

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DİRENÇ NOKTA
KAYNAK ELEKTRODU ÖMRÜNÜN DENEYSEL ANALİZİ VE
KALİTE GÜVENCESİ YÖNÜNDEN ETÜDÜ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisi Haldun TURAN

104303

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK

Bu tez, 15 / 09 / 2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

A. Oğur

Prof.Dr.Ahmet OĞUR

Jüri Başkanı

Prof.Dr.Selahaddin ANIK

Prof.Dr.Selahaddin ANIK

Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Salim ASLANLAR

Yrd.Doç.Salim ASLANLAR

Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

İçinde bulunduğumuz yüzyılda, dünyada her konuda büyük ve hızlı değişimler yaşanmaktadır. İşletmeleri etkileyen değişimlerden en önemlisi ise “Kalite”dir. Kalite konusundaki gelişme ve değişmelere, kendisini yarınlara taşıma ve gelecekte ayakta kalma çabasında olan işletmeler, ayak uydurmak zorundadırlar. İşletmeler, müşteri gereksinimlerini tam olarak karşılayabilmek için, kaliteye bakış açılarını ve yaklaşımlarını değiştirmek zorundadırlar.

Otomotiv sanayi birçok kaynak yönteminin bir arada kullanıldığı bir sanayi dalıdır. Bir otomobil gövdesinin montajında kullanılan esas kaynak yöntemi direnç nokta kaynağı olup, gövdenin imalatında direnç dikiş kaynağı, MAG kaynağı, saplama kaynağı ve yumuşak lehimleme gibi kaynak yöntemlerinden de yararlanılmaktadır. Direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodlar, kaynak yapılacak parçanın boyutları çeşitli tip ve boyutta üretilmektedir. Bu çalışmanın birinci amacı, otomotiv sanayindeki en önemli kaynak türü olan direnç nokta kaynağının tanıtmak ve bu kaynak için kullanılan elektrodların ömürlerinin tespiti için bir yöntem belirlemektir. Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı tanıtıldıktan sonra, otomotiv sanayindeki uygulamalarından ve direnç nokta kaynağı elektrodlarından bahsedilmiş ve imalatla yaygın olarak kullanılan elektrod tiplerinden biri üzerinde yapılan deneysel ömür analizi hakkında bilgi verilerek deneylerin sonuçları irdelenmiştir. Bunun yanında, nokta kaynağı sayısındaki artışla elektrod başlığındaki ve kaynaklardaki değişimin analiz edilmiştir.

Böyle bir çalışmayı gerçekleştirebilmem için tüm deneyim ve bilgisini bana sunan danışmanım Sayın Prof.Dr. Ahmet OĞUR’a, yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Selahaddin ANIK, Sayın Doç.Dr. Murat VURAL’a, ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Salim ASLANLAR ve her konuda her çalışanından destek aldığım Otokar A.Ş.’e ve beni daima destekleyen aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Eylül 2000

Haldun TURAN

İÇİNDEKİLER

SİMGELERİN LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
TABLoların LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
SUMMARY.....	XIII
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	2
2.1. Direnç Kaynağı ve Prensibi.....	2
2.2. Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi.....	4
2.2.1. Kaynak donanımı.....	5
2.2.2. Direnç kaynak makinaları kontrol düzenleri.....	5
2.2.3. Direnç kaynak makinası teçhizatı.....	6
2.2.4. Sekonder devre karakteristikleri.....	8
2.3. Kaynak Çevrimi.....	8
2.4. Direkt ve Seri Kaynak.....	12
2.4.1. Tek noktalı direkt kaynak.....	12
2.4.2. Çok noktalı direkt kaynak.....	13
2.4.3. Çok noktalı seri kaynak.....	14
2.5. Uygulama Alanları.....	14
2.6. Avantajları ve Sınırlamalar.....	15
2.7. Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu.....	16
2.8. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri.....	20
2.8.1. Kaynak akımı.....	20
2.8.2. Kaynak süresi.....	24
2.8.3. Elektrod malzemesi ve boyutları.....	25

2.8.5.	Elektrod kuvveti.....	27
2.8.4.	Esas metalin kimyasal bileşimi.....	29
2.8.6.	Kaynak noktası sıklığı.....	29
2.8.7.	Elektrod ve iş parçasının temas durumları.....	30
2.9.	Direnç Nokta Kaynağı İçin İstenmeyen Yüzey Koşulları.....	31
2.10.	Kaynak Programları.....	35
2.11.	Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler.....	36
2.11.1.	Soyma deneyi.....	36
2.11.2.	Keski deneyi.....	37
2.11.3.	Çekme deneyi.....	37
2.12.	Otomotiv Sanayinde Direnç Nokta Kaynağı.....	39
2.12.1.	Otomotiv ürünleri.....	39
2.12.2.	Otomotiv gövdesi imalatı.....	41
2.12.3.	Otomotiv sanayinde direnç nokta kaynağı makinaları	42
2.12.3.1.	Manivela kollu kaynak makinası.....	42
2.12.3.2.	Pres tipi kaynak makinası	44
2.12.3.3.	Taşınabilir kaynak makinası	46
2.12.3.4.	Çok elektrodlu kaynak makinası	49

BÖLÜM 3.

DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI ELEKTRODLARI.....	50
3.1. Elektrodların Görevi	50
3.2. Elektrod Malzemeleri	51
3.2.1. Bakır bazlı alaşımlar	51
3.2.2. Refrakter metal bileşimleri	52
3.2.3. Özel alaşımlar	54
3.3. Elektrod Tasarımı	56
3.4. Elektrod Tutucular	61
3.5. Elektrod Bileşimi ve Tasarımının Isınmaya Etkisi ...	62

3.5.1.	Birleşimin etkisi	62
3.5.2.	Tasarımın etkisi	63
3.6.	Elektrod Ömrü	63
 BÖLÜM 4.		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		65
4.1.	Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	65
4.1.1.	Elektrod başlığı	65
4.1.2.	Kaynakların gerçekleştirildiği malzemeler ve kaynak kabiliyetleri	67
4.1.2.1.	Alüminyum ve alaşımlarının başlıca özellikleri.....	67
4.1.2.2.	Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetleri..	68
4.1.2.3.	Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çatlama..	72
4.2.	Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi.....	73
4.3.	Deneylerin Yapılışı.....	77
4.4.	Deney Sonuçları.....	83
4.5.	Deney Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi	86
 BÖLÜM 5		
KALİTE GÜVENCE SİSTEMİ YÖNÜNDEN ETÜDÜ.....		93
5.1.	Kalite Güvence Sistemi.....	93
5.2.	Proses Kontrol.....	95
5.2.1.	Proses kontrol prensibi.....	95
5.2.2.	Üretim sistemi ve aşamaları.....	97
5.3.	Süreç Yönetimi.....	101
 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		103
 KAYNAKLAR.....		105
 EKLER.....		108
 ÖZGEÇMİŞ.....		111

SIMGELERİN LİSTESİ

Q	: Kaynak ısısı
K	: Enerji kaybı katsayısı
I	: Kaynak akımı
R	: Kaynak bölgesi toplam direnci
T	: Kaynak akımının geçtiği süre
R _m	: Kullanılan malzemelerin direnci
R _t	: Temas dirençleri
R _d	: Daralma direnci
R _f	: Film direnci
S	: Levha kalınlığı
ρ	: Malzemenin özgül direnci
b	: Kesik koninin taban çapı
a	: Temas noktalarının ortalama yarıçapı
I	: Temas noktalarının merkezleri arasındaki uzaklığın yarı
N	: Nokta sayısı
d _t	: Görünür temas yüzeyinin çapı
d _ç	: Çekirdek (düğme) çapı
d _e	: Elektrod çapı
d _n	: Nokta çapı
P	: Elektrod kuvveti
r	: Küresel elektrod ucu çapı
k _{1,2}	: Levha malzemesine bağlı sabitler
d ₁	: Elektrod başlığının dış çapı
d _{2,3}	: Elektrod başlığının uç çapları
L _{1,2,3,4}	: Elektrod başlığında ölçülen yükseklikler
H _{1,2,3}	: Elektrod başlığında ölçülen boylar
H ₀	: Elektrod başlığının başlangıçtaki boyu
$\Delta H_{2,3}$	: Elektrod başlığındaki mantarlaşma miktarı

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1	: Direnç nokta kaynağı.....	4
Şekil 2.2	: Direnç nokta kaynağı makinasının elektriksel sistemi.....	7
Şekil 2.3	: Direnç nokta kaynağı aşamaları	9
Şekil 2.4	: Kaynak çevrimleri	10
Şekil 2.5	: Tek noktalı direkt kaynak için çeşitli düzenlemeler.....	12
Şekil 2.6	: Çok noktalı direkt ve seri kaynak için çeşitli düzenlemeler..	13
Şekil 2.7	: Direnç nokta kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı	16
Şekil 2.8	: Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları	18
Şekil 2.9	: Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı.....	19
Şekil 2.10	: Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fışkırma.....	21
Şekil 2.11	: Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme- makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliği etkileri.....	22
Şekil 2.12	: Kaynak kabiliyeti diyagramı	23
Şekil 2.13	: Elektrodların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri	31
Şekil 2.14	: Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar ..	31
Şekil 2.15	: Soyma ve keski deneyleri	36
Şekil 2.16	: Çekme numunesi tasarımları	37
Şekil 2.17	: Land Rover aracında muhtemel nokta kaynak adetleri	42
Şekil 2.18	: Manivela kollu kaynak makinası	43
Şekil 2.19	: Pres tipi kaynak makinası	45
Şekil 2.20	: Taşınabilir kaynak makinası istasyonu	46
Şekil 2.21	: Makas tipi ve C-tipi taşınabilir kaynak tabancaları.....	48
Şekil 2.22	: Entegre transformatörlü taşınabilir kaynak tabancası.....	48

Şekil 3.1	: Dispersiyonla sertleştirilmiş elektrodlerde mantarlaşma	54
Şekil 3.2	: Elektrod malzemelerin yüksek sıcaklıktaki sertlik ve kararlılıkları	55
Şekil 3.3	: RWMA'ya göre standart elektrod uç şekilleri	57
Şekil 3.4	: Elektrod başlığı ve adaptöründen oluşan iki parçalı elektrod ..	59
Şekil 3.5	: TS 6062 (EN 25184) – Düz direnç nokta kaynak elektrodları.....	60
Şekil 3.6	: Direnç nokta kaynağı için standart tutucular, adaptörler elektrodlar	61
Şekil 4.1	: Deneylerde kullanılan elektrod başlığı boyutları	66
Şekil 4.2	: Deneylerde üst ve alt kullanılan elektrod başlıkları ve adaptörleri.....	66
Şekil 4.3	: Alüminyum ve çeliğin TIG kaynağında ısının yayılışı (isotermiler).....	70
Şekil 4.4	: Al Mg alaşımlarında bileşimdeki Mg yüzdesinin, çatlak oluşuma etkisi	73
Şekil 4.5	: Kaynak parametrelerinin belirlenmesi	75
Şekil 4.6	: Deneylerde kullanılan sabit nokta kaynağı makinası	77
Şekil 4.7	: Elektrod başlıklarının adaptörleriyle birlikte takılması	78
Şekil 4.8.	: Elektrod boyutlarının ölçümünde kullanılan düzenek	78
Şekil 4.9	: Kuvvet analizörü.....	78
Şekil 4.10.	: Sacda meydana gelen çökme ve komparatörle ölçülmesi.....	80
Şekil 4.11.	: Kaynak düğmesinin açığa çıkarılması ve kaynak düğmesi....	80
Şekil 4.12.	: Üniversal çekme tezgahı ve çekme–makaslama deneyi	81
Şekil 4.13	: Çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuş numune	81
Şekil 4.14	: Nokta kaynaklarının oluşturulması	82
Şekil 4.15	: Elektrod başlığında ölçülen boyutlar	82
Şekil 4.16	: 250 kaynak boyunca akımın nokta sayısı ile değişimi	85
Şekil 4.17	: Üst ve alt elektrod başlık boylarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi	86
Şekil 4.18	: Üst ve alt elektrod başlıklarındaki mantarlaşmanın nokta kaynağı sayısı ile değişimi	87

Şekil 4.19	: Üst ve alt elektrod başlıkları uç çaplarının nokta kaynak sayısı ile değişimi	88
Şekil 4.20	: Numunelerdeki toplam çökme miktarının nokta kaynak sayısı ile değişimi	89
Şekil 4.21	: Numunelerdeki ortalama düğme (çekirdek) çapının nokta kaynağı sayısı ile değişimi	90
Şekil 4.22	: Numunelerin çekme-makaslama dayanımlarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi	91
Şekil 4.23	: Punta uçlarının görünümü	92
Şekil 5.1	: Kalite çevrimi.....	94
Şekil 5.2	: Üretim sürecinde toplam kalite kontrol.....	95
Şekil 5.3	: Proses kontrol akışı.....	96
Şekil 5.4	: Land Rover üretim hattı	98
Şekil 5.5	: Otokar üretim akış şeması	100
Şekil 5.6	: Üretim süreci.....	101

TABLoların LİSTESİ

Tablo 2.1	: Değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları	20
Tablo 2.2	: Direnç kaynağında kullanılan elektrod alaşımları	26
Tablo 2.3	: Alüminyum sacın kimyasal bileşimi	29
Tablo 2.4	: Direnç nokta kaynağında istenmeyen yüzey koşulları	32
Tablo 2.5	: Alüminyum sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri	35
Tablo 2.6	: Minimum çekirdek çapları ve çekme-makaslama dayanımları	38
Tablo 2.7	: Otomotiv parçalarında kullanılan başlıca metaller	40
Tablo 3.1	: RWMA Grup A, 1, 2 ve 3. sınıf bakır bazlı elektrod malzemeleri için minimum özellikler	52
Tablo 3.2	: Refrakter elektrod malzemeleri için minimum özellikler	53
Tablo 4.1	: Deneylerde kullanılan elektrod başlığının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	66
Tablo 4.2	: Kullanılan alüminyumun mekanik ve kimyasal özellikleri....	67
Tablo 4.3	: Çeşitli endüstri kollarında kullanılan başlıca alüminyum ve alaşımları	68
Tablo 4.4	: Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özelliklerinin % 0,15 karbonlu çelikle karşılaştırılması	70
Tablo 4.5	: Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti	71
Tablo 4.6	: Kaynak parametrelerinin belirlenme aşamaları	74
Tablo 4.7	: Deneyler sonucunda elde edilen değerler.....	84
Tablo A.1	: Direnç nokta kaynağı elektrodları ile ilgili TSE standartları..	108
Tablo B.1	: Nokta kaynak proses audit raporu.....	109

ÖZET

Anahtar sözcükler: Kaynak, Nokta kaynak, Elektrod Ömrü, Otomotiv, Kalite Güvence

Günümüzde ürün ve hizmet kalitesi, gerek üreticiler ve gerekse tüketiciler için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Üretim ve hizmet alanlarında çalışan bir çok firma pazar paylarını korumak ve arttırmak için, kalite sağlama çalışmalarına büyük hız vermişlerdir.

“Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Elektrodu Ömrünün Deneysel Analizi ve Kalite Güvencesi Yönünden Etüdü” başlıklı bu çalışmada ilk olarak direnç nokta kaynağının prensibi, kullanılan teçhizat, kaynak kalitesini etkileyen parametreler, kaynak kalitesinin kontrolünde kullanılan deneyler tanıtılmış, daha sonra direnç nokta kaynağının otomotiv sanayindeki uygulamaları ele alınmıştır. Sonraki bölümde direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodlar incelenmiş ve son bölümde belli bir elektrodun ömrünün analizi için yapılan deneysel çalışmalar tanıtılarak sonuçları yorumlanmıştır.

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

Üçüncü bölümde direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodlar konu edilmiştir. Bu bölümde elektrodların görevleri, kullanılan elektrod malzemeleri, elektrod başlıklarından birinin ömrünün belirlenebilmesi için gerçekleştirilen deneyler tanıtılmıştır. Bu bölümde deneylerde kullanılacak malzemelerin seçimi, deneylerin ve kullanılan teçhizatın tanıtılması, deneyler boyunca sabit tutulacak kaynak parametrelerinin belirlenmesi, deneylerde yapılan ölçümlerin sonuçları ve elde edilen değerlerin nokta kaynağı sayısı ile değişimini gösteren grafikler yer almaktadır.

Ayrıca, artan nokta kaynağı sayısı ile birlikte elektrod başlığında ve kaynaklarda meydana gelen deformasyonların gözlemlenebilmesi amacıyla her deney sonunda elektrod başlığı ve numune kaynak ve düğmesinin durumları analiz edilmiştir. Son olarak, deneyler sonunda elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan, direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodların ömrünün deneysel analizi için elektrod ucundaki deformasyonun kaynak dikiş kalitesini ne şekilde etkilediğinin tesbiti amacıyla yapılmıştır. Bunun için, yaygın kullanılan bir elektrod malzemesi ve fabrika ortamında deneyler yapılmış; elektrod uç formunun değişimi gözlenmiş ve bu değişiminin nokta kaynağının karakteristiklerine etkileri değerlendirilerek grafikler halinde sunulmuştur.



EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE LIFE OF RESISTANCE SPOT WELDING ELECTRODE USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND RESEARCH IN TERMS OF QUALITY ASSURANCE

SUMMARY

Keywords : Welding, Spot Welding, Life Cycle of Electrode, Automotive, Quality Assurance

Nowadays production and service quality have become very crucial for producers and consumers people. In order to save and increase the market share, so many firms both in production and service sectors are working on the quality system installation processes.

In this study titled “Experimental Analysis of The Life Of Resistance Spot Welding Electrode Used In The Automotive Industry And Research In Terms Of Quality Assurance”, after a brief introduction, the principle of resistance spot welding, weld equipment, parameters affecting the weld quality, tests that are used to measure the mechanical properties of spot welds are explained.

Nextly, the resistance spot welding applications in automotive industry and several types of resistance spot welding machines are presented. In the following chapter, electrodes used in resistance spot welding are introduced and finally tests for the life analysis of a given cap electrode are explained and the results are interpreted.

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

In the third chapter, electrodes used in resistance spot welding are introduced. In this chapter, function of electrode materials, electrode design, electrode holders, effect of electrode composition and design on heating and works undertaken for electrode life are explained. Standards about electrodes for resistance spot welding are also stated in this chapter.

Tests held for determining the life of a cap electrode used in resistance spot welding are explained in the fourth chapter. In this chapter, selection of materials to be used in the tests, determination of weld parameters that will be kept constant during the tests, the results of the measurements made throughout the test and graphical representations showing the variations of these results with the increasing number of spot welds are presented. In this work, also a visual guide is given for observing the deformations occurring at the tip of the cap electrodes, the welds and the weld nuggets during the tests. Finally, the results of these tests are discussed.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv sanayi, gelişen teknoloji yakından takip eden ve her türlü gelişmeyi bünyesine adapte edebilme kolaylığına sahip bir endüstridir. Sanayinin birçok dalıyla iletişim içinde olan otomotiv sanayinde çağın gerektirdiği üretim sistemlerini ve teknolojiyi yakalayabilmiş ve bu gelişmeleri daha kaliteli ve daha az maliyetli araçlar üretebilmekte, değerlendirilmiş firmalar her zaman rekabette avantaj sağlamıştır.

Bir aracın üretilmesinde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerden belki de en önemlisi, aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak prosesidir. Bir otomobil fabrikasının kaynak atölyesinde gövdenin imali için kullanılan belli başlı kaynak yöntemleri, direnç nokta kaynağı, direnç dikiş kaynağı, saplama kaynağı ve yumuşak lehimlemedir. Bu kaynak yöntemleri içinde aracın ortaya çıkmasında en büyük rolü, farklı tipteki kaynak makinalarının yanı sıra robotik uygulamayla da gerçekleştirilen direnç nokta kaynağı oynamaktadır. Bahsedilen kaynak yöntemleri içinde direnç nokta kaynağı gövdenin imal edilmesinde yaklaşık %90'lık bir paya sahiptir.

İmalatta, genellikle, direnç nokta kaynağı elektrodları gözle muayene edilmekte ve tecrübeye dayalı olarak belirlenen periyotlarda tıraşlanmaktadır. Ancak şimdiye kadar elektrodların deformasyonunun kaynak kalitesine etkisinin sistematik bir şekilde incelenmemiş olması, bu konunun tez konusu olarak seçilmesine neden olmuştur. Elektrodlardaki deformasyonun kaynak kalitesine etkisinin analiz edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneylerin imalat şartlarını yansıtabilmesi için, kullanılacak malzemeler Otokar Otobüs Karoseri Sanayi A.Ş.'nde imalatta kullanılan malzemelerden seçilmiş ve deneyler imalatın yoğun olduğu bir kaynak makinasında gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

2.1. Direnç Kaynağı ve Prensibi

Direnç nokta kaynağı bir direnç kaynağı çeşididir. 1877’de A.B.D.’de bir raslantı sonucu bulunan elektrik direnç kaynağı seri imalata uygun ve oldukça yaygın bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye ya da pedala basarak makinayı devreye sokan ve devreden çıkaran operatörler tarafından hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Diğer yandan, direnç kaynağı makinaları diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır.

Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından, sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle günümüzde otomotiv ve uçak endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Direnç kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği elektrik direncinden elde edilen ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Ek bir dış ısı kaynağı yoktur. Isı, birleşme bölgesinde Joule kanununa göre oluşur.

$$Q=K.I^2.R.T$$

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

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

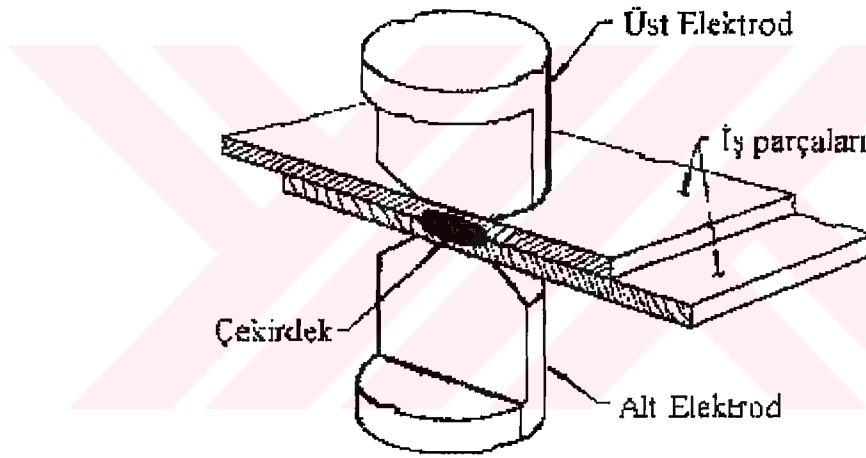
Direnç kaynağı yöntemleri üç gruba ayrılmaktadır:

1. Nokta kaynağı :
 - a) Normal nokta kaynağı
 - b) Kabartılı nokta kaynağı
2. Dikiş kaynağı
 - a) Sürekli dikiş kaynağı
 - b) Aralıklı dikiş kaynağı
3. Alın kaynağı
 - a) Basınçlı alın kaynağı
 - b) Yakma alın kaynağı
 - b.1) Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı
 - b.2) Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

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

2.2. Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi

Direnç nokta kaynağı, elektrodlar tarafından uygulanan kuvvet altında bir arada tutulan iş parçalarında, geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların tek ya da daha çok noktada bölgesel olarak eritilip basınç altında birleştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Akım konsantrasyonu bölgesinde temas eden yüzeyler düşük gerilim, yüksek şiddetli akımın kısa süreli pulsı ile ısıtılarak kaynak metalinde erimiş çekirdek meydana gelir. Akım kesildiğinde, kaynak metali hızlı bir şekilde soğuyup katılaşırken elektrod kuvveti uygulanmaya devam etmektedir. Saniyenin bir diliminde tamamlanan her kaynaktan sonra elektrod geri çekilmektedir.



Şekil 2.1. Direnç nokta kaynağı

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

2.2.1. Kaynak donanımı

Düşük karbonlu çeliğin kaynağında kullanılan direnç nokta kaynağı makinası, 220 ya da 440 V'luk güç hatlarından çekilen ve 2 ila 20 V'a düşürülen tek veya üç fazlı 50 (ya da 60) periyotluk alternatif akım, her kaynak yapılışında direkt olarak elektrodla beslemektedir. Direnç nokta kaynağı için gereken teçhizat, otomasyonun derecesine göre basit ve ucuz veya karmaşık ve pahalı olabilir. Direnç nokta kaynağı makinaları genellikle aşağıdaki ana elemanlardan oluşmaktadır.

- a) Elektrik devresi : Kaynak transformatörü, kademe anahtarı ve sekonder devreden oluşmaktadır. Sekonder devre, kaynak akımını iş parçalarına ileten elektrodla içermektedir.
- b) Kontrol teçhizatı : Akımın geçmesi gereken süreyi başlatır ve zamanlar. Ayrıca kaynak akımının ayarlayan transformatör kademe anahtarının yerine ya da ek olarak ta kullanılabilir. Kontroller, başlatma, otomatik ayarlama ve kaynak kuvveti ve akımının kesilmesi dahil olmak üzere, makinanın tüm operasyonunu sıralayabilir, zamanlayabilir ve ayarlayabilir. Geri besleme devreleri, nokta kaynağının gelişimini şunlardan biri ya da daha fazlası ile izlemektedir; sıcaklık, genişleme, kılma, akustik emisyonlar, ultrasonik sinyaller, gerilim, akım, güç, direnç ve enerji. Geri besleme devreleri bu bilgiyi, her çekirdek oluşumunda kaynak parametrelerini kontrol eden ve ayarlayan bir mikroişlemciye iletmektedir.
- c) Mekanik sistem : Tezgah, fikstürler ve iş parçalarını tutan ve kenetleyen ve kaynak kuvvetini uygulayan diğer cihazlardan oluşmaktadır [4].

2.2.2. Direnç kaynak makinaları kontrol düzenleri

Direnç kaynağı makinalarında elektriksel kontroller üç ana fonksiyonu yerine getirir; 1. akımın kaynak transformatörüne akışını başlatma ve kesme, 2. akımın şiddetini kontrol etme ve 3. kaynak makinasının mekanik operasyonlarını zamanlama ve kontrol etmedir. Kontroller üç gruba ayrılır : kaynak anahtarları, zamanlama ve sıra kontrolleri ve diğer akım kontrol ve ayarlayıcıları (regülatörleri)

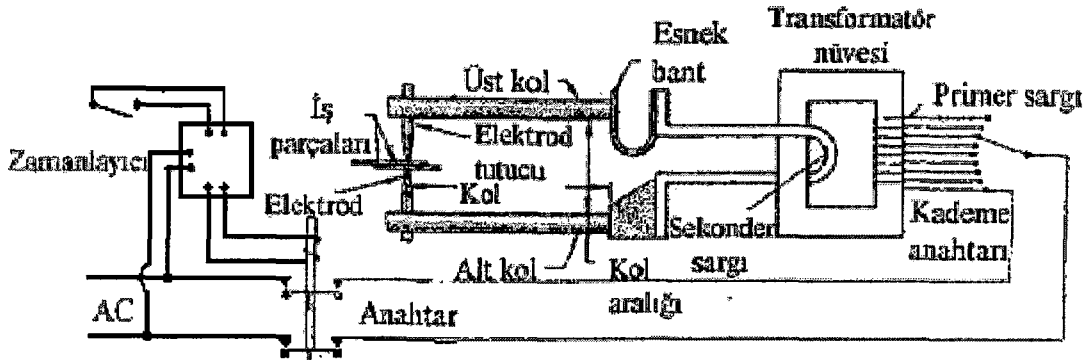
Kaynak anahtarları elektrik güç devresini oluşturmak ve kesmek için kullanılan cihazlardır. Direnç kaynağı makinalarında, anahtarlar ve diğer kontroller kaynak transformatörünün primer devresine uygulanmaktadır. Kaynak anahtarı, kademe anahtarının en üst pozisyonunda elektrik güç hattından makinaya maksimum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

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

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

2.2.3. Direnç kaynak makinası teçhizatı

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



Şekil 2.2. Direnç kaynağı makinasının elektriksel sistemi [4]

Direnç kaynak makinaları için transformatör kapasitesi belli bir iş çevrimi için kVA ile ifade edilmektedir. Standart olarak, direnç kaynak transformatörlerinin kapasiteleri %50'lik iş çevrimine göre verilmektedir. Bu iş çevrimi kapasitesi, ısı kapasite olup, belli bir sıcaklık yükselmesini aşmadan, transformatörün belirlenmiş bir zaman periyodunun (çoğunlukla 1dak.) belli bir yüzdesini sağlayabileceği güç miktarını belirtir. %50 iş çevrimi için, 100 kVA kapasiteli bir kaynak makinası, her dakikanın 30 saniyesi için, transformatör bileşenleri tasarlandıkları sıcaklıkların üstüne çıkmadan, 100 kVA sağlamaktadır.

Tekrarlı yük için, bir “açık” ve bir de “kapalı” zamanı, 1 dakikayı aşmamak üzere, tamamlayıcı periyottur. Bir kaynak transformatörünün kVA kapasitesi, sekonder açık devre geriliminin sekonder akımla (kaynak akımı) çarpımının 1000'e bölümüdür.

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

2.2.4. Sekonder devre karakteristikleri

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

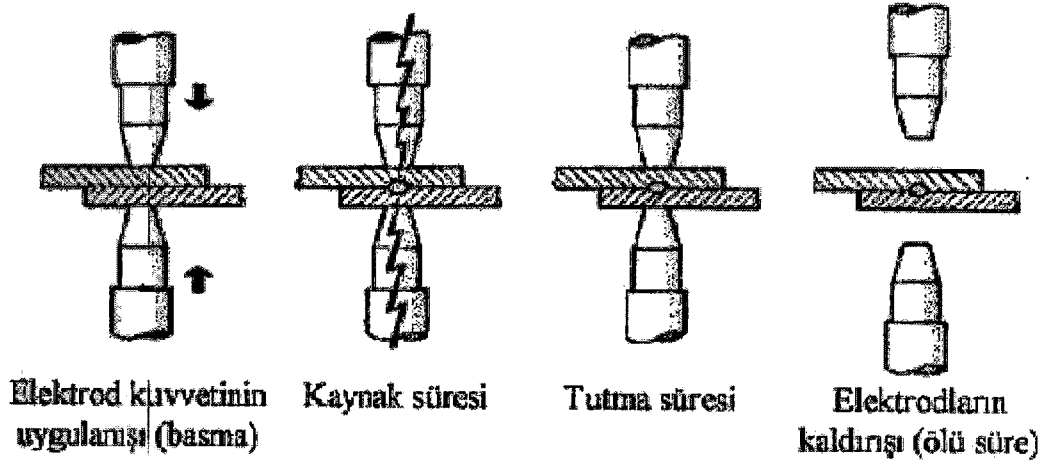
Sekonder devrenin elemanlarında düşük elektrik iletkenliğine sahip malzemeler kullanılmaktadır. İletkenler büyük kesitli olmalı ancak gereğinden uzun olmamalıdır. Kol uzunluğu ve kollar arası mesafe iş parçasının tutulabilmesi için gerekenden daha büyük olmamalıdır.

