

Talimat

Amaç : Otokontrol operasyonunda, yapılması ve uygulanması gereken kuralları belirlemek.

Kapsam : Gövde Üretim Müdürlüğündeki tüm punta kaynağı operasyonlarını kapsar.

Tanımlar :

Yarı Tahribatlı Kontrol: Yapılan operasyonun doğruluğunu kontrol etmek üzere, birleştirilen sac ve diğer malzemelerin çekiç ve keski yardımıyla birbirlerinden ayrılması işlemidir.

Sorumluluklar :

Talimatın uygulanmasından ve uygulamanın denetlenmesinden sorumlu olanlar aşağıda görülmektedir

Uygulama :

Otokontrol Formu Doldurma İşlemi:

1. Otokontrol Formu'nu her hafta başında TÜT Liderinden alın.
2. Operasyonun adını yazın.
3. Atılan punta adedini yazın.
4. Adınızı ve Soyadınızı yazın.
5. Tarih kısmına, içerisinde bulunulan haftanın başlangıç ve bitiş tarihlerini yazın.
6. Punta Kaynağı Gözle Kontrol Operasyonu ve Punta Kaynağı Yarı Tahribatlı Kontrol Operasyonlarını aşağıda belirtildiği şekilde yapın ve ilgili yerleri doldurun.
7. Hafta bitiminde Formu TÜT Liderine teslim edin.
8. Hafta bitiminde Otokontrol Formunu teslim alan amir formları C-04-176 Otokontrol Değerlendirme Formuna işler.

Punta Kaynağı Gözle Kontrol Operasyonu:

1. Çapaklı Punta, Çökertmeli Punta hatalarını göz kontrolü ile yapın.
2. Bu kontrolleri 1/20 frekansıyla tekrarlayın.

3. Değerlendirme sonucunda hata var ise durumu ilk amirinize haber verin ve ara stoklarınızı kontrol edin.
4. Hatalı punta olduğu kendisine bildirilen amir C-04-196 nolu Punta kalitesi kontrol formun'da bildirildiği şekilde prosesi kontrol eder ve hataya sebep olan nedenleri ortadan kaldırır.
5. Çalışanın yaptığı tarama sonucunda başka hatalı parçalar tespit edildi ise amir durumu değerlendirir. Parçaların tamiri gerekiyorsa yapılmasını sağlar.
6. Eğer ara stoklarda da hata tespit edilirse amir tarama seviyesini yaygınlaştırır. Sonucu C-93-110 nolu Tarama Formuna işler.
7. Punta Dağılımı Bozuk, Punta Yok kontrolünü,Üretim parçasının, Numune Parça veya Detaylı Parça Resmine uyumuna göre yapın.
8. Bu kontrolleri 1/20 frekansıyla tekrarlayın.
9. Değerlendirme sonucunda hata var ise durumu ilk amirinize bildirin ve önceki 20 parçayı kontrol edin.
10. Hatalı punta olduğu kendisine bildirilen amir proseste eksik punta atmaya veya punta dağılımının hatalı olmasına neden olabilecek herhangi bir zorluk olup olmadığını kontrol eder varsa hataya sebep olan nedenleri ortadan kaldırır veya kaldırtır. Parçaların tamiri mümkünse tamir yapılmasını sağlar.
11. Eğer önceki 20 parçada da aynı oranda hata tespit edilirse, amir tarama seviyesini yaygınlaştırır. Sonucu C-93-110 nolu Tarama Formuna işler.

4.2.2.4 Punta Kaynağı Yarı Tahribatlı Kontrol Operasyonu

1. Çekiç (500gr.) ve keskiyi alın.
2. Detaylı Parça Resmi veya Numune Parça üzerinde ➡ işareti ile belirtilen puntaları tespit edin.
3. Keskiyle, iki punta arasına girip, çekiçle vurun.
4. Bu işlemi, parçanın ıskarta edilmemesine veya tamiri mümkün bir durumda olmasına kadar sürdürün.
5. Bu kontrolün yapılma frekansı en az 2/Vardiya olacak şekilde ilk amir tarafından belirlenir ve Otokontrol Kartında ilgili hane işaretlenerek çalışana bildirilir.
6. Punta kopmuyorsa puntalama işlemine devam ediniz.

7. Punta kopuyorsa, imalatı durdurun ve durumu acilen ilk amirinize bildirin. Mevcut ara stoklarınızı kontrol edin.
8. Punta kopuğu kendisine bildirilen amir C-04-196 nolu Punta kalitesi kontrol formun'da bildirildiği şekilde prosesi kontrol eder ve hataya sebep olan nedenleri düzeltir. Önceki parçalarda hata olup olmadığını tarar. Varsa bu parçalara gereken işlemleri yapar ve sonuçları C-93-110 nolu Tarama Formuna işler.

TOFAŞ

PUNTA KALİTE SORUNLARI ANALİZ FORMU

GÖVDE ÜRETİM MÜDÜRLÜĞÜ

Parça Adı :	
Trafo No :	

Kontrol Tarihi		
A PENSESİ OK / NOK	B PENSESİ OK / NOK	AÇIKLAMA
Üst (hareketli) taşıyıcı elektroddaki debi uygun mu? (min. 3 lt./dak)			
Alt (sabit) taşıyıcı elektroddaki debi uygun mu? (min. 3 lt./dak.)			
Soğutma borusunun pozisyonu uygun mu? (0-3 mm.)			
Soğutma borusunun ucu açık ve 45^0 kesik mi?			
Pensenin uçsuz haldeki son pozisyonu uygun mu? (0-3 mm)			
Elektrod ucunda kalsiyum birikmesi var mı?			
Elektrod uçları birbirini karşılıyor mu.?			
Elektrod uçları baskı altında iken kaydırma yapıyor mu?			
Çalışma sırasında pense, parça veya aparattan şase alıyor mu?			
Pense gövdesinde ve ekipmanında kısa devre var mı?			
Gidiş ve dönüş suyu karışıyor mu?			
Pensenin saca dik tutulmasına engel olacak herhengi bir çalışma zorluğu var mı?			
Kuvvet öngörüldüğü gibi mi?			
Akım toleransı +/- % 5' e ayarlı mı?			
Kullanılan uçlar uygun mu?			
Çalışma zorluğu var mı? (penseyi eğik tutmaya engel olacak şekilde)			
Program no1 ve program no2 uygun yerlerde kullanılıyor mu?			
Makina parametreleri, C-04-167 nolu punta kaynak makinası parametre formunda öngörüldüğü gibi mi?			
Program sabit akıma göre ayarlı mı?			
Buster sağlam mı? (Kuvvet ölçer ile ölçüm yaparken penseyi min 10 sn baskıda beklet, değer değişmiyor ise buster "ok" demektir)			
Kuvvet değeri toleranslar dahilinde mi? (En az 10 defa arka arkaya kuvvet değeri ölçümü yapılır ve ölçülen değerlerin +/- 0,2 kN toleransı içerisinde olup olmadığı kontrol edilir.)			
Mıyachi (akım ölçer) ile ölçülen akım değeri set edilen akım ile aynı mı?			
Sac malzeme kalınlığı resimde öngörüldüğü gibi mi?			
Sac malzemesi ve kaplaması resimde öngörüldüğü gibi mi?			
Su filtresi temiz mi?			
Punta çekirdek çapı uygun mu?			

* Yukarıdaki kontrollere rağmen hata kök nedeni tespit edilememişse yeni parametre belirlenir.

C-04-196/034

Şekil 4.10 : Punta Kalite Sorunları Analiz Formu

4.3 Direnç Nokta Kaynak Hataları

4.3.1 Kaynak Hataları

4.3.1.1 Gevşek Punta

- Metalleri tutma özelliği olmayan hatalı puntalardır.
- İki yüzeyden metal kırılması olmayan
- İki yüzeyde az miktarda kırılması olan
- Kaynak puntalarının kayma mukavemeti minimumun altında olan puntadır.

4.3.1.2 Fazla Punta

Punta gruplarında mininmum punta seviyesinin altında punta atılmasıdır.

4.3.1.3 Yanık ve Gözenekli Punta

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

4.3.1.4 Sert Punta

Kullanılan malzeme ve yöntemi sertlik 400 HV yi geçmemelidir. Sert kaynaklarda tutma mukavemeti minimum değerin altındadır. Kaynak yüzey yapısında hata gözlemlenir.

4.3.1.5 Çekirdek Çapı Küçük Punta

Punta kaynak çapının optimum değerden küçük olduğu puntadır.

