

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DARBE SÖNÜMLEYİCİ
PARÇANIN NOKTA DİRENÇ KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

HÜSEYİN TÜRKOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FERHAT DİKMEN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DARBE SÖNÜMLEYİCİ
PARÇANIN NOKTA DİRENÇ KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

FERHAT DİKMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.05.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ferhat DİKMEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ferhat DİKMEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cemal BAYKARA
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tezde, otomotiv sektöründe sıkça kullanılan bir birleştirme yöntemi olan, elektrik punta kaynak metodunun kullanım alanları, yapılışı, teorik altyapısının hazırlanması, bu metoddaki kaynak kalitesine etki eden faktörleri, tahribatlı ve tahribatsız test yöntemlerinin uygulanmasını inceleyeceğiz. Tez iki kısımdan oluşacaktır. İlk kısımda elektrik nokta direnç kaynağıyla ilgili literatür özeti detaylı olarak anlatılacaktır. İkinci kısımda ise, deney numunesi olarak seçilmiş parçada nokta direnç kaynak kalitesine etki eden konular işlenecektir.

Deneysel kısımda, deney parçasının malzeme bilgileri, punta noktaları, kaynak parametreleri, montaj şekli, tahribatlı yöntemlerden koparma, çekme, sertlik testleri yapılacak, tahribatsız yöntemlerden ise ultrasonik yöntem ve gözle kontrol testleri ile kaynak kalitesinin tayini yapılacaktır.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni sürekli şevklendiren, hayatım boyunca her zaman yanımda olarak desteğini hiç bir zaman serigemeyen sevgili annem Altın TÜRKOĞLU'na, babam Cafer TÜRKOĞLU'na, ağabeyim Hasan TÜRKOĞLU'na ve kardeşlerim İbrahim ve İsmail TÜRKOĞLU'na; bütün bu süreçlerde her türlü konuda fikir alışverişi yaptığım, meslektaşım sevgili eşim Merve TÜRKOĞLU'na, tez çalışmalarım boyunca sabırla her türlü konuda beni desteklediği için Sn. Prof. Dr. Ferhat DİKMEN'e, bu testler sırasında teknik doküman, ekipman ve cihaz desteği veren Yıldız Kalıp A.Ş.'ye, çalışmalar sırasında desteğini eksik etmeyen Dr. Gökhan BAŞMAN'a, Bülent Cantekin'e canı gönülden teşekkürlerimi iletirim.

Mayıs, 2016

Hüseyin TÜRKOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
OTOMOTİV SANAYİİ'NDE KAYNAK PUNTA KAYNAK	4
2.1 Kaynak Birleştirme Yöntemi.....	5
2.2 Elektrik Direnç Kaynağı	5
2.3 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri	7
2.3.1 Nokta Direnç Kaynağı	8
2.3.2 Dikiş Kaynağı	11
2.3.3 Kabartı Kaynağı	13
2.3.4 Yakma Alın Kaynağı.....	15
2.3.5 Basınç Alın Kaynağı	16
2.4 Elektrik Direnç Kaynak Kabiliyeti	17
2.5 Kaynak Çevrimi.....	18
2.6 Direnç Nokta Kaynağını Etkileyen Parametreler.....	19
2.6.1 Kaynak Akımının Etkisi	19
2.6.2 Kaynak Süresinin Etkisi	21

2.6.3	Elektrot Bileşiminin ve Şeklinin Etkisi	24
2.6.4	Kaynak Kuvvetinin Etkisi	26
2.6.5	İş Parçası Malzemesinin Etkisi	27
2.6.6	İş Parçaları Yüzeylerinin Etkisi	29
2.6.7	Isı Kaybının Etkisi	32
2.6.8	Elektrot ve İş Parçası Temas Durumu Etkisi.....	33

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR, TESTLER VE YORUMLANMASI	35
3.1 Deney Parçasının Malzeme Özellikleri.....	35
3.2 Deney Parçasının Montajlama Bilgileri	37
3.3 Deney Parçasının 3 Boyutlu Ölçüm İle Doğrulanması.....	42
3.4 Punta Kaynak Parametreleri	43
3.5 Hasarlı Muayene Çalışmaları	45
3.5.1 Çekirdek Oluşumu	45
3.5.2 Makroskopik İncelemeler	47
3.5.3 Nüfuziyet Testi ve Hesabı	50
3.5.4 Çökme Ölçümleri	52
3.5.5 Koparma Testi / Punta Çekirdek Çapı Hesabı	56
3.5.6 Sertlik Testi	60
3.5.7 Çekme Testi	63
3.6 Hasarsız Muayene Çalışmaları	65
3.6.1 Ultrasonik Test.....	65
3.6.2 Görsel Kontrol.....	70

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR.....	77
EK-A	
ULTRASONİK TEST SONUÇLARI	79
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGE LİSTESİ

d	Çap
d_p	Puntanın çekirdek çapı
d_e	Elektrot ucu çapı
F	Kuvvet (N)
I	Akım (A)
K_t	Isı iletim katsayısı
Q	Isı
R	Direnç
s	Sac kalınlığı
s_p	Punta nüfuziyet kalınlığı
$s_ç$	Levhaların çökme kalınlığı
S	Kaynak kabiliyeti
t	Zaman (s)
T	Periyot
T_{em}	Metalin ergime sıcaklığı (°C)
τ	Çekme makaslama dayanımı
α_t	Isı iletkenliği (cal/cm.s)

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Norms
ERD	Erdemir
FRP	Fiber Reinforced Plastic
HAZ	Heat Affected Zone
HRC	Hardness of Rockwell
ISO	International Standards Organisation
3D	Three Dimension

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Birleştirme yöntemleri	6
Şekil 2. 2 Nokta direnç kaynak makinesinin elektriksel sistemi.	8
Şekil 2. 3 Nokta direnç kaynağı ve çekirdek oluşumu.	9
Şekil 2. 4 Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi.	10
Şekil 2. 5 Nokta direnç kaynağının prensibi	11
Şekil 2. 6 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı	11
Şekil 2. 7 Dikiş kaynağı dikiş çeşitleri	12
Şekil 2. 8 Dikiş kaynağı prensibi.....	13
Şekil 2. 9 Kabartılı punta kaynağı prensibi.....	14
Şekil 2. 10 Kabartılı kaynak şematik resmi; sol) tekli kabartılı kaynak, sağ) çoklu kabartılı kaynak	15
Şekil 2. 11 Yakma alın kaynağı prensibi.....	16
Şekil 2. 12 Direnç nokta kaynağına etki eden faktörler şematik gösterim.....	18
Şekil 2. 13 Nokta direnç kaynağının çevrimi	19
Şekil 2. 14 Direnç nokta kaynağında kaynak akımının bağlantının çekme makaslama dayanımına etkisi.	20
Şekil 2. 15 Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri [8].....	22
Şekil 2. 16 Kaynak kabiliyeti diyagramı, akım ve zamana bağlı.....	23
Şekil 2. 17 Direnç kaynağında tipik akım ve basınç çevrimi	24
Şekil 2. 18 Standart elektrot uç şekilleri.....	25
Şekil 2. 19 Elektrot tasarımı (Düz elektrot ile sağ yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması)	27
Şekil 2. 20 Elektrotların (a, b) temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri	33
Şekil 2. 21 Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar	34
Şekil 3. 1 Deney parçası.....	37
Şekil 3. 2 Deney parçasının detay parçaları ile montaj hali.....	38
Şekil 3. 3 OP-10 nolu punta noktaları.....	39
Şekil 3. 4 OP-20 nolu punta noktaları.....	39
Şekil 3. 5 OP-30 nolu punta noktaları-1	40
Şekil 3. 6 OP-30 nolu punta noktaları-2	40
Şekil 3. 7 Deney parçasının 3D ölçüm sonucu-1.....	42
Şekil 3. 8 Deney parçasının 3D ölçüm sonucu-2.....	43

Şekil 3. 9	Deney parçasının fikstürü	43
Şekil 3. 10	Servo tabancalı punta kaynak robotu	44
Şekil 3. 11	Punta kaynağında ikili sacların çekirdek oluşum şeması	46
Şekil 3. 12	Üçlü sac plakaların elektrik punta kaynağı işleminde çekirdek oluşumu	46
Şekil 3. 13	Punta kaynak oluşum diyagramı	47
Şekil 3. 14	OP10-P2 puntasının makroskopik incelemesi.....	48
Şekil 3. 15	OP20-P3 puntasının makroskopik incelemesi.....	49
Şekil 3. 16	OP20-P5 puntasının makroskopik incelemesi.....	49
Şekil 3. 17	OP30-P4 puntasının makroskopik incelemesi.....	50
Şekil 3. 18	OP30-P14 puntasının makroskopik incelemesi.....	50
Şekil 3. 19	Çift sacın punta kaynağında, punta çapının belirlenmesi	51
Şekil 3. 20	Üç sacın punta kaynağında, punta çapının belirlenmesi	52
Şekil 3. 21	Punta çekirdeğinde çökme.....	54
Şekil 3. 22	Saclardaki çökmenin ölçülmesi-1.....	54
Şekil 3. 23	Saclardaki çökmenin ölçülmesi-2.....	54
Şekil 3. 24	Teardown yöntemiyle puntaları koparılmış deney parçası	58
Şekil 3. 25	Çekirdeğin düzgün çıkması durumunda çekirdek çapı hesabı	58
Şekil 3. 26	Çekirdeğin kopması durumunda çekirdek çapı hesabı	58
Şekil 3. 27	Çekirdeğin düzgün çıkmaması durumunda çekirdek çapı hesabı.....	59
Şekil 3. 28	Örnek olarak üçlü sacların punta çekirdek çap hesabında baz alınacak sac kalınlıkları.....	59
Şekil 3. 29	Punta çekirdeğinin sertlik testi	62
Şekil 3. 30	Çekme testi şematik düzeneği	63
Şekil 3. 31	1,6 mm-2,3 mm OP20-P3 nolu puntanın kopma testi	64
Şekil 3. 32	1,8 mm-2,3 mm OP20-P3 nolu puntanın kopma testi	64
Şekil 3. 33	Manüel Ultrasonik test.	65
Şekil 3. 34	Ultrasonik test sırasında kullanılan G20MN5-6 tipi probalar.	66
Şekil 3. 35	Direnç punta kaynağında ultrasonik test sekansları	67
Şekil 3. 36	Uygun (OK) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği	67
Şekil 3. 37	Uygun olmayan, yanık (burnt) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği...	68
Şekil 3. 38	Uygun olmayan, yapışmış (stick weld) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği.....	68
Şekil 3. 39	OP10-P9, OP20-P5, OP30-P9, OP30-P10, OP30-P13 puntalarının görsel kontrolleri.....	72

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımlar-1..... 25
Çizelge 2. 2	Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımlar-2..... 25
Çizelge 2. 3	Malzeme ve levha kalınlığının göre elektrot kuvveti..... 27
Çizelge 2. 4	Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri-1..... 28
Çizelge 2. 5	Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyet faktörleri-2..... 28
Çizelge 2. 6	3mm kalınlığa kadar alaşımsız ve düşük alaşımlı, kaplanmamış ve yüzeyi kaplanmış haldeki çeliklerin nokta kaynak abiliyeti..... 29
Çizelge 2. 7	Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları..... 31
Çizelge 3. 1	Deney parçası detay parçalarının malzeme özellikleri..... 36
Çizelge 3. 2	Deney parçası detay parçaları malzeme özellikleri eşleşmesi..... 38
Çizelge 3. 3	Punta kümesi noktaları tablosu ve punta özellikleri..... 41
Çizelge 3. 4	OP-10, OP-20, OP30 için punta kaynak parametreleri..... 44
Çizelge 3. 5	Kabul Edilebilir ve İstenmeyen Punta Çapları..... 47
Çizelge 3. 6	Makroskopik test sonuçları ile teorik nüfuziyet değerlerinin kıyaslanması ve sonuçları..... 52
Çizelge 3. 7	Makroskopik test sonuçları ile teorik çökmelerin kıyaslanması..... 55
Çizelge 3. 8	Puntaların çökme miktarları..... 55
Çizelge 3. 9	Puntaların çekirdek çap ölçüm sonuçları..... 59
Çizelge 3. 10	Çekirdeğin sertlik değer tablosu..... 62
Çizelge 3. 11	Sac kalınlığına göre çekme dayanım tablosu..... 64
Çizelge 3. 12	Çekme testi sonuçları..... 65
Çizelge 3. 13	Punta kümesi içerisindeki puntaların kalite yönünden olarak kabul sınırları..... 69
Çizelge 3. 14	Ultrasonik punta ve punta kümeleri sonuçları..... 70

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DARBE SÖNÜMLEYİCİ PARÇANIN NOKTA DİRENÇ KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Hüseyin TÜRKOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ferhat Dikmen

Nokta direnç kaynak metodu günümüzün otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv tedarik endüstrisinde gövde imalatında yaygın kullanılan bu yöntem, yüzlerce robottan oluşan üretim hatlarında, sayısı 100'ü aşan farklı istasyonda farklı kaynak parametrelerinde ve tasarımı birbirinden değişik parçaların birleştirilmesi sırasında kullanılmaktadır. Nokta direnç kaynak yöntemi, noktasal bir alanda dayanım sağladığı için, bu alanda yüksek kuvvet yığılmaları oluşmaktadır. Tasarım olarak uygun olan bir parçada istenen dayanıma sahip olmayan bir punta olduğunda, yerel kırılmalar ve kopmalar kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle de, punta kaynak çekirdeklerinin kalitesinin ölçülmesi; otomotiv sektöründeki kalitenin ve güvenlik şartlarının günden güne arttığı, maliyetlerin azaltıldığı rekabetçi bir ortamda, firmaların seri üretim şartlarında sürekli kontrol altında tutmak zorunda kaldıkları bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kadar yüksek öneme sahip bir kaynak işleminin kalitesinin sürekli kontrol altında tutulması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak hasarlı ve hasarsız muayene yöntemleri şeklinde 2 başlık altında toplanabilir.

Bu kapsamda, bu çalışma ile otomotiv sanayiinde kullanılan darbe sönmüleyici bir parçanın nokta direnç kaynak kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, parçayı oluşturan detay parçaların malzeme kaliteleri, montaj şekilleri, punta noktaları, punta

parametreleri belirlenmiş ve parçanın montajlı halinin elde edilmesi sağlanmıştır. Devamında, hasarlı testlerden çekme, koparma, sertlik testleri; hasarsız test yöntemlerinden gözle ve ultrasonik test yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak bulunan değerler standartlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Punta kaynak, hasarlı muayene, hasarsız muayene, direnç nokta kaynak kalitesi, punta kalitesi



**THE OPTIMIZATION OF THE SPOT WELDING PARAMETERS OF A SHOCK
DAMPING PART USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY**

Hüseyin TÜRKOĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ferhat DİKMEN

Spot welding method for joining parts has a common usage area in today's automotive industry. The spot welding method that used in automotive industry to produce white-body of the vehicles extremely common is applied to the mass production lines working with hundreds of robotic systems and consisting of hundreds of different production stations in order to get the parts having large extensive designs with different welding parameters. There occurs a great stress accumulation because of the fact that the spot welding releases a point endurance. If a design problem is seen on this point, this can cause catastrophic results. Spot welding Measurement of quality and strength of spot welding nuggets has gained a great importance in process design and mass production progresses as consequence of increasing competition in the automotive sector, reducing the costs, and rising the security and quality requirements. It is inevitable to take under control the quality control conditions this type of important welding method constantly. In order to succeeded this aim, destructive and non-destructive test methods are practiced in automotive industry.