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

2.3. Kaynak Çevrimi

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

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



Şekil 2.3. Direnç nokta kaynağı aşamaları [5]

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

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

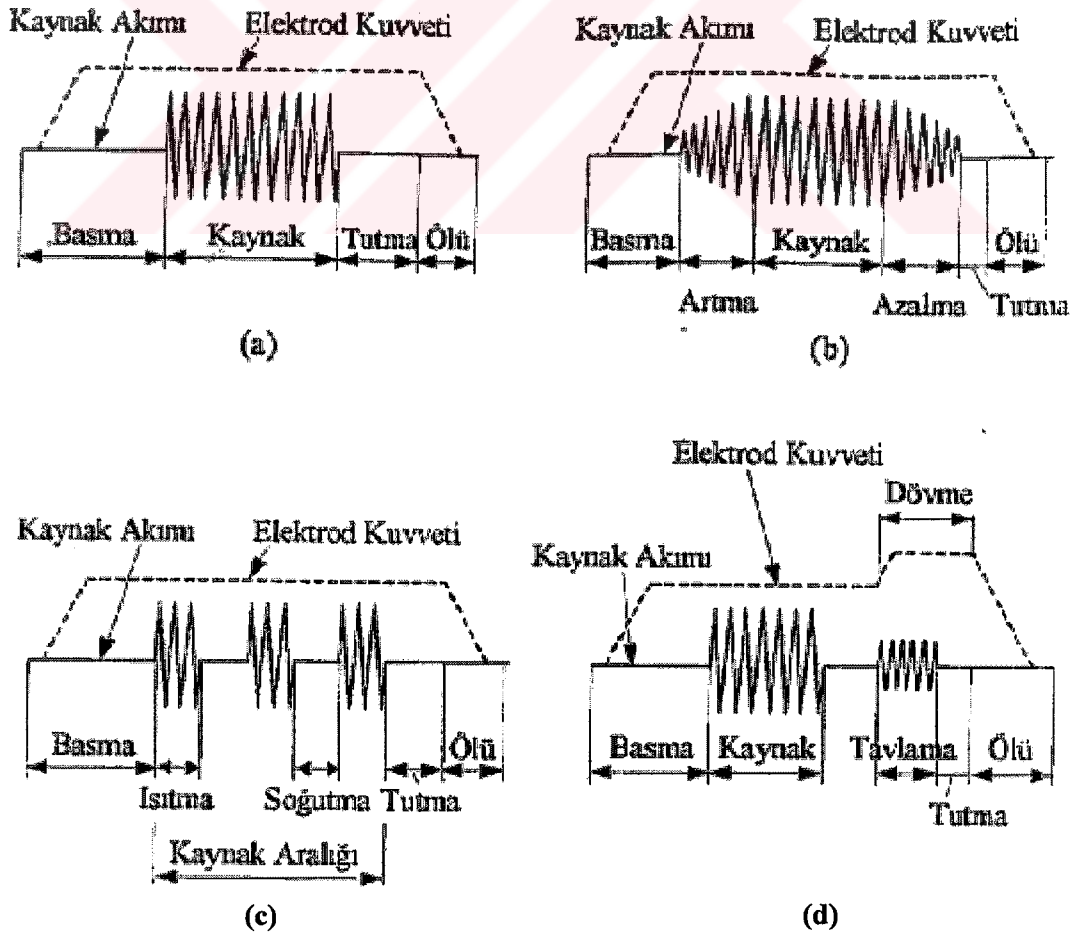
c) Tutma süresi : Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşıncaya kadar elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır. Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır. 25 ila 50 arasındaki periyot sayılarında (1/2 ila 1 sn), bu malzemeler soyma deneylerinde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

d) Ölü süre : Tutma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrodların iş parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığıdır. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrodların geri çekildiği ve iş parçasının kılavuzlandığı, kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Elle yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır.

Şekil 2.4 (a) tek impulsu direnç nokta kaynağı çevrimi için bu dört temel süreyi göstermektedir. Her aralık periyot olarak gösterilmektedir. 50 Hz'lik bir şebeke için bir periyot 1/50 sn'dir.

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

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



Şekil 2.4. Kaynak çevrimleri

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

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

Bir kaynak çevrimine eklenebilecek diğer iki eleman dövme ve sonradan tavlama (Şekil 2.4 (d)). Her ikisi de, sertleştirilebilir karbon ve alaşım çeliklerinde çoğunlukla tanecikleri inceltmek için kullanılmakta ancak düşük karbonlu çelikte kullanılmaktadır. Kaynaktan sonra, temperleme akımının uygulanmasından önce kaynağın soğumasını sağlayan kısa bir gecikme ya da akım kesme periyodu mevcuttur. Akımın düşük bir değerde olduğu sonradan tavlama bir tutma süresi takip gibi arttırılabilir. Bu arttan kuvvet dövme kuvveti adını alır ve sonradan tavlama ve tutma süreleri boyunca uygulanır. Kaynak kuvveti çoğunlukla sonradan tavlama akımı uygulanana kadar elde edilmekte ve tavlama sonrası dövme kuvvetine çıkarılmaktadır. Yukarıda belirtilen çevrimlere ek olarak ön tavlama ile kaynak da uygulanmaktadır. Levhalara, kaynak akımının önce, kaynak akımından daha düşük bir şiddette bir ön tavlama akımı uygulanır. Böylece kaynak bölgesi kaynak sıcaklığının altında bir sıcaklığa ulaşır. Bu işlem yüksek mukavemeti, dolayısıyla yüksek elektrod kuvveti gerektiren levhaların daha düşük elektrod kuvvetine kaynak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca bu işlem kaynak akımı sonrası soğuma hızlarını düşürmede oldukça etkilidir [1, 2, 5].

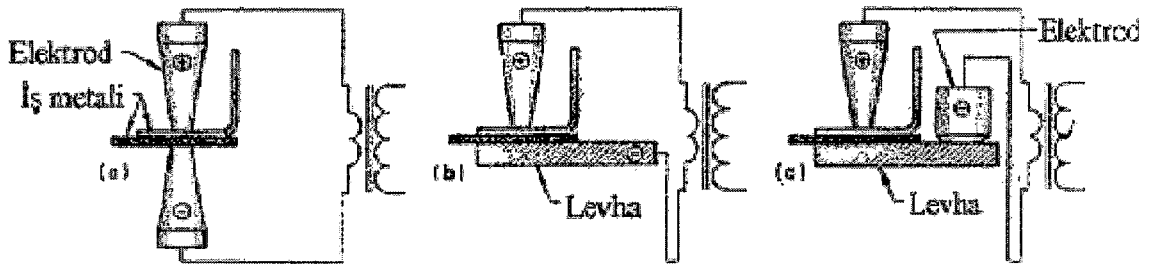
2.4. Direkt ve Seri Kaynak

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

2.4.1. Tek Noktalı Direkt Kaynak

Tek nokta kaynakları çoğunlukla direkt kaynakla yapılır. Şekil 2.5 bu tip kaynakta kullanılan düzenlemeleri şematik olarak göstermektedir. Gösterilen düzenlemelerin tümünde bir transformatör sekonder devresi bir nokta kaynağı yapmaktadır.

İki iş parçasının üst ve alt elektrodlar arasına sıkıştırıldığı en basit ve en yaygın düzenleme Şekil 2.5 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 2.5 (b)'de, alt elektrod olarak geniş temas yüzeyine sahip iletken bir levha veya mandrel kullanılmaktadır; bu da alttaki iş parçasında yüzey işaretlemesini azaltmakta ve kaynaktan ısıyı çabukça uzaklaştırılmaktadır ve iş parçasının şekli dolayısıyla da gerekebilmektedir. Şekil 2.5 (c)'deki düzenlemede, alttaki iş parçasının altına iletken bir levha ya da mandrel aynı amaçla ancak ikinci bir üst elektrodla beraber kullanılmaktadır. Bu ikinci elektrodun görevinin yalnızca temas olup, kaynak olmamasından dolayı, aşırı ısınmayı önlemek üzere daha geniş olabilmektedir (Şekil 2.5 (c)).



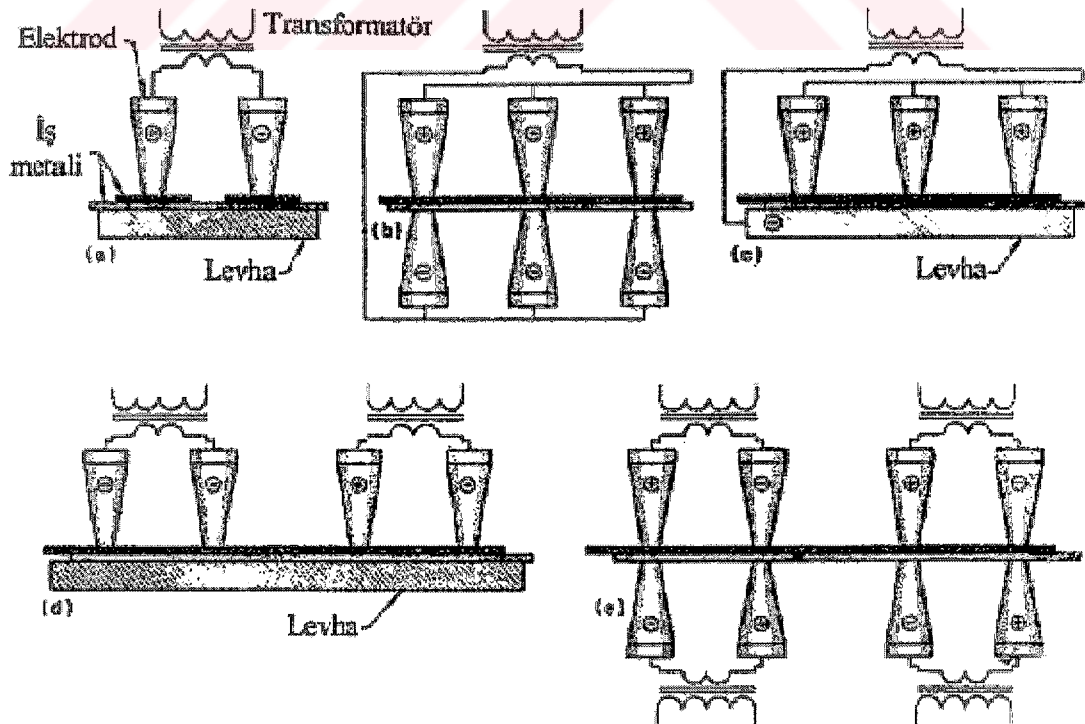
Şekil 2.5. Tek noktalı direkt kaynak için çeşitli düzenlemeler

2.4.2. Çok Noktalı Direkt Kaynak

İki veya daha fazla nokta kaynağının aynı anda direkt olarak yapılmasında kullanılan sekonder devrenin üç düzenlemesi Şekil 2.6 (a), (b) ve (c) ' de gösterilmiştir. Şekil 2.6 (a)'da görüldüğü gibi bir transformatör sekonder devresi, iki üst iş parçasını bir alt parçaya bağlayarak iki nokta kaynağı yapacak şekilde düzenlenebilir. Bu uygulamada, levha ya da mandrel elektrik iletkenliğine sahip olmak zorunda değildir.

Bir tek transformatörün sekonder devresi, Şekil 2.6 (b) ve (c)'de görüldüğü gibi , iki iş parçasını birleştirerek iki, üç veya daha fazla nokta kaynağını aynı anda yapmak için düzenlenebilir. Devredeki her nokta kaynağında direncin aynı olmasını sağlamak için özel önlem alınmalıdır.

Aksi takdirde, akım her kaynak için düzgün olamaz. Uç şekli ve yüzey şartları her elektrod için aynı olmalıdır. Ayrıca, tüm elektrodların iş parçası üzerine uyguladığı kuvvet, iş metali kalınlığındaki eşitsizlikler ne olursa olsun, aynı olmalıdır. Kuvvet, yayla yüklenmiş elektrod tutucusu veya hidrolik eşitleyici sistem kullanılarak eşitlenebilir. Şekil 2.6 (c)'de görüldüğü gibi, iletken levha ya da mandrelin kullanımı alt iş parçası üzerindeki kaynak izlerini azaltır.



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

2.4.3. Çok Noktalı Seri Kaynak

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

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

2.5. Uygulama Alanları

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

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

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

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

2.6. Avantajları ve Sınırlamalar

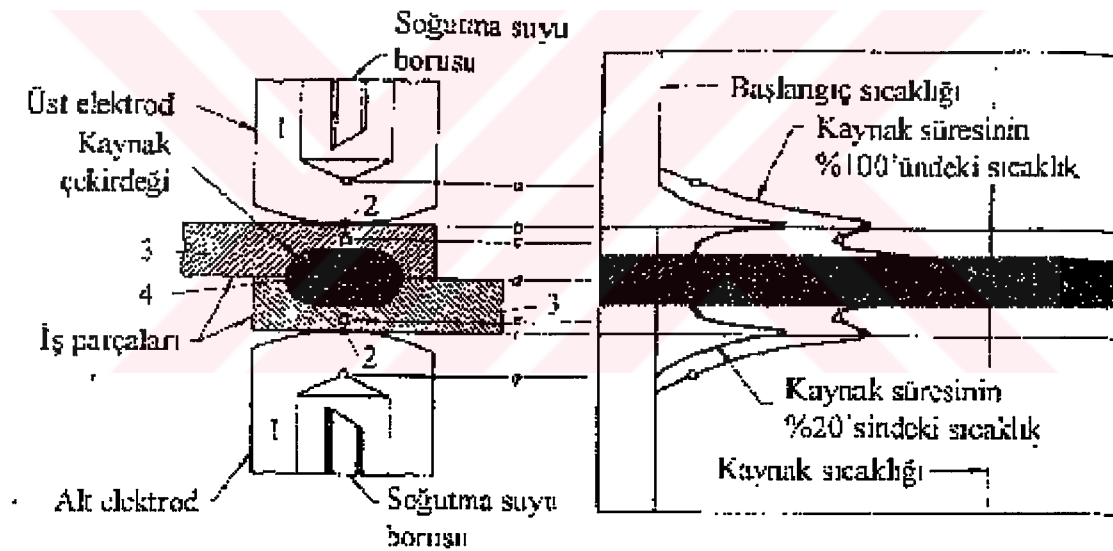
Nokta kaynağının başlıca avantajları, sac metal gruplarının yüksek sayıdaki üretimlerinde otomasyona adapte edilebilirliği yüksek hızıdır. Montaj hatlarında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilir. Nokta kaynağı, atölyedeki operasyonlarda yarı otomatik makineler kullanılarak da ekonomik olabilir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

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanında bu yöntemin bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bakım için sökme veya tamir çok zordur. Bindirme bağlantısı, ark kaynağıyla yapılan bağlantıyla karşılaştırıldığında, montaja ağırlık ve maliyet ekler. Genellikle, ekipman maliyetleri çoğu ark kaynağı metodundan yüksektir. Kısa zaman, yüksek akım gereksinimleri özellikle tek fazlı makinalarda, uygun olmayan güç talebine sebep olmaktadır. Çelikte 5 ila 20 V'ta 5000 ila 20000 A çeken bir direnç nokta kaynağı, yüksek miktarda kVA talep etmektedir. Alüminyum ve bakır alaşımları gibi daha iletken metallerin direnç nokta kaynağında bu talep daha da yüksektir.

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

2.7 Kaynak Çekirdeğinin Oluşumu

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



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

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

- a) Kullanılan malzemelerin dirençleri (R_m)
- b) Temas dirençleri ($R_t = R_d + R_f$)

Malzeme dirençleri (r_m), kaynak yapılacak malzemenin özellikleri, elektrod çapı, levha kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak akım yolundaki sıcaklığa ve elektrodların öz direncine bağlıdır.

Alaşım elemanları metalin özgül direncini saf haline oranla artırır. Fakat bu etki yüksek sıcaklıklarda görünür şekilde azalır. Çok yüksek sıcaklıklarda alaşım ile saf metalin özgül dirençleri arasındaki fark kaybolur. Özgül direnç, soğuk şekil verme ve su verme ile yükselir, tavlama veya temperleme ile ilk değerine kadar düşebilir.

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

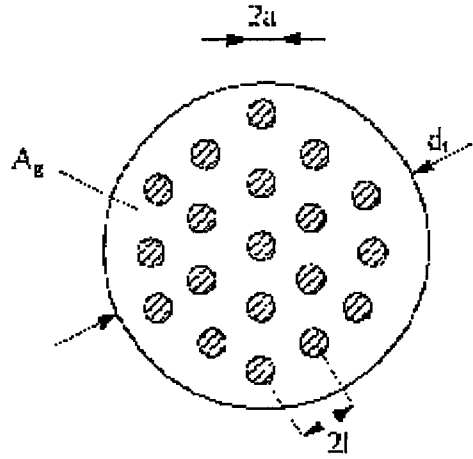
$$2R_m = \frac{8.s.\rho}{\pi.d.b}$$

Burada, s:levha kalınlığı (mm), ρ : malzemenin özgül direnci ($\text{mm}^2.\text{ohm/m}$), d: akım yolu çapı (elektrod çapı) (mm), b: kesik koninin taban çapıdır (mm). İki metalin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci (R_t) iki farklı bileşenden meydana gelmiştir.

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

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

Bu denklemde, ρ : malzemenin.özgül direnci ($\text{mm}^2.\text{ohm/m}$), a: temas noktalarının ortalama yarıçapı (mm), n : nokta sayısı, 1: temas noktalarının merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı (mm) ve d_t : görünür temas yüzeyinin çapıdır (mm) (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları [1]

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

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

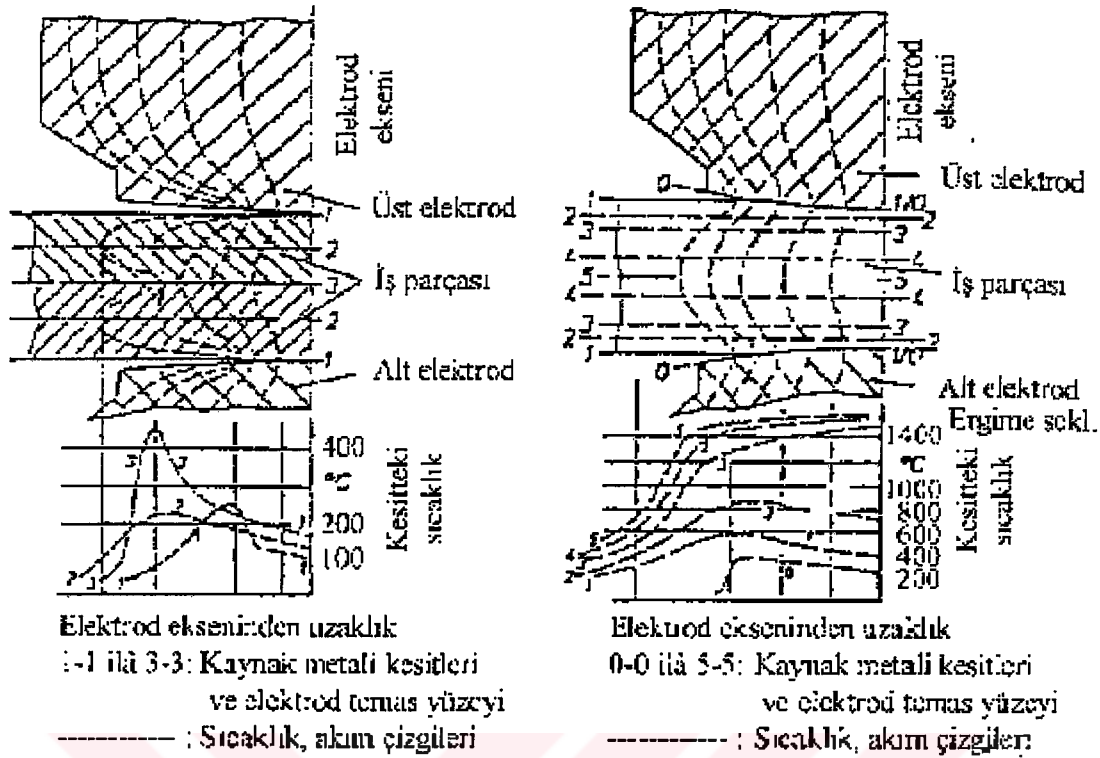
$$R_t = R_d + R_f$$

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

$$R_{top} = R_t + R_m$$

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

Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır [1].



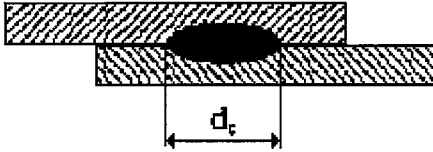
Şekil 2.9 Kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı [6]

Isı, Şekil 2.9'deki bölgelerin her birinde bölgenin direnciyle orantılı olarak üretilmektedir. Bu dirençlerden en büyüğü, levhalar arası temas direnci olduğundan başlangıçta en fazla ısı burada üretilir. Bu bölgede sıcaklığın yükselmesi bölgenin iç direncini de arttırdığından, ısı üretim hızı diğer bölgelere oranla daha yüksek olur. Bu nedenle, erime ilk defa levhalar arası temas yüzeyinde başlar ve levha içine doğru gelişir.

Kullanılan elektrodların yüksek ısı iletkenliğe ve düşük elektrik direncine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle, elektrodlarla levhalar arasındaki temas yerinde herhangi bir erime meydana gelmez. Şekil 2.9'da kaynak başlangıcında ve sonunda akım yoğunluğu ve sıcaklık dağılımı verilmiştir. [6].

Yukarıda bahsedilen esasa dayanarak oluşan kaynak çekirdeklerin, kaynağın yapıldığı sac kalınlığına bağlı olan boyutlar değişmektedir. Tablo 2.1'de değişik sac kalınlıklar için kaynak çekirdeği çapları verilmektedir.

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

Tek sacın kalınlığı	mm		0,5	1,0	1,5	2,0
	Çekirdek Çapı (d_c)	En Büyük	6,0	9,0	10,0	13,0
		En Küçük	2,5	4,0	5,0	7,0

2.8. Direnç Nokta Kaynağının Parametreleri

2.8.1. Kaynak akımı

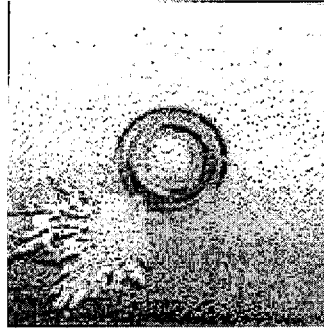
Kaynak akımı, transformatör sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan esnek bantlar, kollar, elektrodlar ve iş parçasından oluşan sekonder devreden akar. Isı, devrenin her kısmında aşağıdaki formüle göre oluşmaktadır.

$$Q=K.I^2.R.T$$

Burada , Q: ısı (enerji) (Watt-sn ya da Joule), K : Sabit Değer, I : akım (A), R: direnç (Ohm) ve T: akımın geçtiği süredir (sn). Isının bir bölümü elektrodlardan ve iş parçalarından iletim, taşınım ve ışıyım yoluyla kaybolur. Bu kayıpların büyüklüğü genelde bilinmemektedir. Akım yoğunluğu için erimenin meydana gelmediği bir alt sınır mevcuttur. Elektrodlarda, çevreleyen havada ve elektrodlar arasında olmayan iş parçasında iletim boyunca kaybolan ısıyı karşılamak üzere yeterli ısı üretilmelidir. Akım yoğunluğu artınca, elektrod temas yüzeylerini birkaç yüz dereceden fazla ısıtmadan kaynak oluşturmak için, kaynak süresi yeterli miktarda düşürülebilir.

Kaynak akımı için bir de üst sınır mevcuttur. Kaynak akımı çok yüksek ise, elektrodlar arasındaki metalin tamamı, kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşılmasıyla, plastik bölgeye kadar ısınmış olur ve elektrodlar derinlemesine metale gömülür. Elektrodların dış yüzeyleri aşırı ısınabilir ya da yanabilir [33].

Bu, özellikle, akım fişkırmaya sebep olacak kadar yüksekse gerçekleşir. Bu üst sınırın üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fişkırır (Şekil 2.10). Bu olay, kaynak dikişinde dayanıklılığın azalmasına neden olur. Elektrodlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir ve elektrodlar levhalara yapışarak tahrip olur. Bunun sonucunda elektrodların ömrü azalır.

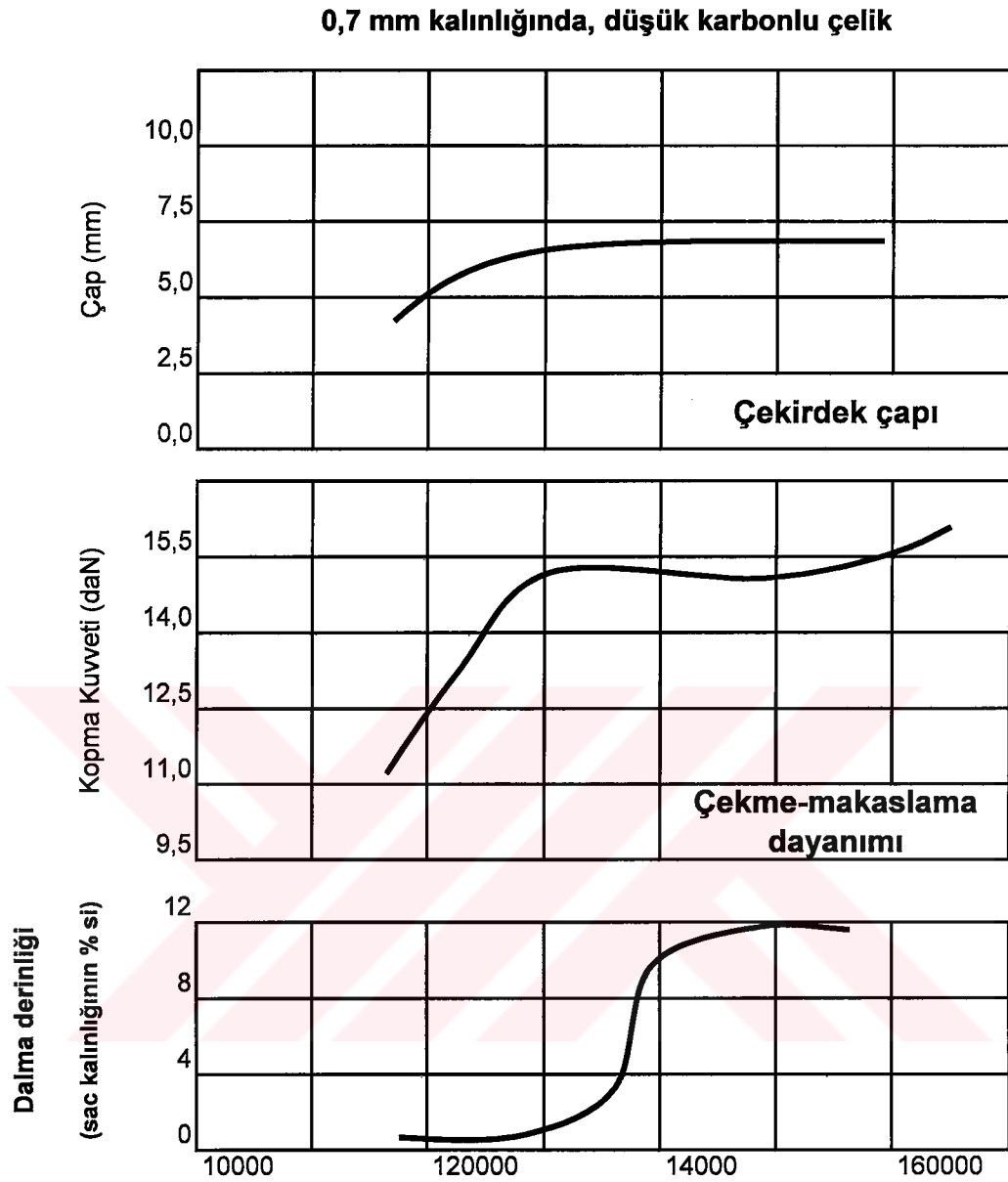


Şekil 2.10 Kaynak ara yüzeyinde meydana gelen fişkırma

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

Kaynak akımı, bağlantılı çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliğinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Akım 13500 A’ın üzerine çıktığında 6 mm’lik çekirdek çapında önemli bir artış olmamıştır fakat elektrod dalma derinliğinde bir artış meydana gelmiştir.

Optimum akıma ulaşılan kadar çekme-makaslama dayanımı hızlı bir şekilde artmakta, fakat akım 14000 A’ın biraz üzerine çıktığında dayanım biraz düşmektedir. Dalma derinliği, 13500 A’lık kaynak akımında sac kalınlığının %2’sinden, 14000 A’ın biraz üstünde %10 civarına kadar çıkmaktadır.



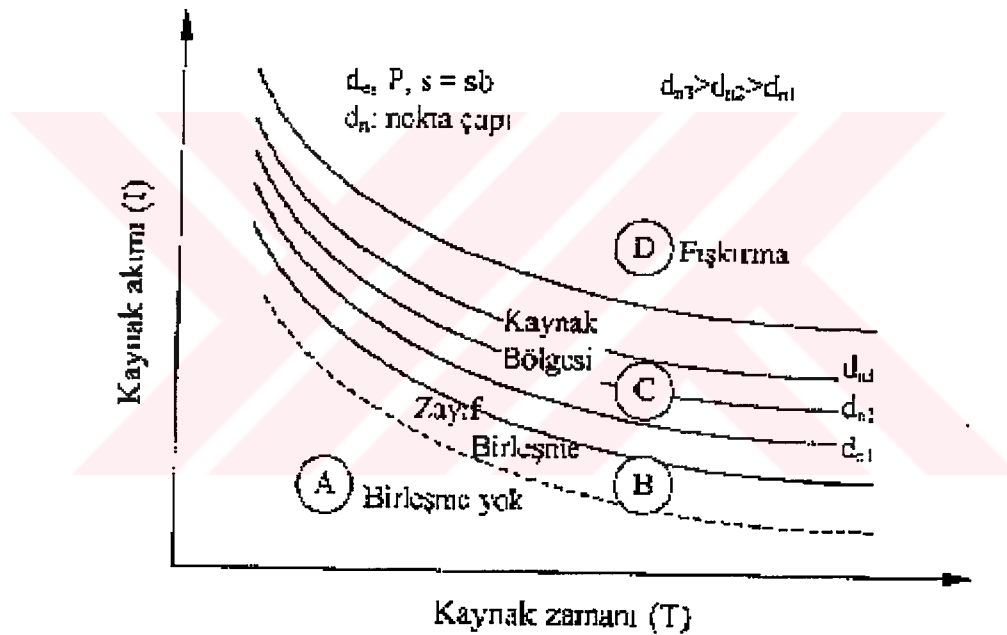
Şekil 2.11 : Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliği etkileri [4]

Belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrod uç çapı ve verilmiş bir elektrod kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür (Şekil 2.12).