4.3.1.6 Eksik Punta

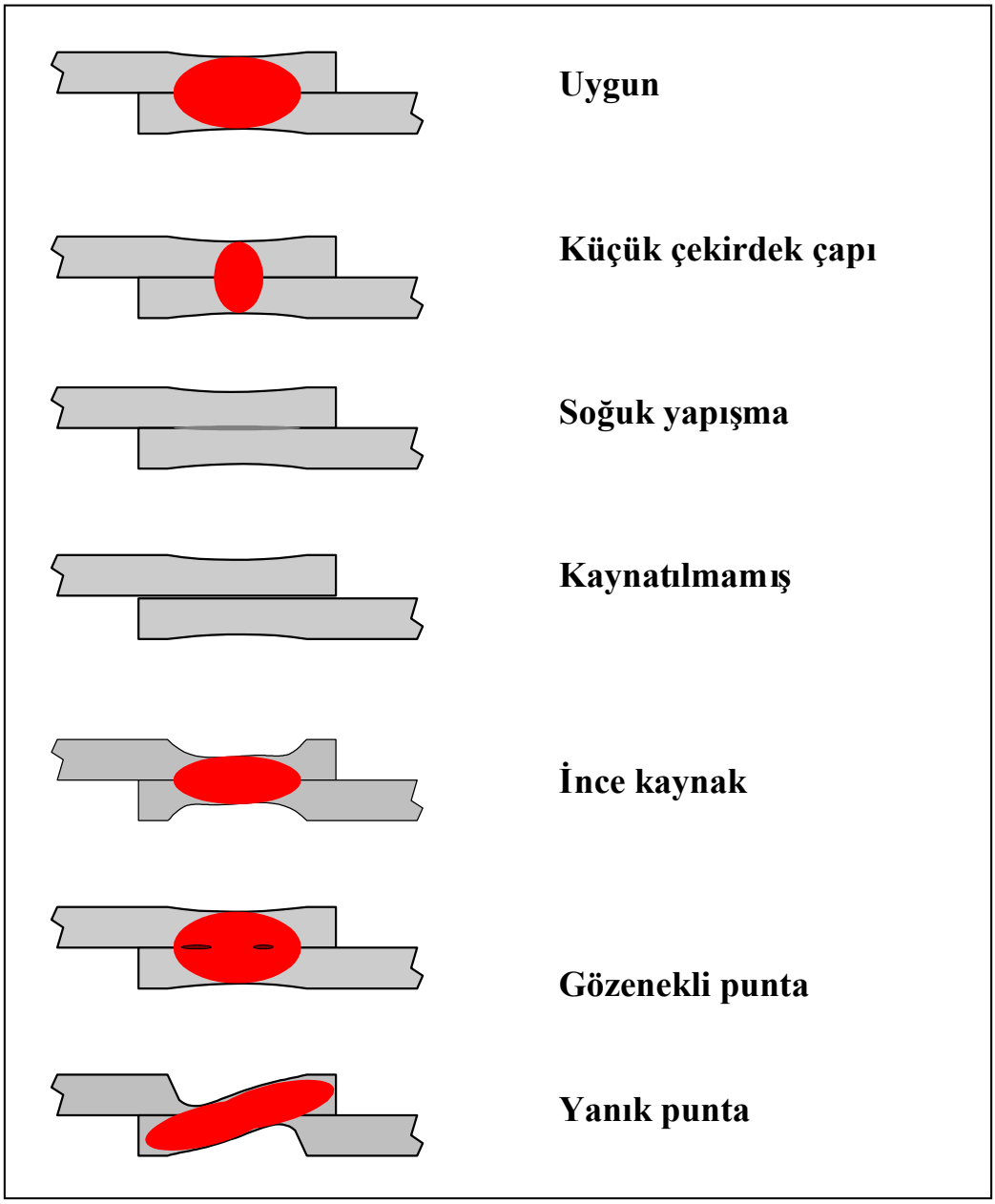
Punta kaynak yapılmamış bölgelerde hatalı punta gözlenir. Hatalı kaynaklar tüm bağlantılar için bir bölgede minimum % 80 tatmin edici kaynak olmalıdır

4.3.1.7 Kaçık Punta

Belirlenen bölgeler dışında punta olması red kabul edilir. Bağlı bulunduğu bölgenin özelliklerini taşımaz [2].

4.3.1.8 Soğuk Yapışma

Saçların üzerindeki kaplamaların eriyip saçların mukavemetsiz şekilde yapışmasıdır.



Şekil 4.11 : Kaynak Hataları

4.4 Direnç Nokta Kaynak Hatalarının Sebepleri

Aşağıdaki tabloda kaynak hatalarının olası sebepleri gösterilmiştir. Hataya sebep verme olasılığı daha yüksek olan nedenler (X) ile, daha düşük olan nedenler ise (O) ile işaretlenmiştir. Bu sebeplerin herhangi biri hataya sebebiyet verebileceğinden her bir ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Örneğin çekirdek çapı beklenenden küçük veya oluşmamış ise, bu hatnın sebebi olarak; enerjinin yetersiz olduğu, kuvvet akım ilişkisinin hatalı olduğu (kuvvet artmış, akım değişmemiş) veya stepper programının yanlış seçildiği üzerinde durulmalıdır.

Çapak miktarı fazla ise, akımın olması gerekenden yüksek olduğu, kaynak işlemine erken geçildiği veya elektrod ucunun eğelenmesi sırasında oluşan difüzyon katmanının alındığı kontrol edilmemlidir.

Tablo 4.1 : Direnç Nokta Kaynak Hatalarının Sebepleri

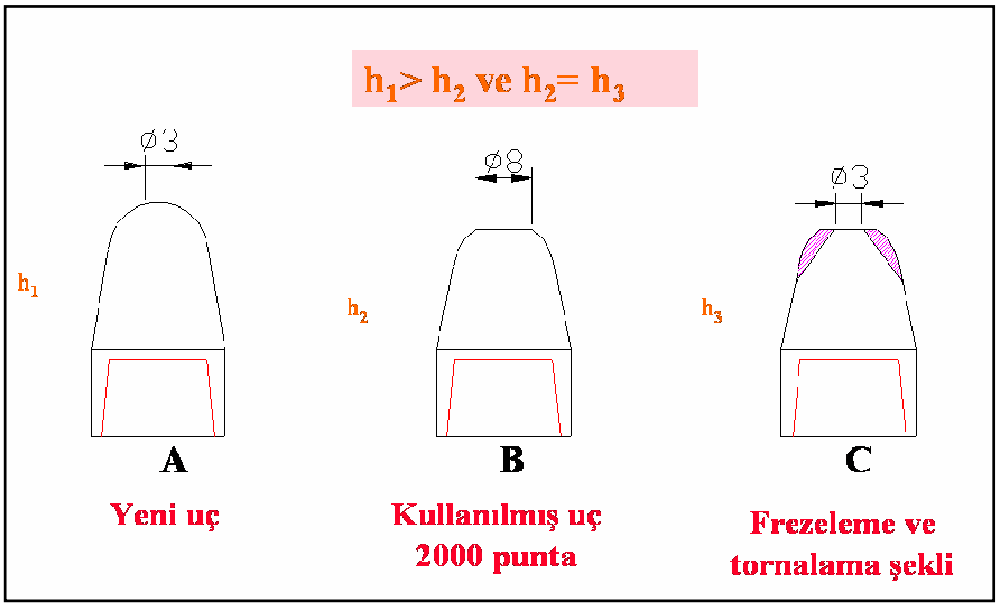
		HATA SEBEBİ											
KAYNAK HATALARIIIN OLASI SEBEPLERİ		AZ UÇ ÖMRÜ	KAYNAK ARA YÜZEYİNDEN ÇAPAK	YÜZEYDEN AŞIRI ÇAPAK	UÇ YAPIŞMASI	YÜZEY MANTARLAŞMA	KAYNAK MUKAVEMETİ ZAYIF	YÜKSEK GÖÇERTME	KAYNAK ÇATLAKLARI	UÇ ÇIKMASI	ELEKTROD ÇATLAMASI	OVAL KAYNAK	PATLAMA
sıkma zamanı	kısa	O	X	X			X						
kaynak zamanı	kısa				O		X			O			
	uzun	X	X			X		X					
tutma zamanı	kısa			X	X		X		X				
kaynak kuvvet	az		O						X				O
	çok	X				X		X					
kaynak	az						X		X				
akımı	çok	X	X	X	X	O		X		X	X		O
elektrod	dar	X	X	X	X	O		X		X			
yüzey alanı	geniş						X						
yüksek sıcaklıklarda düşük iletkenlik		X	O	O	O	O	O						
elektrodlar karşılamıyor				X	X		O	O			O		
yetersiz soğutma		X		X	X	X			O	O			
elektrodlar uyumsuz			X	O	O		X	O	X	O		X	X
kenardan yetersiz uzaklık		O						X					
yüksek sıcaklıklarda elektrotta düşük metalürjik mukavemet		X		X		X				X			
elektrod yüzeyinde galvaniz birikintisi		X		X	X		X		X	X		X	
iki farklı malzemeyi kaynak yapmak		X		X	X	O	O			X			
kaynaklar birbirine çok yakın							X						
kirli malzeme		X		X			X						
yüzeyde oksitlenme		X		X			X						

4.5 Direnç Nokta Kaynak Makinasının Kalitesi – Bakım İşlemleri

4.5.1 Geri Dönüşüm ve Elektrod Ömrü

Yeni elektrodun kullanılarak ömrünü tamamladıktan sonra tornalama veya frezeleme işlemleriyle tekrar kullanılabilir hale getirilmesine geri dönüşüm denir.

İdeal şartlar, uç elektrodun bir kez takılıp sökülmesi ile ömrünü tamamlamasıdır. Çünkü, elektrod defelarca sökülüp takılması sırasında, maliyeti daha fazla olan port elektrod (uc elektrodun üstüne takıldığı taşıyıcı elektrod) konikliği bozulmamış olur ve ömrü daha uzun olur.



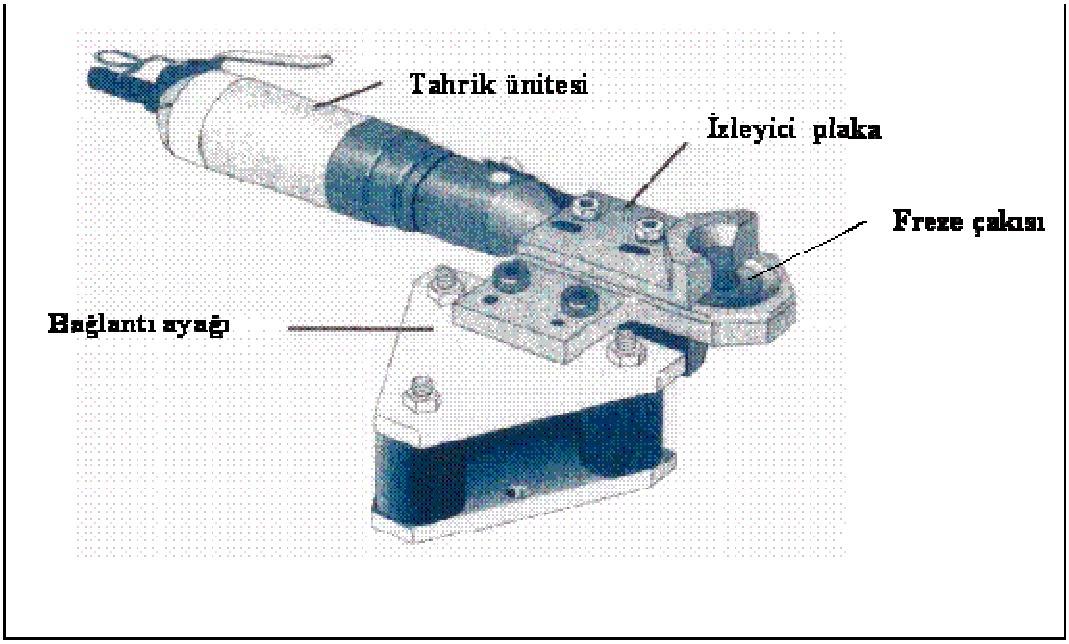
Şekil 4.12 : Frezeleme Ve Tornalama İşlemleri

Frezeleme, elektrod ucunun kenarlarından tıraşlanmasını sağladığı için daha uygundur. Bu sayede difüzyon katmanı korunur. Pnömatik el frezesi veya robot frezesi ile yapılır. Frezeleme işlemi yapılırken uç elektrod pense ucundan çıkartılmadığı için port elektrodun konikliği bozulmaz. Bunu sağlayabilmek için uç elektrodun genişleyen yüzeyinin kenarlarından tıraşlayarak ilk durumdaki basma alanını oluşturmak gerekir [5].