Within this scope, a part that is used in automotive industry is selected in order to identify the spot welding quality. First of all, the bill of material, material properties of bottom parts, assembly order, spot welding parameters were defined and then test part is produced in control of the selected conditions. Chisel test, tensile test, hardness test

methods were used as the type of the destructive tests; and also visual and ultrasonic test methods were used as the type of the non-destructive tests. Finally, the theoretical and experimental results were compared to identify the spot welding quality.

Keywords: spot welding, destructive test, non-destructive test, resistance spot welding quality, spot welding quality



1.1 Literatür Özeti

Nokta direnç kaynak metodu özellikle otomotiv sanayiinde sıkça kullanılan bir birleştirme metodudur. Bu konuda, akademik makaleden ziyade, özellikle ana sanayilerde oluşmuş tecrübelerin birleştirilmesi ile meydana gelen standartlar mevcuttur. Özellikle punta kaynağın, kaynak parametrelerinin değişimi ile nasıl etkilendiğini belirten çalışmalar yapılmıştır. Sonraki bölümde bu konulara detaylı olarak yer verilmiştir.

Bu kaynak yöntemindeki ana amaç kaynak süresinin azaltılmasıdır. Bunu sağlamanın yolu ise akım ve basıncı artırımıyla olmaktadır. 1 çevrimin 1/50 saniye olduğunu baz alarak, bu konuyla ilgili yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Boraan ve Salman [1], 6114 çelik sac malzemeleriyle 250A'de yaptığı deneyde 1 saniye sürede yapılan kaynağın çekme dayanımı 10.947 N olurken; 2 saniye içerisinde yapılan puntanın dayanımı ise 14.210 N olarak bulunmuştur. Punta çapı ise 6,9 mm'den 9,45 mm'ye yükselmiştir.
- Yavuz ve Güner [2], metal tozlarının preslenmesi ile meydana getirilen parçaların elektrik nokta direnç kaynak testlerinde, artan kaynak akım zamanlarıyla, 3, 5, 7, 9 çevrim içerisinde oluşan çökmelerin derinlikleri sırasıyla 220, 260, 510, 640 μm olduğu tespit edilmiştir. Çekme dayanımları ise sırasıyla 209, 207, 205 201 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Yani çevrim zamanları arttıkça çökme derinliği artmış ve punta kaynağın dayanımı azalmıştır.

- Peng and Hu [3], 3,5 mm kalınlığındaki malzemeyle ilgili yaptıkları çalışmalarda 2-24 çevrim aralığındaki deneylerinin sonucunda; oluşan ısının arttığını ve bu durumla paralel olarak da nokta direnç kaynakların dğme çaplarının arttığı tespit edilmiştir.
- %0,8 C içeren çift faza sahip çelikle, 30, 45, 50 çevrim sürelerinde (1 çevrim 0,1 saniye olarak belirlenmiştir) yapılan deneylerde, artan kaynak süresine bağlı olarak oluşan çekirdeğin içerisindeki ferritik yapının sertliğinin arttığı görülmüştür [4]. Aynı zamanda yorulma dayanımının arttığı gözlemlenmiş ve mikro sertlik değerinin ise çekirdeğin merkezinden uzaklaştığa arttığı tespit edilmiştir [5].

1.2 Tezin Amacı

Nokta direnç kaynak metodu otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle metal parçaların birleştirilmesinde kullanılan bu yöntem, seri üretim metodolojisinde üretim yapan firmalarda ve sektörlerde sıkça başvurulan bir proses şeklidir. Henüz tasarım aşamasındayken, nokta direnç kaynağı yapılacak noktaların belirlenmesi, kaynak parametrelerinin tespiti ve tasarıma uygun kaynak makinelerinin, robotik sistemlerin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bir otomobilin üretiminde, yaklaşık 300 farklı parçanın montajı yapılmakta ve bu parçaların montajı için yaklaşık 4000 adet punta kaynak noktası kullanılmaktadır. Günden güne taşıt güvenliği konusundaki artan eğilimler de göz önüne alınırsa, bu punta noktalarının en yüksek kalite ve dayanıma sahip olacağı tasarımların yapılması konusunda çok hassas tasarımlar yapılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde maliyetlerin azaltılması, kalitenin artırılması, güvenlik sistemlerinin ve algısının günden güne artması, rekabet koşullarının sürekli değişkenlik göstermesi, sektörde yaygın kullanılan nokta direnç kaynağının kalitesinin önemini sürekli artırmaktadır.

Araçların karoseri yani gövde kısmındaki parçaların birbirine boşluk kalmayacak şekilde tam temaslı birleştirilmesi gereklidir. Eğer bu durum olmazsa, sacların birbirine teması sonucu oluşabilecek yüksek ses, gürültü; bu bölgelerden araç içerisine yoğun su girişi, kapı ve bagajların istenen performansta açılıp kapanmamasına neden olmaktadır. Ortaya çıkacak durumların çözümü için, üretim yapılan tesiste veya müşteriye sevk edilmiş araçlarda, bu uygunsuzlukları gidermek için yapılacak işçilik, zaman, kalite ve prestij kayıpları firmalar için büyük önem taşımaktadır. Özellikle midibüs ve otobüs türü

araçlarda, karoseri kısmı profillerden ve aracın camları dışındaki bütün bölgeleri çoğunlukla saclardan ve FRP (fiber reinforced plastic) parçalardan oluşmaktadır. Sac parçalar çoğunlukla nokta direnç kaynaklarla birleştirilmektedir. Bu birleştirme noktalarındaki kaynak kalitesinin kötü olması sonucu, uygun birleşme sağlanmamış olacaktır. Devamında bu bölgelerden su girişleri olacak, ses problemleri ortaya çıkacak ve karoserinin üzerine takılan trim parçalarının (bagaj kapakları, muşambalar, kontrplak tahtalar vb.) uygunsuz montaj edilmei problemleri oluşacaktır. Bu durum da araç kalitesinin ve fonksiyonel özelliklerinin düşmesine neden olacaktır.

Bir nokta direnç kaynağı; sac parçaların, üzerinde akım taşıyan torçlarla, bölgesel bir alanda yoğunlaşan akının, parçalar üzerinde oluşturduğu dirence bağlı olarak ısı oluşturmaları ve bu ısının da yerel bir bölgede metalin ergimesine ve basınçla da soğuyarak punta çekirdeğinin oluşmasıyla yapılmaktadır. Nokta direnç kaynak yöntemi, torçlardan metal parçalara iletilen 1000-100000 A ve 1-30 V akım ile yapılmaktadır. Otomotivde farklı kalınlıkta ve malzeme özelliklerine sahip parçalar (titanyum, alüminyum alaşımları, yüksek özellikte çelik alaşımları, magnezyum vb.) nokta direnç kaynağı ile birleştirilmektedir. Bu prosesin kontrolü, firmalardaki kalite kontrol bölümleri tarafından, hasarlı (keski testi, çekme testi, çentik testi, makro test, mikro test) muayene yöntemleri ve hasarsız (Ultrasonik, görsel vb) muayene yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu konuların uygulama koşulları EN 14273 nolu standart ile belirlenmiştir. Hasarlı muayene yöntemleri hem zaman hem de maliyet açısından dezavantaja sahiptir. Hasarsız muayene yöntemlerinden ultrasonik yöntemde deney parçası fiziksel olarak zarar görmez.

1.3 Hipotez

Punta kaynak çekirdeklerinin kalitesinin ölçülmesi, otomotiv sektöründeki kalitenin ve güvenlik şartlarının artırılması, maliyetlerin azaltılması konusundaki rekabette, firmaların seri üretim şartlarında sürekli kontrol altında tutmak zorunda kaldıkları bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kadar öneme sahip bir kaynak işleminin kalitesinin sürekli kontrol altında tutulması gereklidir. Bunun için de hasarlı ve hasarsız muayene yöntemleriyle sürekli olarak ölçümler yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 2

OTOMOTİV SANAYİİ'NDE KAYNAK PUNTA KAYNAK

Punta kaynak metodu otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle metal parçaların birleştirilmesinde kullanılan bu yöntem, seri üretim metodolojisinde üretim yapan firmalarda ve sektörlerde sıkça başvurulan bir proses şeklindedir. Daha tasarım aşamasındayken punta kaynağı yapılacak noktaların belirlenmesi, kaynak parametrelerinin tespiti ve tasarıma uygun kaynak makinelerinin, robotik sistemlerin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bir otomobilin üretiminde yaklaşık 300 farklı parçanın birleştirilmesi için 4000 adet punta kaynak noktasının olduğu düşünülürse ve günden güne taşıt güvenliği konusundaki artan eğilimler de göz önüne alındığında, bu punta noktalarının en yüksek kalite ve dayanıma sahip olabileceği tasarımlar yapılması konusunda firmaların ne kadar hassas olabileceklerini fark edebiliyoruz. Araçların karoseri yani gövde kısmındaki parçalar birbirine metal aralarında boşluk kalmayacak şekilde tam temaslı birleştirilmesi gereklidir. Bu durum olmazsa eğer, sacların birbirine teması sonucu oluşabilecek yüksek ses, gürültü; bu bölgelerden araç içerisine yoğun su girişi, kapı ve bagajların istenen performansta açılıp kapanmaması, bu durumların çözümü için firma içerisinde ve firma dışarısında müşteriye sevk edilen araçlarda bu uygunsuzlukları gidermek için yapılacak işçilik, zaman, kalite ve prestij kayıpları oluşacaktır. Özellikle midibüs, otobüs türü araçlarda karoseri kısmı profillerden ve aracın camları dışındaki bütün bölgeleri saclardan ve FRP (fiber reinforced plastic) parçalardan oluşmaktadır. Saclar profilleri çoğunlukla punta kaynaklarla birleştirilmektedir. Bu birleştirme noktalarındaki kaynak kalitesinin kötü olması sonucu uygun birleşme sağlanmamış olacak ve bu bölgelerden su girişleri, ses problemleri,

karoserinin üzerine takılan trim parçalarının (bagaj kapakları, muşambalar, MDF tahtaları vb.) uygunsuz montaj edilme problemleri oluşacaktır. Bu da araç kalitesinin ve fonksiyonel özelliklerinin düşmesine neden olacaktır.

2.1 Kaynak Birleştirme Yöntemi

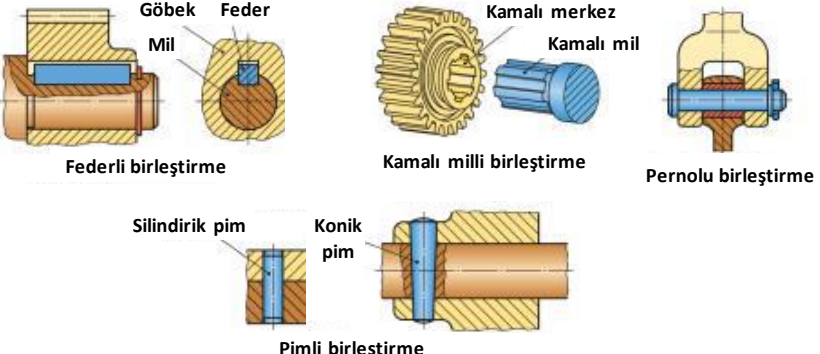
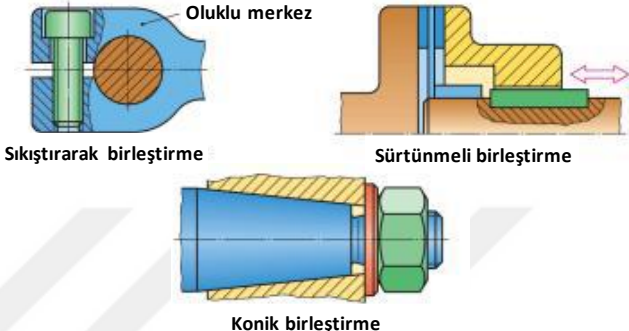
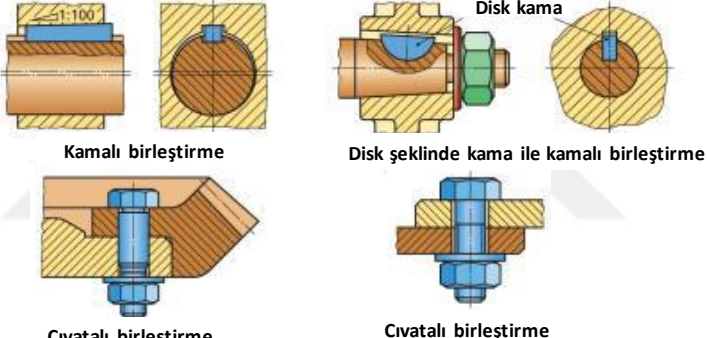
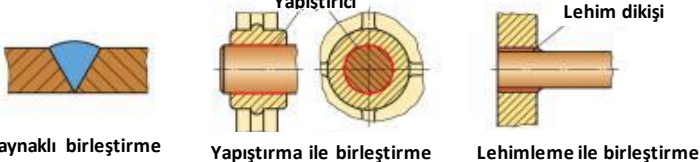
Üretim endüstrisinde malzemelerin birleştirilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. İçerleştirilen parçalar aracılığıyla şekilsel birleştirme (Federli, federli mil bağlantısı ile, pimli, saplamalı), sürtünme kuvvetleri aracılığıyla kuvvet bağı birleştirme (konik, sıkıştırarak, sürtünmeli kavramalı), kuvvet ve şekil yardımıyla birleştirme (kamalı, disk şeklinde kama ile kamalı, cıvatalı), kohezyon ve adhezyon kuvvetleri yardımıyla maddesel birleştirme (kaynaklı, yapıştırma, lehimleme) şeklinde kısımlara ayrılabilen bu yöntemler farklı amaçlar için farklı kullanım alanlarına sahiptir (Şekil 2.1).

Kaynaklı birleştirme yöntemi, iki malzemenin (çoğu zaman metallerin) yüksek sıcaklık ve/veya basınç altında kalıcı bağ ile birleştirilmesidir. Kaynak yöntemleri genel olarak iki genel başlıkta incelenebilir. Ergitme ve katı hal kaynakları. Ergitme kaynakları da kendi içerisinde 3'e ayrılmaktadır [6]:

- Ark kaynağı: Metallerin eritilerek birleştirilmesi sağlanır.
- Direnç kaynağı: Basınç altında noktasal bir alanda metallerin birleştirilmesi sağlanır.
- Oksi-yanıcı gaz kaynağı: Metallerin eritilmesi oksiasetilen gazı ile sağlanır.