Bu diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır. A bölgesinde herhangi bir erime ve birleşme yoktur. B bölgesinde basınc kaynağı ile oluşan ve erime olmadan zayıf bir birleşme meydana gelir.

C bölgesi erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı d_n , elektrod çapı d_e 'ye yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır.

Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akım ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın kalacak şekilde seçilir. D bölgesi fışkıрма bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fışkıрма başlar.



Şekil 2.12 Kaynak kabiliyeti diyagramı [1]

Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, dikkatlice kontrolünü gerektirmektedir. Akım değişimlerine şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinasının sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer yandan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrodların etki alanı dışındaki metalik temas noktalarından kısa devre olması sonucunda ortaya çıkar. Kısa devre nedeniyle nokta çapı yeterli bir değere erişemez. Ayrıca, kullanım sırasında, uç çapı çeşitli sebeplerden dolayı büyümüş elektrodlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olur [1, 4].

2.8.2. Kaynak süresi

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

Isı (enerji) formülü $Q=K.I^2.R.T$ (2.1), toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi parçasında oluşan ısıнын hem kaynak süresi (akımın geçtiği süre) hem de kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının gelişmesi için gereken süre, akım ne kadar yükselirse yükselsin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir. Temas yüzeylerinde ısı oluşumu çok hızlı olduğundan, özellikle elektrod temas yüzeylerinde oyuklanma ve fişkırmaya meydana gelir. Kaynak akımı ve basınç artırılarak kaynak süresinde biraz azalma sağlanabilir. Akımdaki yükselmeden dolayı oluşan fişkırmayı önlemek için yüksek basınç gereklidir. Kısa kaynak süresi ve yüksek akım şiddeti ya da uzun kaynak süresi ve düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapını elde etmek mümkündür. Bunlardan birincisi kısa süreli kaynak, ikincisi uzun süreli kaynak adını alır.

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

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

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

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

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

Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Uzun süreli kaynakta, kaynak bölgesine komşu bölgelerin sıcaklığı yüksekliğinden, sıcaklık farkı, dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle % 0,3 karbon içeren çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Diğer yandan, elektrodlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar içinde uzun süreli kaynak tercih edilir [1, 4].

2.8.3. Elektrod malzemesi ve boyutları

Ticari saf bakır en iyi iletkendir. Saf bakır elektrodlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilene kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akımı şiddeti, daha yüksek elektrod kuvveti ve daha yüksek kaynak hızı kullanan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrod malzemesi olarak kullanımını engellemiştir. Soğuk çekilmiş bakır statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf bakırın istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Direnç kaynağında kullanılan başlıca elektrod alaşımları ve özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. (Daha detaylı bilgi için Bölüm 3.2’ye bakınız)

Tablo 2.2. Direnç kaynağında kullanılan elektrod alaşımları [1]

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

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

Elektrodların şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının cinsine, şekil ve boyutlarına göre saptanır. Standart elektrodlar içinde en çok kullanılanlar , kesik koni uçlu ve küresel olanlardır. Standart elektrod uç şekilleri ile levha kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrod temas yüzeyi(uç) çaplarının seçimi Bölüm 3.3 'te verilmiştir.

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

2.8.4 Elektrod kuvveti

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

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

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

- Alaşımsız çelikler için : $P = 2 \cdot s$ (2.7)
- Yüksek alaşımlı çelikler için : $P = 3,5 \cdot s$ (2.8)
- Alüminyum için : $P = 2,5 \cdot s$ (2.9)

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

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

Bazen, iş parçalarını bir arada tutabilmek için normalde kullanılanlardan daha uzun bir sıkma süresi gerekmektedir. Ayrıca geri yaylanma olasılığından dolayı, tutma süresi kaynak metalinin katılaşmasına imkan tanıyacak kadar uzun olmalıdır. Elektrod kuvvetindeki farklılıkların direnç ve ısınmada değişikliklere sebep olmasından dolayı bu kuvvet kaynak kabiliyeti diyagramındaki eğrilerin boyut ve lokasyonunda ve akım seviyesinde değişikliklere neden olabilir. Artan elektrod kuvvetleri, eğrileri daha yüksek akım seviyelerine kaydırılır.

Eğrilerdeki bu atlama, bir elektrod kuvvetinde kabul edilebilir kaynak çekirdekleri sağlamış kaynak akımı ve kaynak süresi kombinasyonlarının, yeni elektrod kuvvetinde daha fazla kabul edilebilir kaynak çekirdekleri üretmeyebileceğini belirtmektedir. Bu yüzden, özellikle, akma dayanımları 700 Mpa'ın üzerindeki ince taneli yapı çeliklerinin bazıları gibi, kısmen kabul edilebilir kaynak akımı sınırına sahip alaşımlarda, elektrod kuvvetine değişiklik yaparken dikkat edilmelidir.

Elektrod kuvveti, kaynak işleminin üç safhasında da önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 2.3). Basma safhasında, elektrod kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, levhaların, elektrodlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirlemektedir.

Elektrod kuvveti, kaynak safhasında, levhalar arasından fişkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, bu fişkırmayı engellemektedir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk , çatlak gibi kusurların oluşumunu dövme kuvveti yoluyla önlemektedir [1, 4].

2.8.5 Esas metalin kimyasal bileşimi

Deneylerde kullanılan saclar 1 mm kalınlığındaki alüminyum saclardır. Bu alüminyum sacın kimyasal bileşimi Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3 Alüminyum sacın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi								
%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	%Al
0,15	0,25	-	-	-	-	-	-	99,52

2.8.6. Kaynak noktası sıklığı

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

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

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

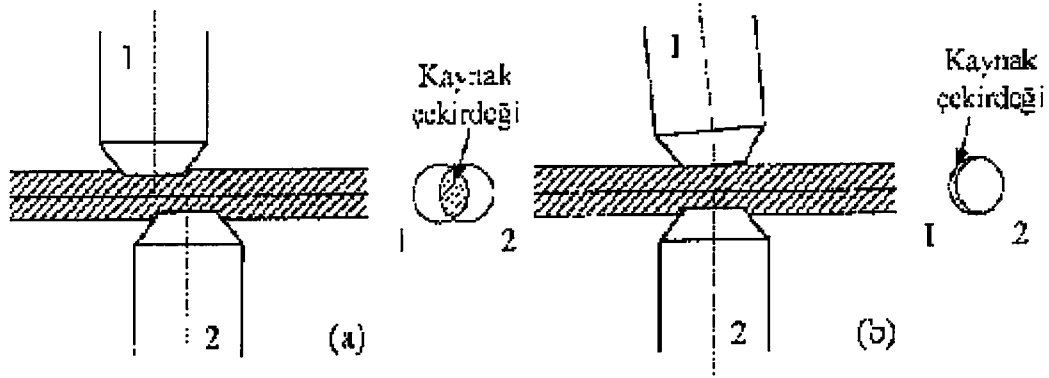
Düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında minimum aralık, metalin kalınlığı, erimiş bölgenin çapı ve kaynak bölgesindeki yüzeylerin temizliğine bağlıdır. Daha yüksek akım ve elektrod kuvveti, daha kısa kaynak süresi ve hızlı takip ile kaynaklar, önemli bir atlama olmadan, çeşitli tablolarda tavsiye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

Kaynaklar levhanın kenarına ya da flanşa çok yakın yapılırsa, elektrod basıncı ve ısıya dayanabilecek esas metal hacmi yetersiz kalır. Bu, kaynaktan sıcak metalin uzaklaştırılmasına sebep olacak şekilde, kenar boyunca etkili kuvvete düşüşe ve eşit olmayan ısınmayla sonuçlanır. Nokta kaynakları dikey flanşa veya yan duvara çok yakın yapıldığında, elektrod ve iş parçası arasında arklanma meydana gelebilir ya da kıvrılma açısından dolayı kaynak bölgesindeki yüzeylerde zayıf bir oturma meydana gelebilir.

Metal kalınlığından dolayı büyük çaplı elektrodlar gerektiğinde eksantrik veya ofset uçlar kullanılabilir. İki metal parça arasındaki temas eden minimum bindirme, bir dereceye kadar elektrod çapı ve erimiş bölgenin çapını etkileyen metal kalınlığına bağlıdır [1, 4].

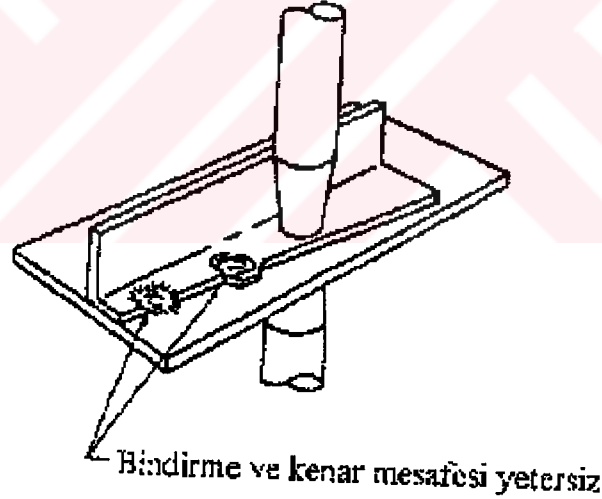
2.8.7. Elektrod ve iş parçasının temas durumları

Kaynak kalitesi ve kabiliyetini etkileyen bir diğer faktör elektrodların ve iş metallerinin birbiriyle temas etme durumudur. Elektrodlar, iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine paralel olmalıdır. Ancak iyi bir kaynak için bu koşul yeterli değildir. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrodun aynı ekseninde olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrodlarla yapılan kaynaklarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi, kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmedir. Şekil 2.13 (a)'da görülen kaynak bölgesi, gerekli alanın yaklaşık olarak üçte biri olup gerekli basıncın üç katına çıkmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.13 (b)'de ise birbirine paralel olmayan iki ucun meydana getirdiği kaynak gözükmemektedir.



Şekil 2.13 Elektrodların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri

Yukarıda belirtilen durumların yanı sıra bindirme ve kenar mesafelerinin de kaynak kalitesinde önemi vardır. İyi bir kaynak elde edebilmek için nokta kaynağının kenara uzaklığı en az çekirdek yarıısı kadar olmalıdır. Şekil 2.14'te yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan kaynak hataları görülmektedir [5].



Şekil 2.14 Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar

2.9. Direnç Nokta Kaynağı İçin İstenmeyen Yüzey Koşulları

Direnç nokta kaynağının sonrasında istenmeyen yüzey durumları ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzey durumları, derin elektrod izi, yüzeyin erimesi, çatlaklar vb. şekillerde olabilmektedir. İstenmeyen yüzey koşulları, bunların neden ve sonuçları Tablo 2.4'te belirtilmiştir [5].

Tablo 2.4. Direnç nokta kaynağında istenmeyen yüzey koşulları

Yüzey Koşulu	Neden	Sonuç
Derin elektrod izi	Uygun seçilmemiş elektrod yüzeyi Elektrod kuvvetinin kontrol edilememesi Yüksek temas direnci (düşük elektrod kuvveti) nedeniyle çok hızlı ısı üretimi	1. Kaynak alanı çevresindeki metal kalınlığının azalması nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Kötü görünüş
Yüzeyin erimesi (genellikle derin elektrod izi ile birlikte)	Curufun veya kirli metal Düşük elektrod kuvveti Parçaların kaymış olması Yüksek kaynak akımı Elektrodların düzgün şekilli olmaması Basınç ve akımın sırasının uygun olmaması	1. Erimiş metalin fişkırması nedeniyle çekirdek boyutlarının küçülmesi, 2. Kaynak bölgesinde büyük boşluklar, 3. Parçanın dış yüzeyinden yarıkların temizlenmesi nedeniyle maliyetin artması 4. Elektrodların sık sık düzeltilmesi nedeniyle üretim zamanının harcanması.
Kötü şekilli kaynak	1. Parçaların ayarsızlığı 2. Elektrodların aşırı aşınmış olması veya düzgün olmayan elektrodların kayması	1. Ara temas yüzeyinin değişmesi nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi, 2. Erimiş metalin fişkırması
Parça üzerinde elektrod kopması (genellikle yüzey erimesi ile birlikte)	1. Curufun veya kirli malzeme, 2. Düşük elektrod kuvveti veya yüksek kaynak akımı 3. Elektrod temas yüzeylerinin bakımının yetersiz olması 4. Elektrod kuvveti ve kaynak akımının sırasının bozuk olması	1. Kötü görünüş 2. Korozyon direncinin düşmesi, 3. Erimiş metal fişkırması varsa, kaynak mukavemetinin düşmesi, 4. Elektrod ömrünün kısalması
Çatlaklar derin boşluklar veya küçük delikler	1. Kaynak çekirdeği katılaşmadan önce elektrod kuvvetinin kaldırılması 2. Erimiş metalin fişkırmasına neden olacak şekilde aşırı ısı üretimi 3. Parça yüzeylerinin birbirine yakınlamaması ve dolayısıyla elektrod kuvvetinin arttırılması	1. Çatlak veya süreksizliğin kaynak alanının dışına uzaması sonucu veya gerilme altında yorulma dayanımının düşmesi 2. Çatlak veya boşluklarda korozif maddelerin birikmesi nedeniyle korozyonun artması

Elektrod olarak, alüminyum kaynağında bakır-krom alaşımlı tipler kullanılır ise daha uzun ömürlü olmaktadır. Normal saç kaynağına göre elektrod üzerine yapışan alüminyumun daha sık temizlenmesi gerekir.

Bu tür kaynakta step programı çok iyi sonuç vermeyebilir. Daha önce denenmemiş direnç nokta kaynağı uygulamaları için en tatmin edici koşulların belirlenmesinde faydalanılan adımların sırası aşağıda verilmiştir.

1. ve 4. adımlardaki tatmin edici kaynak için olağan kriterler, penetrasyon, uygulamaya uygun çekirdek çapı ve dalma derinliğinin yanı sıra, gözeneklilik, çatlak, aşırı fışkıрма gibi büyük kusurların olmamasıdır.

1.Elektrod kuvvetinin ilk seçimi : Bu kaynak edilecek parça ve kullanılacak elektrod için seçilir. Tavsiye edilen değerlerin yer aldığı Tablo 2.5 gibi tablolar, bu seçim için başlangıç noktaları sağlamakla birlikte, elektrod kuvvetinin bu ilk seçimi doğrulamak veya düzeltmek için yapılan deneme kaynaklarının akım, kaynak süresi ve tutma süresi ilk değerlerinin seçilmesinde rehber olarak da kullanılmaktadır.

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

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

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

5. Şartların seçimi doğrulanması : 1. ve 4. adımlarda belirlenen kaynak şartlarında bu seçimleri doğrulamak ve kaynak kalitesi ve proses kontrolünde kullanımın güvenilirliği ile ilgili referans verisi oluşturmak için, deneme kaynakları yapılır. 1. ve 4. adımlardakine oranla tamamlanmış bir değerlendirme bu adımda gerçekleştirilmektedir.

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

Bu beş adım, sadece her kaynak değişkeni için optimum değerler belirlemekle kalmaz tatmin edici değerlerin sınırlarını ve her değişkenin kritikliğini de belirler. Bir direnç nokta kaynağı programının yapılmasında takip edilen basamakların sırası, teçhizat veya işin farklı durumları, benzer tip işlerle deneyimin artırılması ve müşteri ya da uygulanabilir şartnamelerin gerektirdiklerine bağlı olarak, farklılık gösterebilir.

Kaynak şartlarının başlangıçta ya da üretim sırasında ayarlaması gerektiğinde, ayarlama çoğunlukla uygun ve etkili olan kaynak süresi ya da akım üzerinde yapılır.

2.10 Kaynak Programları

Alüminyum, zaman, akım ve elektrod kuvvetinin geniş sınırlarında tatmin edici bir biçimde nokta kaynağı yapılabilir. Makina kapasitesinden dolayı bu değişkenlerden herhangi birindeki sınırlamalar diğerlerinde uygun ayarlamalar yapılarak telafi edilebilir.

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

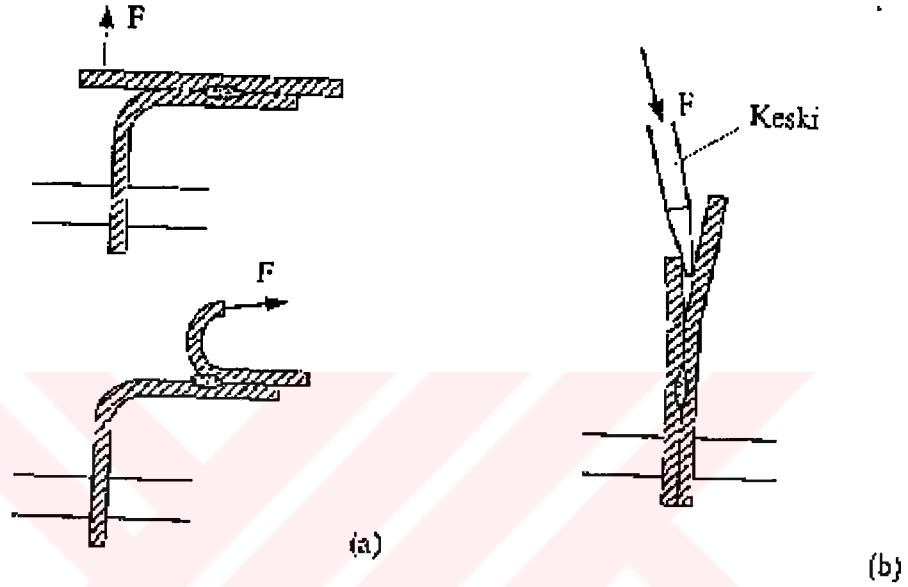
Çoşkunöz firmasının alüminyum sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5 Alüminyum sac için tavsiye edilen nokta kaynağı parametreleri [8].

Parça Kalınlığı (mm)	Baskı Kuvveti kg	Kaynak Süresi (cycles)	Elektrod Radyüsü (mm)
1	180	7	50
1.5	240	10	50
2	280	12	50
2.5	340	13	50
3	370	14	50

2.11. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler

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



Şekil 2.15 Soyma ve keski deneyleri

2.11.1. Soyma Deneyi

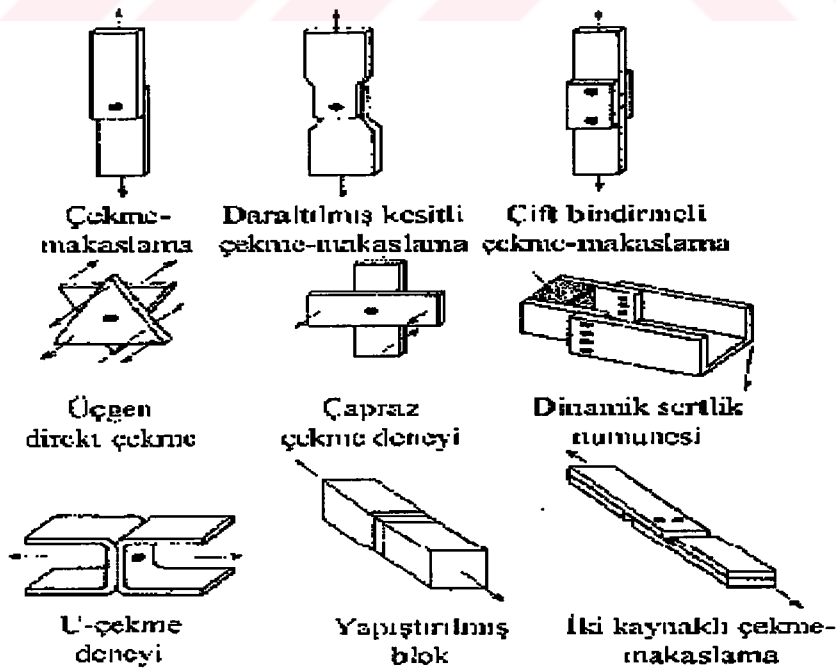
Soyma deneyi, nokta kaynakları için çoğunlukla kullanılan mekanik deneydir (Şekil 2.15 (a)). Bu deney, tüm otomotiv şartlarında, kaynak edilebilirliğin tayininde kullanılmaktadır. Bu deneyin genellikle kabul edilmesinin çeşitli sebepleri vardır; 1) Performans kolaylığı, 2) düşük maliyet ve 3) atölyede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

2.11.2. Keski Deneyi

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

2.11.3 Çekme Deneyi

Nokta kaynağının çekme özelliklerini belirlemek için sayısız çekme deneyi numune tasarımı kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Genellikle, bu numunelerin kullanıldığı deneyler iki gruba ayrılabilir: normal gerilmeleri ölçmek için tasarlananlar ve makaslama dayanımlarını ölçmek için tasarlananlar.



Şekil 2.16. Çekme numunesi tasarımları [4]

Normal gerilmeleri ölçmek için tasarlanan deneyler, çapraz çekme deneyi, U-çekme deneyi, üçgen direkt çekme deneyi ve yapıştırılmış blok deneyi. Makaslama gerilimini ölçmek üzere tasarlanmış deneyler, çekme-makaslama deneyi, daraltılmış kesitli çekme-makaslama deneyi ve iki kaynaklı çekme-makaslama deneyi.

Bir deney numunesinde nokta kaynağı etrafında oluşan gerilimin yerel durumu, bir ölçüde, numunenin bir yükü taşıma yeteneğini belirtir. Kolaylık açısından, bir nokta kaynağının yük taşıma yeteneği gerilme yerine kuvvet birimleriyle ölçülen nokta kaynağı dayanımı ile tanımlanmıştır. Soyma ve keski deneyi numuneleri en düşük dayanıma sahiptir.

Normal yükleri taşımak üzere tasarlanan numuneler daha dayanıklı, makaslama numuneleri ise en dayanıklıdır. Numune tasarımının yanı sıra, nokta kaynak dayanımını etkileyen değer faktörler, ana metalin dayanımı, levha boyutu, çekirdek boyutu, kaynak süresi, nokta dağılımı, kaplamalar ve deney işlemleridir. Tablo 2.6’te belli sac kalınlıkları için kalınlıkları için olması gereken minimum çekirdek çapları ve minimum çekme-makaslama dayanımları verilmiştir.

Tablo 2.6 Minimum çekirdek çapları ve çekme-makaslama dayanımları [9]

İnce sacın kalınlığı (mm)		Minimum çekirdek çapı (mm)	Minimum çekme- makaslama dayanımı (daN)
$\geq$	$\leq$		
0,50	0,80	3,6	2,5
0,80	1,00	4,0	3,2
1,00	1,25	4,5	4,0
1,25	1,60	5,0	5,0
1,60	2,00	5,6	6,3
1,60	2,50	6,3	8,0
2,50	3,15	7,1	11,2
3,15	3,55	8,0	16,0
3,55	4,00	8,5	19,0

2.12 Otomotiv Sanayinde Direnç Nokta Kaynağı

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

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

2.12.1. Otomotiv ürünleri

Otomobil imalatında genel olarak metallerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliği esastır. Belli bir üründe uygulanacak spesifik kaynak metodunun seçimi, ürün tasarımı, hizmet talebinin tipi, üretim hızı ve ekonomikliğe bağlıdır.

Otomotiv sanayinde çeşitli tipte metaller kaynak edilmektedir ancak düşük karbonlu soğuk haddelenmiş sac çelik ve sıcak haddelenmiş sac çelik ve sıcak haddelenmiş levha ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Birleştirilecek metaller, demir ya da demir dışı olsun, kullanılacak kaynak yönteminin seçiminde etkili olur. Daha yüksek korozyona dayanım elde etme eğilimi bu amaçla kaplanan çeliklerin kullanımını arttırmıştır.

Günümüzde, birçok yeni araçta, gövdenin tamamı galvaniz kaplamalı sacdan imal edilmektedir. Korozyona dayanıklı metalik ve boya kaplamaları kaynak yöntemleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olup, teçhizat ve üretim tekniklerinde modifikasyonları zorunlu kılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan başlıca metaller Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Otomotiv parçalarında kullanılan başlıca metaller [11]

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

Ürün tasarımı, belli ölçüde hangi kaynak prosesinin kullanılacağını açıkça belirler. Bağlantıya erişebilirlik, montaj operasyonlarının sırası ve bitmiş parçanın görüntüsü bir kaynak yönteminin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

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

Otomotiv parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özellikler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir:

1. Yapısal karakteristikler

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

2. Korozyon dayanımı

3. Sızdırmaz karakteristikler

4. Görüntü karakteristikleri

Otomotiv endüstrisindeki yüksek imalat sayıları yüksek derecede otomasyon ve özel teçhizata yönelmeyi gerektirmiştir. Otomobil gövde elemanlarında, çok noktalı kaynak makinalarıyla aynı anda ya da robot teknolojisi ile kısa bir süre içinde yüzlerce nokta kaynağı yapılmaktadır. Örneğin, taşınabilir nokta kaynağı tabancalarıyla ortalama 4 sn/nokta, robot tabancası ile 2.5 sn/nokta hızda kaynak yapılabilir.

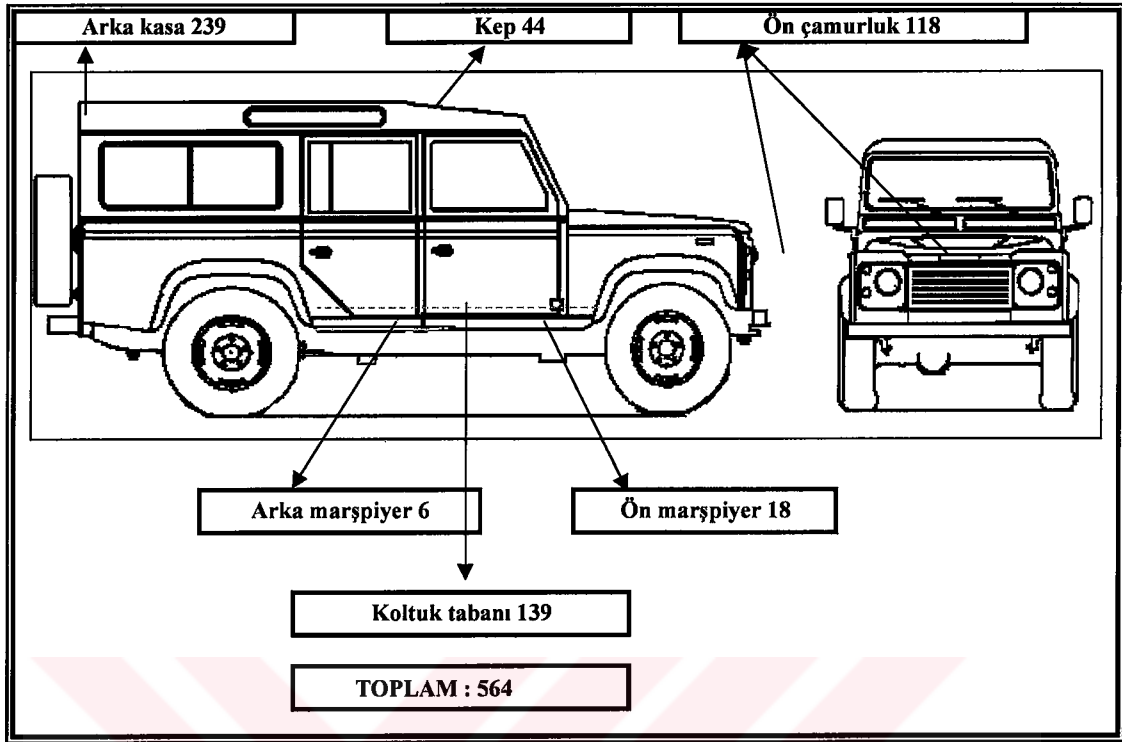
Buna göre, bir otomobile saatte ortalama 800 nokta kaynağı yapılmaktadır. Bu imalat sayısı esas alınarak imalatla kullanılacak kaynak metodu, ekonomikliği göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Yüksek sayıdaki imalatla, bir parçada bir Lira'lık bir kazanç bile yıllık üretim göz önüne alındığında önemli miktarda kazançlar sağlayabilir [10, 11].

2.12.2. Otomobil gövdesi imalatı

Otokar, Koç Grubu şirketi olarak tesislerinde; a) Otobüs, minibüs, midibüs gibi toplu taşımacılık araçları, b) Van, pick-up gibi hafif ticari araçlar c) Zırhlı para nakil araçları d) 4x4 Land Rover taktik araçları ve bunların dışında, gezici hastane zırhlı personel taşıyıcı araçları, kurtarıcı araçları ve ambulans gibi özel araçlar da üretmiştir.

Otokar dizayn ve üretim metodları, kullanıcıların özel ihtiyaçlarına cevap verebilecek tipte araç üretebilecek şekilde düzenlemiştir. Land Rover hattında; Sac İşleme, Gövde İmalat, Boyahane, Montaj yer almaktadır.

Otomotiv sanayinde direnç nokta kaynağı uygulamaları ve kullanılan malzemelere örnek teşkil etmesi açısından, Otokar Otobüs Karoseri A.Ş. Adapazarı fabrikasında üretilen Land Rover marka arazi araçlarının gövde imalatında nokta kaynak uygulamasının araç üzerindeki gösterimi Şekil 17'de verilmiştir [12.]