Şekil 4.13 : El Frezesi

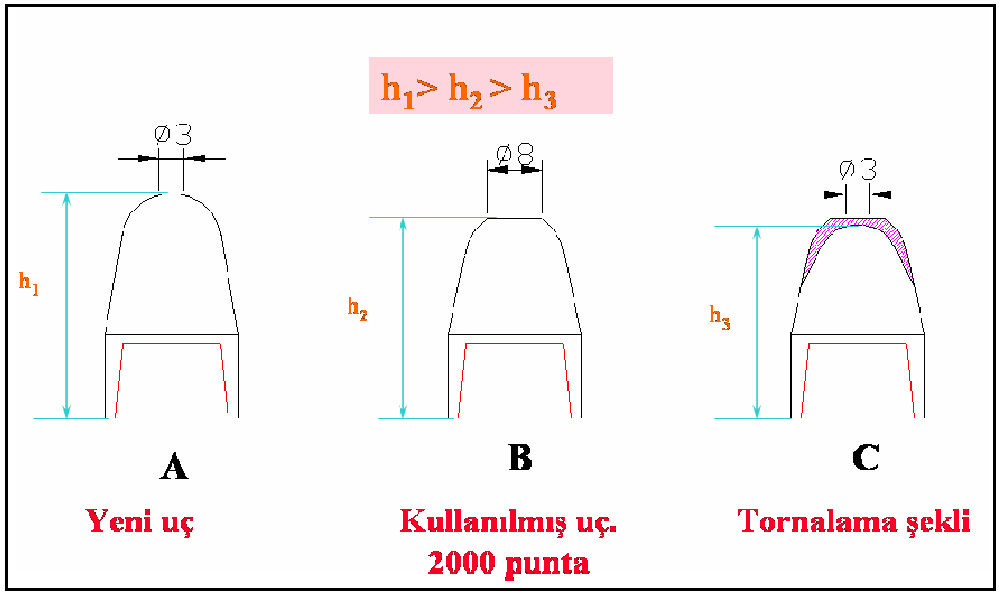
El frezesinin ucu frezeleme miktarını ayrlayacak şekilde tasarlanmıştır. Operatör, el frezesinin ucundaki şekli alana kadar frezeleme yapar.



Şekil 4.14: Robot Frezesi

Yeni takılan uç, belirli bir süre kaynak işleminden sonra, makina otomatik olarak kendini kaynaksız duruma (kaynak atmaz) alır ve uç değiştirilir. Elektrod malzemesi, geometrisine ve kaynak paremetrelerine bağlı olarak elektrod ucunun kullanım ömrü değişir. Ortalama değer olarak, elektrod ömrü 2500 puntadır.

Tornalama işleminde, elektrod ucunun sökülüp takılması sırasında port elektrodun konikliği zarar görür. Tornalama işlemi sırasında difüzyon katmanı yokolur.



Şekil 4.15 : Tornalama İşlemi

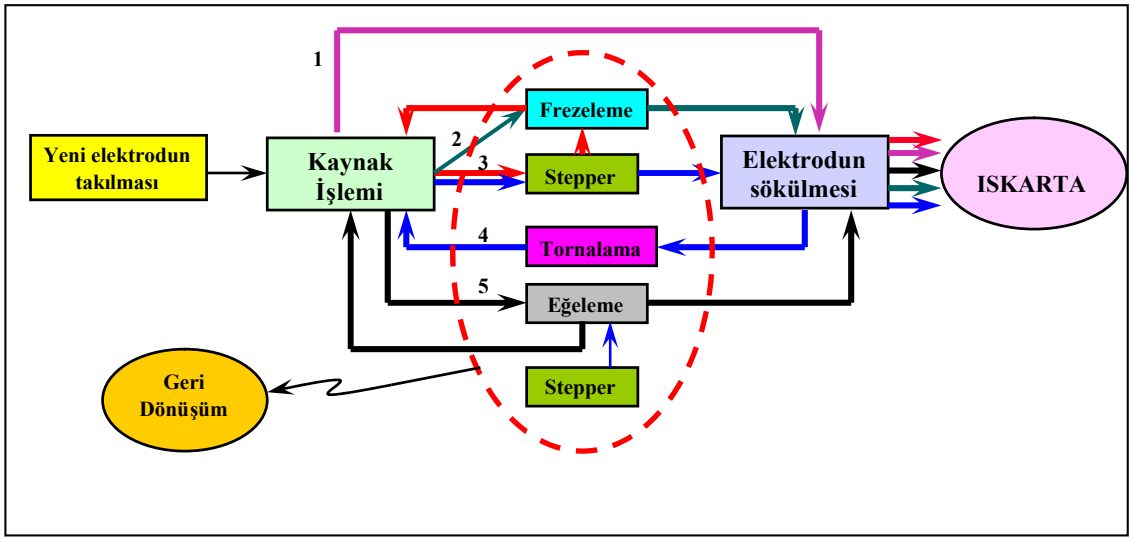
Aşağdaki şekilde geri dönüşüm akış şeması görülmektedir. Uygulanabilecek metodlar numaraladırılmıştır.

1 nolu döngüde, yeni takılan elektrod kaynak işleminden sonra hiçbir işlem yapılmadan ömrünü doldurunca ıskartaya atılmaktadır. Bu durum, israfa yol açtığı için tercih edilmez.

2 nolu döngüde, belirli bir süre kaynak işleminden sonra, makina otomatik olarak kendini kaynaksız duruma alınca; operatör frezeleme işlemine başlar. Alt ve üst elektrodların uçlarını frezeler. Kaynak işlemine devam edilir. Elektrod malzemesine, geometrisine ve kaynak paremetrelerine bağlı olarak değişmekle beraber bu işlemler 20 kez tekrarlanabilir ve bundan sonra uç ıskartaya ayrılır.

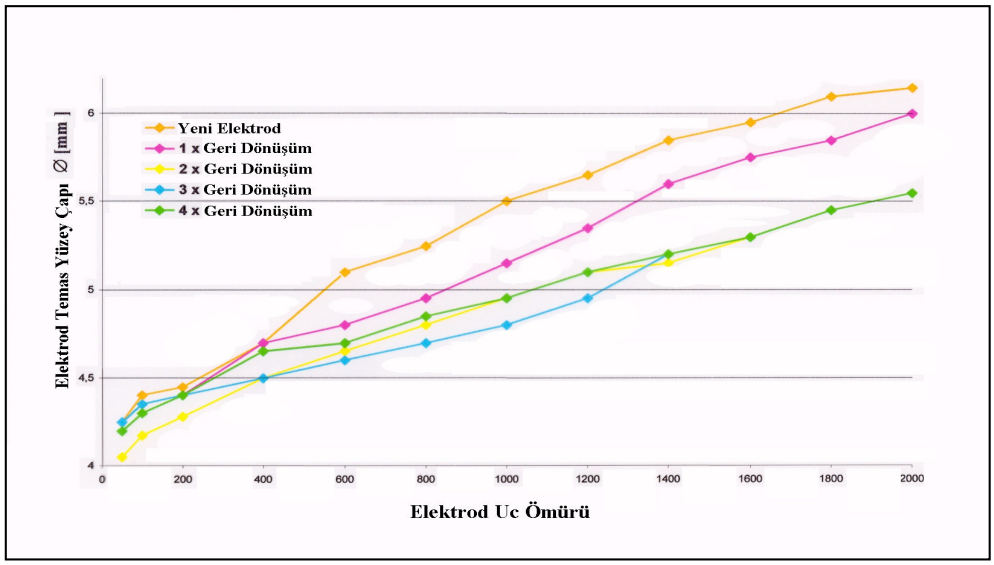
3 nolu döngüde, kaynak işlemi sırasında stepper kullanılır. Stepper, önceden belirlenen punta sayısına ulaşınca makinaya verdiğimiz yüzde de akımı artırarak kaynak işlemi yapılmasıdır. Çünkü, elektrod ucu aşınarak düzleştiğinde ve ucun alanı artığında akım yoğunluğu azalır. Akım yoğunluğunu sabit tutmak için kaynak akımı belli yüzdelerde artırılır. Ancak, elektrod ucu alanı yaklaşık 2 kat büyüdüğünde akım artırılsa da istenilen kalite de kaynak çekirdeğine ulaşılamaz ve frezeleme işlemine geçilmesi gerekir. Bundan sonra kaynak işlemine devam edilir. Bu döngüde stepper kullanımıyla elektrod daha düşük ısıya maruz kalır ve ömrü uzar. Döngü, ortalama 10 kere tekrarlanabilir ve uç ıskartaya atılır.

4 nolu döngüde, stpper uygulanarak yapılan kaynak işleminden sonra elektrod çıkartılır ve tornalama işlemine gönderilir. Tornalama sonrası elektrod ucu takılarak kaynak işlemi yapılır. Bu döngü 1 defa uygulanabilir ve elektrod ucu ıskartaya ayrılır.



Şekil 4.16 : Geri Dönüşüm Akış Şeması

Çalışma sayısının artmasıyla elektrod malzemesi sertleşmektedir. Elektrod aşınması, frezeleme ve tornalama işlemlerine bağlı olarak elektrodun boyu kısalmaktadır. Bu iki etken döngünün sınırlarını belirlemektedir.



Şekil 4.17 : Elektrod Yüzey Karşılaştırılması

Yukarıdaki şekilde; yeni uç, 1,2.3 ve 4 geri dönüşüm sonunda elektrod temas yüzeyi ölçülerek ve elektrod uç ömrü ile karşılaştırılmıştır. Elektrod temas yüzey çapı yeni uçta en çokken, sırayla her geri dönüşümde azalmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde kaynak kalitesini etkileyen etmenleri belirlemek için yaptığımız deneysel çalışmalar anlatılacaktır.

5.1 Kuvvet Çekirdek Çapı İlişkisinin İncelenmesi

Deneyin Amacı; Kuvvet çekirdek çapı ilişkisinin kaynak kalitesine etkisinin belirlemek.