2.2 Elektrik Direnç Kaynağı

Elektrik direnç kaynağı, gerçekte oldukça eski bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem 1877'de Birleşik Amerika'da bir rastlantı sonucu bulunmuş ve I. Dünya Savaşı'na kadar endüstride çok az kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı'ndan sonra günümüze kadar direnç kaynağı yöntemlerinde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur [7]. Bu kaynak metodu çevresel kirliliğe sebep olma konusunda, hem cinsi kaynak metodlarına göre çok daha iyi bir performansa sahiptir. Farklı sektörlerdeki, özellikle ince sac parçaların kendi içinde montajı sırasında yaşanan zorluklardan dolayı, yeni birleştirme yöntemleri arama yoluna gidilmiştir.

İçe yerleştirilen parçalar aracılığıyla şekilsel birleştirme	 Federli birleştirme Kamalı milli birleştirme Pernolu birleştirme Pimli birleştirme
Sürtünme kuvvetleri parçalar aracılığıyla kuvvet bağı birleştirme	 Sıkıştırarak birleştirme Sürtümlü birleştirme Konik birleştirme
Kuvvet ve şekil yardımıyla öngerilmeli şekilsel birleştirme	 Kamalı birleştirme Disk kama Disk şeklinde kama ile kamalı birleştirme Cıvatalı birleştirme Cıvatalı birleştirme
Malzeme bağı birleştirme	 Kaynaklı birleştirme Yapıştırıcı Yapıştırma ile birleştirme Lehimleme ile birleştirme Lehim dikişi

Şekil 2. 1 Birleştirme yöntemleri [6]

Çelik yapıların montajında, otomotiv, uzay ve uçak sanayiinde sıklıkla kullanılan bu yöntem, operasyonel kolaylıklar, maliyetinin düşük olması, diğer metodlarla kıyaslandığında çevreye verdiği zararın düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Hafif bir metod ve dayanımı yüksek bir metod olduğu için de geniş kullanım alanlarına sahiptir. İnce kesitlere sahip metallerin birleştirilmelerinde, noktasal alanda yüksek ısı yoğunlukları oluşması sebebiyle, bu yöntemin çok hızlı ve en yüksek kalitede gerçekleşmesi gerekmektedir. Hızın ve yüksek mukavemet şartlarının büyük önem

taşımasından dolayı bu yöntemin, parametrelerin doğru belirlenmiş olarak uygulanması çok önemlidir.

Elektrik punta direnç kaynağı, manüel tezgâhlar ve robotik sistemler ile çok hızlı ve seri bir şekilde operatör veya robotik olarak hat mantığında çalışan seri üretim hatlarında kolaylıkla çok uygun maliyetlerde uygulanabilen bir yöntemdir. İlk yatırım maliyeti diyebileceğimiz makine alet ve teçhizatları, diğer kaynak türlerine göre daha pahalıdır denilebilir, özellikle robotik sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir ancak punta kalitesi ve sürdürülebilir verimli kaynak konusunda çok iyi olduğu için büyük sanayi devleri tarafından sıklıkla başvurulmaktadır.

Kaynak yöntemlerinde operasyonel akışı; ilk olarak belirli bir miktardaki malzemenin genellikle metal olmaktadır, ergitilmesi ve tabiki bu ergime için gerekli ısıнын elde edilmesinin sağlanması devamında basıncın yardımıyla soğutulması yoluyla katılaşmanın sağlanması olarak ifade edebiliriz.

2.3 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

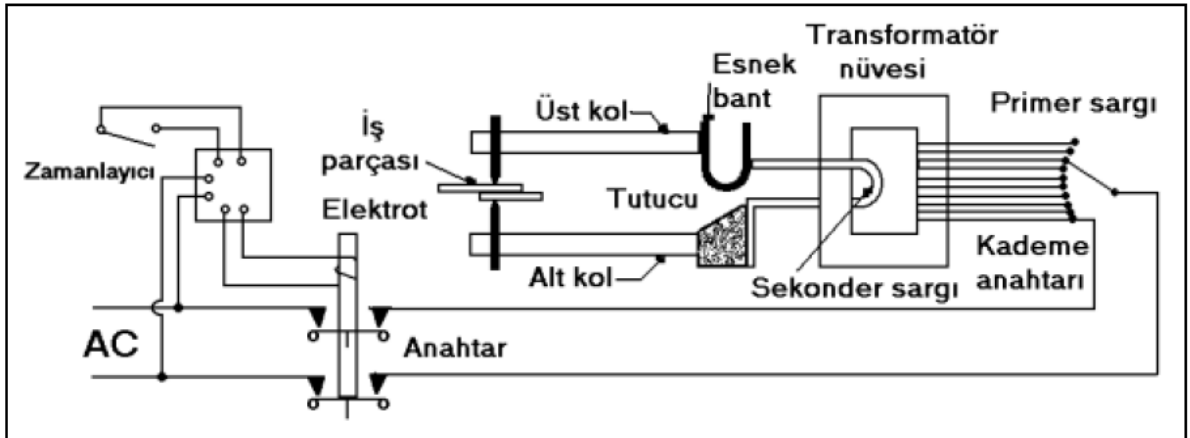
Elektrik direnç kaynağının farklı yöntemleri mevcuttur. Bu nedenle birbirine uygulanış yöntemi bakımında yakın ancak kendine has özelliklere de sahip 5 yöntemden mevcuttur. Bu yöntemlerde, bağlantıların sağlanması belirli bir bölgede yüksek basınçlar elde edebilmek için birbirinden farklı teknikler kullanılmaktadır. Bun tekniklerin ortak noktası, belirli bir bölgeye uygulanan akım ve bu akımın teması sayesinde malzemelere geçmesidir. Bütün bu metodlardaki akımların, uygulanan kuvvet şiddetlerinin ve kaynaklama için gerekli zamanın uygun bir şekilde ayarlanması gereklidir. Burada en büyük öneme sahip parametre olan akımın; sürekli olması, bütün diğer parametreleri yönlendirmektedir. Bu süreklilik ise torçlardaki elektrotların daimi bir temas halinde olması ile sağlanmaktadır. Uygulanan bu metod gereği, kullanılan parçanın kaynak boyunca, olması gereken ısıyarak ergime ve basınç ile soğutulması gerekmektedir. Kaynak zamanının verimli kullanılması ve ısı kayıpların azaltılması gereklidir ve bu şartları sağlayan ortamda kaliteli yapılan kaynak işlemleri yapılmış olunacaktır. Nokta direnç kaynağı 5 farklı alt katerogiyeye ayrılabilir. Bunlar aşağıdaki gibi sırlanmıştır:

- Nokta Kaynağı

- Dikiş Kaynağı
- Kabartı Kaynağı
- Yakma Alın Kaynağı
- Basınç Alın Kaynağı

2.3.1 Nokta Direnç Kaynağı

Nokta direnç kaynağı, genellikle 2 veya 3 malzeme üst üste konularak, daha önce tasarımsal olarak belirlenmiş bir noktada yapılmaktadır. Nokta direnç kaynağı; Şekil 2.2’de de görüleceği gibi, sabit veya robotik makinelerdeki torçların, üst kol-alt kol arasından akan ve transformatörden gelen yüksek akımlarla belirli bir bölgede metalin ergimesi ve basınçla soğuması sonucu, metaller arasında soğumuş bir çekirdek elde edilmesiyle meydana gelir. İş parçası farklı malzeme kalitelerine ve kalınlıklarına sahip olabilir. Elektriksel ve mekanik olarak döngü Şekil 2.2 ile incelenebilir.



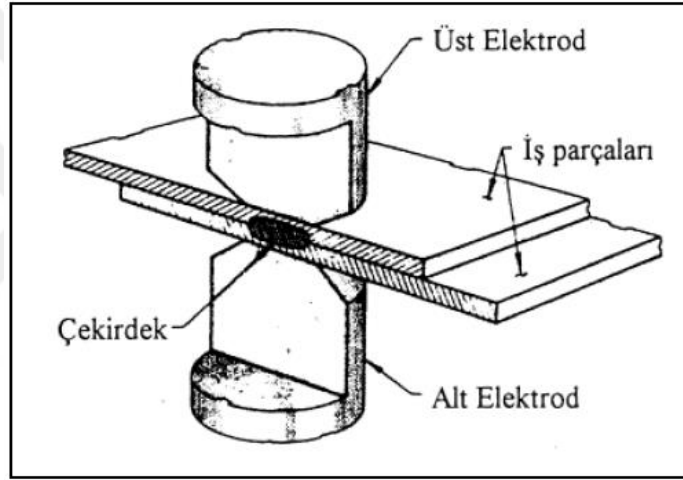
Şekil 2. 2 Nokta direnç kaynak makinesinin elektriksel sistemi [8].

Manüel punta makinelerinde operatör ayak kısmındaki pedal ile pedale her bir basmasında 1 kez nokta direnç kaynağı yapabilir. Bu kaynak işlemi yaklaşık 1 saniyede tamamlanır ve her seferinde elektrod çeneleri birleşir ve ayrılır. Ana sanayi firmalara, yüksek adetlerde sac parça tedarigi yapan firmalardaki manüel kaynak makinalarında yaşanan önemi sorunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Operatörün punta sayısını tutturamaması sonucu eksik puntalı, eksik detay parçalı ürünlerin ortaya çıkması,

- Fazla detay parçaya sahip girift şekilli parçaların montajında fikstürler kullanılmaktadır. Fikstür kullanılarak yapılan üretimlerde detay parçaların ve puntaların eksikliği, uygun parametrelerin oluşturulmaması nedenlerinden dolayı yaşanan parça kalitesi düşüklükleri oluşmaktadır. Çözüm için ise elektronik, hidrolik, manüel ve pnömatik klemp sistemleri kullanılmaktadır.

- Belirli periyotlarla torçların ucundaki elektrotların tıraşlanması gereklidir. Ancak, manüel yapılan tıraşlama işlemi homojen kaynakların oluşumunu engellemektedir. Bu gibi sorunları önlemek için, otomatik klemp sistemlerine sahip, punta sayısını kayıt eden ve eksik olduğunda hata veren, eksik detay parça olduğunda çalışmayan, belirli bir puntada otomatik homojen tıraşlama yapan robotik sistemler kullanılmaktadır.

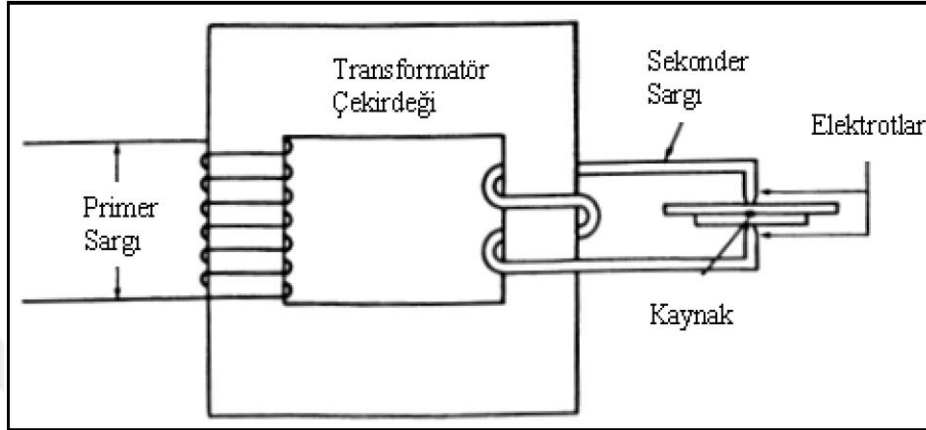


Şekil 2. 3 Nokta direnç kaynağı ve çekirdek oluşumu [9].

Punta kaynağının yapılacağı yerin tasarımda belirlenmesi, buna göre punta kaynak haritasının çıkarılması ve kaynak noktalarının listelenmesi hem bu noktaların kalite kontrolü yapılırken hem de eksik puntaların belirlenmesi için enspektör ve operatörlere yardım etmektedir. Şekil 2.3’de görüleceği gibi çekirdek, iki elektrot arasında oluşmaktadır. Bu noktanın tespiti yapılırken, parçanın geometrisine göre çok fazla kenara yakın olmayacak şekilde ve operasyonel olarak üretilebilecek noktaların belirlenmesi gereklidir. Aksi takdirde, nokta direnç kaynağı oluşurken basınçtan dolayı ergimiş metal parçaları, sac parçaların birleştiği yerin kenarlarından sıçrayabilir.

Elektrik nokta direnç kaynağında, punta makinelerindeki transformatörler (Şekil 2.4), sanayi elektriğindeki voltajı düşürerek yüksek akımlar elde ederler. Primer sargıdaki sargı sayısı sekonder sargıdan çok daha fazla olduğundan dolayı bu akım 1000A-100000 A

arasında değişebilir ve iş parçasına daha önceden belirlenmiş periyotlarda yaklaşıp temas edip işlem bittikten sonra geri çekilirler. Elektrotlar hidrolik, pnömatik ve mekanik sistemler yardımıyla hareket etmektedirler. Mekanik elektrotlar genelde otomotivde kullanılan ve operatör, robotların kullanım alanının dar olduğu bölgelerde, bir taşıma arabasıyla hareket eden kollar yardımıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2. 4 Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi [10].