Şekil 2.17 Land Rover aracında muhtemel nokta kaynak adetleri

2.12.3 Otomotiv sanayinde kullanılan direnç nokta kaynağı makinaları

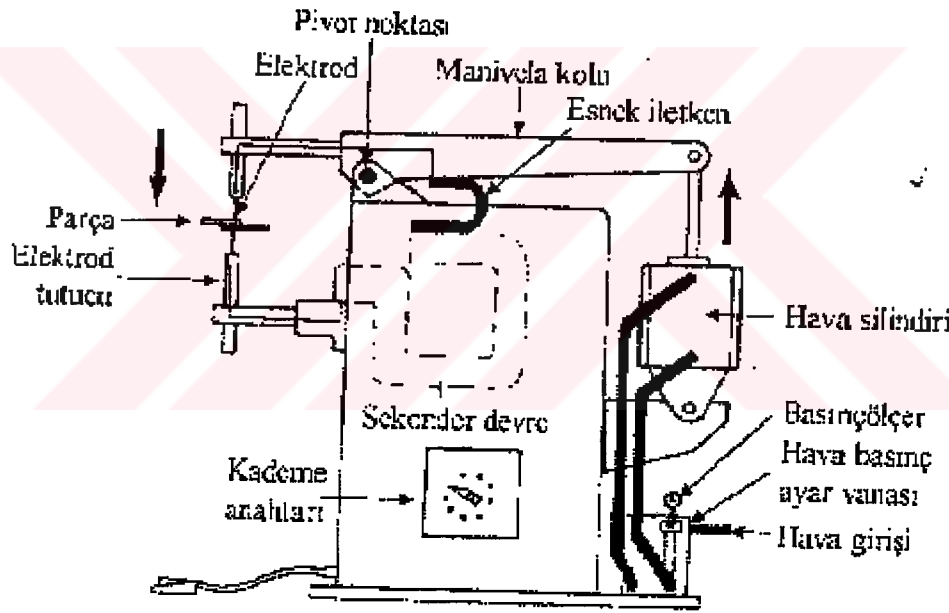
Mekanik konstrüksiyona bağlı olarak, direnç nokta kaynağı makinaları dört ana gruba ayrılır; manivela kollu, pres tipi, taşınabilir ve çok elektrodlu makinalar. Günümüzde, otomotiv sanayinde, çoğunlukla pres tipi ve portatif kaynak makinaları robot teknolojisi ile entegre olarak kullanılmaktadır [4,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

2.12.3.1 Manivela kollu kaynak makinası

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

Manivela kollu makinalar, 30 ila 120 cm kol uzunluğunda ve 10 ila 300 kVA'lık transformatör kapasitesinde bulunabilmektedir. Manivela kollu makinanın üst elektrodunun yay şeklinde hareket etmesinden dolayı, elektrodlar üst elektrod iş parçasına dik ve iki kol birbirine paralel olacak şekilde, kapalı (ya da kaynak) pozisyonda ayarlanmalıdır. Paralel olamayan kollarla ayarlama, elektrod kaymasına ve iş parçalarının işaretlenmesine sebep olur.

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



Şekil 2.18 Manivela kollu kaynak makinası [5]

Pnömatik tahrikli makina, ayak çubuğunun yerini alan pnömatik silindir, bağlantı çubuğu ve ayak tahrikli makinanın yayına sahiptir. Silindirin stroku, istenen elektrod açıklığına göre ayarlanmalı ve silindirin çapı elektrod kuvveti ve kol uzunluğu ile orantılı olmalıdır. Belli bir silindir çapı, stroku ve işletme hava basıncı için, manivela kolu mili ve silindir bağlantısı arasındaki mesafe değişmemek şartıyla, makinanın kol uzunluğu arttıkça elektrod açıklığı da artmaktadır.

Belli bir silindir tarafından sağlanan kaynak kuvveti, hava basıncı ile doğru orantılı olup bir basınç regülatörü ile kontrol edilmektedir. Pnömatik tahrikli nokta kaynağı makineler, minimum kurma zamanı gerektiren kısa veya orta süreli imalatlarda kullanılmaktadır.

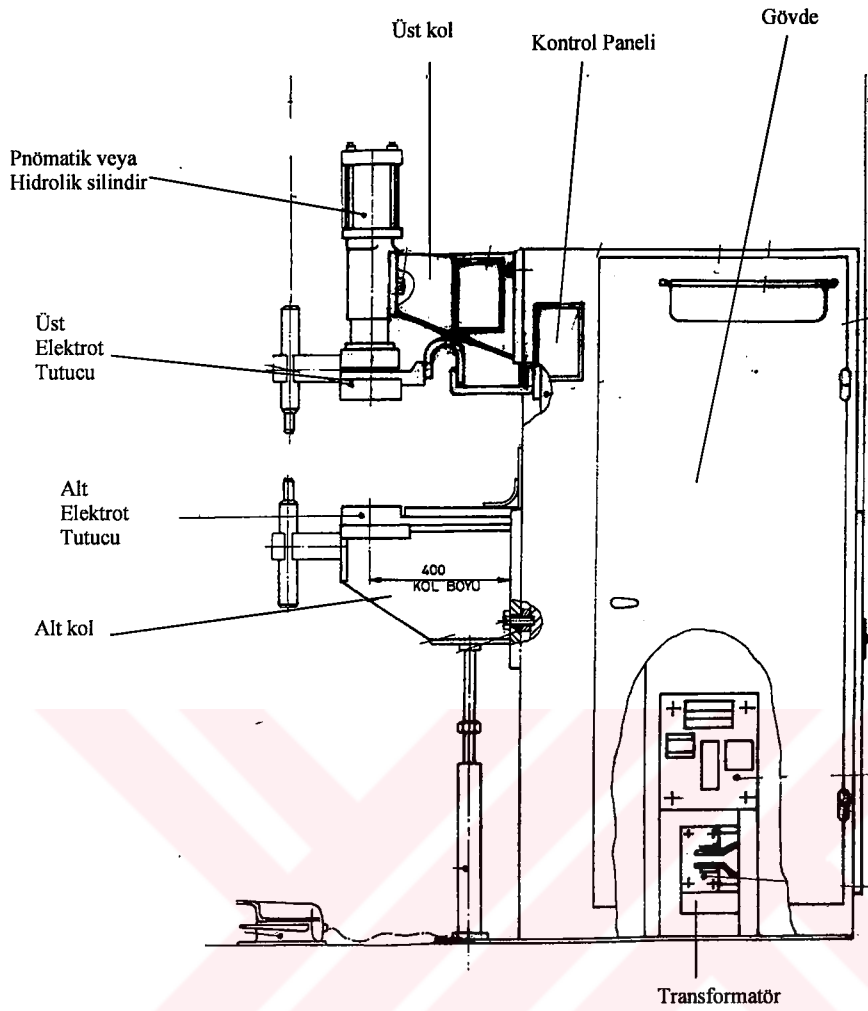
Motor tahrikli makineleri, manivela kolunun ayak çubuğu yerine güçle işletilen kamla hareket ettirilmesi dışında, ayakla tahrik edilen makinalara benzemektedir. Elektrod açıklığı, kaynak kamının yükselmesi ve kol uzunluğu ile belirlenmektedir.

Kaynak kuvveti, yaya sıkıştırması ve manivela düzeninin oranlarına bağlıdır. Motor tahrikli makinelerinin kurulması ve ayarlanması çoğunlukla ayak ya da pnömatik tahrikli makinalara oranla daha zordur. Bu makineler uzun süreli imalatlarda ya da sıkıştırılmış havanın temininin zor olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

2.12.3.2. Pres tipi kaynak makinesi

Pres tipi kaynak makineleri, dikey olarak düz bir doğrusal hareket yapan üst elektrod ve kaynak kafasından oluşmaktadır (Şekil 2.19). Kaynak kafası yataklarla ya da maruz oldukları merkezden kaçık yüklere dayanabilecek şekilde kızaklanmıştır. Bu makineler 120 cm'ye kadar kol uzunluklarına ve 5 ila 600 kVA ve daha yüksek transformatör kapasitesine sahiptir.

Radyo, diş veya mücevher işlerinde kullanılan tezgah tipi modellerde kol uzunlukları 5-10 cm'e ve kapasite 5 kVA'a kadar düşmektedir. Kaynak kuvveti, pnömatik veya hidrolik silindir tarafından sağlanmakta olup, manuel operasyon küçük tezgah tipi makinelerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.19. Pres tipi kaynak makinası

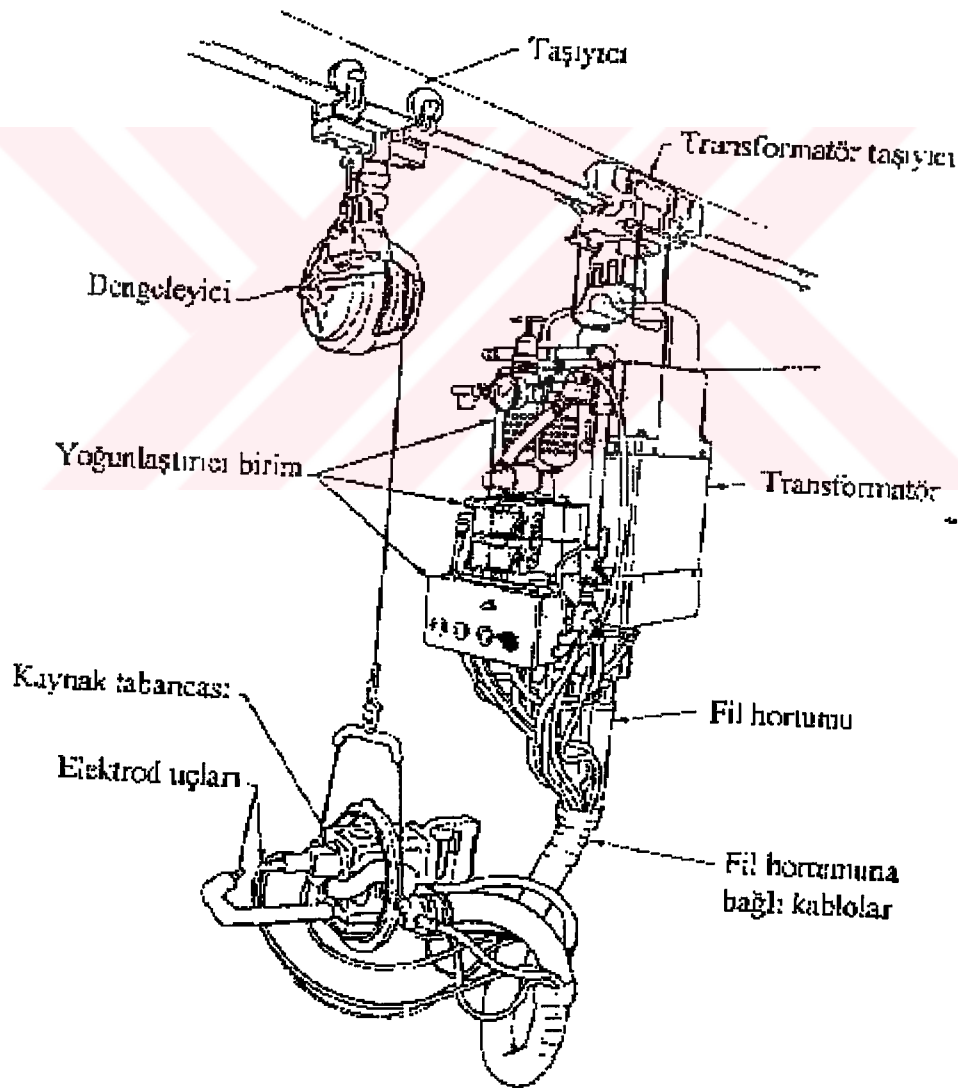
Pnömatik silindirler genellikle 300 kVA ve daha yüksek kapasiteli kaynak transformatörüne sahip makinalarda kullanılmaktadır. Hidrolik operasyon 200 kVA'den düşük kapasiteli makinalarda nadiren kullanılmakta olup, uygulamada 500 kVA'den daha yüksek transformatör kapasiteli tüm makinalarda kullanılmaktadır.

Pres tipi kaynak makinaları genellikle hem nokta hem de projeksiyon kaynağı için tasarlanmıştır. Projeksiyon kaynağı için tablalar, nokta kaynağı için de fikstür ve elektrod tutucular mevcuttur. Tablalar, koç ve pnömatik veya hidrolik silindir ortak merkeze sahiptir. Alt tablayı destekleyen dirsek, projeksiyon kaynak kalıplarındaki kalınlık ya da nokta kaynak elektrodlarındaki uzunluk farklılıklarını telafi etmek için, dikey olarak ayarlanabilmektedir.

2.12.3.3 Taşınabilir kaynak makinası

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

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



Şekil 2.20 Taşınabilir kaynak makinası istasyonu [13]

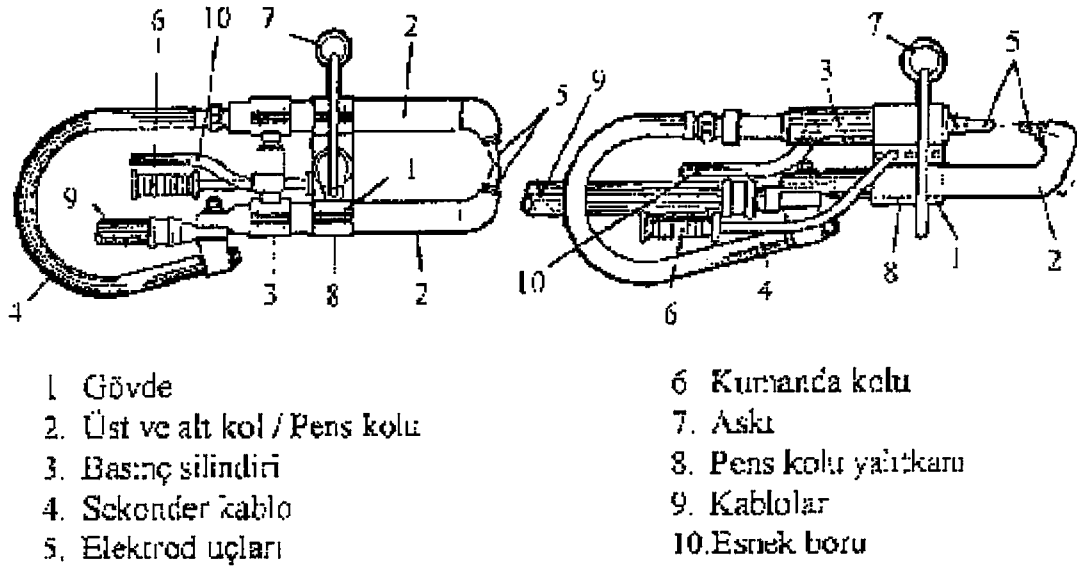
Taşınabilir kaynak tabancası, su soğutmalı elektrod tutucular, pnömatik ya da hidrolik tahrikli silindir, el tutacakları ve başlatıcı anahtardan oluşmaktadır. Tabanca çoğunlukla ayarlanabilir dengeleyiciye asılmaktadır. Kaynak kuvveti pnömatik ve hidrolik silindir ile sağlanmaktadır. Hidrolik basınç genellikle pnömatik-hidrolik motordan sağlanmaktadır.

Taşınabilir makinaların yüksek sekonder kayıplarından dolayı, bu makinalarda kullanılan transformatörler aynı kapasitedeki sabit makinalarda kullanılan transformatörlerin iki ya da dört katı kadar sekonder gerilime sahiptir. Transformatör, kademe anahtarı, elektrik kontrolleri ve hava hattı aksesuarları iş alanının üzerinde kirişin bir ucuna monte edilmiştir.

Kirişin diğer ucunda kaynak tabancasını dengeleyen yaylı bir dengeleyici bulunmaktadır (Şekil 2.20). Tabanca dengeleyicinininkine eşit ve operatörün erişimine eşit ya da daha büyük bir dikey hareket kapasitesine sahiptir. Sistem 360⁰ 'lik dönme serbestliğine ve sadece sekonder kabloların uzunluğuna bağlı olan bir çalışma alanı sağlamaktadır.

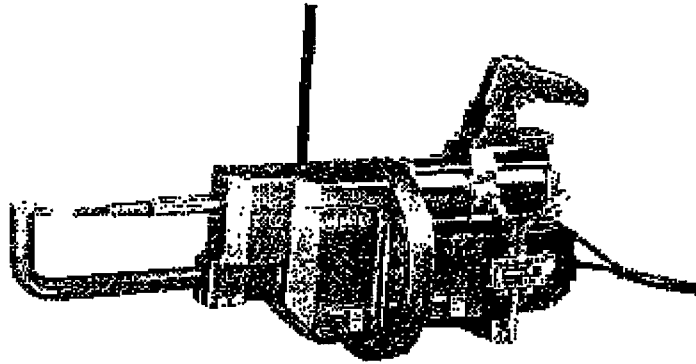
Kaynak akımı transformatör ile tabanca arasında düşük empedanslı ya da fil hortumu tipindeki sekonder kablo ile iletilmektedir. Bu tip kablo yüksek güç çarpanı ve düşük kVA sarfiyatı sağlamaktadır. Bununla beraber, suyla soğutma gereklidir. Sekonder elektrik kablolarına ek olarak, hava veya hidrolik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

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



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

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



Şekil 2.22 Entegre transformatörlü taşınabilir kaynak tabancası [15]

2.12.3.4. Çok elektrodlu kaynak makinası

Çok elektrodlu kaynak makinaları özel amaçlı makinalar olup, çoğunlukla belli bir iş için tasarlanıp imal edilirler. Bu makinalar, kaynak yapılacak çok sayıda parça veya bir parçada çok sayıda kaynak gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Yüksek maliyetlerine rağmen, her sefer tek bir kaynak yapılması yerine bu makinaların kullanılması daha ekonomiktir.

Bu makinaların çoğu, her kaynak tabancası ya da tabanca çiftleri tek bir transformatöre bağlı olan ve tüm kaynakların sırayla olduğu gibi aynı anda da yapılabildiği, çok transformatörlü tiptedir. Bu tip işlem için yapılan transformatörler, her biri iki tabancayı besleyen iki sekondere sahiptir [4].



BÖLÜM 3. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI ELEKTRODLARI

3.1. Elektrodların Görevi

Direnç nokta kaynağında elektrodlar üç ana fonksiyonu yerine getirir:

- İş parçalarına kaynak akımını iletmek,
- Sağlam bir kaynağın elde edilmesi için kaynak alanında iş parçasına gerekli kuvveti iletmek,
- Kaynak bölgesinde hızla ısının dağıtılmasını sağlamak.

Kaynak operasyonu sırasında, elektrodlar yüksek sıcaklıklarda gerilimlere maruz kaldıklarından sıkça tıraşlanmalı ve periyodik olarak değiştirilmelidir. İş parçalarına iletilen akımın sabit bir alanda sınırlı kalması gerektiğinden elektrodlar aşırı deformasyona uğramadan bu gerilimlere dayanabilmelidir. Isınan iş parçasının dövülmesine ek olarak, elektrod kuvveti bu bölgeden akımın geçişini etkiler. Direnç nokta kaynağında, sürekli kaynak kalitesi için elektrod uçları ya da temas yüzeylerinin şekil, boyut ve yüzey durumları önemlidir. Elektrod uçlarının şekil ve boyutları, mekanik aşınma, deformasyon ya da mantarlaşıma, uç malzemesi ve tasarımına bağlı olarak belli bir oranda işleme sıcaklığı, ısıtma ve soğutma oranları (ısıl şok) ve kaynak kuvvetinden etkilenmektedir. Elektrod ucu ve iş metali arasındaki alaşımlanma büyük ölçüde elektrod ucunun bozulma hızını artırır. Bozulma, özellikle bakır alaşımı elektrodlar, elektrod metaliyle alaşımlanmaya meyilli kalay, çinko veya alüminyumla kaplı metallerin kaynağında kullanıldığında hızlıdır. Zayıf veya eksik kaynak, bozuk şekilli kaynak, yüzeyde düzgün olmayan elektrod izi, yanma ya da iş parçası yüzeyinin renginin bozulması, yüzeyinin erimesi ve parça yüzeyinde elektrod artıkları gibi kusurları önlemek için elektrod ucunun durumuna dikkat etmek gerekmektedir. Belli aralıklarla elektrod uçları tıraşlanmalı ve değiştirilmelidir. Her noktanın direncinin aynı olmasını sağlamak için çok sayıda elektrod taşıyıcı kullanıldığında önleyici bakım önem kazanmaktadır [4].

3.2. Elektrod Malzemeleri

Direnç nokta kaynağı elektrodlarının malzemeleri iş parçası yüzeyinin yanmasını ya da elektrod yüzeyinin parçayla alaşımlanmasını önlemek için yeterince yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik ve yeterince düşük temas direncine sahip olmalı ve işlem basınç ve sıcaklıklarında deformasyona direnç gösterebilmek için yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Elektrodun iş parçasıyla temasta olan kısmının yüksek sıcaklıklara kadar çıkmasından dolayı, sertlik ve tavlama sıcaklığı gözönünde bulundurulmalıdır.

Elektrodlar, kimyasal bileşimi, üretim şekli ve uç formu bakımından farklı ülkelerde farklı standartlara göre guruplandırılmaktadır. Elektrod malzemeleri RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association – Direnç Kaynak Makinası İmalatçıları Birliği) tarafından 2 birleşim grubuna göre sınıflandırılmıştır; bakır bazlı alaşımlar ve refrakter metal bileşimleri. Bu sınıflandırmalar çoğu uygulamayı karşılamak üzere direnç kaynağı elektrod malzemelerinin geniş bir alanını kapsar. Bunun yanı elektrod malzemeleri olarak özel alaşımlar da kullanılmaktadır [4].

3.2.1. Bakır bazlı alaşımlar (RWMA GRUP A)

Tablo 3.1. çeliğin direnç nokta kaynağında elektrod malzemesi olarak kullanılan bakır bazlı alaşımların minimum özelliklerini vermektedir.

1.sınıf malzeme ısıtılma işleme tabi tutulmamıştır ve elektriksel ve ısıtılma iletkenliği etkilemeyecek şekilde soğuk işleme ile dayanıklılığı artırılmış ve sertleştirilmiştir. 1.sınıf malzeme kalay, kurşun, krom veya çinko, kavrı sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik ve alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi bazı demirdışı metallerle kaplı düşük karbonlu çeliklerin nokta kaynağı için tavsiye edilmektedir. Piyasada, çekilmiş çubuk, dövme, şerit ve levha halinde bulunabilmektedir.

2.sınıf malzeme, 1. sınıf malzemeye oranla daha yüksek mekanik özelliklere fakat daha düşük elektriksel ve ısıtılma iletkenliğe sahiptir. Optimum mekanik ve fiziksel özellikler ısıtılma işlem ya da bir ısıtılma işlem ve soğuk işleme kombinasyonu ile sağlanmaktadır. 2. sınıf malzeme en iyi genel amaçlı elektrod malzemesi olup malzemesi olup geniş bir metal yelpazesinde ve çeşitli koşullarda kullanılabilir.

Tablo 3.1. RWMA Grup, 1, 2 ve 3. sınıf bakır bazlı elektrod malzemeleri için minimum özellikler [4]

Sınıf	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Elektrod malzemesinin çap veya kalınlığı (mm)	Orantı sınırı (Mpa)			Sertlik (HRB)			Elektrik İletkenliği (% Cu)			Çekme dayanımı (Mpa)			5 mm'de uzama (%)		
Yuvarlak Çubuk															
< 2,5	120	240	345	65	75	90	80	75	45	415	450	700	13	13	9
2,5 - 5,0	100	205	345	60	70	90	80	75	45	380	410	700	14	13	9
5,0 - 7,5	100	170	345	55	65	90	80	75	45	245	280	650	15	13	9
Kare, dikdörtgen ve altı köşe çubuk															
< 2,5	140	240	345	55	70	90	80	75	45	415	450	700	12	12	9
> 2,5	100	170	345	50	65	90	80	75	45	345	380	700	14	13	9
Dövme															
< 2,5	140	150	345	55	65	90	80	75	45	310	380	650	12	13	9
2,5 - 5,0	140	145	345	55	65	90	80	75	45	275	380	650	13	13	9
> 50	140	140	345	55	65	90	80	75	45	275	380	650	13	13	9
Dökme															
Tümü	—	140	310	—	55	90	—	70	45	—	310	585	—	13	5

3.sınıf malzeme 1. yada 2. sınıf malzemelere oranla daha yüksek mekanik özelliklere sahip fakat daha düşük elektriksel ve ısı iletkenliğe sahip sertleştirilebilir alaşımdır.

3.sınıf malzeme, yüksek sertlik, iyi aşınma dayanımı ve yüksek tavlama sıcaklığı ve orta seviyedeki elektrik iletkenliği sayesinde basınçların ve iş parçası dirençlerin yüksek olduğu nokta kaynağı uygulamalarında kullanılan elektrodlar için iyi bir malzemedir.

Düşük karbonlu çeliklerin kalın kesitlerinde ve paslanmaz çelik, Monel ve Inconel gibi malzemelerde kullanılmaktadır. Piyasada, çekilmiş, çubuk, döküm ve dövme halinde bulunmaktadır.

3.2.2. Refrakter metal bileşimleri (RWMA Grup B)

Tablo 3.2. çeliğin direnç nokta kaynağında elektrod malzemeleri olarak kullanılan refrakter (ısıya dayanıklı) metal bileşimlerinin minimum özelliklerini vermektedir.

Tablo 3.2 Refrakter elektrod malzemeleri için minimum özellikler [4]

Sınıf	Rockwell Sertliği (HRB)	Elektrik İletkenliği (%Cu)	Ezilme dayanımı (MPa)
10	72	35	930
11	94	28	1100
12	98	27	1170
13	69	30	2000
14	85	30	-

Bu elektrod malzemeleri, yüksek sıcaklık, uzun kaynak süresi, yetersiz soğuma veya yüksek basıncın bakır esaslı alaşımlarının hızlı bozulmasına neden olduğu durumlarda kullanılır. Bu malzemelerden en uygununu seçmek için, elektrod ve iş parçalarının tasarımı, diğer elektrodun tipi ve direnç kaynağı teçhizatının tipi esas alınarak her uygulama ayrı ayrı göz önüne alınmaktadır. Bir bakır alaşımı çeliğe kaynatıldığında, bakır alaşımıyla temas etmesi için grup B elektrod ve çeliğe temas etmesi için de 1. veya 2. sınıf grup A elektrod kullanılmaktadır.

10. sınıf malzeme, bakır esaslı alaşımların yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikleri ile diğer refrakter metal bileşimlerinin sağladığı yüksek sertlik ve dayanımı arasında tercih gerektiren uygulamalarda direnç nokta kaynağı elektrodlarındaki kaplamalarda kullanılması tavsiye edilen, yüksek erime noktasına sahip bakır-tungsten refrakter malzemedir.

11. sınıf malzeme, 10. sınıf malzemelerden daha yüksek sertlikte fakat daha düşük elektrik iletkenliğine sahip %42 Cu, %58 W'dan oluşan refrakter metaldir. Özellikle, paslanmaz çelik gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip demirlerin nokta kaynağında kullanılması tavsiye edilmektedir.

12. sınıf malzeme, 11. sınıf malzemelerden daha yüksek sertlik ancak daha düşük elektrik iletkenliğe sahip bakır-tungsten refrakter metaldir.

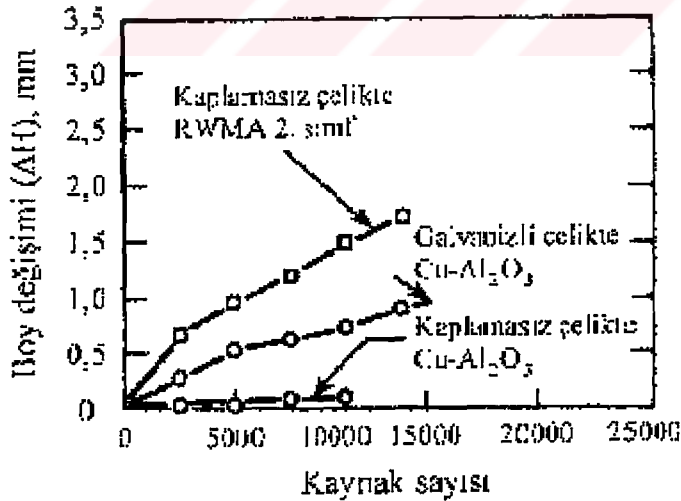
13. ve 14. sınıf malzemeler, sırasıyla, alaşımsız tungsten ve alaşımsız molibdenden oluşmaktadır. Özelliklerine, bakır alaşımı gibi metallerin kaynağı hariç, düşük karbonlu çeliğin direnç nokta kaynağında genellikle ihtiyaç duyulmamaktadır.

3.2.3. Özel alaşımlar

Bakır-zirkonyum ve bakır-kadmiyum-zirkonyum gibi özel alaşımlar, 1. ve 2. sınıf malzemelere benzer özelliklere sahip olup direnç kaynağı elektrodları olarak kullanılmaktadır. Çinko, alüminyum, kalay, kurşun ve kadmiyumla kaplı çeliğin ve alüminyum ve magnezyum alaşımlarının nokta kaynağı için uygundur.

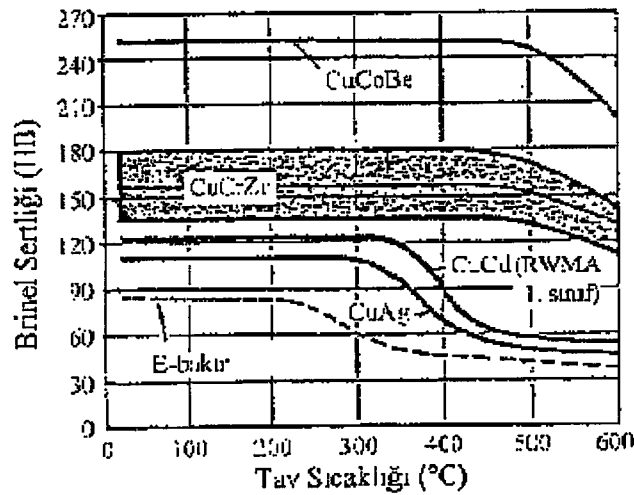
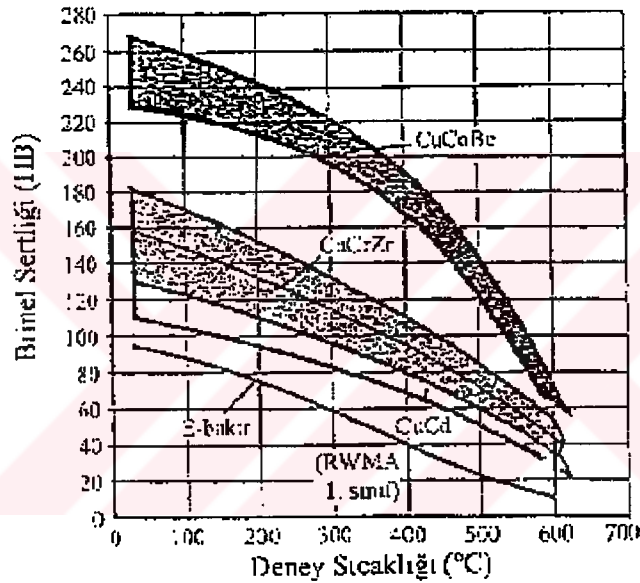
1. sınıf malzemelerin kullanıldığı her uygulamada, elektrod yüzeyinin tavlama veya yumuşamaya karşı arttırılmış direnci istendiğinde, bakır-zirkonyum alaşımı kullanılmaktadır.