Deney malzemeleri; farklı kalınlıktaki saçlar (0,8+0,8), (1+1) ve (2+2) lik FeP04 malzeme ve ZnT2 kaplamalı saçlar kullandık. Çekirdek çapını ölçmek için kumpas aldık. Kaynak işlemi Fase Marka askılı kaynak aparatı ve Gerbi kaynak pensesi kullanılarak yaptık.

Deneysel prosedür; kaynak işlemi akım ve kaynak zamanı sabit tutulup kuvveti artırarak çekirdek çapını ölçtük.

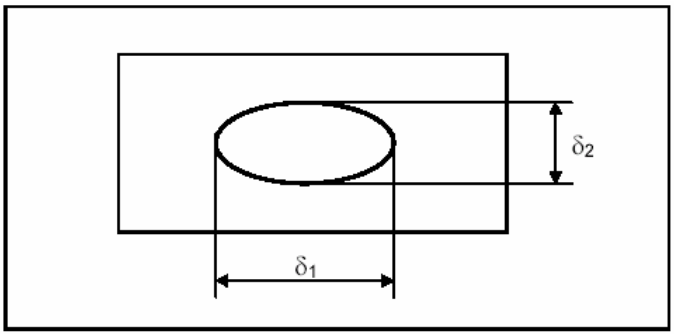
Tablo 5.1 : Kuvvet – Çekirdek Çapı Deneyi Kaynak Parametreleri

Saç Kalınlığı (mm)	**0.8+0.8**	**1+1**	**2+2**
Sıkma Kuvveti (kN)	2,4	2,5	3
Kaynak Akımı (kA)	6,5	7,1	9,2
Yaklaşma Zamanı (cycle)	23	30	25
Basınç Zamanı (cycle)	22	30	27
Rampa (cycle)	3	3	3
Kaynak Zamanı (cycle)	8	10	10
Kaynak Tekrar Sayısı (pulse)	2	2	2
Ağız Açma Zamanı (cycle)	10	9	9

Otomotiv gövde üretiminde kaynakla birleştirilen saçlara aralarında mesafe bırakılarak peş peşe kaynak atılır. Sonuçta, kaynak akımının bir kısmı bir önce atılan punta kaynağın üzerinden geçer. Bu durumu simule etmek amacıyla kaynak mesafesini yaklaşık 1 cm bırakarak, aynı kuvveti kullanarak 2 kez punta attık.

Kaynak çapını ölçmek için kaynaklı saçları soyma metodu ile ayırdık. Attığımız ikinci puntanın çekirdek çapını ölçtük. Aşağdaki şekilden görebileceğiniz gibi, bu çap aslında tam bir daire olmadığı için enine (δ1) ve boyuna (δ2) alınan ölçümlerin ortlaması olarak hesapladık.

$$\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$



Şekil 5.1 : Çekirdek Çapının Ölçülmesi

Yaklaşma ve baskı zamanı 50 / 50 ve akım 5,6 kAm olarak aldık.

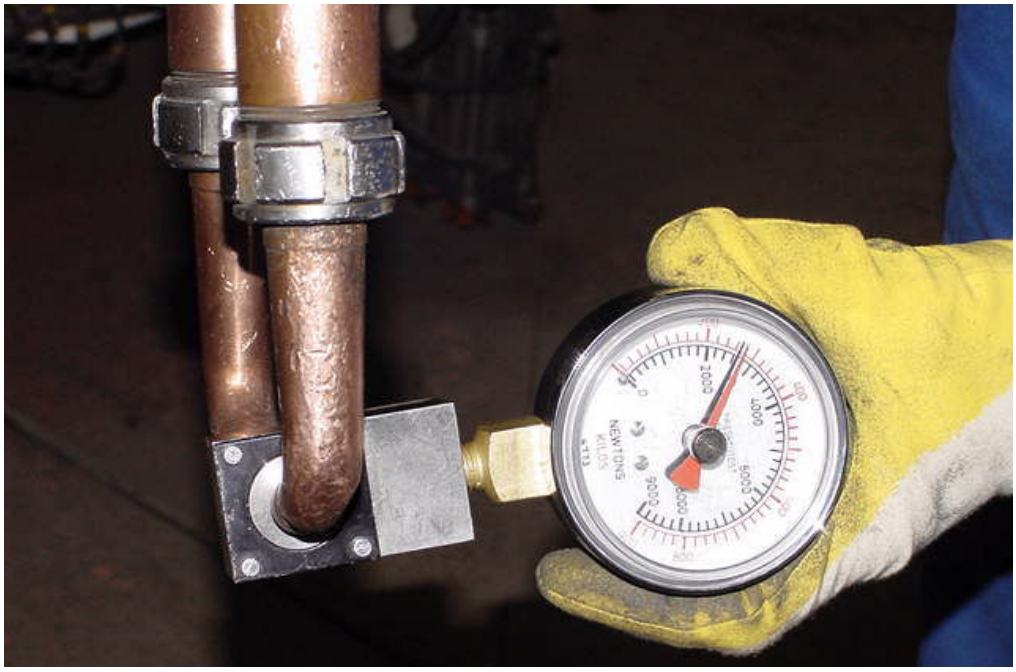
Daha önce TOFAŞ-FİAT ta yapılan deneysel çalışmalarda belirlen optimum çekirdek çapları ile deneysel çalışmamızda bulduğumuz çap değerlerini karşılaştırdık.

Optimum çap değerleri saç kalınlıklarına göre belirlenmiştir. Kuvvet değerleride saç kalınlıklarıyla orantılı olarak kaynak yapılabilirlik sınırları içinde seçilmiştir.

Kuvvet, optimum çekirdek çapı, kullanılan pense uçlarını aşağdaki tablolarda göreceğiniz Fiat standartlarına göre belirledik.

Tablo 5.2 : Elektrod Ucu Seçim Tablosu

ELEKTROD UCU SEÇİM TABLOSU	
Sac kalınlığı	**Elektrod Tipi**
1,5 mm kalınlığa kadar	**B**
0,6 mm ve altındaki saclar	**P**
1,5 mm ve üzerindeki saclar	**P**



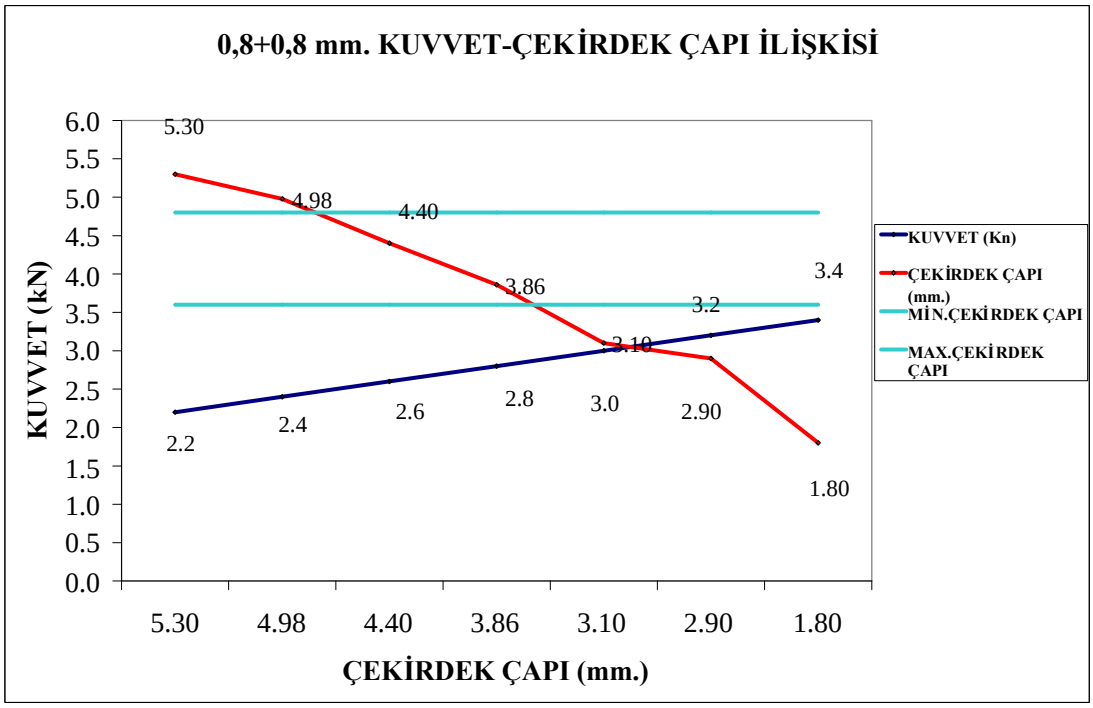
Şekil 5.2 : Kuvvet Ölçümü

Tablo 5.3 : Çekirdek Çapı Seçim Tablosu

ÇELIRDEK ÇAPI SEÇİM TABLOSU		
sac kalınlığı	**minimum çekirdek**	**optimum çekirdek**
0.5	**3.0**	**3.9**
0.5	**3.1**	**4.1**
0.6	**3.2**	**4.3**
0.6	**3.4**	**4.4**
0.7	**3.5**	**4.6**
0.7	**3.7**	**4.8**
0.8	**3.8**	**4.9**
0.8	**3.9**	**5.1**
0.9	**4.0**	**5.2**
0.9	**4.1**	**5.4**
1.0	**4.2**	**5.5**
1.2	**4.6**	**6.0**
1.5	**5.2**	**6.7**
1.7	**5.6**	**7.3**
1.8	**5.7**	**7.4**
2.0	**6.0**	**7.8**
2.2	**6.4**	**8.3**
2.5	**6.6**	**8.7**
2.7	**7.0**	**9.1**