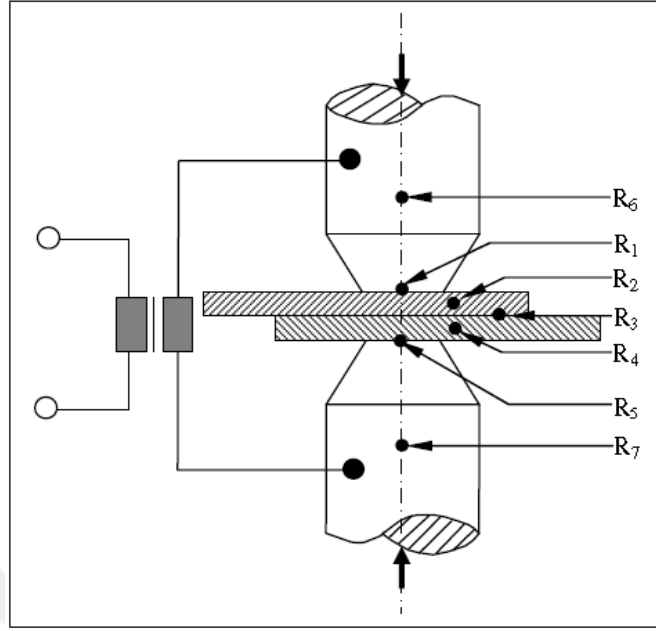
Nokta direnç kaynağı oluşurken en önemli parametre aslında akımdır. Akım, dirence bağlı olarak üzerinden geçtiği parçaların birleşim bölgesinde ergimenin oluşmasını sağlamaktadır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi R₆-R₇ elektrotların direnci, R₂-R₄ iş parçalarının dirençleri, R₁-R₅ elektrod-malzeme temas direnci, R₃ malzeme temas direncini belirtmektedir. Sekonder devredeki toplam direnç ise aşağıdaki formülasyonlarla bulunur.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.1)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

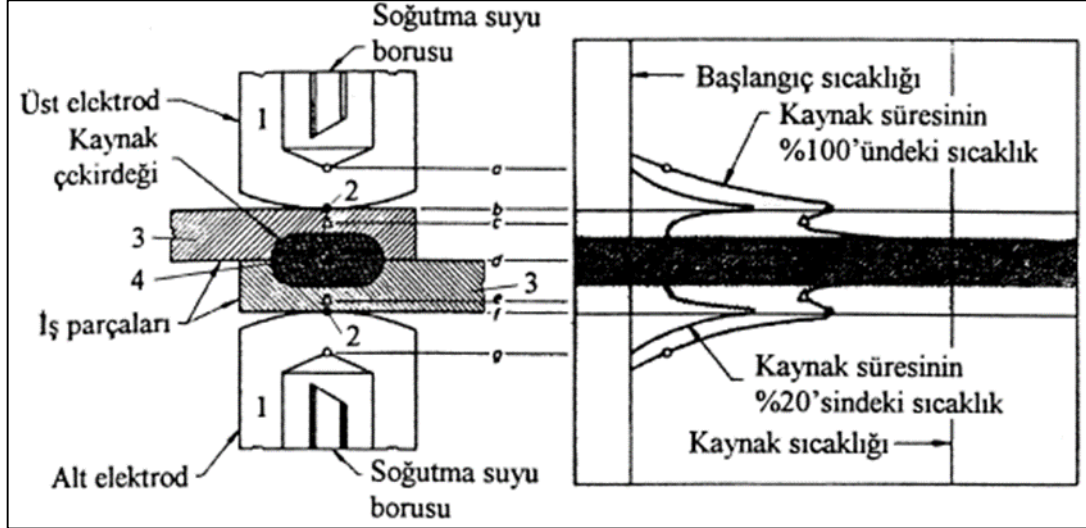
Burada, malzemelerin dirençleri sabittir ve değişmez. Temas dirençleri ise malzemeye ve elektrotlardaki uçların durumuna göre farklılık göstermektedir. Çekirdeğin oluşacağı yere yakın dirençlerin daha yüksek, çekirdekten uzaklaştıkça dirençlerin ise daha düşük olması beklenmektedir. Bu nedenle R₃ direncinin en yüksek dirence sahip olması beklenir. Diğer R₁ ve R₅ dirençleri, oluşacak puntan düğmesinin kalitesine birebir etki etmektedir. Bu temas noktalarındaki dirençlerin düşük olması istenir çünkü elektrotlar malzeme buralarda ergime kaynaklı yapışabilir bu da parçanın kalitesini olumsuz etki eder. Bu dirençlerin oluştuğu noktalarda, özellikle malzeme yüzeylerinin temizliği

önemlidir.



Şekil 2. 5 Nokta direnç kaynağının prensibi

Şekil 2.6'da nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımı incelenebilir. Punta çekirdeğinin oluştuğu yerde sıcaklık en yüksek seviye ulaşmaktadır.



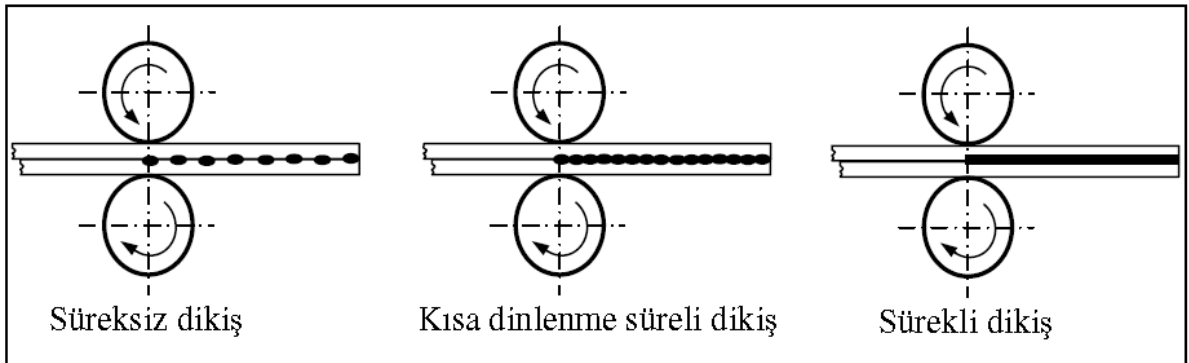
Şekil 2. 6 Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı

2.3.2 Dikiş Kaynağı

Dikiş direnç kaynağı metodunda, döner bir mandrel şeklindeki elektrotlar ile sürekli bir nokta kaynak elde edilir. Üst üste bulunan parçaların, birleştirme yüzeylerinde sürekli bir akım sağlanır ve malzemeler oluşan bu akıma direnç göstererek ergime gerçekleşir ve

kaynak meydana gelmiş olur. Nokta kaynağına nazaran sürekli punta elde edilmesi büyük üstünlüktür. Bazı kullanım alanlarında ise sızdırmazlık sağlanması maksadıyla kullanılmaktadır. Bunlar bu metodun üstünlükleridir. Nokta kaynağına göre farklı bir elektrot kullanılır. Farklı kullanım alanları için elektrotlar ve diğer ekipmanları değişmektedir. Bu yöntem ile benzin tankları oluşturulmaktadır. Bunun nedeni, sızdırmazlık ve emniyetli olması gerektiği için sürekli bir birleşim yüzeyinin sağlanmasının gerekliliğidir. Bu yöntemle sürekli dikişler sağlanabildiği için özellikle uçak, uzay, basınçlı kaplar, otomotiv sanayiinde sıkça kullanılan bir imalat yöntemidir.

Dikiş kaynağında, elektrotlar arasında kalan parçaların birleşim noktalarında yüksek ısılar elde edilir ve temas noktalarında direnç yüksek olduğu için ergime gerçekleşir ve basıncın ve zamanın ve malzemelerin soğuma karakterleri nedeniyle soğuyan noktalarda dikiş puntaları elde edilmiş olur. Burada elektrik akımının sürekliliğine ve elektrotların temas sürelerine göre farklı dikişler elde edilir (Şekil 2.7). Süreksiz dikiş, kısa dinlenmeli sürekli dikiş ve sürekli dikiş olarak 3 gruba ayrılabilir.

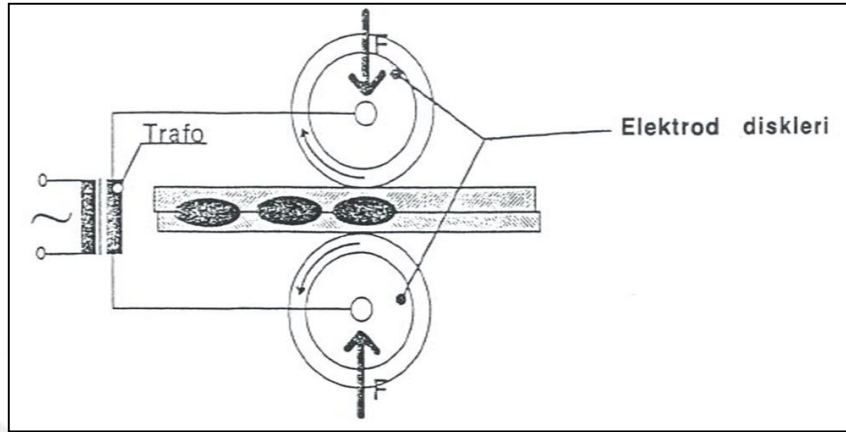


Şekil 2. 7 Dikiş kaynağı dikiş çeşitleri [7]

Bu yöntemde kullanılmakta olan elektrodların çapları 50-600 mm aralığında değişmektedir. Elektrotların malzemeleri ise, soğuk çekilmiş bakır veya ısıl işlem görmüş sert bir yapıya sahip bakır alaşımlarıdır. Örneğin; bakır-kadmiyum, bakır-krom, bakır-tellür. Malzemelerin kalınlıklarının değişimine göre elektrotların malzeme yüzeyine temas etme alanları değişmektedir. Bu yöntemde kaynak genişliği, en ince malzemenin kalınlığının 1,5-3 katı olması gerekmektedir. Kaynak genişliği, malzemelerin kalınlıklarından fazladır. Bu durum ise elektrot ömrünü artırmaktadır. Elektrotlar, sistem içerisinde devir daim yapan su yardımıyla veya elektrotların tekerleklerinin üzerine

püskürtülen su yardımıyla soğutulmaktadır. Çeliklerin kaynaklarının yapılmasında da soğutma sıvısı olarak % 5 oranında bor yağı, % 95 oranında su kullanılır [7].

Bu yöntem boruların imalatında, radyatörlerin imalatında, otomotivde yakı deposunun imalatında kullanılmaktadır.



Şekil 2. 8 Dikiş kaynağı prensibi

Bu yöntemin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

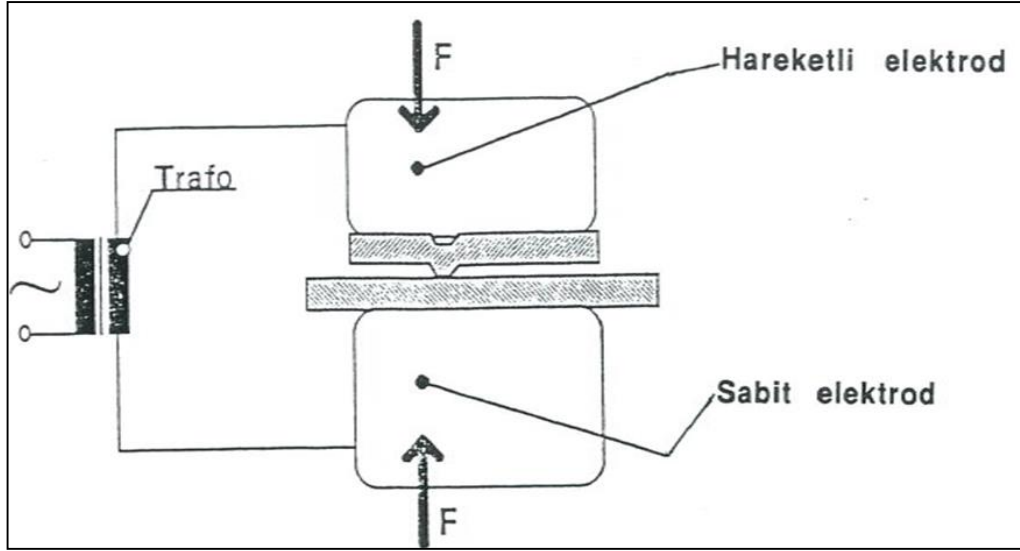
- Sürekli dikiş puntası atıldığı için punta hızı yüksektir.
- Nispeten oluşan kaynak yüzeyi temizdir.
- Sürekli sağlanan dikiş nedeniyle sızdırmazlık gereken noktalarda kullanışlıdır.

Avantajsız noktaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Diğer direnç punta yöntemlerine göre daha ince sacların kayanğında kullanılabilir.
- Oluşan ısının fazla olması kaynaklı, çekirdeğin dayanımı düşüktür.
- Teçhizatları pahalıdır.

2.3.3 Kabartı Kaynağı

Elektrik direnç nokta ve dikiş kaynak yöntemleri, metallerin temas ettiği yüzeylerde noktasal olarak ısınan malzemelerin ergiyerek, basınçla soğuduktan sonra çekirdeklerin oluşması yoluyla oluşmaktadır. Kabartı kaynağı ise, temas eden noktalar daha önce oluşturulmuş bir kabartı kullanılarak yapılır. Bu kabartılara gelen akım yardımıyla ısınma işlemi gerçekleşir. Isının ve devamında ergiyen malzeme soğuyarak nokta puntaya benzeri bir bağlantı şekli ortaya çıkar.



Şekil 2. 9 Kabartılı punta kaynağı prensibi [10]

Kabartı punta kaynağında, temas yüzeyi Şekil 2.9'da görüldüğü gibi çok küçüktür. Sabit ve hareketli elektrotlardan oluşan ve her iki elektrotun kuvvet taşıdığı bu yöntemde, düşük temas yüzeyi olduğu için bu noktalarda yüksek ısı yoğunlaşmalar meydana gelmektedir. Isınan bu temas yüzeylerinde kabartılar, plastik şekillenmeye hazır hale gelir ve elektrotlardaki kuvvet yardımıyla da malzemeler birbirine yapışır ve sonuçta birleşme sağlanmış olur. Bu yöntemle önceki deneyimlere ve tecrübelerle göre belirlenmiş iki veya 3 punta birlikte kaynatılma yoluna gidilir.

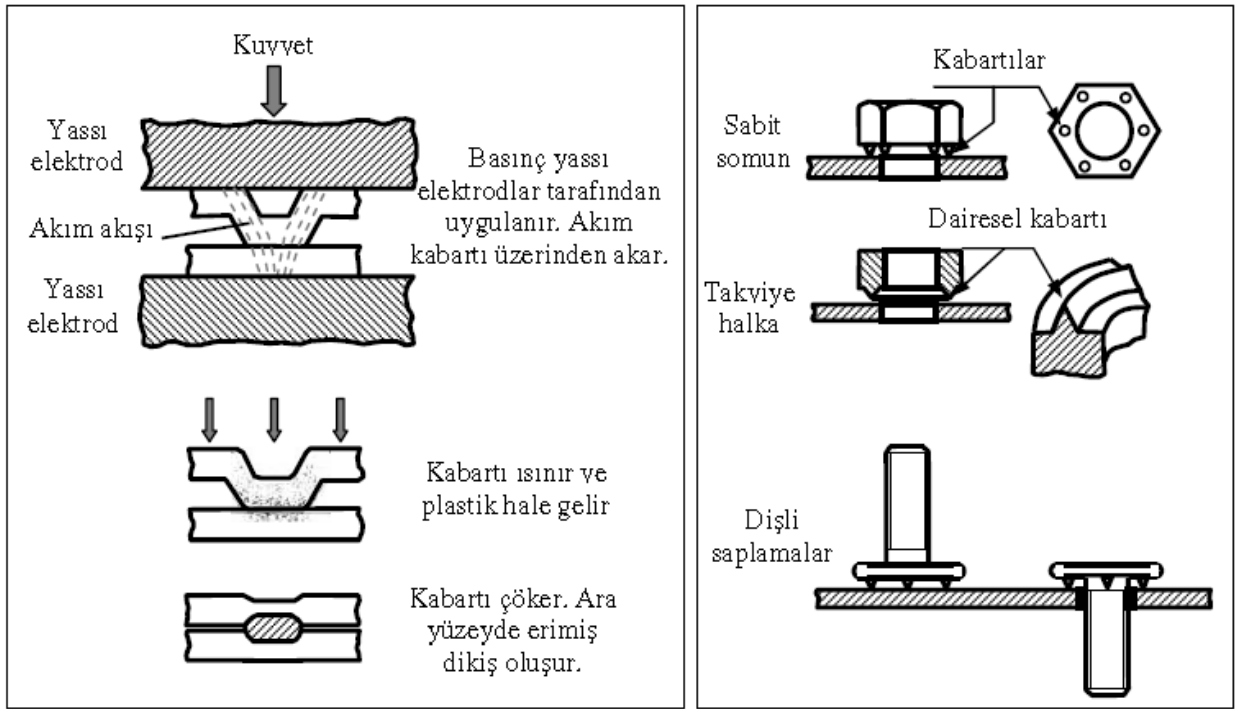
Kabartı kaynağı çok uzun noktalarındaki bağlantılar için tercih edilen bir yöntem değildir. Daha çok küçük parçaların, somunların ve saplama tarzı parçaların montajında kullanılan bir yöntemdir. Kullanılan teçhizatlar benzerdir. Elektrotlar uniform, düz bir bakırdan yapılan tablalardan oluşur.