Yukarıda belirtilen elektrodlara ek olarak alüminyum-oksit dispersiyonla sertleştirilmiş bakır elektrod da geliştirilmiştir. Bu elektrodlar soğuk dövme şartlarında temin edilmelidir. Standart nokta kaynağı elektrodlarından daha yüksek dayanıma sahip olup, daha az mantarlaşıma (elektrod boyundaki kısalma miktarı) gösterirler. Galvaniz kaplı ve düz karbon malzeme üzerinde %2,68 CuAl_2O_3 içeren elektrodla yapılan ömür testlerinin sonucu Şekil 3.1' gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dispersiyonla sertleştirilmiş elektrodlarda mantarlaşma

Dispersiyonla sertleştirilmiş elektrodların boyu, konvansiyonel 2.sınıf elektrodlara oranla daha yavaş değişir. Soğuk haddelenmiş galvanizli ve zinkrometal çeliklerin çeşitli kombinasyonlarının kaynağında bu elektrodlarla yapılan deneyler, dispersiyonla sertleştirilmiş elektrodların konvansiyonel 2.sınıf elektrodlara göre 4 ila 10 kat daha fazla ömre sahip olduklarını göstermiştir. Çalışmalar, sıcaklığın sertlik üzerindeki etkisinin elektrod aşınmasında ana faktör olduğunu göstermiştir. Konvansiyonel krom-bakır alaşımı (2.sınıf malzemeler) elektrodlarda tane sınırlarında bozulma görülmektedir. Bakır-zirkonyum elektrodlar arttırılmış tane sınırı dayanımına sahiptir. Bazı elektrodların yüksek sıcaklık sertlikleri ve kararlılıkları Şekil 3.2’de gösterilmiştir [4-6, 16].



Şekil 3.2. Elektrod malzemelerin yüksek sıcaklıktaki sertlik ve kararlılıkları [16]

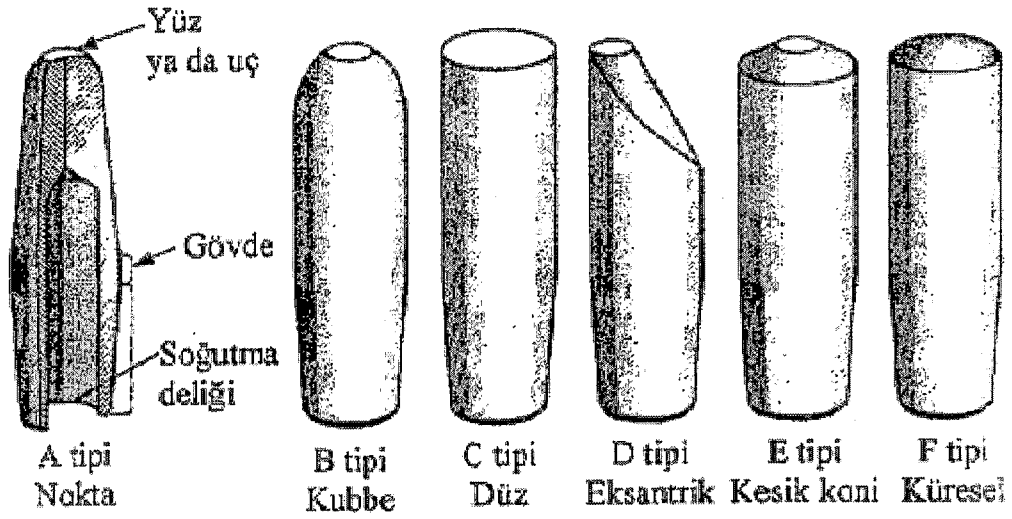
3.3. Elektrod Tasarımı

Elektrod tasarımı, elektrodun dört yapısal özelliğini içermektedir: uç, gövde, elektrod tutucuya bağlantı ve soğutmanın sağlanması (Şekil 3.3). Nokta kaynağı elektrodunun ucu, erime noktasının üst veya altında iş parçasıyla direkt olarak temas eder, ve bu küçük alan, imalat kaynağında, yüksek sıcaklık ve basıncın tekrarlı uygulamasına maruz kalmaktadır.

Yapışma, alaşımlanma ve deformasyon olasılığı, elektrod tasarımında dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar. İş metali ve elektrod malzemesinin yapışma veya alaşımlanmasının azaltılmasında, birbirleriyle reaksiyona girme eğilimleri önemlidir. Deformasyona direnç, elektrod malzemesinin sertlik ve dayanımına bağlıdır. En iyi sonuçları sağlayacak elektrod malzemesinin seçiminde, bazı özelliklerden fedakarlık sıkça gerekmektedir. Elektrod ucunun boyut ve şekli bazen elektrod malzemesindeki fedakarlıkları telafi etmek üzere modifiye edilmektedir.

Elektrodun ucunun boyutları, iş metalinin kalınlığı, istenen kaynak çekirdeği boyutu ve montajı yapılan parçanın şekil ve boyutuna göre belirlenmektedir. Elektrod uç şekilleri RWMA tarafından standartlaştırılmıştır. Şekil 3.3, A'dan F'ye kadar harflerle tanımlanan 6 standart yüz veya bunun şeklini göstermektedir.

A tipi (nokta uçlu) elektrodlar, tam çaplı uçların çok büyük kaldığı uygulamalarda kullanılmaktadır. D tipi (eksantrik ya da ofset) uçlar köşelerde veya yukarıda çevrili flanşlara yakın yerlerde kullanılmaktadır. Elektrod uçlarını tıraşlamak için kaynak makinasının içinde ya da dışında olmak üzere özel takımlar mevcuttur.



Şekil 3.3 RWMA'ya göre standart elektrod uç şekilleri [4]

Elektrodlardaki soğutma delikleri, yuvarlak ya da dişlidir. Dişli delikler yuvarlak olanlardan daha fazla soğutma yüzeyi sunar. Soğutma delikleri, elektrod dayanımı tehlikeye sokmayacak şekilde, mümkün olduğunca elektrod yüzüne kadar uzamalıdır.

Şekil 3.3 'de gösterilen elektrod tasarımları bütün uygulamalarda kullanılamaz. 4,8 mm yükseklikte düğmeler şeklinde elektrodlar, tek ve çift kıvrımlı ofsetler düzensiz ofsetler, kare ve dikdörtgen yüzler, erkek veya dişi konik veya dişli uçlara sahip elektrodlar da bulunmaktadır. Standart tutucularının düğme ve başlıkları, takıldıkları adaptörlerde birbiriyle değiştirilebilir.

Elektrod ucunun veya temas yüzeyinin çapı kaynak düğmesinin boyutunu kontrol eder. Ucu çapı çok küçükse, elde edilen kaynak sağlam görünebilmekle birlikte zayıf olabilir. Küçük çaplı uçlar ayrıca şiddeti yüksek ısı konsantrasyonu ve yüzey işaretlenmesine veya düzgün olmayan elektrod izine sebep olabilir. Büyük çaplı uca sahip elektrodlar özellikle yüksek kaynak akımında yetersiz elektrod basıncı yüzünden aşırı ısınabilir ve bu, boşluklara veya zayıf yüzey görünümüne sebep olur.

Elektrodlar için minimum uç çapı aşağıdaki formüller kullanılarak belirlenebilir.

a) A, B, C, D ve E tipi elektrodlar için;

Levhanın kalınlığı s (mm), elektrod uç çapı d (mm) ve levha malzemesine bağlı sabit k olmak üzere,

$$s \leq 3 \text{ mm için } d = 5 \sqrt{s} \quad (3.1)$$

$$s \geq 3 \text{ mm için } d = 2s + k \quad (3.2.)$$

Yukarıda verilen (3.2) ifadesinde $s < 7,5 \text{ mm}$ için $k=2$, $s > 7,5 \text{ mm}$ için ise $k=3$ alınmaktadır.

b) F tipi elektrod için :

Küresel ucun yarıçapı r (mm), bir levhanın kalınlığı s (mm) ve levha malzemesine bağlı sabitler k_1 ve k_2 olmak üzere,

$$R = k_1 .s + k_2$$

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik saclar için $k_1 = 20$ ve $k_2 = 50$, alüminyum alaşımları için $k_1=60$, $k_2=20$ ve magnezyum alaşımları için $k_1=70$, $k_2=40$ 'tır.

Büyük uç çaplı elektrodlar yüksek dayanımlı çeliklerin kaynağında kullanılmalıdır. Grup A (bakır esaslı alaşım) elektrodların belirlenmesi için RWMA 4 parçalı kod numaraları kullanılmaktadır:

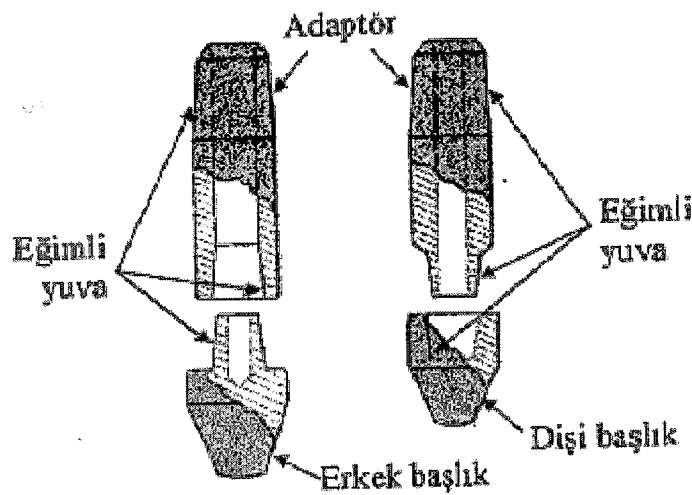
- A'dan F'ye kadar olan bir harf, yüzün tipini belirtmektedir (Şekil 3.3).
- 1'den 5'e kadar olan bir sayı, elektrod malzemesinin RWMA sınıfını belirtmektedir.
- 3'ten 7'ye kadar olan bir sayı, gövde ucunun RWMA koniklik açısını ve 8'e bölündüğünde nominal gövde çapını belirtmektedir.
- 2 haneli bir sayı ¼ inç'in katları cinsinden elektrod uzunluğunu belirtmektedir.

Buna göre, A-2516 şeklinde RWMA kod numarasına sahip bir elektrod A tipi (nokta uclu) bir yüze sahip olup 2. sınıf malzemeden yapılmıştır, gövde ucunda No.5 RWMA konikliğe ve 5/8 inç çaplı gövdeye ve 4 inç uzunluğa sahiptir. Bu tip tasarım kodu grup B (refrakter metal) elektrodlar için belirlenmemiştir çünkü bu elektrodlar bazı standart dışı şekillerde kullanılmaktadır.

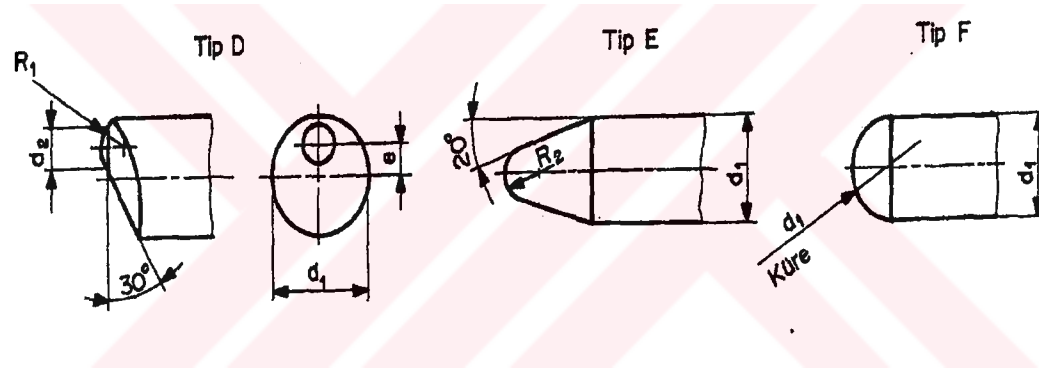
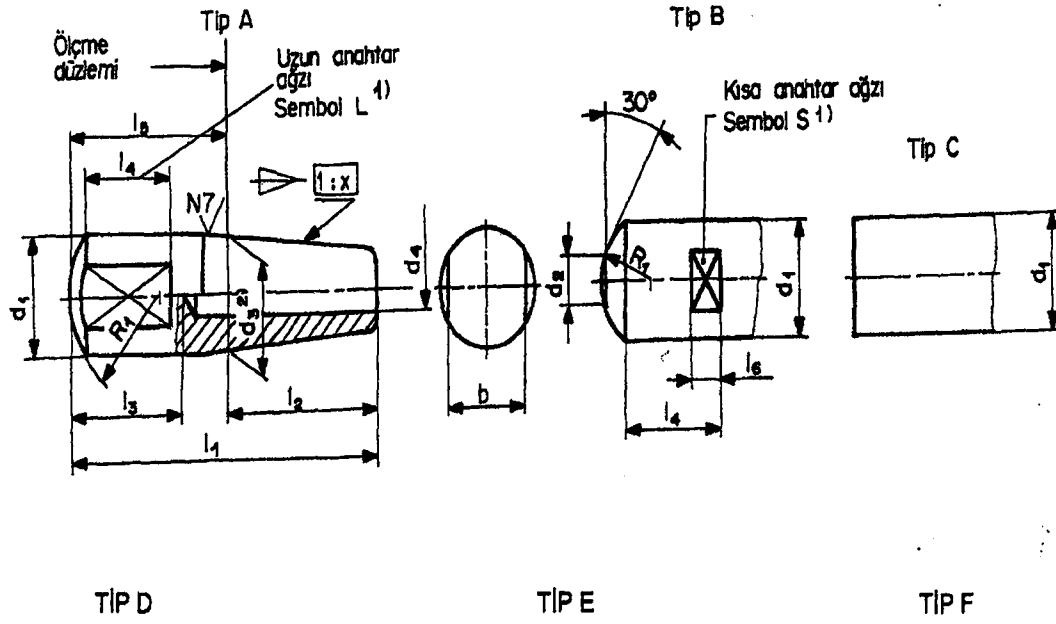
Elektrodlar yukarıda bahsedilen gibi uç şeklinde olduğu gibi, elektrod başlığı ve adaptöründen oluşan iki parça şeklinde de bulunmaktadır. Elektrod başlıkları erkek veya dişi olabilir ve genellikle adaptöre belli bir koniklik açısındaki yuva ile takılır. Şekil 3.4'te iki parçalı elektrod başlığı ve adaptörleri gösterilmiştir.

Tasarı halindeki Türk Standardı TS 6062 (EN 25184) – Düz Direnç Nokta Kaynak Elektrodları'nda elektrodlar farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 3.5). Direnç nokta kaynağında kullanılan diğer Türk Standartları'nın numara ve içerikleri Ek A'da verilmiştir (Tablo A.1) [18].

Çoğu elektrod ve elektrod başlığı suyla soğutulur. Elektrod tutucudan geçen esnek soğutma suyu borusu elektrodların merkezindeki delikten içeri girer. Soğutma suyu borusundan geçen su elektrodun iç yüzeyini doldurarak soğutma işlemini gerçekleştirir [1, 4, 5].



Şekil 3.4 Elektrod başlığı ve adaptöründen oluşan iki parçalı elektrod [5].



ŞEKİL 1 - Boyutlar

ÇİZELGE 1 - Boyutlar

Ölçüler mm'dir.

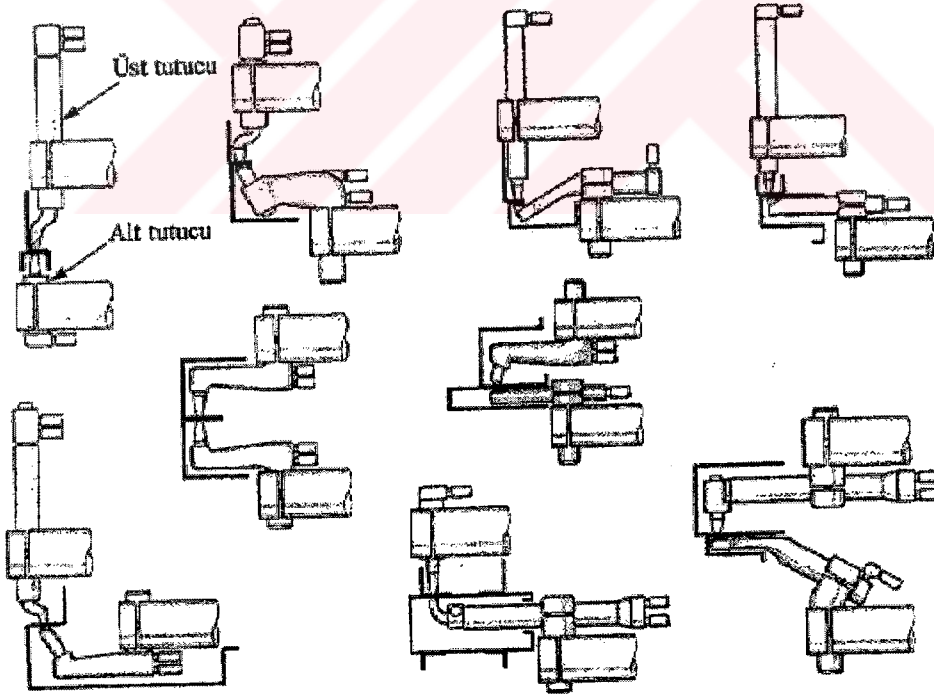
d_1	d_2	d_3	d_4	Konik 1:x	e	b anahtar ağızı	l_2 $\pm 0,5$	l_3 max.	l_4	l_5	R_1	R_2	$l_1 \pm 0,5$ $l_3^{3)} =$								Elektrot kuvveti ³⁾ F_{max} kN
10	4	9,8	5,5		2	8	13	14	13	7	25	4	16	20	25	31,5	40	50	63	80	
13	5	12,7	7,5		3	11	16	15	14	7	32	5	29	33	38	45	53	63	-	-	2,5
16	6	15,5	8,5	1:10	4	13	20	16	15	8	40	6	32	36	41	48	56	66	79	-	4
20	8	19	10,5		5	17	25	17	16	8	50	8	-	-	40	45	52	60	70	83	6,3
25	10	24,5	13,5		6,5	21	31,5	18	17	9	63	10	-	-	50	57	65	75	88	105	10
32	12,5	31	14	1:5	8,5	24	40	20	15	10	80	12,5	-	-	56,5	63,5	71,5	81,5	94,5	111,5	16
40	16	39	16		11	32	50	25	16	10	100	16	-	-	72	80	90	103	120	130	25
													-	-	-	-	90	100	113	130	40

Şekil 3.5 TS 6062 (EN 25184) – Düz direnç nokta kaynak elektrodları [17]

3.4. Elektrod Tutucular

Direnç nokta kaynağında elektrodlar, iş parçasına uyması için elektrod pozisyonunun ayarlanabildiği, makinarya monte edilen tutuculara yerleştirilmektedir. Çoğu tutucu, elektrodların çıkartılması için enjektör mekanizmasına ve soğutma suyunu sağlamak için hortum bağlantılarına sahiptir. Tutucular, konik gövdeli ve dişli gövdeli elektrodlar veya adaptörler ve düğme tipi ve başlık tipi elektrodlar için düz ve ofset tasarımlara sahiptir.

Konik gövdeli elektrodlar için tutucular düz veya 90° veya 30° 'lik ofsetlere sahip olabilir. Dişli gövdeye sahip elektrodlar için çoğu tutucu düzdür fakat 90° veya 30° 'lik adaptörlere sahiptir. Üniversal ve eğik tip tutucular düğme tip elektrodların yerleştirildiği uzun, ince uzantıya sahiptir. Çeşitli iş parçası, konfigürasyonlarına ve bağlantı düzenlemelerine imkan tanıyan bazı standart tutucu, adaptör ve elektrod kombinasyonları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Direnç nokta kaynağı için standart tutucular, adaptörler ve elektrodlar [4]

Çoklu elektrod tutucular, konvansiyonel nokta kaynağı makinaları kullanılarak bir montaja 2 veya daha fazla nokta kaynağının bir arada yapılması için kullanılmaktadır. Genellikle üst elektrodalarda kullanılan bir tutucular, her elektrod tarafından iş parçasına aynı kuvvetin uygulanması için, yaylar, mekanik cihazlar ya da hidrolik eşitliyecilere sahiptir. Her nokta kaynağı için eşit elektrod kuvveti uniform kaynak kalitesinin sağlanmasına yardımcı olur. Elektrodlar transformatöre direkt veya seri nokta kaynağı için farklı düzenlemelerde bağlanabilir.

Alt elektrod, tüm üst elektrodları karşılamaya yetecek kadar geniş bir metal parça üst elektrodla karşılık yerleştirilmiş uçları olan bir metal parçası olabilir ya da sabit bir tutucuya monte edilmiş ayrı uçlardan oluşabilir. Elektrodların makineye bağlanması için gerekli elektrik bağlantısı ve yeterli su soğutması sağlanmalıdır [4].

3.5 Elektrod Bileşimi ve Tasarımının Isınmaya Etkisi

Elektrodlar, ısınmaya en aza indirmek için yüksek elektrik iletkenliğe ve düşük temas direncine ve ısıyı elektrod ucu ile iş parçası arasındaki temas bölgesinden dağıtmak için yüksek ısı iletkenliğe sahip olmalıdır. Ayrıca, elektrodlar, yüksek kaynak kuvvetinin tekrarlı uygulamalarından oluşan deformasyona dayanacak kadar dayanıklı olmalıdır [4].

3.5.1. Bileşimin etkisi

Genellikle, bir alaşım ne kadar sert ise, ısı ve elektriksel direnci o kadar yüksektir. Elektrodlar için en iyi alaşımın seçilmesinde, elektriksel, ısı ve mekanik özellikler arasında uygun bir karar verilmelidir.

Ticari olarak saf bakır mükemmel iletkenliğe sahiptir fakat sıkıştırıcı kuvvetlere düşük direnci ve düşük tavlama sıcaklığından dolayı elektrod malzemesi olarak yerini diğer bakır esaslı alaşımlara bırakmıştır. Direnç nokta kaynağı elektrodları için standart malzemeler olarak kullanılan bakır esaslı alaşımlar RWMA grup A, 1., 2. ve 3. sınıflardır. Direnç nokta kaynağı elektrodları için standart refrakter metal bileşimleri RWMA grup B, 10. ila 14. sınıflardır.

3.5.2. Tasarımın etkisi

Benzer bileşime ve eşit kalınlığa sahip iki iş parçası kaynak edildiğinde elektrodların uç çapları aynı olmalıdır. Bununla beraber, iş parçaları farklı kalınlıklara sahip ise, kalın parçaya temas eden elektrodun uç çapı uygun ısı dengeyi sağlamak üzere daha büyük olmalıdır. Farklı metallerin kaynağında, bir parça diğerinden daha yüksek elektrik direncine sahip olduğundan aynı kural geçerlidir. Bu farklılık, yüksek dirençli iş parçasına temas eden elektrod ucunun çapı artırılarak veya düşük dirençli iş parçasına temas eden elektrod için daha yüksek dirençli bir malzeme kullanılarak dengelenebilir.

Kaynak düğmesinin çapı, elektrod temas alanından çok az miktarda küçüktür. Elektrod ucu, mantarlaşmadan dolayı, aşındıkça ya da çapı arttıkça kaynak düğmesinin çapı artar. Uç çapında %5'ten daha fazla bir artış kaynak kalitesini etkileyebilir çünkü akım yoğunluğu artar ve oluşan ısı iyi bir kaynak oluşturmak için yeterli olmayabilir.

3.6 Elektrod ömrü

Kaynak parametreleri kaynak kabiliyetini olduğu kadar elektrod ömrünü de etkilemektedir. Elektrodların ömürlerinin belirlenmesi ve arttırılması için çeşitli deneyler yapılmıştır.

Dorweiler ve Krüger tarafından yapılan deneyler, iki zamanlı kuvvet programı esasına dayanmaktadır. Elektrod kuvveti bir kaynak zamanı içerisinde iki kademeli olarak uygulanır.

İlk uygulanan daha küçük kuvvet ile geçiş direnci artar ve kaynak çekirdeği için yeterli ısı oluşur. Beklenen sıçrama olayından çok kısa bir süre önce elektrod kuvveti, alması gereken değere çıkartılır ve sıçrama önlenir. Bu yöntem, ayrıca elektrodun ömrünü de uzatır [19].

Matting ve Krüger tarafından yapılan geniş çaplı bir araştırmanın sonuçlarına dayanarak, elektrod malzemesinin şu şartları sağlaması beklenmektedir [20].

- Yüzey ile olabildiğince az alaşımlanma oluşturmalıdır
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği azalmamalıdır
- Elektrik direnci düşük, ancak ısı iletme kabiliyeti yüksek olmalıdır
- Ekonomik olmalıdır

Krause ve Simon , referans olarak verilen deney şartlarına bağlı olarak düzenlenen referans bir elektrod ömrüyle karşılaştırılmak üzere, farklı deney guruplarında elde edilen elektrod ömürlerini vermektedir. Elektrodların çarpma enerjisi, kaynak yerinden uzaklaşırken makinanın davranışı ve kaynak sırasındaki elektrod davranışları gibi makina karakteristiklerinin elektrod ömrü açısından etkileri irdelenmiştir [21].

Defourne ve Leroy, elektrod yüzeyini işlemeden ve akım yoğunluğunu değiştirmeden, verilen bir kaynak hızında maksimum kaç nokta kaynağının yapılabileceğini incelemiştir. Bu çalışmada, elektroliz yoluyla ve sıcak daldırma ile galvanizlenmiş saclar ele alınmış ve nokta kaynağı ile yapıştırma tipi bağlantılar çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, elektrod aşınmasını en az düzeyde tutmak için, kaynak hızı 25 nokta/dak'da tutulmalı ve 50 nokta/dak'yı aşmamalıdır. Soğutma suyu hızı ise 350 lt/saat' ten az olmamalıdır. Bu çalışmaya göre, elektrodların iş parçasına yaklaşma hızları da örneğin 20 mm'lik bir üst elektrod-iş parçası aralığı için, 100 mm/sn'nin üzerinde olmamalıdır [22].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, belli bir elektrod başlığı ile 10000 direnç nokta kaynağı yapılarak, nokta sayısı ile bu elektroddaki boyutsal değişiklikler ve kaynak kalitesindeki değişim analiz edilmeye çalışılmıştır. Analiz edilecek elektrod başlığı ve kullanılacak sac malzemesi seçilip, kaynak parametreleri belirlendikten sonra, deneyler boyunca tüm değişiklikler sabit tutulmuştur. Deneylerde elektrod başlığının boyu mantarlaşması ve uç çapının nokta sayısı ile nasıl değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca belli aralıklarla kaynak yapılan özel numunelerden yararlanılarak düğme (çekirdek) çapı, toplam çökme miktarı ve çekme makaslama kuvvetinin nokta sayısı ile değişimi incelenmiştir. Bu değişimler göz önünde bulundurularak elektrod başlıklarının tıraşlanma periyodu ve ömrü belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Elektrod ömrünün analizi için yapılan deneylerde kullanılan malzemeler Otokar A.Ş.'nin imalatı kullandığı elektrod uçları ve alüminyum saclardan seçilmiştir. Bu seçimde, malzemelerin imalatı kullanım sıklığı göz önünde bulundurulmuş ve elde edilecek sonuçların uygulamada da faydalı olması amaçlanmıştır. Hem elektrod başlığı, hem de kaynakların gerçekleştirildiği sac ile ilgili malzeme bilgileri üretildikleri firmalardan temin edilmiştir.

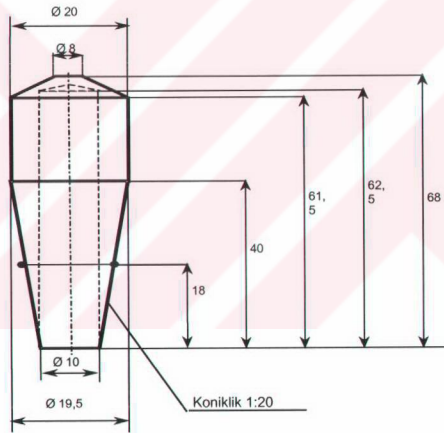
4.1.1. Elektrod Başlığı

Deneylerde, seçilen bir elektrod başlığı ile 10000 nokta kaynağı yapılarak, nokta sayısına bağlı olarak elektroda oluşan boyutsal değişikliklerin kaynak dikiş kalitesine etkileri analiz edilmiştir. Deneylerde Le Boronze Industriel tarafından üretilen CRM 16X kod nolu CuCrZr Class 2 elektrod, özellikle seri imalatı kullanılmak üzere geliştirilmiş ve otomotiv sanayinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Elektrodun kimyasal bileşimleri Tablo 4.1'de gösterildiği şeklindedir.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan elektrod başlığının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri [33]

Kimyasal Bileşim (%)			Fiziksel Özellikleri		
Cr	Zr	Cu	Gerilme Dayanımı	Sertlik Birimel	Kopma Uzama %5,65\5
0.4	0.03	99.57	590 Mpa	160	10

Bu elektrod başlığı, kaynak edilecek parçanın her iki tarafında da kullanıldığından, yüksek elektrik iletkenliğinden ötürü, daha az güç ve akım çekmekte olup, daha uzun elektrod ömrü, daha sağlam kaynaklar ve enerji tüketiminde kazançlar sağlamaktadır. Elektrod şekli ve görüntüsü Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan elektrod başlığı boyutları



4.1.2. Kaynakların Gerçekleştirildiği Malzemeler ve Kaynak Kabiliyetleri

Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için Otokar A.Ş. Gövde İmalat İstasyonunda kullanılmakta olan ve ASAŞ Alüminyum A.Ş. tarafından imal edilen rulo haldeki alüminyum saclardan yararlanılmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Kullanılan alüminyumun mekanik ve kimyasal özellikleri [34, 35]

Malzeme Bilgileri								
Üretici Firma	Sipariş No	Kafile No	Ebat (mm)					
Assan Alüminyum	5714 / 07	1.7218.001	1					
Mekanik Özellikleri								
Kafile No	Test No	Akma Mukavemeti (%0.2) MPa	Çekme Mukavemeti MPa	% Uzama				
1.7218.001	01	104	108	8.7				
Kimyasal Bileşimi								
%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	%Al
0,15	0,25	-	-	-	-	-	-	99,60

4.1.2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Başlıca Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları günümüzde yaşamımıza girmiş ve yaşamın ayrılmaz bir malzemesi haline gelmiştir. Hafifliği, iyi ısı ve elektrik iletkenliği ve korozyona karşı dayanıklılığı nedeniyle; gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, otomotiv ve gemi endüstrisi, makina ve cihaz yapımı ile mimari ve inşaat yapımında geniş çapta bir kullanma alanına sahiptir.

Çeşitli endüstri dallarında kullanılan başlıca alüminyum ve alaşımları Tablo 4.3'de verilmiştir. Bu alaşımların günümüzde birleştirilmesi %50 nispetinde kaynakla yapılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarını civata ve perçinleme yoluyla birleştirme dışında kullanılan birleştirmeleri; kaynak , lehimleme ve yapıştırma. Bugün bu yöntemler çeşitli endüstri kollarında geniş çapta kullanılmakta, bazen de lehimleme, yapıştırma ve nokta kaynağı birlikte kombine edilmektedir.