Tablo 5.4 : 0,8 + 0,8 Lik Saçla Yapılan Deney

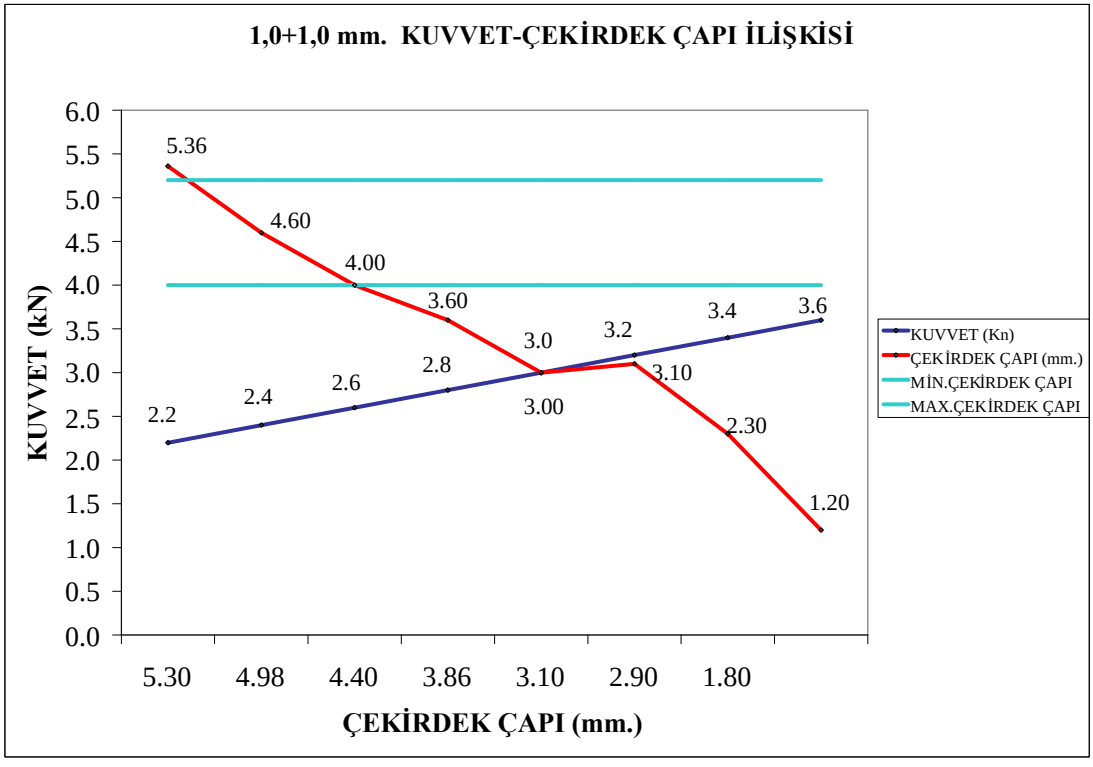
Kuvvet (Kn)	Hesaplanan Çekirdek Çapı (mm.)	Optimum Çekirdek Çapı	
		Min. Çekirdek Çapı (mm.)	Max. Çekirdek Çapı (mm.)
2.2	5.30	3.6	4.8
2.4	4.98	3.6	4.8
2.6	4.40	3.6	4.8
2.8	3.86	3.6	4.8
3.0	3.10	3.6	4.8
3.2	2.90	3.6	4.8
3.4	1.80	3.6	4.8



Şekil 5.3: 0,8 + 0,8 Lik Saçla Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.5 : 1 + 1 Lik Saçla Yapılan Deney

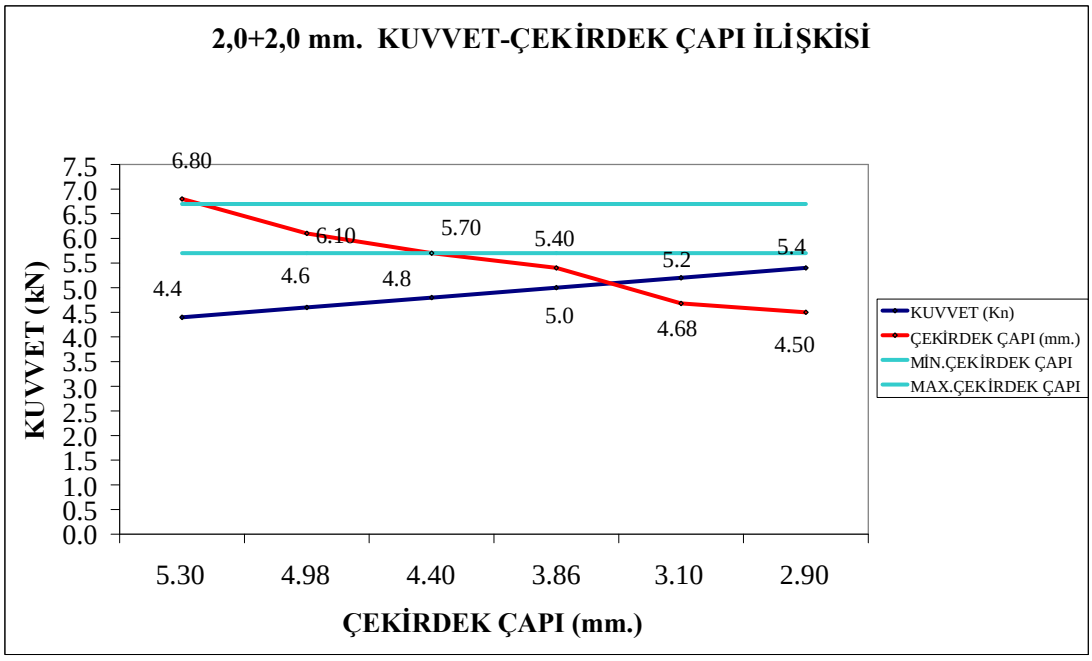
Kuvvet (Kn)	Hesaplanan Çekirdek Çapı (mm.)	Optimum Çekirdek Çapı	
		Min. Çekirdek Çapı (mm.)	Max. Çekirdek Çapı (mm.)
2.2	5.36	4.0	5.2
2.4	4.60	4.0	5.2
2.6	4.00	4.0	5.2
2.8	3.60	4.0	5.2
3.0	3.00	4.0	5.2
3.2	3.10	4.0	5.2
3.4	2.30	4.0	5.2
3.6	1.20	4.0	5.2



Şekil 5.4: 1 + 1 Lik Saçla Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 5.6: 2 + 2 Lik Saçla Yapılan Deney

Kuvvet (Kn)	Hesaplanan Çekirdek Çapı (mm.)	Optimum Çekirdek Çapı	
		Min. Çekirdek Çapı (mm.)	Max. Çekirdek Çapı (mm.)
4.4	6.80	5.7	6.7
4.6	6.10	5.7	6.7
4.8	5.70	5.7	6.7
5.0	5.40	5.7	6.7
5.2	4.68	5.7	6.7
5.4	4.50	5.7	6.7



Şekil 5.5 : 2 + 2 Lik Saçla Yapılan Deney

Sonuç olarak; üç farklı kalınlıktaki (0,8+0,8; 1+1 ve 2+2) saçlarda kuvvet artırıldıkça çekirdek çapının azaldığı görülmüştür. Düşük kuvvet uygulandığında çekirdek çapının kaliteli kaynak için olması gereken max. çekirdek çapından büyük olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde yüksek kuvvet uygulandığında çekirdek çapının çok küçük olduğu belirlenmiştir.

5.2 Soğutma Sisteminin İncelenmesi

Deneyin Amacı; Bu deneysel çalışmada, soğutma sisteminin kalitesi kaynak kalitesinin de çok etkili olduğu için yetersiz soğutulmuş uçlardaki renk değişiminin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Deney Malzemeleri; Deneysel çalışmada; 3 tane Albaksan marka CuCrZr malzemeden yapılmış B tipi yeni elektrod ucu, su sayacı ve kronometre aldık. Kaynak işlemi uygulamak üzere 0,8 + 1 mm lik FePO4 iki sac aldık.

Deneysel prosedür; Soğutma suyu debisini değiştirerek kaynak paremetrelerini sabit tutup 0,8 + 1 mm lik iki saca kaynak attıldığında elektrod uçlarındaki değişimi inceledik.

Tablo 5.7 : Soğutma Sistemi İncelenmesi Kaynak Paremetreleri

Saç Kalınlığı (mm)	**0.8+1**
Sıkma Kuvveti (kN)	2,4
Kaynak Akımı (kA)	6,5
Yaklaşma Zamanı (cycle)	23
Basınç Zamanı (cycle)	22
Rampa (cycle)	3
Kaynak Zamanı (cycle)	8
Kaynak Tekrar Sayısı (pulse)	2
Ağız Açma Zamanı (cycle)	10

Pensenin su girişine su sayacını bağladık. Kronometre ile 1 dakika zaman tutturak sayaçtan geçen su miktarına baktık. Soğutma suyu debisinin 5,2 lt / dak. olduğunu gördük. Daha sonra, tarafodan soğutma suyunun vanası ile suyun debisini 1 lt / dak indirdik. Kaynak işlemini başlayarak 20 tane punta kaynağı attık. Elektrod yüzeyinin yetersiz soğuma sonucu aşırı ısındığını ve yumuşamaya başladığı gözlemledik. Elektrod ucunun saca yapışmaya başladığını ve iş parçasından çok zor ayrıldığını gözlemledik.

Aynı işlemleri kaynak paremetrelerini sabit tutup soğutma suyu debisini 1,5 lt / dak ve 2 lt / dak. düşürerek yaptık.



Şekil 5.6 : Soğutma Suyu Debisinin Ölçümü Ve Kontrolü



Şekil 5.7 : 1,5 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç



Şekil 5.8 : 2 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç



Şekil 5.9 : 1 Lt / Dak. Debi İle Soğutulmuş Uç

Sonuç; Uçlardaki yanmış görüntü soğutma suyu debisi en az olanda en çoktur. Bu durum, elektrod ucu ömrünün azalmasına sebep olmuştur. Kaynak ucu ömrü 2500 puntaya kadar dayanırken soğutma suyu debisi beşte bir oranında azaltıldığında 20 puntaya kadar düşmüştür. Kaynak işleminin kalitesiz gerçekleştiğini gördük. Sonuç olarak kaliteli kaynak elde etmek için soğutma suyu debisi yaklaşık olarak 5 lt / dak olarak ayarlanmalıdır.

Tablo 5.8 : Kaynak Ucu Ömrü – Soğutma Suyu Debisi

Deney Sonucu				
Soğutma Suyu Debisi (lt / dak.)	5	2	1,5	1
Kaynak Ucu Ömrü (punta adedi)	2500	100	60	20

5.3 Elektrod Temas Alanı Etkileri

Deneyin Amacı; Bu deneyde, farklı kalınlıktaki saclarda akım konsantrasyonun önemi ve akım konsatrasyonun çekirdek çapına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Değişik kalınlıklardaki saçların kaynatılması sırasında, iki farklı elektrod ucu kullanılabilir. Eğer sac kalınlıkları arasında yaklaşık 0,5 oranı varsa, farklı temas alanı olan elektrod uçları kullanılır.