Araç karoserisindeki somunlar, saplamalar, küçük parçaların montajında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.10'da tekli ve çoklu kabartı kaynak yöntemleri görülmektedir.

Bu yöntemin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 10 adede kadar punta kaynağı birlikte yapılabilir,
- Elektrotların temas noktaları düşük olduğu için aşınmaları da diğer türlere göre daha azdır.

Avantajsız noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Şekil 2. 10 Kabartılı kaynak sematik resmi; sol) tekli kabartılı kaynak, sağ) çoklu kabartılı kaynak

- Kabartı noktalarının hazırlanması çok zaman alan bir ve maliyetli bir işlemdir.
- Elektrotlardaki kuvvet nedeniyle kaynak makinaları daha sağlam olması gereklidir.

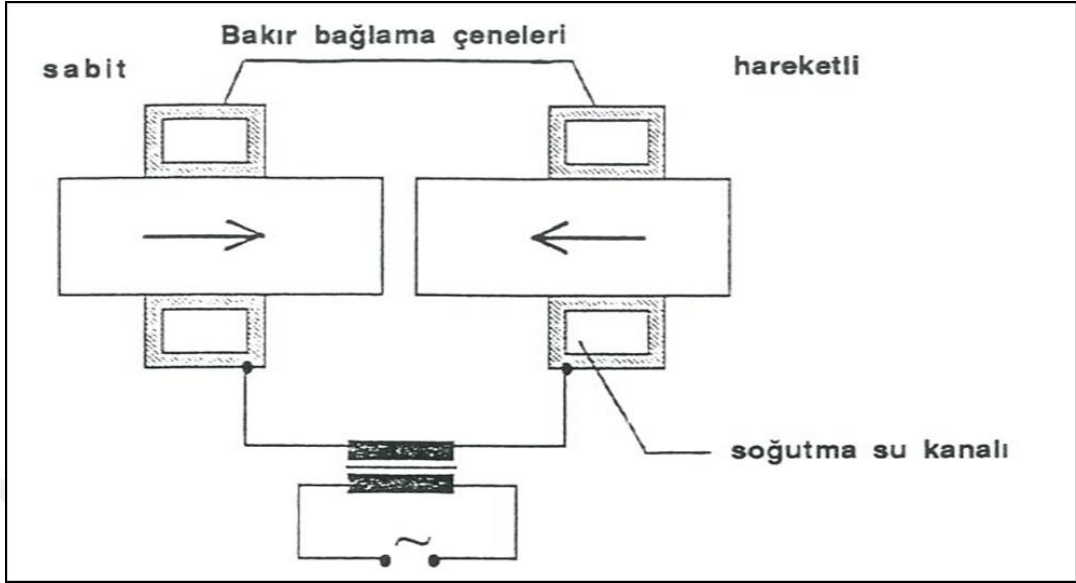
2.3.4 Yakma Alın Kaynağı

Yakma alın kaynağında, büyük çenelere sahip elektrotlar ile parçaların üzerinden geçirilen akım sayesinde birleştirme sağlanır. Elektrotların hareketi için yüksek kuvvetler gereklidir. Pnömatik, mekanik ve hidrolik olarak hareket verilen elektrotlar parçaların temas düzleminde akımın yarattığı ergime ile metal fışkırması gerçekleşir; devamında ergimiş bu metal yığını parçaların birleşme yüzeyinde toplanır ve elektrotların kuvvetiyle darbeli bir şekilde birleşme sağlanmış olur. Bu yöntemle birleştirme yapılacak geniş yüzeyli parçaların önden ısıtılarak belirli bir ön ısıtma yapılması gerekmektedir. Yakma alın kaynağı ile 100.000 mm² yüzey alanına sahip parçaların birleştirme işlemi yapılabilmektedir [10].

Avantajlı noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çok büyük kesitlerin birleştirme işlemi için en uygun punta kaynak yöntemidir.

- Parçaların temas yüzeyleri zaten ısı yolla ergitildiği için, yüzey temizliği gerekmemektedir.



Şekil 2. 11 Yakma alın kaynağı prensibi [10]

Avantajsız noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yöntemin elektriksel olarak yüksek gereksinimler içermesi, elektrik bağlantılarının yüksek olması gereklidir.
- Ergimiş temas yüzeylerinin birleştirilmesi için gerekli yığılma kuvveti çok fazladır,
- Homojen bir ergimiş temas yüzeyi zorluğundan dolayı, görsel kalitesi çok düşük bir bağlantı sağlanmış olur, çapaklar, taşmalar vs.

Bu yöntem, millerin ve boruların, krank mili parçalarının, rayların birleştirilmesi için sıklıkla kullanılmaktadır.

2.3.5 Basınç Alın Kaynağı

Bu yöntemde, yakma alın kaynağında olduğu gibi, parçaların temas yüzeyleri birbirlerine paralel olacak şekilde kaynatılır. Isınma olmadığı için eriyik çapakları oluşmaz ve daha düzgün bir birleşme yüzey kalitesi sağlanmış olur. Yakma alına göre birleştirme kesit alanı çok düşüktür; 500 mm² [10].

2.4 Elektrik Direnç Kaynak Kabiliyeti

Metallerin kaynak kabiliyeti ile, ekstra proses ve çalışma gerekmeden uygun kaynak kalitesinin elde edilebilmesi belirtilmektedir. Teorik olarak amaç kaynak kabiliyetinin dolayısı ile optimum kaynak kalitesinin elde edilmesi çok zordur. Çünkü, malzemelerin saflık dereceleri arttıkça kaynak kabiliyetleri de artmaktadır. Hiçbir metal fiiliyatta saf olarak kullanılmaz. Çok fazla metali alaşım olarak içeriklerinde taşırlar. Zamansal ve proses olarak ekstra tedbirlerin alınması gerektiği durumlar kaynak kabiliyetinin düşük olduğu durumlardır. Amaç, bu iki durum arasında optimizasyon ile en iyi kaliteye sahip kaynağın elde edilmeye çalışılmasıdır. Direnç nokta kabiliyetini belirleyen etmenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Bu özellikleri iyi olan metallerin kaynak kabiliyetleri de iyidir ve bu durumda yapılan kaynaktaki hatalar azalmakta ve kaynağın mukavemeti artmaktadır.

- Metallerin ısı iletkenlik katsayısı, düşük olması istenir,
- Metallerin ısı direnci, yüksek olması istenir,
- Metallerin ergime sıcaklıkları, düşük olması istenir.

Isı iletkenlik katsayısı düşük olması, ergime sıcaklığının düşük olması ve metalin akıma karşı gösterdiği direncin ise yüksek olması optimum kaynak kabiliyeti sağlamaktadır. Bu parametreler kaynak kabiliyetini belirtmektedir. Şekil 2.12’de nokta direnç kaynağına etki eden faktörlerin şematik gösterimi incelenebilir.

Çelikler bu özellikleri taşıdıkları için kaynaklanabilirlikleri çok iyidir. Ancak, demir dışı hafif metallerin kaynak kabiliyeti düşüktür. Kaynak faktörü adı verilen, kaynak kabiliyeti için referans olabilecek değerin formülü aşağıdaki gibi belirtilebilir:

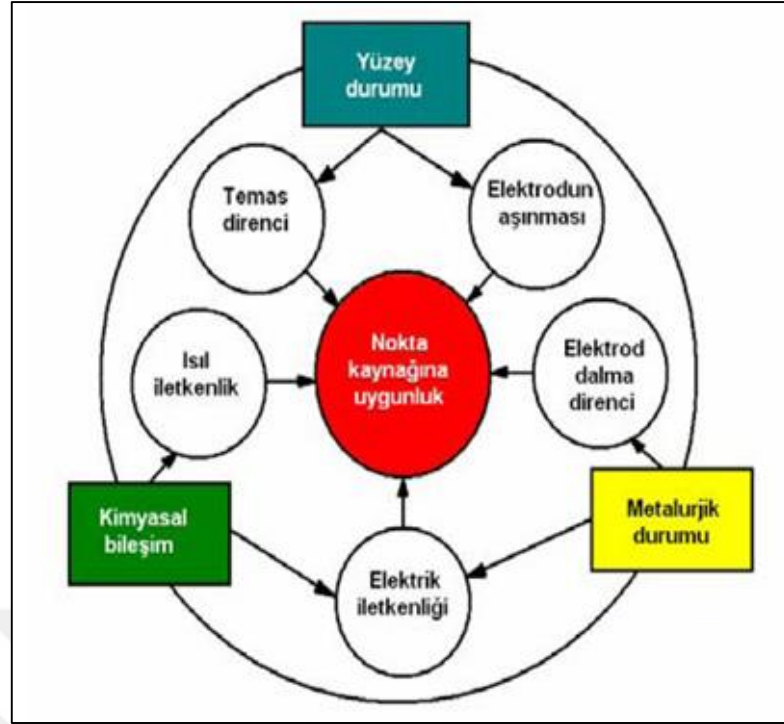
$$S = \frac{\alpha_t}{T_{em} \cdot K_t} \cdot 100 \quad (2.3)$$

S: Kaynak kabiliyeti,

α_t : Isı iletkenliği (cal/cm.s)

T_{em} : Metalin erime sıcaklığı (°C)

K_t : Isı iletim katsayısı



Şekil 2. 12 Direnç nokta kaynağına etki eden faktörler şematik gösterim

2.5 Kaynak Çevrimi

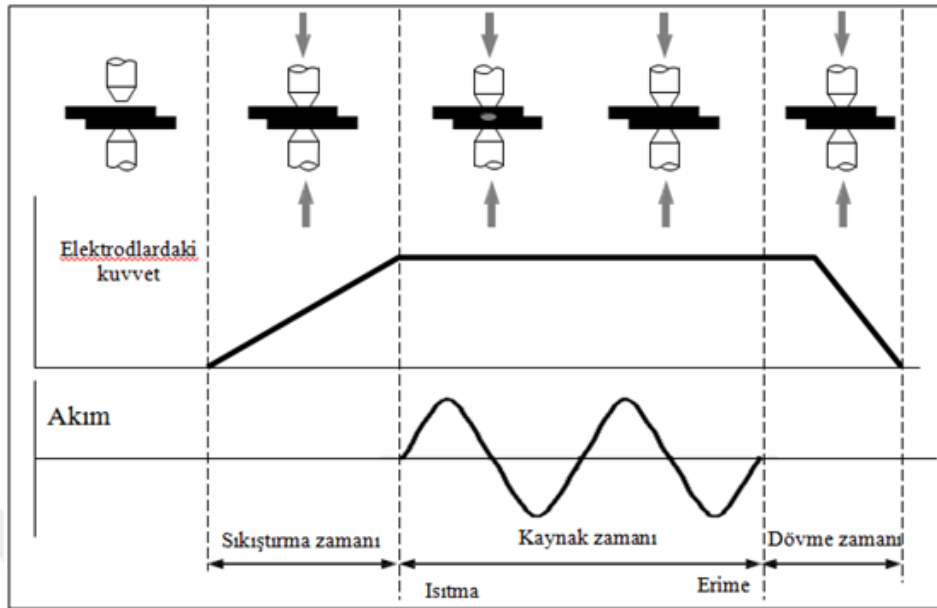
Punta kaynak türlerinin ortak özelliği, belirli bir akım-zaman-kuvvet üçlüsünün optimize edilmesidir. Bu parametrelerden akım sayesinde oluşan ısı, kısa zaman döngülerinde hızlı bir şekilde yükselmesi ve düşmesi ile en yüksek kaliteye sahip kaynaklar elde edilmektedir.

Nokta direnç kaynağının oluşumu detaylı olarak incelenecek olursa; 3 farklı zaman sekansında meydana gelmektedir; sıkıştırma işlemi, kaynak yapılması, sıkma yani tutma zamanı.

Şekil 2.12'de belirtilen nokta kaynak sekanslarını süreç olarak aşağıdaki gibi açıklanmaktadır;

- Kullanılacak parça elektrotlar arasına alınır. Burada önemli konular şöyle sıralanabilir; torçların ucu, punta yapılacak noktayla aynı ekseninde durması gereklidir, kaynak yüzeyinin temizlenmiş olması gereklidir, parçaların birbirine tam temas etmiş olması gereklidir. Kaynak işlemi, manüel makinelerde ayaklı bir pedal yardımıyla yapılır. Robotik sistemlerde ise daha önce sisteme tanımlanmış şekilde kaynak işlemi yapılmaktadır.

- Elektrotlar birbirleri ve punta yapılacak nokta ile aynı ekseninde olacak şekilde metalleri birleştirirler.



Şekil 2. 13 Nokta direnç kaynağının çevrimi [7]

- Sıkıştırma zamanı boyunca elektrotlar yüksek basınç kuvveti uygularlar.
- Kaynak zamanı boyunca akım verilir. Oluşan akım ile metallerin birleşim noktalarında, her iki metalde de ergimeler meydana gelir. Oluşan ısının nedeni, parçaların üzerinden geçen yüksek akıma karşı gösterilen dirençtir. Bu süreçte, nokta benzeri bir çekirdek oluşumu olur. Bu süreçlerde genellikle belirli periyotlar (cycle) kullanılır.
- Elektrotlar oluşan bu çekirdek bölgesinde tutma, sıkma ve dövme zamanı boyunca yüksek basınç uygular.
- Basınç uygulayan elektrotlar kaldırıldıktan sonra torçlar birbirinden uzaklaşır ve direnç nokta kaynağı tamamlanmış olur.