Tablo 4.3 Çeşitli endüstri kollarında kullanılan başlıca alüminyum ve alaşımları

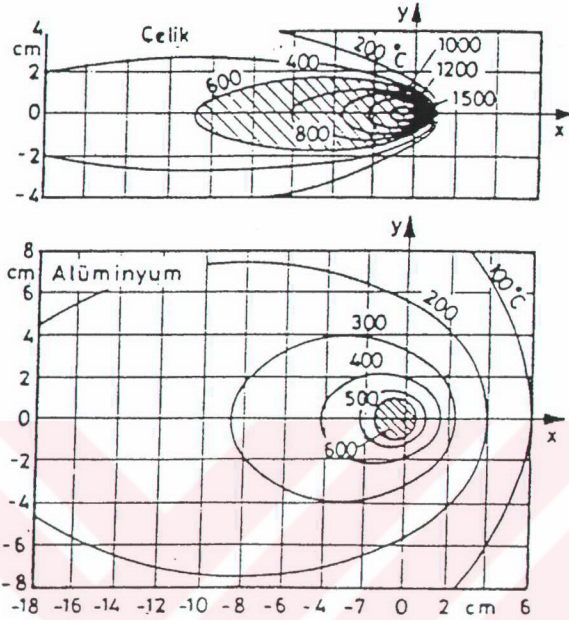
Endüstrideki Kullanma Alanları				
Malzeme	Otomotiv	Makina Yapımı	Cihaz Yapımı	İnşaat ve Mimari
Al 99, 9... Al 99,5	-	-	XX	-
Al Mn	-	-	XX	XXX
Al Mg Mn	XX	X	XX	XX
Al Mg 3	XX	-	X	XX
Al Mg 4,5 Mn	XXX	XX	XXX	-
Al Mg Si 0,5	X	X	-	XX
Al Mg Si 1	XX	XX	-	XX
Al Zn Mg 1	XXX	XXX	-	X

4.1.2.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Alüminyum ve alaşımların kaynağı, normal çeliğin kaynağına nazardan birçok farklılıklar gösterir. Çeliğin kaynağına göre daha zor ve sorunludur. Bunun için malzemeyi ve özelliklerini (fiziksel ve metalurjik) çok iyi tanımak ve ona göre önlemler almak gerekir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetine aşağıdaki etkenler tesir eder. Bunlar sırasıyla;

- a- Saf Alüminyum 658 °C gibi düşük bir sıcaklıkta ergimesine rağmen, yüzeyindeki oksit tabakası (Al_2O_3) 2050 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta ergir. Alüminyum oksijene karşı ilgili fazla olduğundan, yüzeyinde hemen 0,01 mikron kalınlığında Al_2O_3 oluşur ve bu oksit tabakası aynı zamanda yüzeye kimyasal bileşiklere karşı bir dayanıklılık kazandırır. Fakat bu tabakanın mevcudiyeti alüminyum ve alaşımlarının kaynağını zorlaştırır. Kaynak yapılırken yüzeyde bulunan Al_2O_3 tabakasının ergitilmesine çalışırken (2050 °C), bundan çok daha düşük sıcaklıkta eriyen alüminyum dökülür ve kaynak çubuğundan düşen damlalar kaynak yapılacak esas metal ile birleşemez. Onun için kaynaktan önce bu tabakanın oluşmaması için önlemler almak gerekir.
- b- Alüminyum ve alaşımları yüksek bir ısı iletim katsayısına sahiptir. Bunun için kaynak yerinde ısı yoğunluğunu sağlamak için daha fazla ısı girdisine ihtiyaç vardır. Diğer taraftan, alüminyum ve alaşımlarında, çeliğe nazaran daha geniş bir bölge ısının tesiri altında kalır. Şekil 4.3.'de alüminyum ile çeliğin kaynağındaki isotermeler, mukayeseli olarak verilmiştir. Ayrıca saf alüminyum ile çeliğin kaynağındaki isotermeler, mukayeseli olarak verilmiştir. Ayrıca saf alüminyumda yüksek ısı iletimi dolayısıyla ergimiş kaynak banyosu soğuyup çabuk katılaştığından, dikişte gözenekler oluşur.
- c- Yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik direnç kaynağında sorunlar ortaya çıkmaktadır ($Q=K.I^2.R.T$).
- d- Yüksek ısıl genleşmeden ötürü, kaynak sırasında meydana gelen distorsiyonlar (çarpılmalar ve kendini çekmeler) büyük olur. Dolayısıyla gerekli önlemler alınmadığı zaman, gerilme çatlakları oluşur. Tablo 4.4'de alüminyum ve alaşımları ile % 0,15 karbonlu çeliğin fiziksel özellikleri mukayeseli olarak verilmiştir.
- e- Alüminyum ve alaşımları doğal sert, soğuk olarak sertleştirilmiş veya ayrışma sertleşmesine tabi tutulmuş durumda bulunur. Bunların kaynak kabiliyeti de farklılıklar gösterir.



Şekil 4.3 Alüminyum ve çeliğin TIG kaynağında ısının yayılışı (isotermiler)

Başlıca alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetleri Tablo 4.4. 'de görülmektedir.

Tablo 4.4 Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özelliklerinin % 0,15 karbonlu çelikte karşılaştırılması

MALZEME	YOĞUNLUK (g / cm ³)	ERGİME NOKTASI (°C)	ELEKTRİK İLETKENLİĞİ (m/ mm ²)	ISI İLETKENLİĞİ (J / cmsK)	ISIL GENLEŞME (m/mK)
Saf Al	2.7	658	35	2.2	2.4x10-5
Al Mg 5	2.63	520-630	16.5	1.2	2.35x10-5
Al Mg Si	2.7	600-640	31	1.8	2.3x10-5
%0.15 C'lu	2.8	530-645	18.5	1.6	2.4x10-5
Çelik	7.85	1510	9.3	0.5	1.1x10-5

- f- AlMn, AlSi, AlCu ve AlMg gibi katılaşma entervali geniş olan alaşımlarda sıcak çatlamanın oluşumu eğilimi vardır. Sıcak çatlaklar genellikle solidüs (katılaşma) çizgisinin (eğrisinin) üzerinde ve katılaşma aralığında meydana gelir. Bunun için bu alaşımlarda , katılaşma aralığı dar olan alaşım gurupları seçilmelidir. Ayrıca çatlama karşı hassas olmayan ilave kaynak malzemesinin (tel veya elektrod) kullanılması gerekir.
- g- Gerilme çatlakları da kuvvetli kendini çekmeler sonucu solidüs eğrisinin altında meydana gelir. Bu çatlaklar, uygun bir konstrüktif şekillendirme, kaynak sonrası, ısıl işlemler kaynak yöntemi ve tekniği uygulanarak önlenir.

Tablo 4.5 Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti

Kaynağa Uygunluğun Değerlendirilmesi	Alaşımlar	Düşünceler
Çatlaksız	Saf alüminyum	Yüksek ısı iletimi nedeniyle gözenek oluşumu eğilimi vardır.
Çok iyi, kaynak kabiliyeti	Al Mg Mn	Yüksek mukavement söz konusu değildir.
İyi, kaynak kabiliyeti	Al Mg 3 Al Mg 5 Al Mg 4,5 Mn Al Mg S (yumuşak) Al Zn 4,5 Mg I	- Konstrüksiyonda kullanılır. - Sertleştirilmiş durumda kaynak edilir. Kaynaktan sonra soğuk olarak sertleşir ilave kaynak malzemesi olarak : S Al Si 5, kalın kesitlerde: - S-Al Mg 5, S-Al Mg 4,5 Mn S-Al Zn3 Mg4 (Sertleştirilmiş) - Ekseriya soğuk sertleştirilmiş durumda kaynak edilir. Arkasından sıcak olarak bekletilir. İlave kaynak malzemesi olarak S-Al Si 5, S-Al Mg 4,5 Mn
Çatlama hassasiyeti	Al Cu Mg Al Zn Mg Cu	
Kaynak yapılamayanlar	Talaş kaldırma kabiliyetlerini iyileştirmek için, kurşun katılan alaşımlar, basınç dökümler	

4.1.2.3. Alüminyumun ve Alaşımlarının Kaynağında Çatlama

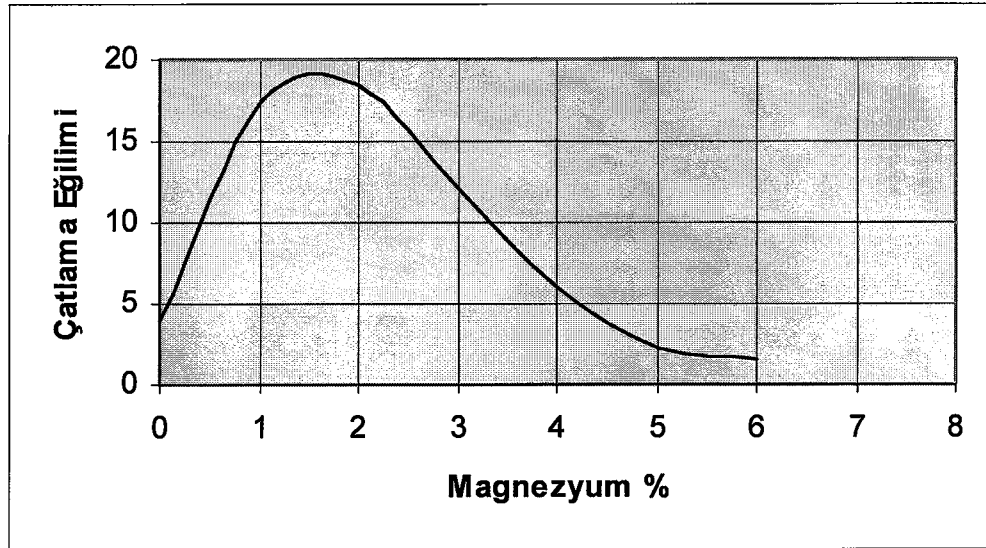
Alüminyum ve alaşımlarının mukavemetleri, soğuk şekil değiştirerek, alaşımlandırıp soğuk şekil değiştirerek, veya ısıtılma işlemi ile yükseltilir. Soğuk şekil değiştirilerek mukavemeti yükseltilmiş alüminyumun kaynağında ısının tesiri altındaki bölgede mukavemet düşer. Bu şekilde mukavemeti düşen bölgelerin konstrüksiyonda az zorlanan kısımlara getirilmesine çalışılır.

Alaşımlandırılma eksiriye Mn Mg Si, Cu... gibi elemanlarla olur ve böylece mukavemet yükselir. Bu grup alüminyum alaşımlarının kaynağında aynı (eş) alaşımlı kaynak ilave malzemesi kullanırsa, kaynak dikişinin mukavemetinde pek bir düşme olmaz.

AlCuMg, AlMgSi, AlZnMg ısıtılma işlemiyle sertleştirilen alaşımlardır. AlCuMg alaşımı çatlama eğilimine sahiptir. Nadiren ergitme kaynağı yapılır. Özellikle elektrik direnç nokta kaynağı uygulanır. AlMgSi alaşımı kaynak edilir ve akabinde sıcak olarak yaşlandırılır. Kaynağında özellikle S-AlSi 5 alaşımları kaynak ilave malzemesi olarak kullanılır. AlZnMg alaşımı sıcak yaşlandırılmış olarak kullanılır. Ayrışma sertleşmesi için uygulanan sıcaklık 450 °C ila 480 °C arasındadır. Kaynaktan sonra yavaş soğutulursa gerekli sıcaklık sağlanacağından, sertleşme etkisi de sağlanmış olur.

Çok saf alüminyum bileşiminde bulunan Fe, Si ve Mn gibi elementler, saf alüminyuma nazaran biraz daha fazla kaynak çatlaklarının oluşumuna sebebiyet verirler. Alüminyum alaşımlarında çatlama tehlikesi tiplerine ve içerdikleri alaşım elemanlarının miktarına bağlıdır. Şekil 4.4'de AlMg alaşımlarında maksimum çatlak eğiliminin %1 ila 2 Mg miktarında meydana geldiği açıkça görülmektedir. AlMg alaşımlarının bu çatlama eğilimi, birleşimine krom ve manganez katılırsa düzeltilmektedir. Bunun in AlMg 4, Mn alaşımı, kaynaklı konstrüksiyonlar için daha uygundur. Aynı şey AlMn içinde söylenebilir.

Diğer taraftan kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılan sertleşebilir. AlZnMg alaşımlarında, çatlama tehlikesini ortadan kaldırmak için bileşime az miktarda zirkonyum katılır (AlZnMg 1 Zr 0,2).



Şekil 4.4. Al Mg alaşımlarında birleşimdeki Mg yüzdesinin, çatlak oluşuma etkisi

4.2. Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi

Deneylede kullanılacak malzemeler ve kaynakların gerçekleştirileceği sabit nokta kaynağı makinası belirlendikten sonra, seçilen çelik sac ve elektrod kombinasyonu için en uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan sacın kalınlığının fazla olmaması ve kaplamasız olması göz önünde bulundurularak kaynak çevrimi olarak Şekil 2.4 (a)'da gösterilmiş olan tek darbeli kaynak çevrimi esas alınmıştır. Kaynak akımı, kaynak tutma ve soğutma süreleri ile elektrod kuvvetinin belirlenmesinde Bölüm 2.10 'da bahsedilen yöntem izlenerek, Tablo 2.5'te Çoşkunöz tarafından tavsiye edilen değerler dikkate alınmıştır. Bu değerlerin seçiminde, yüksek kuvvette kısa süreli kaynak esas alınmıştır.

Bu değerler ve imalattaki parametreler göz önünde bulundurularak belirlenen ilk değerler 30 mm x 100 mm ebadındaki ve 1 mm kalınlığındaki iki alüminyum sacdan oluşan 3 numuneye kaynak yapılmıştır. Elde edilen kaynak numunelerinden ikisi burulmak suretiyle birbirinden ayrılarak kaynak düğmesi (çekirdeği) ortaya çıkarılmış ve çapların ortalama değerleri ölçülmüştür. Diğer numune ise keski deneyine tabi tutularak kaynağın sağlamlığı test edilmiştir. Düğme çapları elektrod ucu çapına en yakın değeri alana ve keski testi uygun sonuçlar verene kadar denemelere devam ve 10 aşama sonunda, deneyler boyunca sabit kalacak parametreleri belirlenmiştir. Kaynak parametrelerinin belirlenme aşamaları Tablo 4.6'te verilmiştir.

Tablo 4.6. Kaynak parametrelerinin belirlenme aşamaları

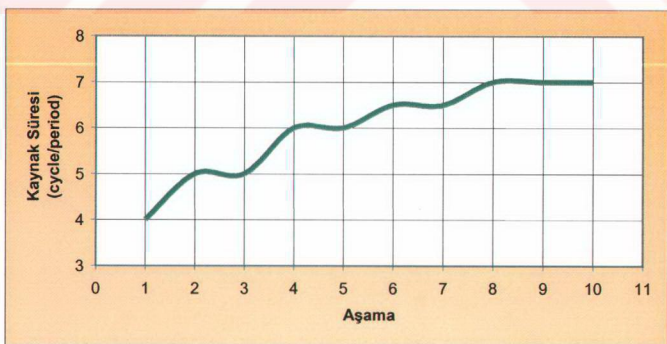
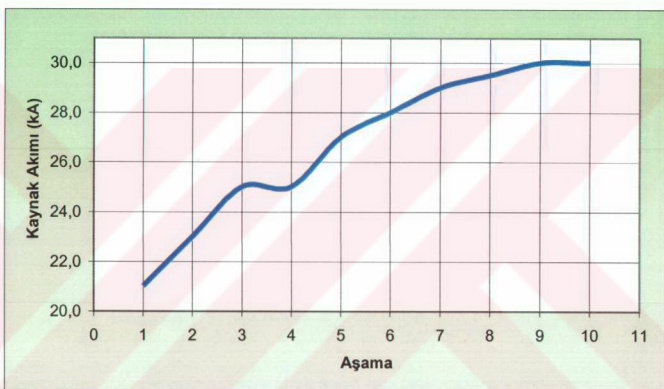
Aşama	Elektrod Kuvveti (daN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Periyot)	Tutma Süresi (Periyot)	Soğutma Süresi (Periyot)
1	210	21	4	10	10
2	210	23	5	10	10
3	210	25	5	10	10
4	220	25	6	10	10
5	220	27	6	10	10
6	220	28	6,5	10	10
7	230	29	6,5	10	10
8	240	29,5	7	10	10
9	240	30	7	10	10
10	250	30	7	10	10

Deneylerde 250 daN elektrod kuvveti, 30 kA'lık kaynak akımı, 7 periyod'luk kaynak süresi, 10'ar periyod'luk sıkıştırma ve tutma süreleri uygulanmıştır (Şekil 4.5). Deneyler 180 kVA'lık sabit kaynak makinasında yapılmıştır.

Elektrod kuvveti, bir kuvvet analizörü yardımıyla, makinanın basınç valfleri kullanılarak ayarlanmış; ölçümlerde Avil marka, Presstotest model, B010000 tipi, kuvvet analizörü kullanılmıştır.

Bu cihaz, kuvvet transdüserli, probu vasıtasıyla 450 daN'a kadar kuvvetleri ölçebilmektedir. Kaynak akımının değeri ise, ölçümünde LUTRON marka DM-6057 model kaynak test cihazı kullanılmıştır.

Akım şöntlemesinin engellenmesi, uygun soğutmanın sağlanması ve imalat hızlarına yakın olması amacıyla deneyler 20 adet/dakika'lık hızla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Kaynak parametrelerinin belirlenmesi

10000 adet nokta kaynağının düzgün biçimde yapılabilmesi için kaynaklar 25 x 25 mm'lik kare şeklinde çizilmiş, 50 x 50 cm 'lik alüminyum sac plakalar üzerine uygulanmıştır.

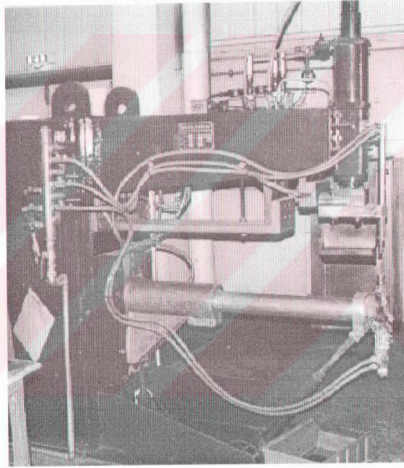
Her 245 ile 250'nci noktalar çekme deneyi numunelerine uygulanmıştır. Elde edilen numunelere uygulanan çekme deneyi sonuçları da grafik halinde verilmiştir.

Elektrodların deformasyonunun tesbiti için Şekil 4.1'de verilen boyutlar temel alınmıştır. Elde edilen nokta kaynaklı numunelerde elektrod dalma derinlikleri ve kaynak çekirdeğinin çapları da ölçülerek grafik halinde gösterilmiştir.



4.3. Deneylerin Yapılışı

Alüminyum sacın ve elektrod başlığının belirlenmesinden sonra kaynakların gerçekleştirileceği makinanın seçimi yapılmıştır. Bu seçimde, elektrodların levhayla sürekli aynı şekilde temasta olması, gerektiğinde kaynak parametrelerinin kolaylıkla ayarlanabilmesi ve elektrod başlığı ile adaptörünün elektrod tutucuyla uyumu esas alınmıştır. Bütün bu faktörleri yerine getiren en uygun kaynak makinası olarak, 180 kVA kapasiteli, sabit nokta kaynak makinası belirlenmiştir (Şekil 4.6)

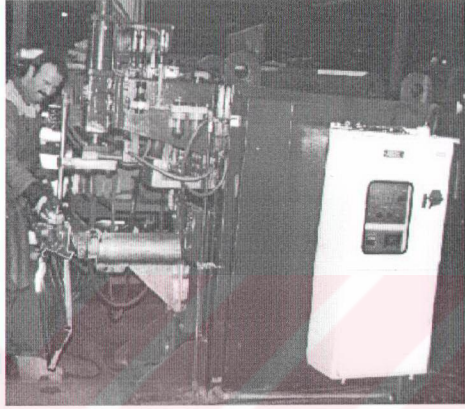


Şekil 4.6 Deneylerde kullanılan sabit nokta kaynağı makinası

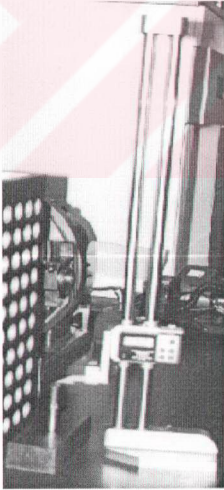
Daha sonra, elektrod uçları ve malzemeye bağlı olarak, ayrıntılı Bölüm 4.2’de verilen kaynak parametreleri belirlenmiştir. Deneyin gerçekleştirilmesinde aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. Uçların takılması :

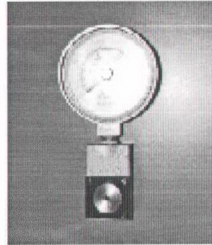
Seçilen elektrod başlıkları, sabit nokta kaynağı makinasındaki alt ve üst elektrod adaptörleriyle birlikte takılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Elektrod başlıklarının adaptörleriyle birlikte takılması



Şekil 4.8. Elektrod boyutlarının ölçümünde kullanılan düzenek



Şekil 4.9 Kuvvet analizörü

2. Elektrod kuvvetinin ayarlanması

Bölüm 4.2'de bahsedilen çalışmalar sonucunda 250 daN olarak belirlenen elektrod kuvveti, bir kuvvet analizörü yardımıyla sabit nokta kaynağı makinasının üzerindeki basınç valfleri kullanılarak ayarlanmıştır. Kuvvetin ölçülmesinde, Avil marka, Presstotest model, B010000 tipi, kuvvet analizörü kullanılmıştır. Bu cihaz, kuvvet transdüserli, probu vasıtasıyla 450 daN'a kadar kuvvetleri ölçebilmektedir (Şekil 4.9).

3. Numuneye yapılan kaynağın fotoğrafının çekilmesi

Her 500 nokta kaynağı sonunda kaynak yapılan numunede kaynak bölgesinin görünümünün nokta sayısı ile değişiminin gözlemlenebilmesi amacıyla bu bölgenin fotoğrafı çekilmiştir.

4. Numune kaynağındaki çökme miktarının ölçülmesi :

Elektrod kuvveti ve kaynak akımının etkisiyle sac yüzeyinde oluşan çökme miktarının nokta sayısı ile değişiminin incelenebilmesi için mitutoyo marka 0103017 tipi 1/100 mm hassasiyetdeki ölçüm komparatörü yardımıyla numunenin iki yüzeyindeki toplam çökme miktarı ölçülmüştür (Şekil 4.10). Daha sağlıklı veriler elde edilebilmesi için diğer numunedeki toplam çökme miktarı da aynı yöntemle ölçülerek bu iki değer ortalama alınmıştır. Çökme miktarı %10'un altında olan kaynaklar 1.sınıf, %10-15 arası olanlar 2. sınıf, %15-25 arası olanlar ise 3.sınıf olarak değerlendirilmektedir [9].

5. Numune kaynak düğmesinin (çekirdeğinin) ortaya çıkarılması :

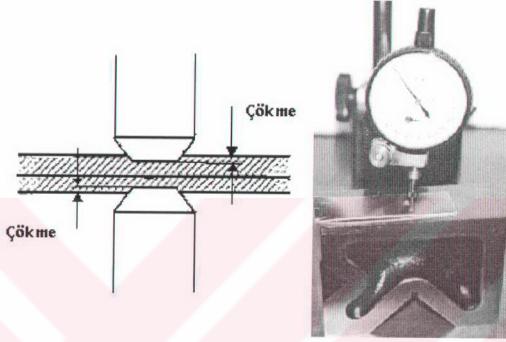
Kaynak yapılan numunelerden ikisi mengeneye sıkıştırılmak ve diğer tarafından iki yöne burulmak suretiyle kaynak bölgesinde numune saclarının ikiye ayrılması ve kaynak düğmelerinin (çekirdeğinin) ortaya çıkması sağlanmıştır. Şekil 4.11'te kaynak düğmesinin ortaya çıkarılışı ve numunenin ayrılmadan önceki ve sonraki hali gösterilmiştir.

6. Kaynak düğmesinin ölçülmesi:

Bir önceki aşamada ortaya çıkarılan kaynak düğmelerinin dijital kumpas yardımıyla ortalama çapı ölçülmüştür.

7. İlk aşamanın tamamlanarak kaynağa devam edilmesi :

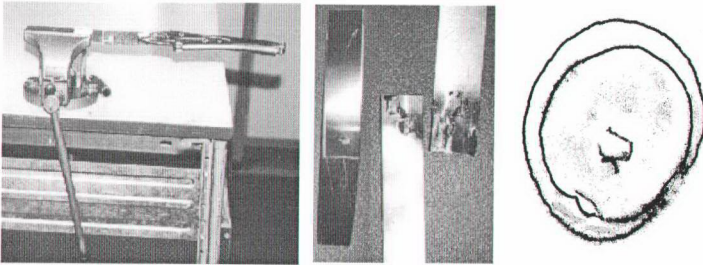
10000 nokta sayısına kadar her 500 nokta kaynağı yapıldıktan ve yukarıdaki ölçüm ve fotoğraf işleri tamamlandıktan sonra 500 kaynak yapılmakta ve yukarıda bahsedilen adımlar tekrarlanmaktadır.



Şekil 4.10. Sacda meydana gelen çökme ve komparatörle ölçülmesi

8. Çekme-Makaslama deneyi :

Numuneler, çekme-makaslama dayanımının nokta sayısı ile değişimini belirlemek amacıyla üniversal çekme makinasında deneye tabi tutulmuştur. Bu deney için Otokar A.Ş.'deki Üniversal (DVTC 500 kp/çekme mukavemetli) çekme tezgahından yararlanılmıştır (Şekil 4.11).

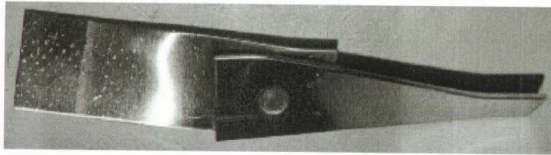


Şekil 4.11. Kaynak düğmesinin açığa çıkarılması ve kaynak düğmesi



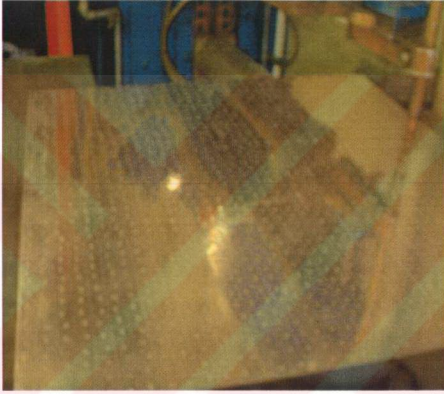
Şekil 4.12. Üniversal çekme tezgahı ve çekme-makaslama deneyi

Çekme-makaslama deneyi sonucunda kaynak noktası civarındaki sacda yırtılma meydana geldiği görülmüştür. Şekil 4.13'de çekme makaslama deneyine tabi tutulmuş bir numune görülmektedir.

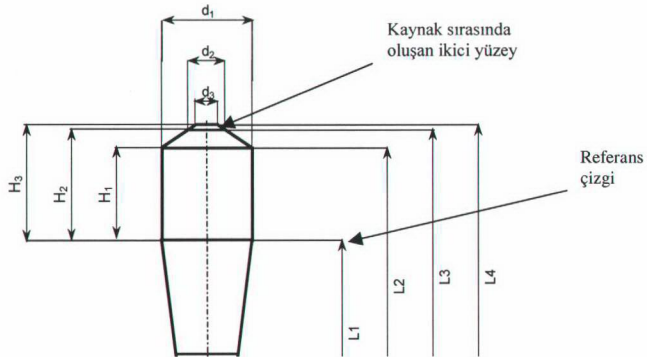


Şekil 4.13 Çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuş numune

Deneylerde 250 daN elektrod kuvveti, 30 kA'lık kaynak akımı, 7 periyod'luk kaynak süresi, 10'ar periyodluk sıkıştırma ve tutma süresi uygulanmıştır. Deneyle 180 kVA'lık sabit kaynak makinasında yapılmıştır. Ölçümlerde Çoşkunöz A.Ş. marka 180 kVA kullanılmıştır. Akma şöntlenmesinde engellenmesi, uygun soğutmanın sağlanması ve imalat hızlarına yakın olması amacıyla deneyler 20 adet/dakika'lık hızla gerçekleştirilmiştir. 10000 adet nokta kaynağının düzgün biçimde yapılabilmesi için kaynaklar 25x25 mm'lik kare-şeklinde çizilmiş 50x50 cm'lik alüminyum plakalara uygulanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Nokta kaynaklarının oluşturulması



Şekil 4.15 Elektrod başlığında ölçülen boyutlar

5000 nokta sayısına kadar her 250 noktada bir elektrod ucunun fotoğrafı çekilmiş ve her 245 ila 250'nci noktalar çekme deneyi numunelerine uygulanmıştır. Elde edilen numunelere uygulanan çekme deneyi sonuçları da grafik halinde vermiştir.

Elektrodlarının deformasyonunun tesbiti için Şekil 4.15'de verilen boyutlar temel alınmıştır. Elde edilen nokta kaynaklı numunelerde elektrod dalma derinlikleri ve kaynak çekirdeğinin çapları da ölçülerek grafik halinde gösterilmiştir.

4.4. Deney Sonuçları

Deneyler boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen elektrod başlığının boyutları, numunelerin düğme çapları, çökme miktarları ve çekme-makaslama dayanımları Tablo 4.7'de verilmiştir. Bu tabloda mantarlaşma olarak belirtilen değerler üst ve alt elektrod başlığı boylarında meydana gelen kısalma miktarıdır. Elektrod başlıklarındaki mantarlaşma aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\Delta H = H_0 - H_1$$

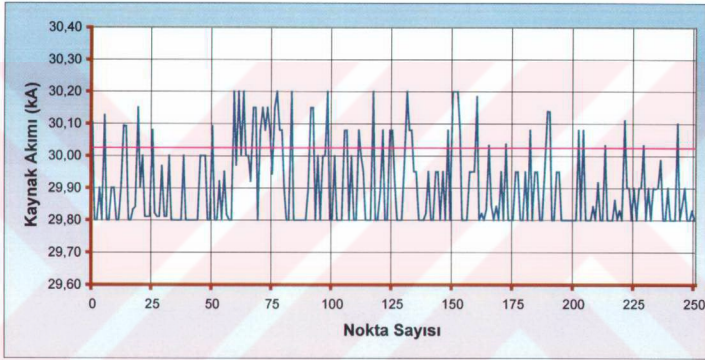
Burada, ΔH : mantarlaşma miktarını (mm), H_0 : elektrod başlığının başlangıcındaki boyunu (mm) ifade etmektedir. Bu tabloda dikkat edilmesi gereken nokta başlangıçta ikinci yüzeyin oluşmasından dolayı, H_2 ve H_3 boyutlarının ilk değerlerinin aynı olmamasıdır. Şekil 4.1'de belirtilen boyutlar elektrod başlığının uç kısmının düzgün olması öngörülerek verilmiş olup, ölçümlerde üst elektrod başlığının 65 mm - 68 mm arasında, alt elektrod başlığının ise 65,7 mm – 69 mm arasında, değiştiği görülmüş ve bu değerler H_{20} ve H_{30} değerleri olarak belirlenmiştir. Buna göre, üst elektrod başlığı için $H_2= 64,8$ mm, $H_3=68$ mm ve alt elektrod başlığı için $H_2=65,5$ mm, $H_3=69$ mm olarak alınmıştır. Punta uçlarının görünümü Şekil 4.23'de gösterilmiştir. d_{1-1} ve d_{1-2} çapları tüm deney boyunca ölçülmüş ancak 10000 nokta kaynağı sonunda herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Tablo 4.7'de verilen, numunelerdeki toplam çökme miktarları ve düğme çapları kaynak yapılan 5 numunenin ikisinden, çekme-makaslama dayanımları ise diğer üç numuneden elde edilen değerlerin ortalamasıdır.