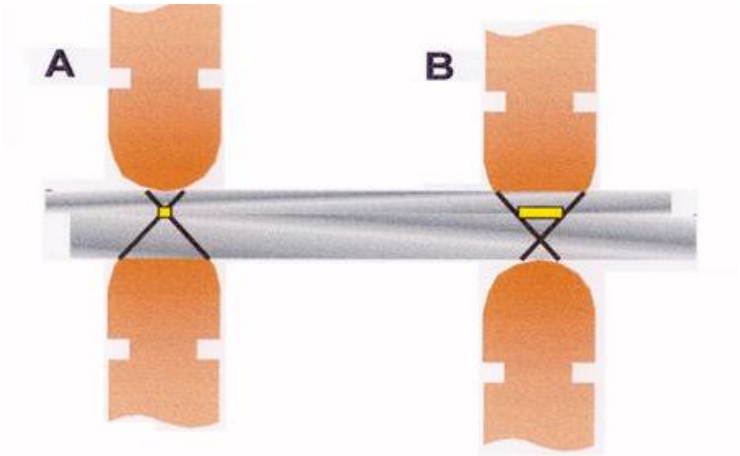
Deney malzemeleri; 1 adet B tipi ve 1 adet G tipi elektrod ucu, 1 mm ve 2 mm lik kaynak yapılacak 2 tarafı ZnT kaplı FePO4 malzeme saçlar, 1 adet kuvvet ölçer.

Deneysel prosedür; Kaynak paremetreleri sabit tutularak elektrod uçlarının yerini değiştirme yoluyla kaynak akımının odaklandığı merkezi değiştirerek kaynak çapının değişimini gözlemledik. Akımın odak noktasının ince saca yakın olmasının etkisini gördük.

Tablo 5.9 : Akım Konsantrasyonu Kaynak Paremetreleri

Saç Kalınlığı (mm)	**1+2**
Sıkma Kuvveti (kN)	3
Kaynak Akımı (kA)	9
Yaklaşma Zamanı (cycle)	25
Basınç Zamanı (cycle)	30
Rampa (cycle)	3
Kaynak Zamanı (cycle)	10
Kaynak Tekrar Sayısı (pulse)	1
Ağız Açma Zamanı (cycle)	11

Aşağdaki şekilde akım konsantrasyonun şematik olarak yeri gösterilmektedir.

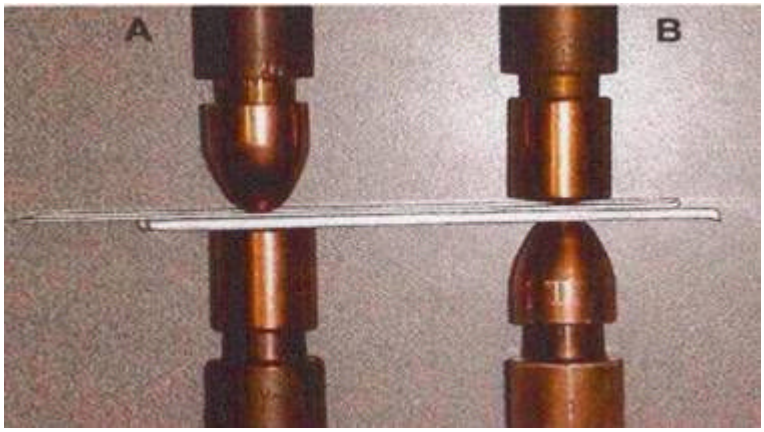


Şekil 5.10 : Deneyin Şematik Anlatımı

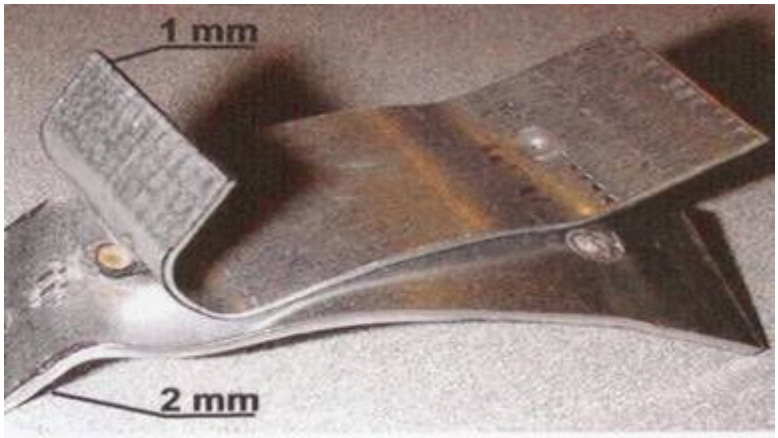
İlk önce B tipi uç üstte ve G tipi uç aşağıda olacak şekilde kaynak işlemi yaptık. İnce saca, temas alanı daha küçük olan elektrod (B tipi) bastı, soyma testinden sonra kumpasla kaynak çekirdek çapını ölçtük ve 5 mm değerini bulduk.

Daha sonra, G tipi ucu yukarda ve B tipi ucu aşağda tutarak kaynak işlemini yaptık. İnce saca, temas alanı daha büyük olan elektrod ucu (G tipi) bastı. Soyma deneyi ile kaynaklı saçları birbirinden ayırdıktan sonra çekirdek çaplarını ölçtük ve 1 mm değerini bulduk.

Aşağdaki şekilde B ve G tipi uçların yerlerinin değiştirilmesi ve deneyin yapılışı gösterilmektedir.



Şekil 5.11 : B Ve G Tipi Uçlarla Kaynak İşlemi



Şekil 5.12 : Soyma Deneyi

Sonuç; Farklı kalınlıktaki saclar punta kaynak ile birleştirildiğinde, kaynak paremetreleri sabit tutulduğu halde; uçların pozisyonu değiştirilmesi durumunda değişik kaynak çekirdek çapı ile karşılaşılmaktadır. Çünkü, akım konsantrsayonu sivri olan uca yakın olur. Temas alanı daha fazla olan elektrod daha kalın olan saç tarafında kullanılmalıdır. Bu deneyde, farklı kalınlıkta saçlara kaynak işlemi yapılırken ince olan saca, kalın saca göre daha sivri elektrod ucunun basması gerektiği görülmüştü

Tablo 5.10 : Akım Odaklanması – Çekirdek Çapı

Deney Sonucu		
Akım Odaklanması	İnce saca yakın	5 mm
	Kalın saca yakın	1 mm

5.4 Elektrod Uçlarının Birbirine Göre Eksenlerinin Etkileri

Deneyin Amacı; Bu deney çalışmasında elektrod uçllarının birbirine göre eksenlerinin kaynak kalitesine etkileri incelenmektedir. Kaynak işlemi sırasında elektrod uçlarının aynı eksende basması ve kaçık eksende basması durumunda elde edilen kaynak çekirdeği incelenecektir.

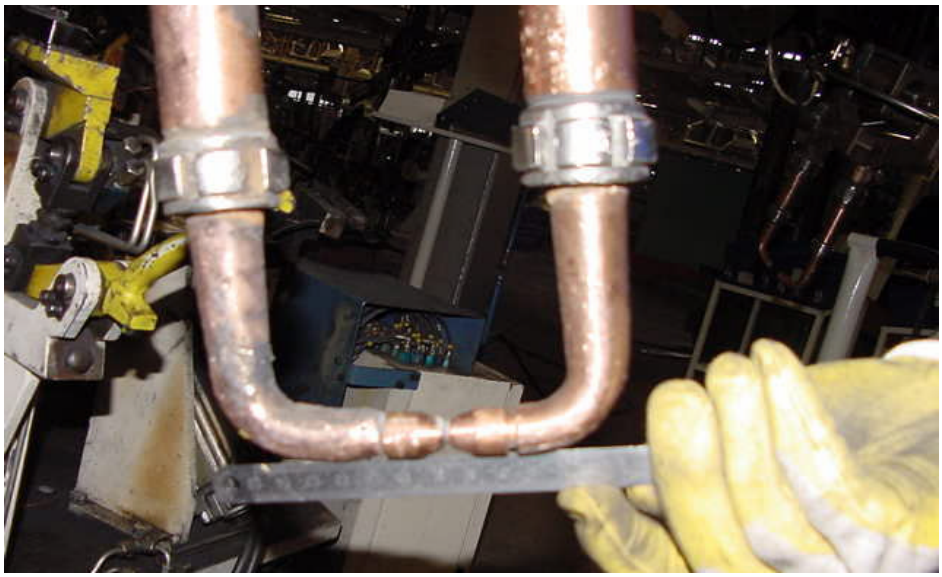
Deney Malzemeleri; 2 adet B tipi elektrod ucu, 1 mm'lik kaynak yapılacak 2 tarafı ZnT kaplı FeP04 malzeme saçlar, 1 adet kuvvet ölçer.

Deneysel Prosedür; Kaynak paremetreleri sabit tutularak elektrod uçlarının eksenini değiştirme yoluyla kaynak işlemi yaptık. Elektrodun aynı eksende basması (dik bastığı) ve aynı eksende basmadığı (açılı bastığı) iki durum için metalografik ve mekanik deneylerde kullanmak için toplam 4 iş parçasına kaynak attık.

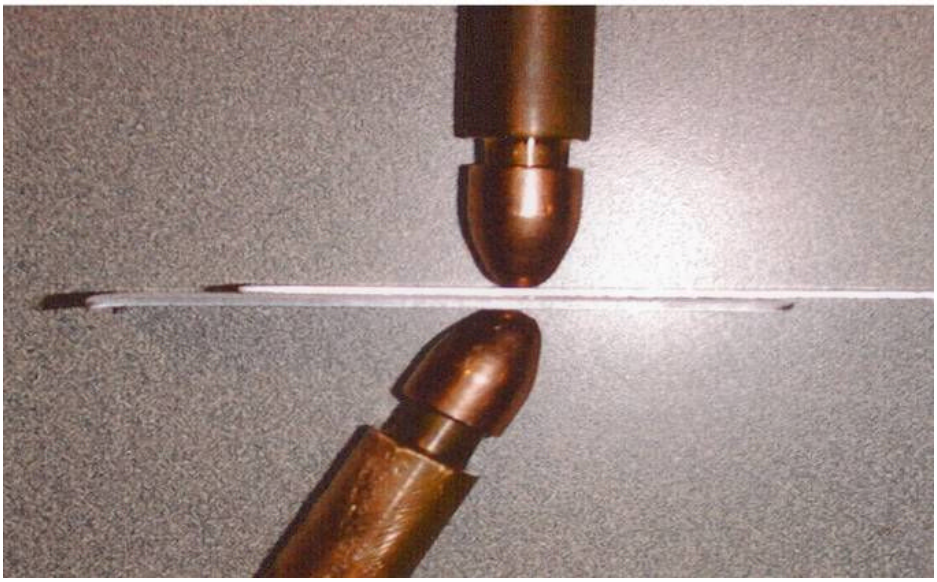
Tablo 5.11 : Elektrod Temas Alanı Etkileri Kaynak Paremetreleri

Saç Kalınlığı (mm)	**1+1**
Sıkma Kuvveti (kN)	2,5
Kaynak Akımı (kA)	7,1
Yaklaşma Zamanı (cycle)	30
Basınç Zamanı (cycle)	30
Rampa (cycle)	3
Kaynak Zamanı (cycle)	10
Kaynak Tekrar Sayısı (pulse)	2
Ağız Açma Zamanı (cycle)	9

Kaynak atmadan önce elektrodların aynı eksende olduğunu (elektrod uçlarının biribirine göre eşeksenli olması) çelik cetvel kullanarak kontrol ettik. Aşağdaki şekilde işlemin yapılışını görebilirsiniz.