2.6 Direnç Nokta Kaynağını Etkileyen Parametreler

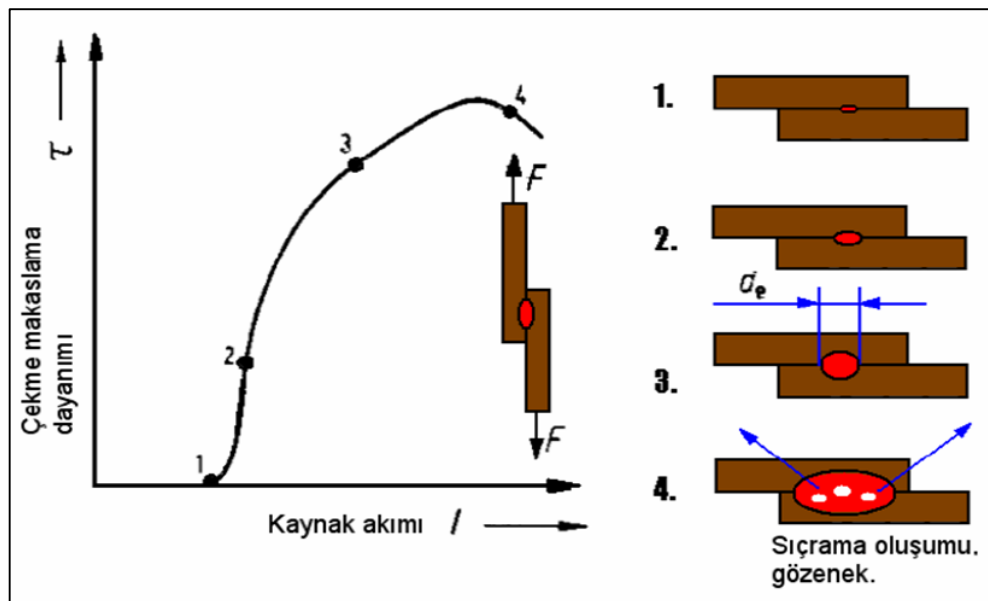
2.6.1 Kaynak Akımının Etkisi

Kaynak akımı ile ortaya çıkan ısı 2.1 formülü ile bulunmaktadır. Primer sargı üzerinden gelen akım, sekonder sargı yardımıyla elektrotlara gelir. Oluşan ısının büyük bir kısmı

çekirdek oluşumu için kullanılır ancak bir kısmı da, malzeme birleşim noktasında iletim, taşınım ve ışınlam ile kaybolmaktadır. Bu kaybın miktarı tam olarak bilinmemektedir.

Çelik türü malzemelerin kaynağında, elektrotlar, su ile soğutulduğu ve bakır bazlı bu elektrotların ısı iletkenliği daha fazla olduğu için çabuk soğumaktadır. Bu nedenle de parçaların ara yüzeyinde ısı yoğunluk daha çok yükselmekte ve ergime burada gerçekleşmektedir. Akım belirlenirken, minimum akım değeri mevcuttur. Çünkü, hesaplanan teorik akım değeri dışında kayıpların da göz önüne alınması gerekmektedir. Bu kayıplar, iş parçalarından havaya çeşitli ısı taşınım yollarıyla geçmektedir. Kaynak için kullanılan akımının artırılması, kaynak yüzeylerindeki ısının hızlı artmasını sağlaması açısından önemlidir. Ancak akımın da bir üst sınırı vardır.

Eğer akım değeri çok yüksek ise, akımın etkisiyle elektrotların değdiği noktalardaki çökmeler, hem metallerin ara yüzeyinde ısının yüksek olması hem de temas halindeki bu noktalarda ısının normalin üstüne çıkmasından dolayı çok artacaktır. Bu durumda, saclar delinebilir ve kalitesiz, uygun olmayan bir punta işlemi yapılmış olur. Özellikle ince sacların kaynağında dikkat edilmesi gereken bir konudur. Elektrotların temas halindeki yerlerde ergimiş metalin olması elektrotların ömrünü, puntanın kalitesini, punta kaynak zamanını olumsuz etkiler. Aynı zamanda, ergimiş metalin fazla olması sac kenarlarından fişkırmalara neden olabilir [10].



Şekil 2. 14 Direnç nokta kaynağında kaynak akımının bağlantının çekme makaslama dayanımına etkisi.

Her bir elektrot için, istenmeyen punta kalitesine sahip kaynakların elde edilmesine neden olan bir akım üst sınırı vardır. Şekil 2.13’de de görüldüğü gibi; grafikteki 4 numaralı noktadan itibaren, sıcak metalin etrafa sıçramaya başladığı görülmektedir ve aslında bu üst sınır, kaynak sırasında kullanılacak akımın üst sınırı olarak belirlenebilir. Üretim yaparken her zaman bu akım değerinin üst sınır olarak belirlenmesi gerekmektedir.

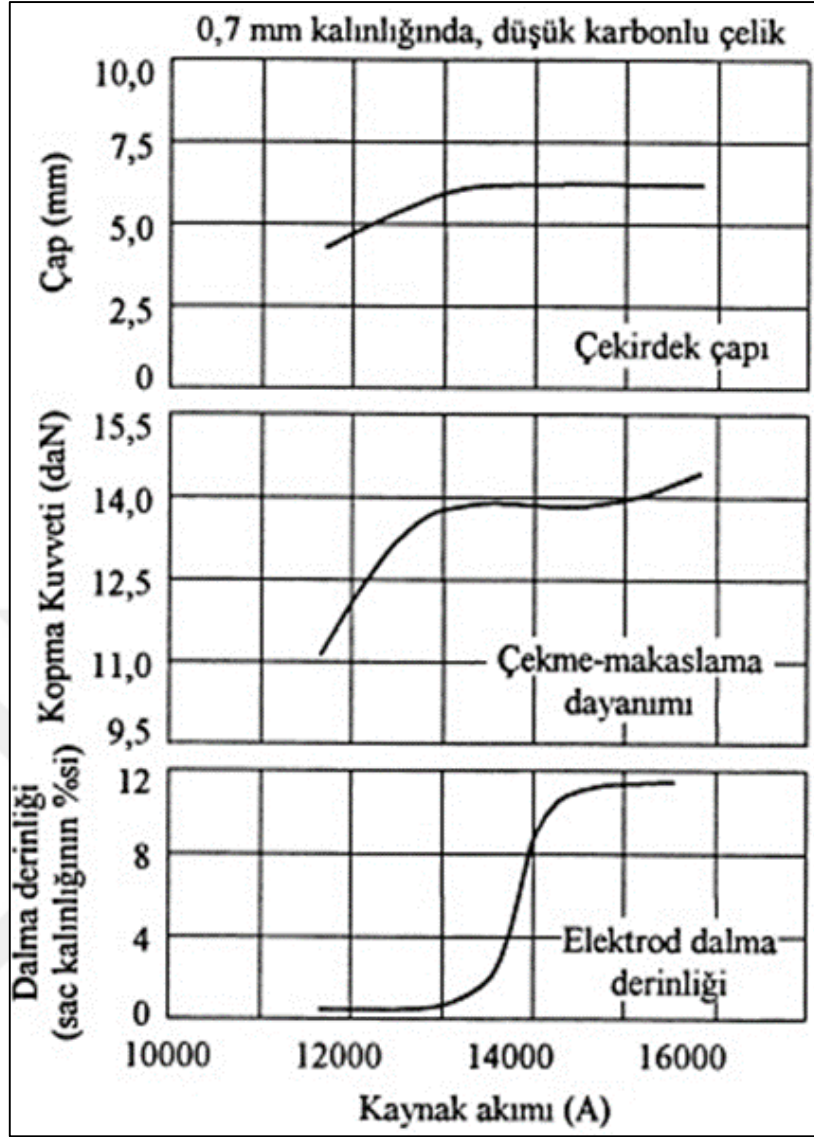
Şekil 2.15’de 0,7 mm’den düşük kalınlığa sahip düşük karbonlu çeliklerin kaynak akımının, çekirdek çapı, çekme ve kesme dayanımı, elektrotun çökme derinliği ilişkisi belirtilmiştir. Buna göre;

- Kaynak akımı 12.000-13.000 A arasında ise; akım yükseldikçe çekme-makaslama dayanımı ve çekirdek çap değeri artmakta ancak elektrod dalma derinliği sabit kalmaktadır.
- 13.000 A’dan sonra ise elektrot dalma derinliği dramatik olarak artmakta olup, çekirdek çapı ve çekme-makaslama dayanım değeri ise sabitlenmektedir.
- 14.000 A’dan sonra ise bu 3 değer de, çekirdek çapı, akma-makaslama dayanımı, elektrot dalma derinliği sabitlenmektedir.

2.6.2 Kaynak Süresinin Etkisi

Elektrik punta nokta punta kaynağında oluşan ısının formülü 2.1 ile gösterilmiştir. Burada görülmektedir ki; oluşan ısı kaynak akımının karesiyle, zaman parametresiyle tekil kuvvet ile doğru orantılıdır. Isı geçişi zamana bağlı olarak geliştiği için kaynak akımı ne kadar yüksek olursa olsun, belirli bir sınırı geçemez. Kaynak için gerekli ısının çok hızlı oluşması durumunda elektrotların temas ettiği yüzeylerde çöküntüler ve fışkırmalar olacaktır.

Akım ve kaynak süresini ters orantılı olarak kullanarak benzer punta çapları elde edilebilir. Yani, yüksek kaynak akımı ve düşük kaynak zamanıyla ve düşük kaynak akımı ve yüksek kaynak zamanlarıyla benzer çapta punta çekirdek çapları elde edilebilir. Burada ilk orantı kısa süreli kaynak olarak tanımlanmakta ve ikincisi uzun süreli kaynak adını almaktadır [13]. Kısa süreli kaynak türü diğer türe oranla daha gelişmiş özelliklere sahip olduğu için sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2. 15 Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri [8]

Punta kaynağın ilk zamanlarında ince levhaların kaynağı bile birkaç saniye sürerken, kaynak akımı, kontrol sistemleri ve akım devrelerinde yaşanan büyük ilerlemeler sonucunda, birkaç saniye birkaç peryoda kadar düşmüştür. Kaynak zamanının az olması aslında ısıl kayıpların da azalmasına neden olduğundan önemlidir. Kısa süreli kaynakta kaynak zamanı aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$T = 8.s \quad (2.4)$$

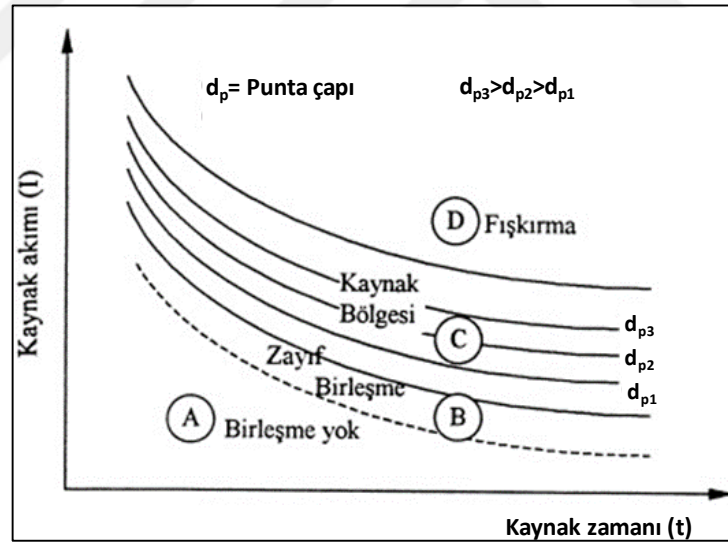
T: Periyot (50 Hz frekanslı bir şebekede periyot 1/50 olarak belirlenir)

s: Levha kalınlığı

Kısa süreli kaynakta, sadece çekirdeğin oluşacağı bölgede ergime meydana gelir. Diğer kısımlarda ısının artması için zaman kalmamaktadır. Bu durumda, kaynak kabiliyeti düşmez ve kaliteli bir punta elde edilmiş olur ve elektrotların temas yüzeylerinde kalite problemleri oluşmaz. Uzun süreli kaynakta ise elektrotların çökmeye neden olması, yüzey kalite problemleri meydana gelir. Kaynak süresi, torçların ayrılmasından sonra kaynak bölgesinin soğuma zamanını etkilemesi açısından önemlidir ve uzun süreli kaynakta soğuma hızı düşüktür. %0,3 karbon içeren çelik malzemelerde sertleşme sorununu önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Aynı zamanda, elektrot tarafından zor sıkılan parçalar için de uzun süreli kaynak kullanılır [10].

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, önceden belirlenmiş sac malzemeler ve kalınlıklarıyla, elektrot uçlarının çapı ve kuvvetiyle, kaynak kabiliyetleri konusunda yorum yapılabilir. Bu grafik 4 bölgeye ayrılmaktadır. Buna göre:

- A bölgesinde sacların herhangi bir şekilde birleşmesi söz konusu değildir. Ergime de gerçekleşmez. Eksik punta denilen kalite problemine neden olan etmenlerden biridir.

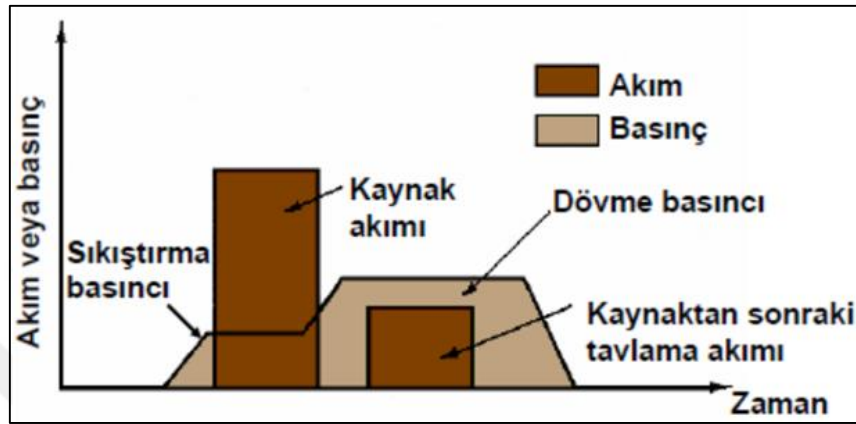


Şekil 2. 16 Kaynak kabiliyeti diyagramı, akım ve zamana bağlı [10]

- B bölgesinde ise zayıf bir birleşme oluşur. Ergime mevcut değildir, sadece elektrotlardaki basınç nedeniyle bir birleşme sağlanır. Yapışık punta denilen kalite problemine neden olmaktadır. B'den C'ye geçtikçe çekirdek çapı artar ve istenile çapa yaklaşır.

- C bölgesinde ise puntanın oluştuğu ergime ve kaynak olmaktadır. Bu bölgenin üst sınırından itibaren fışkırma olmaktadır.
- D bölgesinde ise sıçramalar ve fışkırmalar meydana gelmektedir.