Tablo 4.7. Deneyler sonucunda elde edilen değerler

Numune	Üst Elektrot						Alt Elektrot						Numunele		
	Boy Değişimi		Mantarlama		Uç Çapları		Boy Değişimi		Mantarlama		Uç Çapları		Çökme	Düğme	Ç-M
	H ₂	H ₃	ΔH ₂	ΔH ₃	d ₂	d ₃	H ₂	H ₃	ΔH ₂	ΔH ₃	d ₂	d ₃	Miktarı	Çapı	Daya.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	daN
0	68	68	0,0	0,0	8	8	69	69	0,0	0,0	8	8	0	8	285
250	68	67,8	0,1	0,0	8,6	7,6	69	68,5	0,1	0,0	8,6	7,8	0,6	8,1	285
500	68,0	67,6	0,1	0,0	8,8	7,4	69	68	0,2	0,0	8,8	7,6	0,58	8,1	280
750	67,9	67,5	0,2	0,1	8,9	7,2	69	67,9	0,2	0,0	8,9	7,2	0,56	8,2	280
1000	68	67,4	0,2	0,1	9,4	7	69	67,8	0,3	0,0	9,4	7,1	0,5	8,2	255
1250	67,9	67,3	0,2	0,1	9,6	6,9	69	67,8	0,3	0,0	9,6	7	0,52	8,4	240
1500	68	67,2	0,3	0,1	9,8	7,1	68,98	67,8	0,3	0,1	9,8	7,2	0,5	8,5	226
1750	67,9	67,1	0,3	0,1	9,9	7,1	68,83	67,8	0,3	0,1	9,9	7,2	0,5	8,5	220
2000	68	67	0,3	0,1	10	6,9	68,6	67,72	0,4	0,1	10	6,9	0,5	8,4	230
2250	67,9	67	0,4	0,1	10,1	6,8	68,3	67,2	0,4	0,3	10,1	6,7	0,5	8,3	250
2500	67,8	66,9	0,4	0,1	10,15	6,74	68,2	66,7	0,5	0,3	10,15	6,8	0,46	8,5	255
2750	67,7	66,8	0,4	0,2	10,2	6,8	68,1	66,37	0,6	0,3	10,2	7,1	0,46	8,3	235
3000	67,6	66,7	0,4	0,2	10,25	7	68	66,24	0,6	0,3	10,25	7,2	0,48	8,4	250
3250	67,5	66,6	0,5	0,2	10,2	7,1	67,8	66,09	0,7	0,4	10,2	7,3	0,46	8,6	268
3500	67,5	66,5	0,5	0,3	10,4	7,2	67,6	66,02	0,7	0,4	10,4	7,3	0,46	8,7	270
3750	67,3	66,4	0,5	0,3	10,5	7,4	67,4	65,96	0,7	0,5	10,5	7,3	0,47	8,8	250
4000	67	66,1	0,6	0,4	10,6	7,6	67,07	65,91	0,8	0,6	10,6	7,4	0,46	8,7	235
4250	66,8	66	0,6	0,4	10,77	7,8	66,9	65,91	0,8	0,6	10,77	7,6	0,44	8,6	235
4500	66,6	66	0,7	0,6	10,7	8,2	66,6	65,85	0,8	0,7	10,7	7,8	0,46	8,7	235
4750	66,4	66	0,7	0,6	10,6	8,4	66,3	65,85	0,8	0,7	10,6	8,2	0,44	8,5	260
5000	66,2	65,9	0,7	0,7	10,5	8,6	66,13	65,87	0,8	0,8	10,5	8,4	0,32	8,5	268
5250	66,1	65,8	0,7	0,7	10,15	8,8	66,1	65,9	0,8	0,8	10,4	8,8	0,3	8,5	280
5500	66,1	65,8	0,7	0,7	10,2	8,8	66,13	65,9	0,8	0,8	10,4	8,8	0,28	8,7	280
5750	66	65,4	0,8	0,7	10,3	8,9	66,09	65,9	0,8	0,8	10,3	8,9	0,26	8,8	290
6000	66	65,4	0,8	0,7	10,4	8,8	66,09	65,9	0,8	0,8	10,2	8,8	0,26	9	305
6250	65,8	65,5	0,8	0,8	10,5	8,9	66	65,8	0,8	0,8	10,3	8,8	0,2	8,9	288
6500	65,8	65,6	0,8	0,8	10,6	8,8	66	65,8	0,8	0,8	10,4	8,6	0,2	9,3	265
6750	65,8	65,5	0,9	0,8	10,7	8,9	66	65,8	0,8	0,8	10,3	8,4	0,2	9,3	260
7000	65,8	65,4	0,9	0,8	10,8	9	65,95	65,8	0,8	0,8	10,2	8,2	0,16	9,4	238
7250	65,7	65,3	0,9	0,8	10,7	9,1	65,95	65,76	0,8	0,8	10,4	8,5	0,16	9,5	235
7500	65,7	65,3	0,9	0,8	10,7	8,9	65,93	65,72	0,8	0,8	10,5	8,6	0,14	9,8	226
7750	65,6	65,2	0,9	0,8	10,8	9	65,94	65,7	0,8	0,8	10,2	8,4	0,16	9,8	215
8000	65,6	65,2	0,9	0,8	10,8	9,1	65,93	65,7	0,8	0,8	10,2	8,4	0,13	9,7	235
8250	65,5	65	1,0	0,8	10,9	9	65,9	65,7	0,8	0,8	10,4	8,5	0,12	9,8	226
8500	65,5	65	1,0	0,8	10,9	9,1	65,9	65,7	0,9	0,9	10,4	8,4	0,11	9,6	244
8750	65,4	65	1,0	0,9	10,9	9,1	65,9	65,7	0,9	0,9	10,5	8,5	0,12	9,7	224
9000	65,4	65	1,0	0,9	10,9	9,2	65,85	65,7	0,9	0,9	10,6	8,6	0,15	9,8	229
9250	65,3	65	1,0	0,9	10,9	9,3	65,87	65,7	0,9	0,9	10,6	8,5	0,13	9,8	229
9500	65,2	65	1,0	0,9	10,9	9,4	65,8	65,6	0,9	0,9	10,7	8,4	0,13	9,9	253
9750	65,1	64,9	1,0	0,9	10,9	9,5	65,75	65,54	0,9	0,9	10,8	8,5	0,1	9,9	250
10000	65	64,8	1,0	1,0	10,9	9,6	65,7	65,5	0,9	0,9	10,8	8,8	0,12	9,9	253

Şekil 4.17 ve 4.18’de, deneylerin başlangıcında ve sonunda, üst ve alt elektrod başlıklarının uç kısmının üstten ve yandan görünüşleri ile numune kaynaklarının ve düğmelerinin görünüşleri verilmiştir.

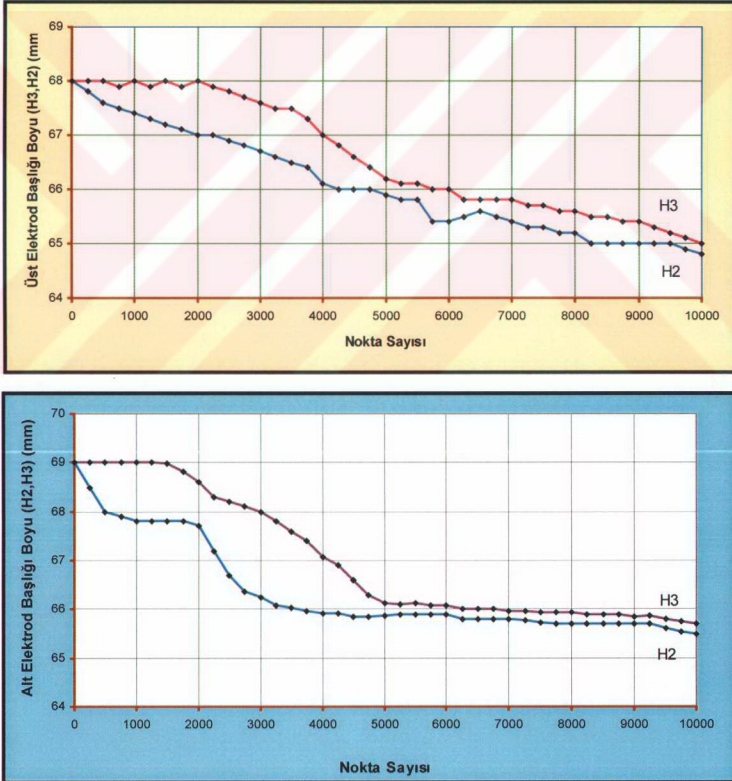
Şekil 4.16’da bir deneylerdeki 250 nokta kaynağı boyunca kaynak akımında meydana gelen değişim görülmektedir. Akım değerleri $\pm 2\%$ ’lik tolerans içinde kalmakla birlikte deneyler ortalama olarak (I_{ort}) 30,02 kA’lık bir değerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16 250 kaynak boyunca akımın nokta sayısı ile değişimi

4.5. Deney Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

Bu bölümde, deneyler sonucunda elde edilen değerlerin nokta kaynağı sayısı ile değişimleri grafik şeklinde verilmiştir. Bu grafiklerde, üst ve alt elektrod başlıklarının boylarının ve mantarlaşmasının, uç çaplarının ve numunelerdeki toplam çökme miktarı, düğme (çekirdek) çapı ve çekme-makaslama dayanımlarının nokta kaynağı sayısı ile değişimleri verilmiştir. Artan nokta kaynağı sayısı ile, üst ve alt elektrod başlıklarının boylarında meydana gelen değişim Şekil 4.17'de görülmektedir. H_2 ve H_3 boyutları Şekil 4.15'de belirtilmiştir.

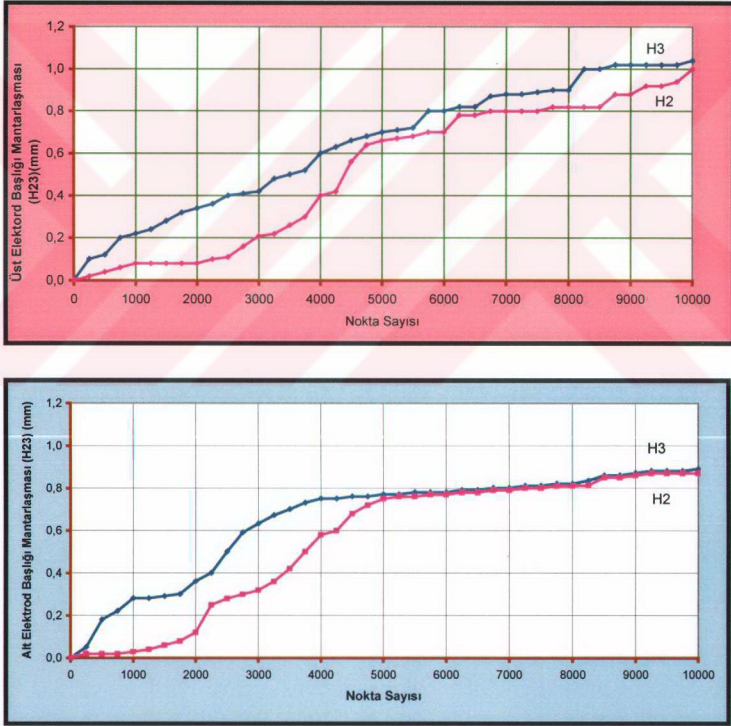


Şekil 4.17 Üst ve alt elektrod başlık boylarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi

Şekil 4.18'de üst ve alt elektrod başlıklarındaki mantarlaşmanın (boydaki kısalma miktarı) nokta kaynağı sırasıyla değişimi görülmektedir. Üst ve alt elektrod başlıklarındaki mantarlaşma miktarı şu formüller ifade edilebilir :

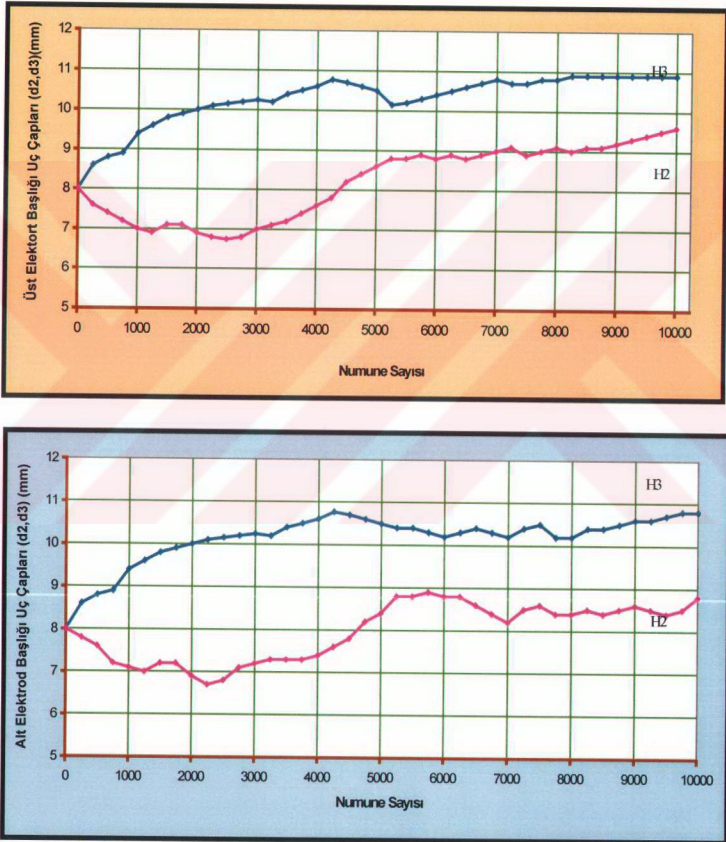
$$\Delta H_{2,3} = H_{20, 30} - H_{2,3} \dots$$

Bu ifade , ΔH : mantarlaşma miktarı (boydaki kısalma) (mm) ve H_0 : elektrod başlığının başlangıçtaki boyutudur (mm). Bu boyutlarla ilgili detaylı açıklamalar Bölüm 4.4'te yapılmıştır



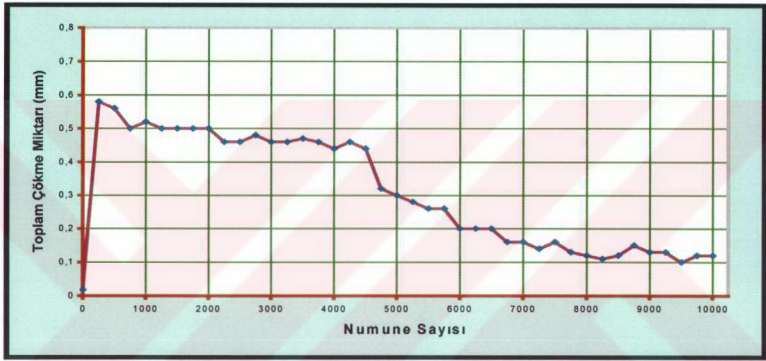
Şekil 4.18'de üst ve alt elektrod başlıklarındaki mantarlaşmanın nokta kaynağı sayısı ile değişimi

Şekil 4.19'da üst ve alt elektrod başlıklarının uç çaplarının (d_2 ve d_3) nokta kaynağı sayısı ile değişimi görülmektedir. Bu çaplar Şekil 4.15'de gösterilmiş olup, d_2 çapı elektrod başlığının uç kısmının çapı, d_3 ise kaynak yapıldıkça ortaya çıkan ikinci yüzeyin ortalama çapıdır.



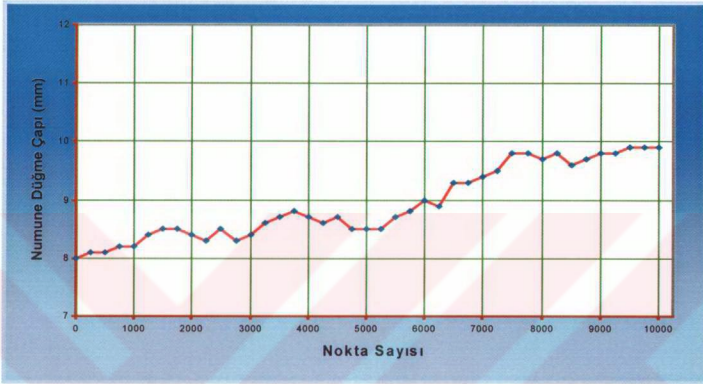
Şekil 4.19 Üst ve alt elektrod başlıkları uç çaplarının nokta kaynak sayısı ile değişimi

Şekil 4.20’de her 250 noktada bir kaynak yapılan ikişer numunenin üst ve altında meydana gelen toplam çökme miktarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi görülmektedir. Sonuçların sağlıklı olabilmesi açısından 249. ve 250. kaynakların yapıldığı numunelerdeki toplam çökme miktarının ortalaması alınarak Tablo 4.4’teki değerlere ulaşılmıştır.



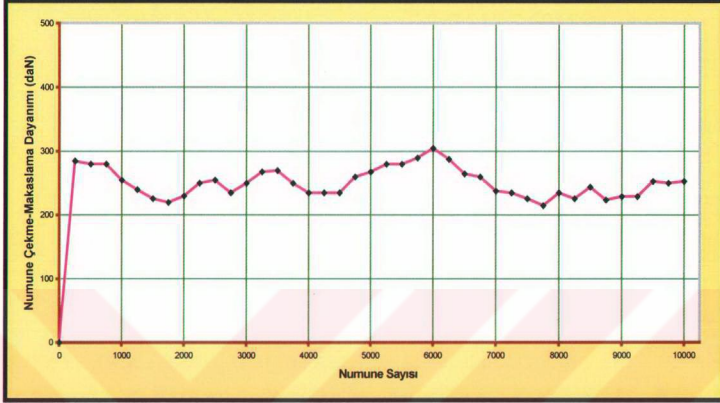
Şekil 4.20 Numunelerdeki toplam çökme miktarının nokta kaynak sayısı ile değişimi

Şekil 4.21'de her 250 kaynak sonunda numunelere yapılan kaynakların burulması sonucunda ortaya çıkan düğmelerin (kaynak çekirdeği) ortalama çaplarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi görülmektedir. Bu değerler iki numunede ölçülen çapların ortalaması alınarak elde edilmiştir.

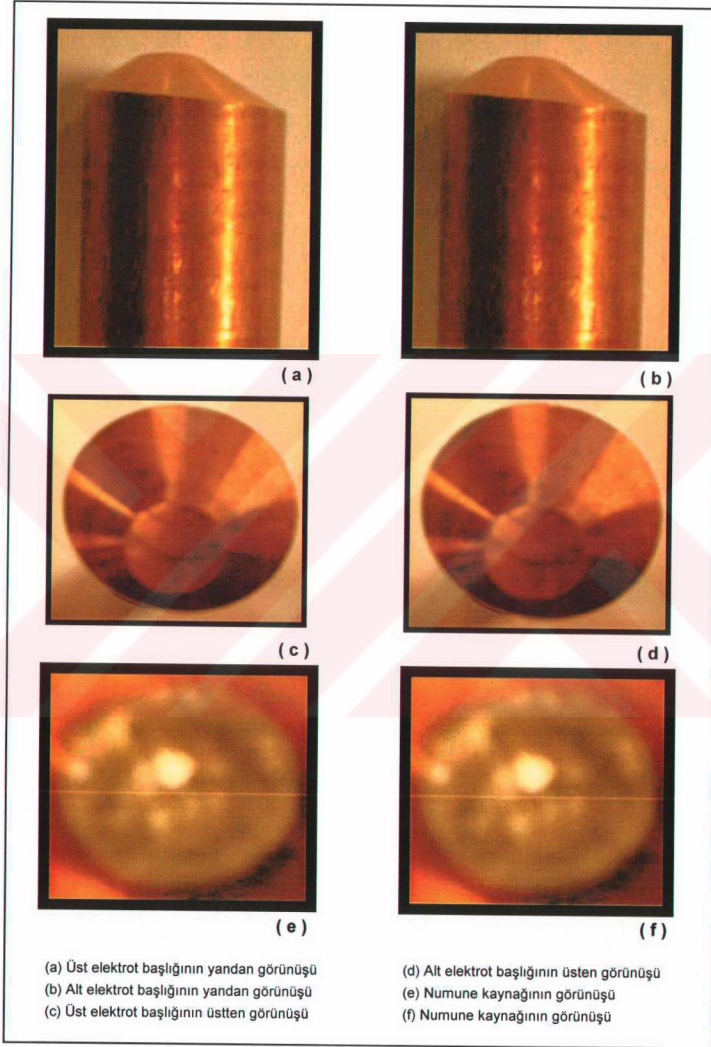


Şekil 4.21 Numunelerdeki ortalama düğme (çekirdek) çapının nokta kaynağı sayısı ile değişimi

Şekil 4.22'de çekme deneyine tabi tutulmuş üçer numunenin ortalama çekme makaslama dayanımlarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi verilmiştir.



Şekil 4.22 Numunelerin çekme-makaslama dayanımlarının nokta kaynağı sayısı ile değişimi



Şekil 4.23 : Punta uçlarının görünümü

BÖLÜM 5. KALİTE GÜVENCE SİSTEMİ YÖNÜNDEN ETÜDÜ

5.1. Kalite Güvence Sistemi

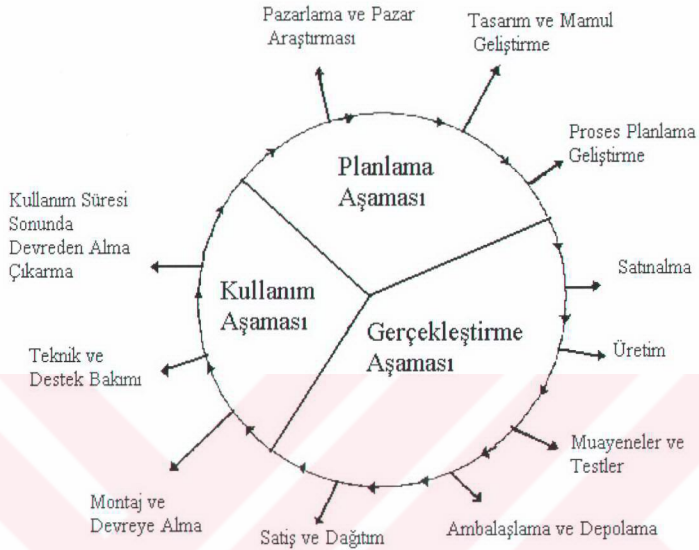
Kalite Güvence Sistemi anlayışını, diğer kavramlardan ayıran temel ilkeye göre müşterinin kalite gereksinimlerin saptanmasından başlayarak, mamulün müşteriye tatmin edecek şekilde eline teslimine kadar, bütün aşamaların denetim altında tutulmasıdır. Kalite Güvence Sisteminin bu hedefe varmak için kişilerin eş güdümlü davranışlarını, makinaları ve bilgiyi yönlendirmekte ve yönetmektedir [25].

Toplam Kalite Kontrol, kalite kontrol fonksiyonu faaliyetleri yanında kalite örgütünün karşılıklı bağımlılık gösteren çok fonksiyonlu kalite kavramı ortaya çıkaran Feigenbaum'un tanımlamasına göre; toplam kalite kontrolü tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacıyla işletme içindeki pazarlama, mühendislik, imalat ve müşteri hizmetleri gibi çeşitli birimlerin; kalitenin oluşturulması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalar arasında eşgüdüm sağlayan etkili biri sistemdir [26].

Yukarıda verilen tanıma ulaşmak için bir firmanın yapması gerekenleri iki maddede toplamak mümkündür. Bunları ;

1. Gelişme ve yaratıcılık için tüm çalışanların katkısı
2. Analiz, problem çözme ve karar verme tekniklerinin sistematik bir biçimde kullanılması

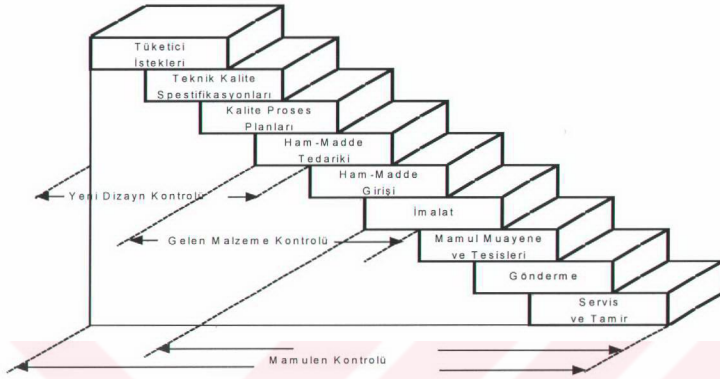
Şekil 5.1'de kalite çevriminde görüldüğü üzere tasarım, ürün geliştirme, proses, geliştirme, imalat, paketlenme, sevkiyat, hemen her alanda bu tekniklerin bilinçli ve yaygın uygulanması ile firma Japon'ların Kaizen sözlüğü ile ifade ettikleri sürekli gelişmeyi başarmış olur.



Şekil 5.1 Kalite Çevrimi [23]

İyi kalite demek; kaliteli üretim olduğu kadar kaynakların iş gücünün, ekipmanın ve bilgili akışın en iyi şekilde kullanılması demektir. Bu anlamda kaliteyi geliştirmek, üretimin verimliliğini artırır ve dolayısıyla da maliyetlerde azalma gözlenir. Günümüzde kalite standartları içerikleri nedeniyle sürekli bir performans gerektirmektedir.

Bu performans sadece teknolojik gelişmelerden değil değişimin gereğini ve önemini kavrayan yöntemlerin sistemlerini standartlar paralelinde kurmalarından kaynaklanmaktadır. Kaliteyi geliştirmenin zor ve pahalı olmadığını; bir sistem, anlayış ve yaşam biçimi olduğunun bilinci içinde olan her şirket; mevcut kalite sistem şemsiyesi altına alarak geleceğe daha güvenle bakmaya hazırlanmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Üretim sürecinde toplam kalite kontrol [24]

5.2. Proses Kontrol

Land Rover hattındaki nokta kaynak yapılan proseslerine yapılan proses auditlerin sonuç raporları EK-B'de gösterilmiştir [27]. Ayrıca Land Rover'ın tüm dünyadaki Land Rover üreticilerini kapsayan; araca özel Defender Kalite Standardı (Defender Quality Standarts Manual) oluşturulmuş, ilgili birimler tarafından kabul edilmiş ve değerlendirmeler bu standartdaki kriterlere göre yapılmaktadır [31, 32].

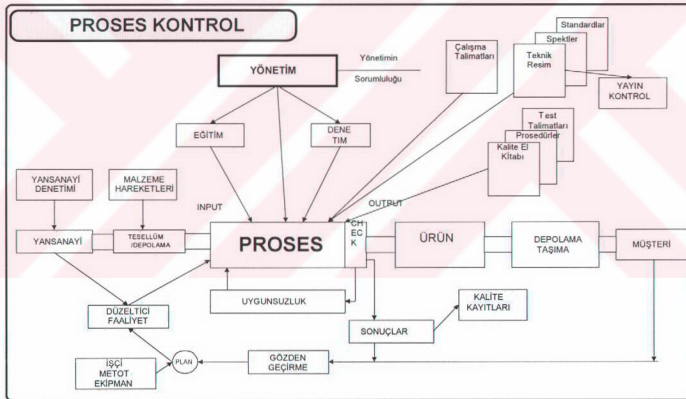
5.2.1. Proses kontrol prensibi

Kaliteyi doğrudan etkileyen üretim, tesis ve servis proseslerini belirlemeli, planlamalı ve bu proseslerin kontrollü şartlar altında yürütülmesini sağlamalıdır. Kontrollü şartlar aşağıdakilerini sağlamalıdır;

1. Proses'in izlenmesi ve operatör talimatları
2. Proses kontrolünün sürdürülmesi
3. Değişikliğe uğramış proses kontrol şartları
4. İş ayarlarının doğrulanması
5. Proses değişiklikleri
6. Görüntü parçaları

- a. Üretim, tesis ve servisi tanımlayan ve olmaması durumunda kaliteyi olumsuz yönde etkileyebilecek dokümanlar edilmiş prosedür,
- b. Uygun üretim, tesis ve servis teçhizatının kullanılması ve uygun çalışma ortamı. Çalışma ortamı, parça veya ürünün, üretimine ve kalitesine etki eden proses şartlarının tümüdür.

Her iş merkezinde imalat montaj fonksiyonları için periyodik ve sistematik olarak iş merkezlerindeki imalat montaj proseslerini gözden geçirmek, sistematik ve planlı bir şekilde prosesler gözden geçirilerek iş merkezlerinin operasyonel seviyelerini raporlamaktır [26].



Şekil 5.3 Proses kontrol akışı

Bu yaklaşımla prosesleri standartlaştırma ve standart iş seviyesini anlamak, iç ve dış faydalar için bağımsız gözlem yapmak, prosesleri disipline etmek, uygulamadaki değişiklikleri ortadan kaldırmak, gerçek proses değişikliklerini ortaya çıkarmak, müşteri memnuniyetini sağlamaktır (Şekil 5.3).

Üretim aşamalarının kontrol altına alınması, kalite isteklerinin karşılanmasının güvence altına alınması ve izlenmesinin güvence altında tutulmasını sağlayacak yöntemler ve üretimin yapılış şeklini tariflemeyi amaçlar.

5.2.2. Üretim sistemi ve aşamaları [28]

Pazar ihtiyaçları doğrultusunda hazırlanan üretim programında belirtilen, ürün veya ürün gruplarının istenen şartlarda tarih ve adetlerde üretmek sorumluluğu Üretim Alanı'na aittir. Bu konuda ilgili diğer birimlerin destek sorumluluğu devam eder. Bantta Proses Kontrol proses kontrol uygulanmaktadır [31].