Şekil 5.13 : Elektrodun Dikliğini Kontrol İşlemi



Şekil 5.14 : Kaynak Ucunun Açılı Basması

Kaynak yaptığımız parçaları mekanik ve metalografik olarak inceledik. Mekanik deneyde, kaynakla birleştirdiğimiz saçları soyma deneyi ile ayırarak çekirdekleri inceledik.

Deney yaptığımız numuneleri melaografik olarak incelemek için FIAT standardalarına uygun olarak numuneyi hazırladık. Numunenin hazırlanması sırasında mekanik veya metalografik hasara uğramaması için özen gösterdik.

Numunenin metalografik olarak incelenmesi için en az 140 mm2 lik bir alana sahip olması gerekir.

İlk önce kaynak yaptığımız iş parçasını bakalit presine konulacak uygun boyuta getirmek için DISCOTOM 2 marka tester ile 220 mm2 lik alana sahip olacak şekilde kestik. Kesme işlemi sırasında numunenin ısıdan etkilenmemesi için hava tutarak soğutma sağladık.

Daha sonra numuneyi arylic tip bakalit tozunun içine koyduk. PRONTO PRESS marka bakalit presinde 15dk tuttuk.

Bakalit hazırlandıktan sonra zımparalama işlemlerine geçtik. Bunun için KNUTH-ROTOR marka grinder ile sırası ile 320, 400, 600 ve 800 grit'lik zımparada numuneyi 900 tutarak kullandık.

PLANARPOL V marka cihaz ile keçe üzerinde kayganlık için gliserin kullanarak parlatma işlemi yaptık.

Yüzeyi temizlemek için numuneyi suya tuttuk. Basınçlı hava ile kuruttuk.

Bir kaba %2'lik nitrik asit içeren alkol bazlı dağlayıcıyı koyarak numuneyi bunun içerisine batırdık. Numune yüzeyinde kalan dağlayıcının daha fazla dağlamasını önlemek için yüzeyi hemen yıkadık. Basınçlı hava tutarak kuruttuk.

Bu işlemler sonucunda numunemiz hazır hale geldi.

Deneyde kullanılan cihazlar aşağdaki resimlerde gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Testere

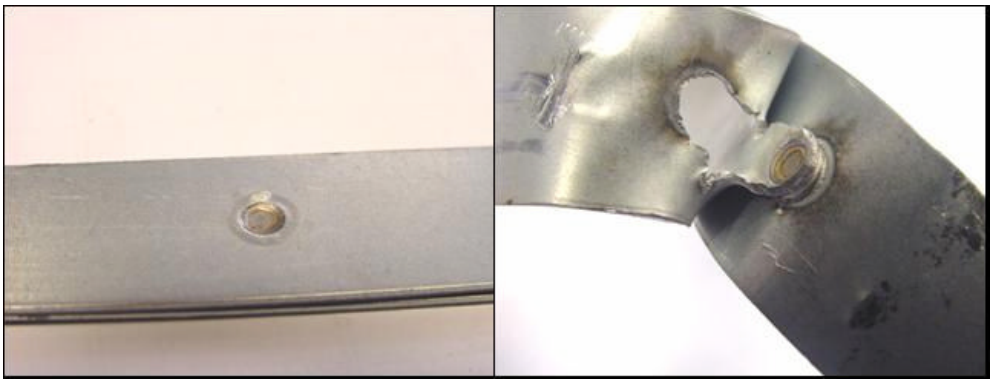


Şekil 5.16 : Grinder (Zımparalama Cihazı)

Deney Sonuçları :

Mekanik Deney Sonuçları :

Elektrod uçları aynı eksende bastığında elde edilen çekirdek çapının istenen kalitede olduğu soyma deneyi ile görülmüştür. Aşağdaki şekilde soyma deneyinde punta kaynağın kopmadığı sacın yırtıldığı gösterilmiştir. Çekirdek çapını kumpasla ölçtüğümüzde 5,6 mm bulduk. Optimum çekirdek çapı 5,5 mm dir.



Şekil 5.17 : Elektrod Ucu Aynı Eksende Bastığında Soyma Deneyi



Şekil 5.18: Elektrod Ucunun Aynı Eksende Basmadığı Durumda Soyma Deneyi

Kaynak ucu açılı basmasını sağladıktan sonra deneyi tekrarladık. Soyma deneyi yapıldığında puntanın koptuğu gözlemlendi. Çekirdek çapı 1,2 mm bulduk.

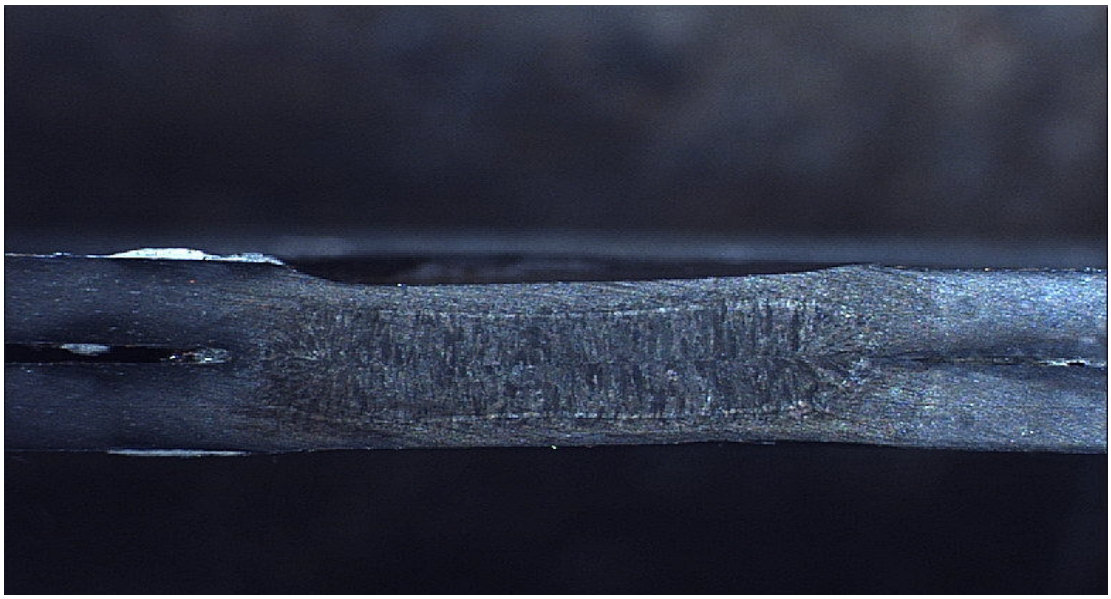
Sonuç olarak; Elektrod uçlarının açılı basması kuvvet kaybına sebep olduğu için deformasyonlu puntaya sebep olur. Kaynak paremetreleri sabit olmasına rağmen çekirdek çapı, optimum olması gereken değerden düşük olmuştur.

Tablo 5.12 : Elektrod Uçları Eksenleri – Çekirdek Çapları

Deney sonucu		
		Çekirdek çapı
Elektrod uç eksenleri	Aynı	5,5 mm
	Açılı	1,2 mm

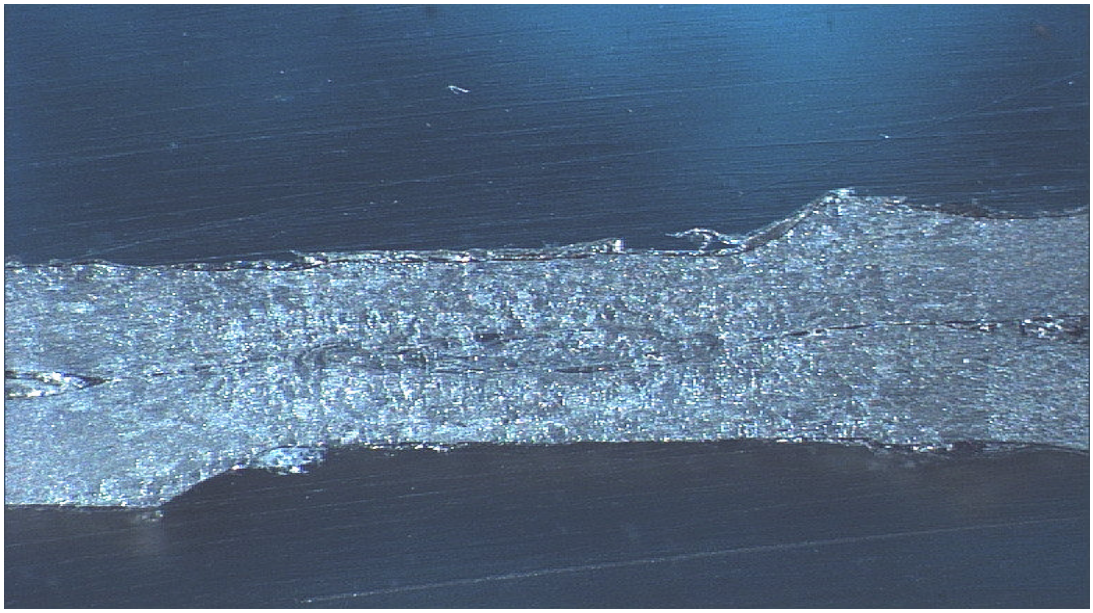
Metalografik Deney Sonuçları :

Elektrod ucunun aynı eksende basması durumunda; elde edilen numunenin metaografik incelenmesinde çekirdek boyunca ergimenin gerçekleştiği ve kaynağın oluştuğu, tane yapısının homojen olduğunu gördük.