Şekil 2.17’de ise akım ve basıncın punta kaynak boyunca gelişimi gösterilmiştir. Çevrime dövme ve kaynaktan sonraki tavlama işlemleri de dâhil edilmiştir.

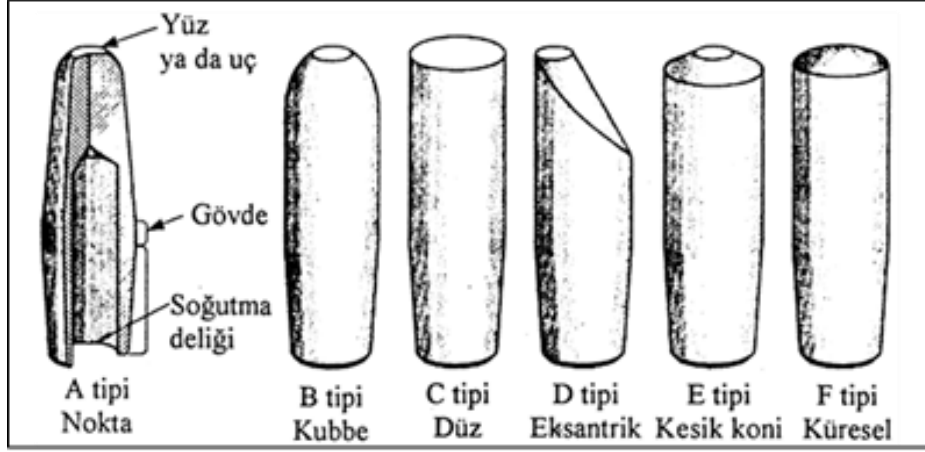


Şekil 2. 17 Direnç kaynağında tipik akım ve basınç çevrimi

2.6.3 Elektrot Bileşiminin ve Şeklinin Etkisi

Elektrotlar, binlerce punta yapma kabiliyetine sahip olabilmek için gerekli dayanıma sahip olmaları gereklidir. Elektrotların elektrik iletkenlikleri yüksek malzemelerden yapılması gereklidir. Aynı zamanda, metal yüzeylerine temas ettikleri için hızlı soğuma kabiliyetine de sahip olmaları gereklidir. Malzemelerin, özellikle alaşımlı metallerin sertlik değerleri arttıkça ısı ve elektriksel iletim özellikleri azalma eğilimi gösterirler. Elektrot malzemesi seçilirken elektrik, ısı ve mekanik özelliklerin optimum birleşimi olan malzemeler seçilmelidir. Genelde bakır çok iyi bir elektrik iletkenliğe sahiptir. Ancak, malzeme sertliğinin düşük olması, saf olarak kullanılmasını engellemektedir. Bunun yerine alaşımlı olarak kullanılmaktadır.

Kalınlık ve alaşım özellikleri aynı olan parçaların montajında kullanılan elektrotların uç çapları aynı olması gereklidir. Bu parçaların kalınlık değerleri birbirinden farklılarsa kalın parçayla temas halindeki elektrotun uç çapı büyük olması gereklidir ki bunun nedeni yüzey alanı artarak oluşacak ısıyı artırılmasının sağlanmasıdır. Farklı elektriksel dirence sahip parçaların birleştirilmesinde de aynı durum geçerlidir.



Şekil 2. 18 Standart elektrot uç şekilleri [11]

Direnci yüksek parçayla temas halindeki elektrotun çapı büyütülmeli; düşük dirence sahip parçanın elektrotunun direnci yüksek olan bir malzemeden seçilmesi gereklidir. Genel olarak çekirdek çapı elektrot uç çapı ile orantılı olmaktadır.

Çizelge 2. 1 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları-1 [7]

Elektrot Sınıfı	Elektrot Malzemesi	Önerilen Kullanım Yeri
Cu	Saf elektrolitik bakır	Özel işlerde, laboratuvar uygulamalarında
I	Cu-Ag, Cu-Cd	Al ve alaşımları, çelik nokta ve dikiş kaynağı, alın kaynağı
I	Cu-Cr, Cu-Cr-Be	Bütün çelikler nokta ve dikiş kaynağı, yoğun ve sürekli kullanımlar için
I	Cu-Co-Be	Yüksek alaşımlı malzemelerin nokta ve dikiş kaynağı
I	Mo, Tungsten	Pirinç, bakır ve gümüş alaşımlarının nokta kaynağı
I	%90Tungsten-%10 Cu	Kabartılı ve alın kaynağında veya yığma elektrotu olarak

Punta sayısı arttıkça elektrot çapı artmaktadır. Bu nedenle de oluşan çekirdeğin çapı da artma eğilimi göstermektedir. Uç çapı %5'den daha fazla büyüyecek olursa, akım azalacak ve haliyle çekirdek oluşumu için gerekli akım değeri sağlanamamış olacaktır [8].

Çizelge 2. 2 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımlar-2 [7]

Alaşım Cinsi	Brinell Sertliği (kg/mm ²)	İletkenlik (% Saf Bakır)	Yumuşama sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı İş Parçası
Bakır (Soğuk Çekilmiş)	95	90	150	Alüminyum
Tellür - Bakır	100	90	175	Alüminyum
Kadmiyum - Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom - Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten - Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve Bakır Alaşımları

2.6.4 Kaynak Kuvvetinin Etkisi

Punta kaynak sırasında kullanılan kuvvet, kaynak çevriminin her sekansında büyük öneme sahiptir. Bu kuvvet fiziksel olarak bir değer olarak ifade edilerek statik bir yük olsa da, kaynak sırasında sistemdeki hareketlerden kaynaklı dinamik bir yük halini alır. Bazı noktalarda kayıplar meydana gelmektedir. Elektrotların, uygun bir kaynak için parçaların yüzeylerine tam olarak temas etmesi gereklidir. Elektrot kuvveti, uygun temas halindeki parçalarda, çok fazla uygulanması durumunda parçaların direncini azaltacak; azalan direnç değeriyle de sistemde oluşacak ısının azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle de kuvvetin çok fazla uygulanması zararlı olacaktır. Birbirine tam olarak temas etmeyen parçalarda ise kuvvet artırılabilir böylece uygun kaynak için tam temas sağlanarak deformasyonların giderilmesi sağlanmış olacaktır. Temas kuvveti artırılabilceği gibi, temas süresi artırılarak da parçaların hareket etmeleri, yaylanmaları vs. önlenmiş olacaktır.

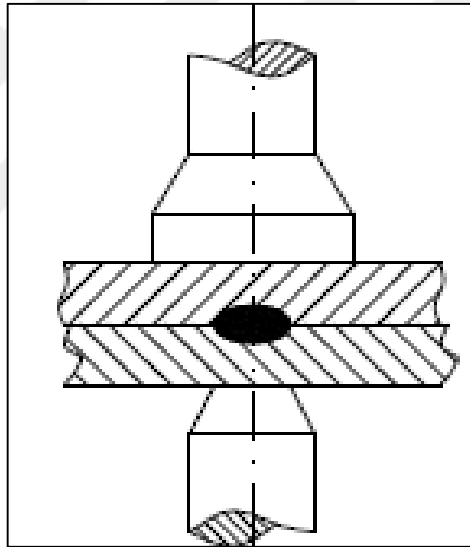
Elektrot kuvveti, kaynağın her sekansında önemli bir yere sahiptir. Basma sekansında levhalar arasındaki temas direncinin düşük bir değerde kalmasını sağlamaktadır. Çekirdeğin oluşacağı yerin belirlenmesinde rol oynamaktadır. Kaynak sekansında ise levhaların arasındaki ergimiş metalin dışarıya fıskırmasını engellemektedir. Son olarak

sıkma sekansında ise soğuyan çekirdeğin içeriğinde oluşabilecek boşluk, çatlak vb. kaynak problemlerini önlemek için kuvvet ile saclar arasında bütünlük sağlar.

Çizelge 2. 3 Malzeme ve levha kalınlığının göre elektrot kuvveti [7]

Malzeme	Kuvvet, (F, kN)
Alaşımsız çelikler için	2.s
Yüksek alaşımlı çelikler için	3,5.s
Alüminyum için	2,5.s

Bazı durumlarda malzeme yüzeyinde punta izlerinin minimum görülmesi gerekebilir. Bu durumda Şekil 2.18’de görüldüğü gibi elektrot yüzey alanı artırılmaktadır.



Şekil 2. 19 Elektrot tasarımı (Düz elektrot ile sac yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması)

2.6.5 İş Parçası Malzemesinin Etkisi

Punta kaynak için kullanılan metal malzemelerin bileşimleri, fiziksel ve kimyasal bütün özellikleri kaynak kalitesini doğrudan etkiler. Bu özelliklerden kaynak için en önemlileri olan özgül ısı, erime sıcaklığı, gizli erime ısı, ısı ve elektrik iletkenliği, yoğunluk, sertlik, mekanik özellikler (çekme mukavemeti vs.), malzemedan malzemeye değişiklik göstereceği için bu malzeme etkisi direnç nokta kaynağının kalitesini birebir etkiler.

Çizelge 2. 4 Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti faktörleri-1 [9]

Metaller	Elektrik İletkenliği [m/Ω.mm]	Isıl iletkenliği [cal/cm.s.°C]	Erime Noktası [°C]	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Alüminyum	36	0,53	659	0,79	İyi
Demir	10	0,16	1530	4,1	Çok iyi
Kobalt	11	0,17	1490	3,6	Çok iyi
Bakır	56	0,94	1083	0,18	Kötü
Magnezyum	22	0,41	650	1,7	İyi
Molibden	21	0,33	2620	0,55	Yeterli
Nikel	11	0,21	1453	3	Çok iyi
Platin	9	0,17	1770	3,7	Çok iyi
Gümüş	62	1,1	960	0,15	Kötü
Tantal	6,5	0,13	2850	4,1	Çok iyi
Titan	1,85	0,041	1660	79	Çok iyi
Tungsten	18	0,4	3380	0,41	Yeterli

Çizelge 2. 5 Bazı metallerin fiziksel özellikleri ile kaynak kabiliyeti faktörleri-2 [9]

Alaşımlar	Elektrik İletkenliği (m/Ω.mm)	Isıl iletkenliği (cal/cm.s.°C)	Erime Noktası (°C)	Kaynak Kabiliyet Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
Karbonlu çelik	6	0,12	1490	9,3	Çok iyi
Östenit-Mg	3,5	0,05	1420	40	Çok iyi
AlMg3	16	0,28	620	3,6	Çok iyi
AlMg5	20	0,37	625	2,2	Çok iyi
AlMn	16,5	0,28	605	3,6	Çok iyi
AlMgMn	25	0,41	645	1,5	İyi
AlMgCu	22	0,35	630	2,1	Çok iyi
AlMgSi	27,5	0,37	590	1,7	İyi
Çinko alaş.	31	0,42	620	1,2	İyi
Pirinç	17	0,25	400	5,9	Çok iyi
Al. alaş.	12	0,28	925	3,2	Çok iyi

Çizelge 2. 6 3mm kalınlığa kadar alaşımsız ve düşük alaşımlı, kaplanmamış ve yüzeyi kaplanmış haldeki çeliklerin nokta kaynak kabiliyeti [9]

NOKTA KAYNAĞI KABİLİYETİ				
Çok Uygun		Uygun	Şartlı Uygun	Uygun Değil
Çelik Malzemeler	Alaşımsız, kaplanmamış çelik band ve saclar	St37	St42 ve St52-3	Plastik kaplı ve laklanmış saclar
	Yüksek dayanımlı derin çekilmiş çelikler	Metalik malzeme ile kaplı çelikler (krom hariç)	Yağlayıcı lak ile kaplı çelikler	Temperlenmiş yay çelikleri
	Östenitik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler	Krom kaplı çelikler	Yüzeyi emayelenmiş çelikler
			Kompozitler	
			Anorganik metalik olmayan malzeme ile kaplı çelikler	
			Yüksek sıcaklığa dayanıklı ferritik çelikler	
			Martenzitik paslanmaz çelikler (C≥%0,12)	
			Östenitik yay çelikler	

Bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerin elektriksel iletkenlikleri çok yüksek olduğundan, kaynak sırasında akım değeri çok yüksek olsa dahi, ısı oluşum gerekli olan direncin tam olarak oluşmaması oluşsa dahi çok düşük değerlerde oluşmasına neden olacaktır. Bu durumda da çekrideğın oluşmamasına, yetersiz oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle, gerekli olan ısıl erime sıcaklığının elde edilmesi için, malzemelerin levha kalınlığına bağılı olarak belirli bir elektrot kuvveti oluşturulması sağlanır.

2.6.6 İş Parçaları Yüzeylerinin Etkisi

Direnç nokta kaynak kalitesinin artırılması için, elektrotlarla temas halindeki iş parçalarının yüzeylerinin temizlik yönünden iyi durumda olmaları gereklidir. Bu durumda, parçaların yüzeylerindeki direnç en düşük seviyeye inecektir. Elektrot kuvvetinin kontrollü bir şekilde ayarlanması ise ayrıca önemlidir. Parçaların yüzeylerinde direncin yüksek olması, parçaların arasında oluşması gereken ısıl yükselmenin, parça

yüzeylerinde de aynı hızda oluşmasına ve dirençteki bu değişimler kaynaklı kaynak akımı oluşumu için geçen sürenin değişmesi kalitesiz bir kaynak elde edilmesine neden olacaktır.

İş parçası metal levhalarının yüzeylerindeki mikro boyuttaki düzgün olmaması kaynaklı, düşük elektrot kuvvetleri söz konusu olduğunda metallerin gerçek temas alanları, görünen temastan çok düşük olacaktır. Bu durumda elektrik direnci yüksek olmaktadır. Elektrot basıncı artırıldıkça, gerçek temas yüzeyi alanı artacağı için direnç düşmektedir. Elektrot malzemesi, iş parçasında daha sünek ise belirli bir elektrot kuvveti ile metal yüzeyleri arasında oluşan temas, metallerin kendi arasında temasında daha iyi olmasına neden olmaktadır. Buna göre, elektrot kuvveti arttıkça, yüzey direnci düşecektir. Elektrot kuvveti direkt olarak ısı formülasyonda yer almasa da elektrik direnç kuvvetini dolayısı ile de kaynak akımını direkt olarak etkiler.

Kaynağa başlamadan önce, yüzey hazırlama işlemi yapılmalıdır. İyi bir kaynak kalitesi elde edebilmek için metallerin yüzeyinde, hadde cürufu, oksitler, boya ve yağlı maddeler olmaması gereklidir. Kaynak yapılacak alanının tamamı veya en azından kaynaklanacak noktaların çevresi fiziksel olarak inklüzyonlardan temizlenmiş olması gereklidir. İyi bir yüzey kalitesi için, kaynak yüzeylerinin kirsiz, cürufsuz, passız ve oksitsiz olması için temizlenmesi gereklidir. Bu temizlik, elektrotların ömrünü artırmaktadır. Nedeni, yüzeylerinde alaşımlanmış metallerin azalmış olmasıdır. Çizelge 2.7 ile yüzey kalitesinin kaynak kalitesi üzerinde etkileri detaylı olarak belirtilmiştir. Bu çizelge ile kaynak işlemi öncesi yüzey temizliği için gerekli önlemler alınması gerekecektir.