Fabrika üç ana üretim hattından oluşmaktadır. Bunlar Minibüs, Land Rover ve Zırhlı Araç türevlerinin üretildiği imalat montaj bantlarıdır. Ayrıca sac kesim ve montaj işlemlerinin yapıldığı sac parça bandı bulunmaktadır. Otocar üretim akışının Şekil 5.5'deki şemasının prosedürel akışı verilmiştir;

Üretim temel olarak, Planlama Takımının PL-P-09201 Üretim Planlama Prosedürüne göre hazırlanan aylık ve yıllık üretim programları ve Üretim ve Tesis Mühendislik Biriminin ÜT-T-05203 Operasyon Sayfalarının Yayın ve Takip Sistemi talimatına göre hazırlanmış bulunan operasyon sayfalarına göre ve buna baz teşkil eden ve Ürün Mühendisliği Birimince hazırlanmış olan ÜM-T-05202 Yayın Sistemi ve Takibi talimatına göre yapılır.

Land Rover araçları için Zırhlı Fabrikasında şase üretilmekte olup, ÜR-T-09294 ACC Kaplama İşlemi Talimatına göre ACC kaplanır ve ÜR-T-09292 LR Şase Parça ACC Kaplama Kontrol Talimatına göre kontrol edilir.

İthalden gelerek BIW hattında monte edilmekte olan gövde parçaları ÜR-T-09204 Triklon Buharı ile Yağ Alma Talimatına göre triklon ile temizlendikten sonra ÜR-T-09203 Kromat Kazanı Kullanma Talimatına göre kromatlanarak ÜR-T-09272 Gövde Parça Astar Öncesi Silme, ÜR-T-09271 Minibüs, LR Astar Boya, ÜR-T-09260 LR Gövde Parça Macun, ÜR-T-09274 LR Yüzey Hazırlama ve ÜR-T-09259 LR Son Kat Boya Talimatlarına göre boyanır.

Boyanan gövde parçaları ÜR-T-09296 Boya Kontrol Kartı Kullanma Talimatına göre kontrol edilip, skid üzerinde boyanan gövde parçaları boyahane yükleme bandından montaj bandına alınır.

LR şase istasyonunda Üretim ve Tesis Mühendislik Biriminin ÜT-T-05203 Operasyon Sayfalarının Yayın ve Takip Sistemi talimatına göre şase toplandıktan sonra yürütür halde montaj bandına girer (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Land Rover üretim hattı

Bu sırada boyanmış gövde parçaları montaj bandındaki ilgili istasyonlarda ara montajlardan sonra yürüyen şaseye monte edilir.

Bütün montaj operasyonları ÜR-T-09290 no'lu LR Montaj Takip Kart. Doldurma Talimatı ve Üretim ve Tesis Mühendislik Biriminin ÜT-T-05203 Operasyon Sayfalarının Yayın ve Takip Sistemi talimatına göre göre yapılır.

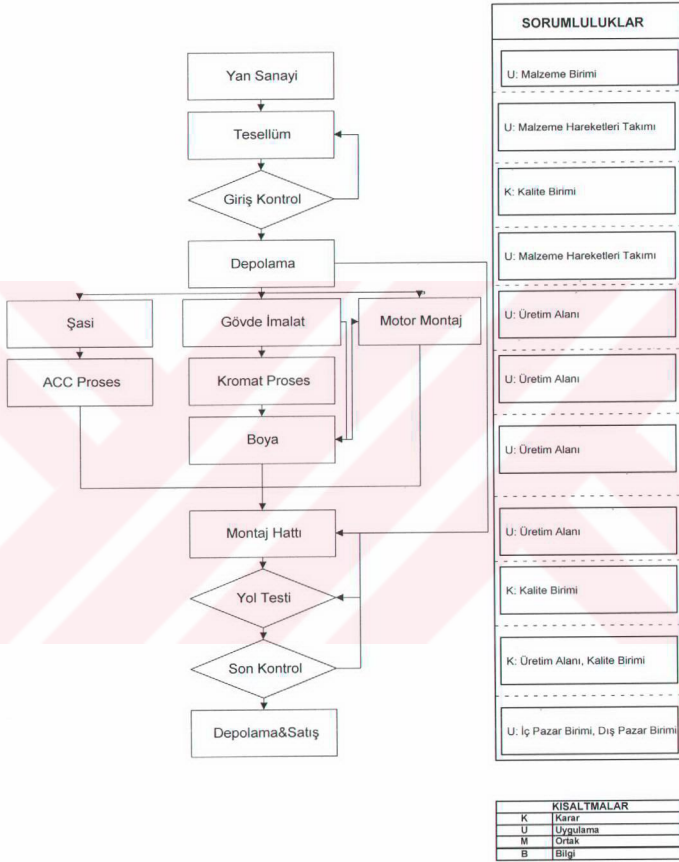
Bandın sonundaki rod ayar cihazı operasyon sayfalarına göre aracın rod balans ayarı yapıldıktan sonra ÜR-T-09261 Ziftleme Talimatına göre araç ziftlenerek KM-T-10244 Araç Test Talimatına göre yol testine çıkar. Yol testi dönüşü son işleme gelen aracın ÜR-T-09276 Son İşlem Takip Kartı Talimatına göre bakımı yapılarak hataları giderilir ve KM-T-10266 Araç Son Kontrol ve Teslimat Talimatına göre araç OK'lenerek Satış Sonrası Hizmetler Birimine teslim edilir.

Üretim olanaklarının, istenen kalitede ve miktarda ürünü, planlanan zamanda ve asgari maliyetle üretecek şekilde İlgili birim / takımların gerekiyor ise organize edilmesi veya koordine edilmesi görevi Üretim Alanı'na aittir. Üretimin, Otokar kalite standartlarına göre, ilgili imalat spesifikasyonlarına ve proses sayfalarına uygun gerçekleşmesini sağlayacak tedbirler Üretim Alanı tarafından alınır. Üretim Alanında çıkan veya tespit edilen uygunsuz durumlarda, sorun başta Kalite Birimi olmak üzere, ilgili birimlere bildirilir. Sorunun ilgili birimlerde çözülmesini takip eder, gerekiyor ise ilgili birimler arasında koordinasyon sağlar.

Üretim Plan ve Programları göz önünde bulundurularak, ilgili makina, teçhizat ve ekipmanların gözden geçirilmesi, bakım programlarının izlenmesi, gerekli ayar ve kalibrasyonların takibi ve yaptırılması, programa göre gerekli hammadde ve her türlü malzemenin temini için ilgili birimler ile koordinasyonun sağlanması, işgücünün planlanması ve uygulamaların takibi Üretim Alanı tarafından sağlanır.

Mevcut insan gücünün, istenen niteliklere uygunluğunun sağlanması amacı ile, eğitimlerin planlanması ve uygulanması, gerekli görülen durumlarda, onaylanan işgücü açığının karşılanması için, İnsan Kaynakları Birimi ile işbirliği yapılır. Üretim Alanı, üretimde kullanılan her türlü hammadde ve malzemenin uygun şekilde kullanıldığının takibinden, tüketilen veya mamul hale gelen ürünlerde kullanılan malzemelerin, mevcut sistemler içinde, iş emirlerinde kapatılarak kayıttan düşülmesinden, işletme malzemelerinin yeterli miktarlarda hazır bulundurulmasından sorumludur. İşletme içindeki personelin mesleki sağlık ve güvenlik kurallarına eksiksiz uyması Üretim Alanı'nda sağlanır. Tüm Montaj hatlarında, gerekli temizliğin taşeron firma ve/veya çalışanlar tarafından yaptırılmasını Üretim Alanı takip ve temin eder. Üretimle ilgili kayıtlar ilgili prosedür/talimatlarda belirtildiği şekilde Üretim Alanı ve Kalite Birimi'nce muhafaza edilir.

OTOKAR GENEL ÜRETİM AKIŞ ŞEMASI

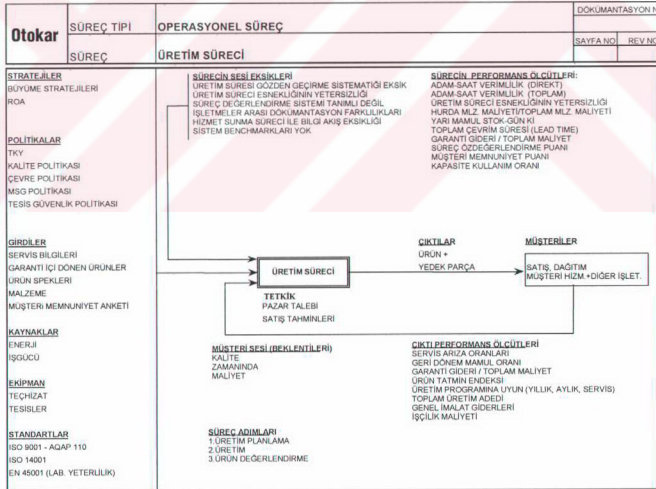


Şekil 5.5 Otokar üretim akış şeması

5.3. Süreç Yönetimi

Otokar'daki tüm süreçlerde olduğu gibi Üretim Süreci de genel olarak Şekil 5.6.'e göre incelenmektedir. Buarada süreç için geçerli olan stratejiler, politikalar, girdiler, kaynaklar ve standartlar belirtilmektedir. Bunlara ek olarak sürecin müşterileri, çıktıları, süreci tetikleyen unsurlar özetlenmektedir.

Geliştirme faaliyetleri için mevcudun fotoğrafını çekerek geliştirme fırsatlarını özetleyen sürecin sesi ve geliştirmenin sesi bölümleri ise süreç takımı tarafından belirlenmiş önemli noktaları göstermektedir. Bu doğrultuda izlenmesi gereken süreç çıktı ve performans ölçütleri ise bu seviye için altta belirlenmiştir. şirket içi vizyona doğru yönetim ile yaygınlaştırılan politika ve hedeflerde bu ölçütler esas olarak kullanılmaktadır [29].



Şekil 5.6 Üretim süreci

Yukarıda bahsi geçen müşterinin sesi, tümüyle müşterilerin bu süreçten beklentilerini müşterilerinin tanımlamasıyla yansıtmaktadır. Süreç yönetimimizdeki geliştirme faaliyetlerinde müşteri sesi ideal durumu yansıtmaktadır.

Geliştirme çalışmalarında proje gruplarının amacı sürecin sesini oluşturan ölçütlerin mümkün olduğu kadar müşterinin sesin tanımlanmış olan ölçütlere yaklaştırılması ve benchmarklar ve müşterinin sesi doğrultusunda bu ölçütler için belirlenen hedeflere ulaşılmasıdır. Burada sürecin sesi diye adlandırılan, sürecin mevcut düzeni içinde ölçülen performans göstergelerinin mevcut durumudur. Bu iki kavram arasındaki fark süreç geliştirme fırsatlarını göstermektedir.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneyler boyunca üst ve alt elektrod başlıklarının boy ve çapındaki değişim, kaynak yapılan alüminyum yüzeyindeki çökme miktarı, düğme çapı ve çekme-makaslama dayanımları ölçülerek grafiksel olarak bu değerlerin artan nokta sayısı ile değişimleri sunulmuştur.

Üst ve alt elektrod başlıklarının boyları, yaklaşık olarak 4000 nokta kaynağına kadar hızlı, bu değerden sonra ise yavaş bir şekilde azalma göstermiştir. Elektrod başlıklarının mantarlaşıma miktarlarında büyük bir yaklaşımla aynı sonucu vermiştir. Bunun nedeni, elektrod yüzeyinde ortaya çıkan ısının malzemeyi daha kolay plastik şekil değiştirebilir hale getirmesidir.

Elektrod başlıklarının uç çaplarındaki değişim esas alındığında, yine 4000 nokta sayısı civarında eğilimlerin eğiminin değiştiği, d_2 ile gösterilen çap değerinin üst elektrod için yaklaşık 8 mm alt elektrod için ise 9 mm civarında kısmen sabit kaldığı görülmüştür. Nokta kaynakları boyunca, işlem gereği elektrodun parçaya hızlı yaklaşması ve basınç uygulaması, hemen ardından akım geçmesi nedeniyle, hem elektrod hem de parça yüzeyinin ısınmasının ve deformasyonunun kolaylaşmasının yanı sıra, elektrod yüzeyinin kenarında deformasyon miktarının ve ortasında soğutma suyunun etkisinin daha fazla olmasından dolayı, elektrod ucunun ikinci bir yüzey oluşmaktadır.

Çekme makaslama dayanımlarının nokta kaynağı sayısı ile değişimleri incelendiğinde, numunelerin dayanımlarının 10000 kaynak sonunda ilk değerden daha düşük olmadığı görülmüştür. Bu sonuç, düğme çapındaki artışla birlikte değerlendirildiğinde elektrod yüzeyi büyürken düğme çapının da büyüklüğü ancak çekme makaslama dayanımında aynı oranda bir artış olmadığı görülmektedir. Ulaşılan sonuç, elde edilen kaynakların yüksek mukavemetli ve güvenilir olduğu anlamına gelmemektedir.

Bunun nedeni, elde edilen diğer değerlerin ve numune kaynaklarının görüntülerinin, bu değer kritik olabileceğini, dolayısıyla 10000 noktadan sonraki herhangi bir kaynağın özellikle yüzey kalitesi bakımından tatmin edici olmayacağını göstermektedir. Çekme makaslama deneyi sonucunda çekirdek oluşumu azalmakta bu nedenle mukavemet azalmaktadır.

Yukardaki açıklamalar ışığında, yaklaşık olarak 4000-4500 noktadan sonra elektrod başlıklarının traşlanması gerektiği kanısına varılabilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde izlenen yöntem yalnızca belli kaynak parametreleri için geçerli olup, farklı değerlerde aynı malzemelerin nasıl sonuçlar vereceği konusunda ilave deneylere ihtiyaç vardır.

Bu amaçla, belli bir elektrod başlığı ile belli bir sac malzemenin farklı parametre değerlerinde vereceği sonuçların belirlenebilmesi ve bu parametrelerle nokta kaynağı sayısının değişimini gösteren zarf eğrilerinin elde edilebilmesi için otomasyona dayalı bir çalışma gerekmektedir. Yine de bu yöntem, elektrodların ömürleri ve traşlanma periyodlarının belirlenmesi için fikir vermektedir. Ayrıca, öngörülen traşlanma periyotlarına bağlı olarak, deneyler sırasında belli aralıklarla traşlama yapılması suretiyle elektrod başlıklarının ömrü ile ilgili tahminler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ERYÜREK, B., 1995, Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları, 1-15.
- [2] ANIK, S., VURAL, M., 1993. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt I, Kaynak Yöntemleri ve Donanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 186-209
- [3] ANIK, S. , 199, Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, İstanbul, 124-133.
- [4] Metals Handbook, ASM, 1983, 1983. Ninth Edition, Volume 6, Welding Brazing, and Soldering, Resistance Spot Welding, U.S.A., 469-493
- [5] VURAL, M., 1998. Elektrik Direnç Kaynağı Seminer Notları
- [6] N.N., 1993. Taschenbuch DVS-Markblaetter Widerstandschweisstechnik, Fachbuchreihe Schweisstechnik, Band 68-III, DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [7] DVS 2902, 1978. Widerstandspunktschweissen von Stählen bis 3mm Einzeldicke, Taschenbuch DVS-Markblaetter Widerstandschweisstechnik.
- [8] Çoşkunöz A.Ş., Önerilen Alüminyum Kaynak Parametreleri
- [9] Budakoğlu, M., 1990, Ford Otosan – Direnç Kaynağı Teknolojisi Bilgileri
- [10] YAĞMUR, S., ŞENAY, M.A., 1996. Punta Kaynağının Esasları, Uluslararası Kaynak Teknolojisi '96 Sempozyum Bildirileri, Gedik Eğitim Vakfı, 223-234.
- [11] Welding Handbook, 1973. Sixth Edition, Section 5, Applications of Welding, Chapter 90, American Welding Society.

- [12] Otokar Process Sheets, LR0260.0065
- [13] Nippert Dawson Ltd., 1997. Resistance Spot Welding
- [14] Vanlı, E., 1984 Otomotiv Endüstrisi Karoseri İmalatında Elektrik Direnç Kaynağı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Nimak, 1996. Ürün Kataloğu.
- [16] DVS 2902, 1974. Elektroden für das Widerstandschweißen, Taschenbuch DVS-Markblaetter Widerstandschweisstechnik
- [17] TS 6062 (EN 25184), 1998. Düz Direnç Nokta Kaynak Elektrodları, Tasarı, 1. Mütalaa, 19981468, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [18] TSE Standard Veritabanı, 1998.”<http://www.tse.org.tr/tseNETtr/>”, Standard Arama Sonuçları
- [19] DORWEILER, F., Krüger, U., 1971 Feuerverzinktes Feinblech, Merkblatt Stahl 386, 3-36.
- [20] Matting, A., Krüger, U., 1967. Stanzeitungenmit Molybdaen-und Wolfram-Elektroden beim Punktschweißen verzinkter Feinbleche, Baender, Bleche, Rohre 8, Nr.5 und 6.
- [21] Krause, H. J., Simon, G., 1981 Standmengen von Punktschweisseelektroden abhacingig von varierten Einflussgrößen, DVS Berichte 70- 85-100.
- [22] DEFOURNEY, J., LEROY, V., 1989. Compared Possibilities and Limitations of Resistance Spot Welding Joints in Coated Steel Sheets, DVS Berichte 124, 26-31.
- [23] KALDER, “ISO 9000 Kalite Güvencesi Eğitim Notları”, 1993

- [24] KOBU, B., “Endüstriyel Kalite Kontrolü”, İ.Ü., İstanbul, 1987
- [25] GÖZLÜ, S., “Endüstriyel Kalite Kontrol”, İ.T.Ü. İstanbul, 1991
- [26] FEIGENBAUM, A., “Total Quality Control”, 1991
- [27] JURAN, J.M., “ Quality Control Handbook”, 1974
- [27] KM-T-10272 Otokar Proses Audit Talimatı
- [28] ÜR-P-09201 Otokar Üretim Prosedürü
- [29] TÜSIAD –KALDER Kalite Kongresi Sunuşları Kitabı, 1999
- [30] ARSLANLAR, S. 1999. Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımli Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti, Doktora Tezi
- [31] Land Rover QZ Process Audit Notes
- [32] Otokar Land Rover Defender Kalite El Kitabı
- [33] Arslanlar Kaynak Metal, Ürün Kataloğu, 1996
- [34] Seydişehir Alüminyum , 1997 Ürün Kataloğu
- [35] ASAŞ Alüminyum , 1999 Malzeme Kalite Kontrol Raporu

Ek. A

Direnç nokta kaynağı elektrodları ile ilgili TSE standartları Tablo A.1’de belirtilmiştir. Bu tabloda yer alan standartlar, Türk Standardları Enstitüsü’nün internet sayfalarında bulunan veritabanındaki arama sonuçlarıdır. [18]

Tablo A.1 Direnç nokta kaynağı elektrodları ile ilgili TSE standartları

TS Numarası	Standartın Başlığı
TS 6062	Elektrod Uçları – Nokta Kaynağı İçin
TS 8795	Direnç Nokta Kaynağı-Elektrod Adaptörleri, 1: 10 Konikleştirilmiş Dişi Adaptörler – Kurallar
TS 8796	Direnç Nokta Kaynağı-Erkek Elektrod Başlıkları – Kurallar
TS 9326 EN 25827	Nokta Kaynağı-Elektrod Arkalıkları ve Elektrod Tutucuları
TS EN 25183-1	Direnç Nokta Kaynağı, Elektrod Adaptörleri, 1:10 Erkek Konik-Kısım 1: Konik Sabitleme 1:10 Konik
TS EN 25183-2	Direnç Nokta Kaynağı, Elektrod Adaptörleri, 1:10 Erkek Konik-Kısım 2: Çakma Uçlu Elektrodlar İçin Paralel Yanaklı Sabitleme
TS EN 25821	Direnç Nokta Kaynağı, Elektrod Başlıkları
TS EN 28430-1	Direnç Nokta Kaynağı- Elektrod Tutucuları- Kısım 1: Konik Uç Sabitlemesi 1: 10
TS EN 28430-2	Direnç Nokta Kaynağı- Elektrod Tutucuları- Kısım 1: Mors Konik Sabitlemesi 1: 10
TS EN 28430-3	Direnç Nokta Kaynağı- Elektrod Tutucuları- Kısım 3: Çakma Uç İçin Paralel Yanaklı Sabitleme
TS EN 29313	Direnç Nokta Kaynağı Soğutma Boruları
TS 9316	Nokta Kaynağı-Elektrod Arkalıkları ve Bağlama Takozları- Boyutlar ve Özellikleri

EK. B

Sistemin gözden geçirilmesi ve denetimi proses auditleri ile yapılmaktadır. Land Rover imalat hattında nokta kaynağı yapılan proseslere audit yapılmış olup, sonuçları nokta kaynak proses audit raporu Tablo B1’de belirtilmiştir [18].

Tablo B.1 Nokta kaynak proses audit raporu

Otokar		PROSES AUDİT SAYFASI		Rapor No:	2000/12
				Sayfa No:	1/2
İŞ MERKEZİ: LAND ROVER GÖVDE İMALAT HATTI-					
Prosesi ilgilendirmeyen bir konu başlığında hedef puanın tamamını ver.		PUAN		AÇIKLAMALAR	
		HEDEF	GERÇEK		
BÖLÜM A - PROSES					
1.0. PROSES DÖKÜMANLARI				Dökümanların son revizyonları takip edilmeli. Proses anlaşılır olarak tanımlanmıştır. İngilizce tanımların türkçe açıklanması gereklidir. Dökümanlar güncel fakat etkin değildir.	
1.1. Proses dökümanları son revizyonları takip ediyor mu?		5	4		
1.2. Proses açık ve kolay anlaşılır mı? Anlaşılabilir dil ve kısaltmalar olmamalı.		2	2		
1.3. Çalışma alanındaki dökümanlar güncel ve etkin mi?		3	2		
2.0. PROSES SIRASI				Proses sıralamasında işçinin eğitimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çalışan metododu(operasyon sayfası) uyguluyor.	
2.1. Proses dökümanlarında detaylandırılmış sıraya uyuluyor mu? (3 defa incele)		5	4		
2.2. Çalışan, tanımlı metodu mu uyguluyor?		5	5		
3.0. PROSES KONTROL				Proses belirlenmiş yerde yapılmaktadır. Faaliyetler kontrol dışına taşınmamaktadır. Verilerle aşama göstergeleri istatistiksel takip edilmemektedir. Gereksinimler Proses dökümanında mevcuttur.	
3.1. Proses kontrolü, belirlenmiş yerde mi yapılıyor?		3	3		
3.2. Faaliyetler, kontrol noktalarının dışına taşıyor mu?		2	2		
3.3. Grafikler güncel ve gösteriliyor mu?		2	1		
3.4. Gereksinimler, proses dökümanlarında kayıtlı mı? (Proses kontrolü gerekmiyorsa tam puan)		1	1		
4.0. EĞİTİM				Proses, yapanlar eğitilmiş fakat eğitimleri tekrar gözden geçirilmeli. Eğitim kayıtları mevcut. Etkin eğitim alınmamıştır. Eğitimlerin tekrarı gereklidir, proses parametreleri gözden geçir	
4.1. Prosesi yapanlar, proses ile ilgili eğitim almışlar mı?		5	5		
4.2. Eğitim kayıtlı mı?		1	1		
4.3. İş merkezinde çalışanlar (mevcut olmayanlar da dahil) eğitim almış mı?		2	1		
BÖLÜM A TOPLAM PUANI		36	31		
BÖLÜM B - EKİPMAN / ÇALIŞMA ALANLARI					
5.0. EKİPMAN / ÇALIŞMA ALANI				Ekipmanlar tanımlı olup ekipmanın tüm fonksiyonları tam olarak kullanılmamaktadır. Belirlenmiş ekipmanlar kullanılmakta. Kalibrasyon sistemi etkin olarak uygulanmakta. Kullanım alanı tanımlı fakat karışık muhafaza edilmektedir. Düzenleme gerekli. Koruyucu kıyafetler mevcut ve kullanılmaktadır.	
5.1. Gerekli ekipman, proses dökümantasyonunda açıkça belirtilmiş mi?		4	3		
5.2. Belirlenmiş ekipmanlar mı kullanılıyor?		4	4		
5.3. Alet ve ekipmanların kalibrasyonlu mu?		2	2		
5.4. Ekipmanlar kullanılmadığında gerektiği şekilde saklanıyor mu?		2	1		
5.5. Tavsiye edilmiş olan koruyucu kıyafetler mevcut ve kullanılıyor mu?		2	2		
5.6. Çalışma alanının aydınlatması yapılacak iş için uygun mu?		3	3		
BÖLÜM B TOPLAM PUANI		17	15		
BÖLÜM C - KALİTE KONTROL					
6.0. PROBLEMLER				Bilgilendirme yapılmaktadır. Proses Durdurulmakta olduğu bilinmemektedir. Sistem etkin değil, takım çalışması yapılmı.	
6.1. Çalışanlar, auditte saptanan problemleri biliyorlar mı?		5	5		
6.2. Operasyonda hata olursa ne yapılması gerektiği biliniyor mu?		5	5		
6.3. Bilinen problemler için önleyici faaliyet uygulanıyor mu?		5	3		

Tablo B.1 Nokta kaynak proses audit raporu (devam)

Otokar		PROSES AUDİT SAYFASI		Rapor No:	2000/12
				Sayfa No:	2/2
7.0. DİKKAT GEREKTİREN NOKTALAR					
7.1. Proses dokümanlarında kalite standardı, spekle, dikkat gerektiren noktalar gibi detaylandırılmış kriterler mevcut mu?	3	3	Kalite standartlarımız mevcut ve tanımlıdır.		
7.2. Çalışanlar, dikkat gerektiren noktalarda nelerin gerekli olduğunu biliyorlar mı? (Dikkat gerektiren noktalar yoksa tam puan)	3	2	Çalışanlar nelerin gerekli olduğunu bilmektedir. Kullanıcının nitelikli eleman olması zorunludur.		
8.0. GÖRSEL DESTEKLER					
8.1. Görsel destekler, işçilik kriterleri mevcut ve güncel mi? Doğru yerde gösteriliyor mu?	3	3	İşçilik kriterleri panolarda tanımlı ve günceldir.		
8.2. Çalışanlar, görsel desteklerde, işçilik kriterlerinde nelerin gerekli olduğunu biliyorlar mı? (Görsel destekler yoksa tam puan)	3	3	İşçilik kriterleri çalışanların eğitim seviyesi ve tecrübesine bağlı olarak kullanılmaktadır.		
9.0. HASAR KONTROLÜ					
9.1. Çalışanlar, kullanılan parçaların ve ürünün hasar görmemesi için dikkat ediyorlar mı?	5	4	Kullanılan parçaların ve ürünün hasar görmemesi için daha özen gösterilmesi gerekli.		
9.2. Belirtilmiş olan koruma yöntemleri kullanılıyor mu?	4	3	Koruma yöntemlerinde iyileştirme gerekli.		
9.3. Hasar görebilecek bölgeler çalışanlarca biliniyor mu?	3	3	Çalışanlar tarafından bilinmektedir.		
BÖLÜM C TOPLAM PUANI		39	34		
BÖLÜM D - MALZEME KONTROLÜ					
10.0. KOMPONENTLER, MALZEMELER & BAĞLANTI ELEMANLARI					
10.1. Kullanılan malzemeler, proses dokümanlarında parça numaraları ve tanımları veriliyor mu?	4	3	Proses dokümanlarında tanımlı parçalar haricinde parçalar kullanılmakta.		
10.2. Uygun malzemeler açıkça tanımlanmış ve yerlerinde mi?	1	1	Uygun malzemeler claim regallerindedir.		
10.3. Malzeme kontrolü proses dokümantasyonunda belirtilmiş ve uygulanıyor mu?	1	1	Operasyon sayfalarında tanımlı proseler uygulanmaktadır.		
10.4. İlk giren ilk çıkar prensibine uyuluyor mu?	1	1	İlk giren ilk çıkar prensibi uygulanmaktadır.		
10.5. Ömürlü malzemeler ile ilgili stoklama şartına dikkat ediliyor mu?	1	1	Ömürlü malzeme kullanımı bilinmektedir.		
BÖLÜM D TOPLAM PUANI		8	7		

0 - 49	YETERSİZ KONTROL
50 - 79	ZAYIF
80 - 94	SINIRLI
95 - 99	GELİŞTİRME GEREKTİRİYOR
100	PROSESE TAM OLARAK UYGUN

BÖLÜM PUANLARI				TOPLAM
A	B	C	D	
31	15	34	7	87

AÇIKLAMALAR:

Eğer DÖF verilmiş ise numaraları yaz:

Auditör	İş Merkezi Sorumlusu	Onay
HALDUN TURAN	LAND ROVER GÖVDE İMALAT	KALİTE MÜDÜRÜ

Dağıtım: ☐ Üretim Alanı ☐ Ürün Müh.Birimi ☐ Diğer: GENEL MÜDÜR YRD. ÜRETİM
☐ Üretim ve Tesis Müh.Bir. ☐ Ar-Ge Birimi

ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Samsun'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Samsun'da, lise öğrenimini İstanbul Kabataş Erkek Lisesinde tamamladı. Ankara Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği bölümünden 1989 yılında mezun oldu. 1989-1992 yılları arasında Etibank Genel Müdürlüğü'nün işletmesi olan Elazığ Ferrokrom İşletmesinde Yöneylem (Mühendisliği) ve İşletme Mühendisliği görevlerinde bulundu. 1992 yılında Kısa dönem (8 aylık) askerlik sonrası, Etibank Genel Müdürlüğü Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı Avrupa Topluluğu İlişkiler ve Fizibilite Hazırlama Müdürlüğü'nde Proje Mühendisi olarak 1995 yılına kadar görev yaptı. 1993-1994 yılları arasında Ankara Üniversitesi Avrupa Topluluğu Araştırma ve Uygulama Merkezi(ATAUM)'nden uzmanlık eğitimi aldı. 1995 yılında özel sektöre geçerek Eskişehir Eti Bisküvileri A.Ş.'de Kalite Planlama Şefi olarak 1996 yılına kadar çalıştı. 1996-1997 yılları arasında Sabancı Grubu şirketlerinden, Adana PİLSA A.Ş.'de Kalite Güvence ve Planlama Uzmanı olarak çalıştı. Ekim 1997 tarihinden beri Koç Holding Otomotiv Şirketlerinden birisi olan Otokar A.Ş.'de Kalite Güvence Takım Lideri olarak görev yapmaktadır. Yeditepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansı(MBA) bitirdi. Sürekli gelişme ve bilgisini paylaşma felsefesi doğrultusunda, çok çeşitli eğitimler aldı ve almaktadır. Tahribatsız muayene yöntemlerinden Sıvı Penetrant ve Manyetik Parçacıkla Muayene tekniklerinden NDT 1 sertifikasına sahiptir. Evli ve bir çocuk babasıdır.