Şekil 5.19.: Elektrod Ucunun Düzgün Bastığı Durumda Elde Edilen Yapı

Elektrod ucunun açılı basmasında, uygulanan kuvvetin sebep olduğu çökertmeninde açılı oluştuğunu gördük. Açılı basma kuvvet kaybına sebep olduğu için kaynağın tam olarak oluşmadığı, yapıda gözenekler kaldığını gördük. Kaynak işlemi sırasında eriyen kısmın çok az olduğunu ve katılaştığında elde edilen yapının homojen olmadığını gözlemledik.



Şekil 5.20 : Elektrod Ucunun Açılı Bastığı Durumda Elde Edilen Yapı

5.5 Akımın Çekirdek Çapına Etkisi

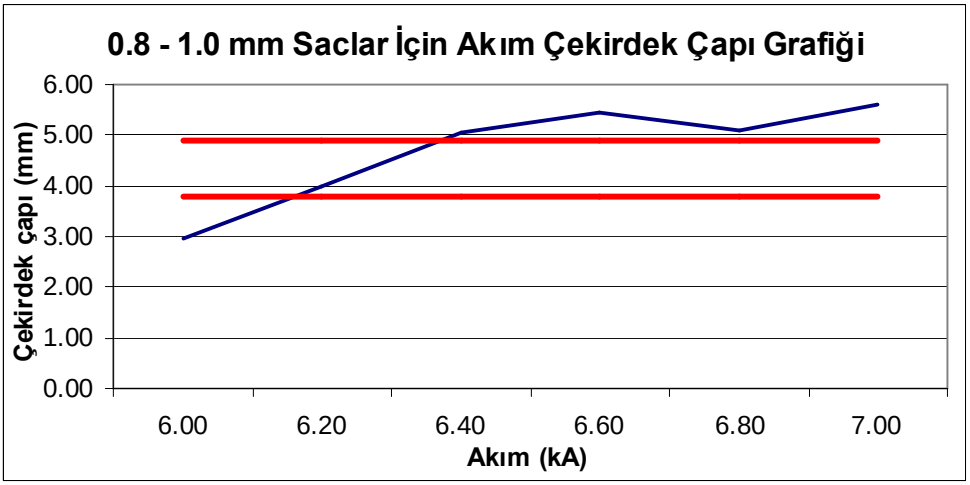
Deneyin Amacı; Kaynak akımının çekirdek çapına etkisini inceledik. Diğer kaynak paremetreleri sabit tutulduğunda kaynak akımı değiştirildiğinde, çekirdek çapının değişimi ölçtük.

Deney Malzemeleri ; 2 adet B tipi elektrod ucu, 0,8 ve1 mm'lik kaynak yapılacak 2 tarafı ZnT kaplı FePO4 malzeme saçlar, 1 adet kuvvet ölçer.

Deneysel Prosedür ; Kaynak paremetreleri sabit tutularak, kaynak akımını değiştirme yoluyla kaynak işlemi yaptık. Akım 6 kA den 7kA kadar 0.2kA aralıklarla yükselttik. Soyma deneyi ile kaynakla birleştirilen çekirdek saçları ayırdık. Kumpasla çekirdek çaplarını ölçtük.

Tablo 5.13 : Akımın Çekirdek Çapına Etkisi Kaynak Paremetreleri

Saç Kalınlığı (mm)	**0,8 + 1**
Sıkma Kuvveti (kN)	2,4
Yaklaşma Zamanı (cycle)	25
Basınç Zamanı (cycle)	30
Rampa (cycle)	3
Kaynak Zamanı (cycle)	10
Kaynak Tekrar Sayısı (pulse)	1
Ağız Açma Zamanı (cycle)	14



Şekil 5.21 : Punta Kaynak Atılması

Deney sonuçları ; 0,8 – 1 mm'lik saçlar için çalışılması gereken akım aralığı 6,25 kA – 6,35 kA arasında olmalıdır. 6,25 kA den daha küçük akım kullanıldığında puntanın kopma riski artırılmalıdır. 6,35 kA den daha fazla akım uygulandıında çapak atma, yamuk punta ve deformasyonlu punta oluşması gözlemlenir

Tablo 5.14 : Deney Sonuçları

Akım değerleri (kA)	6,00	6,20	6,40	6,60	6,80	7,00
Çekirdek çapları (mm)	2,98	3,99	5,06	5,45	5,10	5,60

Minimum çekirdek çapı	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Optimum çekirdek çapı	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı, otomotiv sanayindeki uygulamaları ve kontrol yöntemleri anlatıldıktan sonra TOFAŞ-FİAT fabrikası baz alınarak otomotiv sektöründeki kaynak uygulamaları ve kaynak kalitesi anlatılmıştır. Maliyeti düşürmek, araç kalitesini ve güvenirliği artırmak için otomotiv gövde imalatının temel prosesi olan direnç nokta kaynak kalitesi önem taşır. Direnç nokta kaynağı, kaynak paremetreleri, iş parçasının özellikleri, kullanılan ekipmanlar, ekipmanların periyodik bakımları ve operatörlerin eğitim düzeyleri gibi pek çok etken kaynak kalitesini belirler.

Aracın tasarımından başlayarak beklenen kaynak kalitesi, araç gövdesindeki punta kaynak sayısı, yerleri, paremetreleri, kaynak çekirdeğinin çap, göçertme miktarı gibi özellikleri, kaynak makinaları ve fikstürleri belirlenir. Tasarım onayından sonra, prototip, ön seri süreçlerinde yapılan çalışmalarla kaynak fikstürleri, kaynak makinasının etkin kullanımı ve kaynak kalitesi üzerinde iyileşme çalışmaları devam eder. Araca uygulanan çarpma, yol testi, müşteri gözüyle değerlendirme, su alma, araç içi sesler gibi konular kaynak kalitesine bağlıdır.

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler, direnç nokta kaynağının çok fazla etkenden etkilendiğini ve bunların bir bütün olarak ele alınması gerektiğini göstermiştir.

Kuvvet çekirdek çapı ilişkisi incelemek için yapılan deneyde, üç farklı kalınlıktaki (0,8+0,8; 1+1 ve 2+2) saçlarda kuvvet artırıldıkça çekirdek çapının azaldığı görülmüştür. Düşük kuvvet uygulandığında çekirdek çapının kaliteli kaynak için olması gereken max. çekirdek çapından büyük olduğu tespit edilmiştir.

Elektrod ucu soğutma suyunun kaynak kalitesine etkisinin belirlenmesi amacıyla deney yapıl

mıştır. Deneyde, optimum soğutma suyu debisinin altına inildiğinde, elektrod ucu ömrünün ve punta kaynak kalitesinin azaldığı görülmüştür.

Elektrod ucu temas alanı etkilerinin incelendiği deneyde, farklı kalınlıktaki saclar punta kaynak ile birleştirildiğinde, kaynak paremetreleri sabitken; uçların pozisyonu değiştirilmesi durumunda kaynak çekirdeğindeki değişim incelenmiştir. Sadece elektrod uçlarının iş parçasına alttan ve üstten basması değiştiği halde, kaynak çekirdek çaplarının birbirine eşit olmadığı belirlenmiştir. Bu deneyde, farklı kalınlıkta saçlara kaynak işlemi yapılırken ince olan saca, kalın saca göre daha sivri elektrod ucunun basması gerektiği görülmüştür.

Elektrod uçlarının iş parçasına aynı eksende veya açılı basmasının etkilerinin incelenmesi için mekanik ve metalografik deneyler yapılmıştır. Elektrod ucu, iş parçasına açılı basması durumunda kuvvet kaybı olduğu için ayırma deneyinde, puntanın kolaylıkla ayrıldığı görüldü. Metalografik olarak inceleme yapıldığında, elektrod uçları aynı eksende bastığında kaynak çekirdeğinin homojen yapıda olduğu görüldü. Elektrod uçları açılı bastığında ise, kaynak sırasında eriyen kısmın az olduğu ve katılaştığında yapının homojen olmadığını gördük.

En önemli kaynak paremetrelerinden olan akımın kaynak çekirdeğine etkisinin incelenmesi için deney yapılmıştır. Kaynak paremetreleri sabit tutulduğunda kaynak akımı artırıldığında çekirdek çapının azaldığı görüldü.

Özetle, yapılan deneyler kaynak paremetrelerinin kaynak kalitesini belirlediği ve optimize değerlerde çalışılması gerektiği görüldü.

TOFAŞ-FİAT'ta kaynak paremetreleri FIAT'ın 100 yıllık tecrübesinin yansıtıldığı normlara dayanarak kullanılır.

Trafik kazası anında araç gövdesinin kalitesi düşünüldüğünde, otomotiv sanayinde yapılan yatırımlar ve çalışmalar gözönüne alınarak direnç nokta kaynak kalitesi çok önemlidir.

KAYNAKLAR

[1] **Gugel, M.D.**, 1995. Electrode Wear Mechanisms During The Resistance Spot Welding Of Hot-Dipped Galvanized Steel, *PhD Thesis,* MTU, Michigan.

[2] **Akyol, M.**, 2001. Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları Ve Karşılaşılan Sorunlar, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] **Gallagher, M.**, 2003. Electrode Wear In The Resistance Spot Welding Of Galvanized Steel Sheet, *MS Thesis,* University of Windsor, Ontario.

[4] **Gourd, L.M.,** 1995. Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[5] **Kanlı, M.,** 2005. Punta Kitapçığı, TOFAŞ

[6] **Tang, H.**, 2000. Machine Mechanical Characteristics And Their Influences On Resistance Spot Welding Quality, *PhD Thesis,* MIT, Michigan.

[7] **Öveçoğlu, L.,** 2000. Metalurji Labaratuvarı 1, İTÜ Metalurji Matbaası, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Eskişehir'de doğan Emel Ünlükal ilk, orta ve lise eğitimini Eskişehir'de tamamladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniveristesi'nde eğitim hakkı kazanarak, 2004 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden mezun oldu. Aynı sene, İstanbul Teknik Üniversitesinde Makina Mühendisliği, Malzeme ve İmalat bölümünde yüksek lisansa başladı.

2005 yılında TOFAŞ-FİAT fabrikasında Kalite Direktörlüğü Bölümünde "Kontrol Planları ve Metodolojiler Uzmanı" olarak çalışmaya başladı. İyi derecede İngilizce ve orta seviyede İtalyanca bilmektedir.