İş parçaları yüzeyindeki yağlı yapının ortadan kaldırılması yağ gidereci malzemelerle, kimyasal içerikli banyolarla veya mümkünse el ile temizlenerek sağlanabilir. Bu yağlı tabaka, mekanik olarak da temizlenebilir ancak burada metal yüzeyinde düzgün olmayan ve süreksiz hasarlar oluşmamasına dikkat edilmelidir.

Kaynak parçaları üzerindeki bir miktar yağın kaliteye etkisi az olacaktır. Ancak, yoğun bir yağ tabakası var ise daha önce belirtilen yöntemlerle temizlenmesi gereklidir. Fazla miktarda cüruf veya oksit kaplamalarına sahip metal kaynak edildiğinde kaynak bölgesindeki yüzeyde bulunanların çoğu ya da hepsi, akım, yüzey dirençleri veya elektrot

basıncı ne olursa olsun, kaynakların içinde kalır. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, bazen belirlenmesi zor olan boşluklar veya diğer iç kusurlara neden olabilir [9].

Çizelge 2. 7 Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları [13]

Yüzey Durumu, Tipi	Sebeup	Sonuç
Derin elektrod izi	1. Uygun seçilmemiş elektrod yüzeyi 2. Elektrod kuvvetinin kontrol edilememesi 3. 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
Yüzey ergimesi (genellikle derin elektrod izi ile birlikte)	1. Curuflu veya kirli yüzey 2. Düşük elektrod kuvveti 3. Parçaların kaymış olması 4. Yüksek kaynak akımı 5. Elektrodların düzgün şekilli olmaması 6. Basınç ve akım sırasının uygun olmaması	1. Ergimiş metalin fışkırması nedeniyle çekirdek boyutlarının küçülmesi 2. Kaynak bölgesinde büyük boşluklar 3. Parçanın dış yüzeyinden yanıkların temizlenmesi nedeniyle maliyet artması 4. Elektrodların sık sık düzeltilmesi nedeniyle üretim zamanının harcanması
Kötü şekilli kaynak	1. Parçaların ayarsızlığı 2. Elektrodların aşırı aşınmış olması veya düzgün olmayan elektrod formu, elektrodların kayması 3. Elektrodların yüzey temizliğinin kötü olması	1. Ara temas yüzeyinin değişmesi nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Ergimiş metalin fışkırması
Parça üzerinde elektrod kopması (genellikle yüzey ergimesi ile birlikte)	1. Curuflu veya kirli olması 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. Ergimiş metal fışkırması varsa, kaynak mukavemetinin düşmesi 4. Elektrod ömrünün kısalması

Çizelge 2. 8 Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları [13] (devamı)

Yüzey Durumu, Tipi	Sebebi	Sonuç
Çatlaklar, derin boşluklar veya küçük delikler	1. Kaynak çekirdeği katılaşmadan önce elektrod kuvvetinin kaldırılması 2. Ergimiş metalin fışkırmasına neden olacak şekilde aşırı ısı üretimi 3. Parça yüzeylerinin birbirine yaklaşamaması ve dolayısıyla elektrod kuvvetinin arttırılması	1. Çatlak veya süreksizliğinin kaynak alanının dışına uzaması sonucu veya gerilme altında yorulma dayanımının düşmesi 2. Çatlak veya boşluklarda korozif maddelerin birikmesi nedeniyle korozyonun artması

2.6.7 Isı Kaybının Etkisi

Punta kaynak işleminde ısı kaybı çekirdek oluşumu için çok önemlidir. Isı kaybı, akımın metaller üzerinden geçmesi ve devamında elektrot kuvveti ile soğumaya başlaması ile devam eden süreçte oluşan bir durumdur. Bu durumu 2 farklı aşamada ele alabiliriz:

- Akım uygulanırken oluşan ısı kaybı
- Akım durdurktan sonra oluşan ısı kaybı

İlk kısımdaki ısı kaybını etkileyen faktörlerden metallerin bileşimi ve kütleleri, kaynak sırasında kontrol edilebilen özellikler değildir. Kullanılan bir akım değeri için kaynaklı malzemeler arasında üretilen ısı malzemelerin elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Daha önce de belirtildiği gibi ısı iletkenlik, oluşan ısıнын bölgeden ne kadar hızlı iletileceğini ve ısı kaybını belirlemektedir. Bu 2 değişim metaller için birbiri ile ilintili olarak ele alınmaktadır. Örneğin, bakır gibi yüksek iletkenlik oranına sahip malzemelerde oluşan düşük miktarlardaki ısı çok hızlı bir şekilde çevreye yayılarak kaybolur. Kaynak sırasında elektrotların metaller ile temasını sürdürmesi durumunda, temas halindeki metaller arasındaki ısı hızlı yayılır ve soğuma meydana gelir. Aslında bu soğumanın ne kadar homojen bir şekilde olacağı da oluşacak çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler.

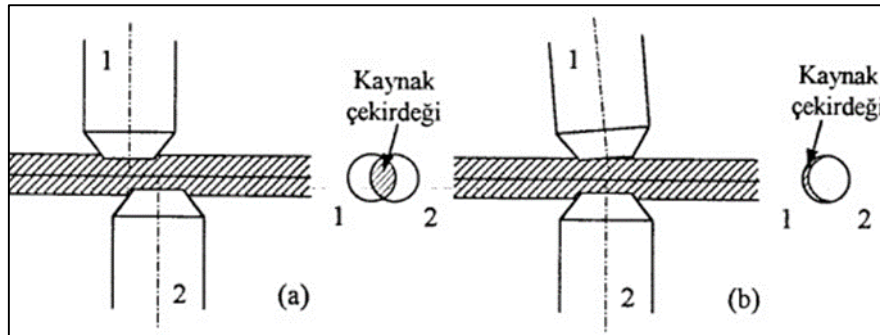
Bazı uygulamalarda elektrot su ile hızlı bir şekilde soğutulur ve bu durumda ısı kaybı hızlanır. Oluşan ısıнын hemen azaltılarak soğutma işlemi sürekli olarak istenen bir şey

değildir. Eğer soğuma hızının azaltılması isteniyorsa kaynak süresinin artırılması sağlanabilir. Bu durumda, kaynak noktasında çevresindeki metale geçen ısı miktarı artar ve böylece sıcaklık farklılıkları azaltılmış olur. Bu sıcaklık farkı ise soğuma hızını kontrol etmek için kullanılır. Genel olarak; kalın levhaların kaynak soğuma hızları, ince levhali olanlara göre çok daha yavaş gerçekleşir. Bu durum, kalın levhali malzemelerin kaynak çekirdeğinin oluşumu için gerekli ısı yoğunluğunu, ısı kayıplar kaynaklı engellemek içindir. İnce levhalarda zaten ısı kazançlar hızlı bir şekilde sağlanabilir ve hızlı soğumasında bir sorun oluşmaz.

Elektrot kaynak bölgesinden hızlı bir şekilde kaldırılması durumunda, oluşan ısı hızlı bir şekilde çevreye ve metalin etrafına yayılacaktır. Bu durumda, soğuma hızı düşecektir. İnce levhalarda yayılan ısıнын fiziksel olarak levhaların distorsiyona uğramasına neden olabilir. Kalın parçalarda ise kaynak bölgesi daha kalındır ve mukavemet nedeniyle daha hızlı bir kaynak soğumasına izin vermek uygun olacaktır. Bu nedenle de ısıнын oluşması ve devamında düzenli soğuması için elektrotun parçalar üzerinde belirli bir süre bekletilmesi gereklidir.

2.6.8 Elektrot ve İş Parçası Temas Durumu Etkisi

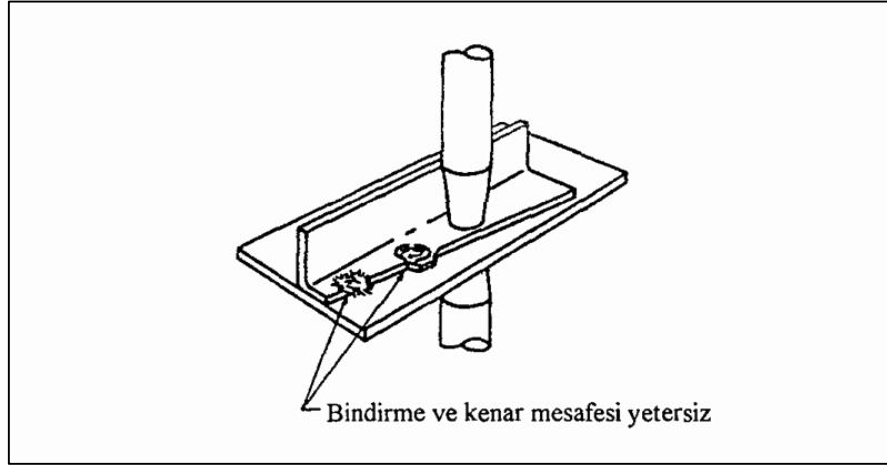
Punta kaynak kalitesini ve kaynak kabiliyet durumunu etkileyen bir diğer konu elektrotların iş parçasına temas açılarıdır.



Şekil 2. 20 Elektrotların (a, b) temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri [12]

Elektrotların eksenleri ve iş parçası üzerinde oluşması istenen kaynak çekirdeğinin eksenini aynı doğrultuda olmalıdır. Elektrot iş parçasına dik dolayısı ile de birbirine paralel olmaları gereklidir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen ve geçen elektrotlarla oluşan çekirdeğin şekli Şekil 3.19 ile incelenebilir. Aynı eksende olmaması

durumunda diğ erinden yaklaşık üçte biri oranında daha küçük bir etkin çekirdek ç apı elde edilir.



Ş ekil 2. 21 Yetersiz bindirme ve kenar mesafesi sonucu oluşan hatalar [12]

DENEYSEL ÇALIŞMALAR, TESTLER VE YORUMLANMASI

Bu deneysel çalışmalar ile otomotiv sanayiinde kullanılan bir parçanın hasarlı ve hasarsız test yöntemleri ile nokta direnç kaynağı kalitesinin yorumlanması ve standartlara göre detaylı ele alınması sağlanması amaçlanmaktadır. Öncelikle, deney parçasının fiziksel, kimyasal özellikleri, detay parçalarının analizi, montaj sıralaması ve punta kaynak noktalarının belirlenmesi; devamında deney parçasının üç boyutlu olarak doğrulanması devamında daha önceden belirlenen testlerin yapılması sağlanmıştır.

3.1 Deney Parçasının Malzeme Özellikleri

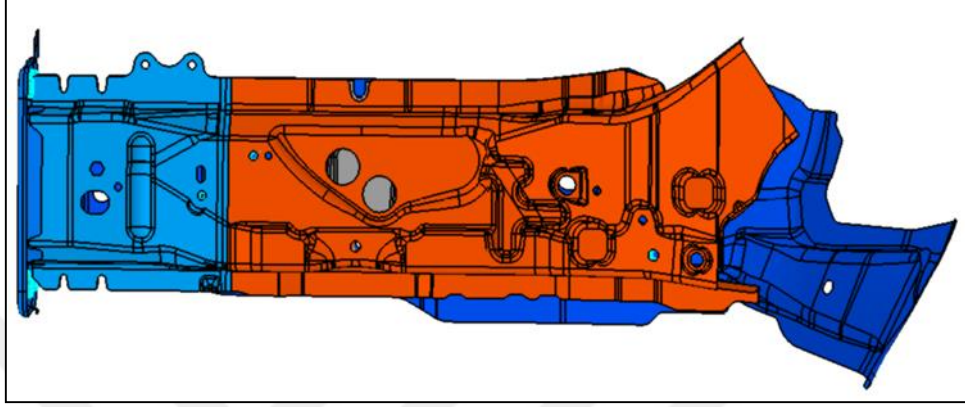
Deneyler esnasında kullanacağımız parça, hafif ticari bir aracın karoseri kısmında yer alan ve motor aksamının altında bulunan, motordaki titreşimi olası darbeleri sönümleyen motor taşıyıcı braketidir. Araçta bulunduğu konum itibariyle önemli bir işlevi bulunan bu parça farklı sac parçaların bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır. Her bir alt detay parçanın sac kalınlığı-ERD Kalite numara çiftleri Çizelge 3.1'den incelenebilir ve şu şekilde sıralanabilir: 2,3-1,8 mm-3660 (DP600), 1,8 mm-3660 (DP600), 2,9 mm-HX340LAD+Z, 1,6 mm-DX52D+Z, 1,5 mm-DX52D+Z, 1,5 mm-DX52D+Z, 1,8 mm-DX51D+Z, 1,4 mm-DX52D+Z, 2,0 mm-DX54D+Z, 2,1 mm-DX54D+Z. Parçanın son montajlı hali Şekil 3.1'deki gibi görülebilir. Bu malzeme özellikleri de aşağıdaki tabloda detaylı olarak incelenebilir. Bu montajlı parça kalıplı ve kalıpsız olarak üretilmiş farklı detay parçalardan oluşmaktadır. Toplamda 10 farklı parçadan oluşmaktadır. Detay parçaların üretiminde Erdemir firmasının sacları kullanılmıştır. Sacların kalınlıkları 1,4 mm ile 2,9 mm arasında değişmektedir. Çekme dayanımları 260 N/mm^2 ile 580 N/mm^2 arasında ve akma

dayanımları da 140 N/mm² ile 470 N/mm² arasında değişmektedir. Uzama katsayıları %22 ile %36 arasındadır.

Çizelge 3. 1 Deney parçası detay parçalarının malzeme özellikleri

SAC KALINLIĞI	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama	C	Mn	Si	Al	P	S	STANDART KALİTE
mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%	%	%	%	%	%	
2,3	300-470	580-670	24	0,12	1,4	0,5	0.020 - 0.060	0,085	0,008	2661-00
1,8	300-470	580-670	24	0,12	1,4	0,5	0.020 - 0.060	0,085	0,008	2661-00
2,9	413	458	28	0,04 8	0,32 9	0,01 1	0,031	-	-	EN 10346: 2015
1,6	140-300	270-420	26	0,12	0,6	0,5	-	0,1	0,045	EN 10346: 2015
1,5	140-300	270-420	26	0,12	0,6	0,5	-	0,1	0,045	EN 10346: 2015
1,5	320	390	17	0,5	1,7	0,6	-	0,1	0,045	EN 10346: 2015
1,8	-	270-500	22	0,18	1,2	0,5	-	0,12	0,045	EN 10346: 2015
1,4	140-300	270-420	26	0,12	0,6	0,5	-	0,1	0,045	EN 10346: 2015
2,0	120-220	260-350	36	0,12	0,6	0,5	-	0,1	0,045	EN 10346: 2016

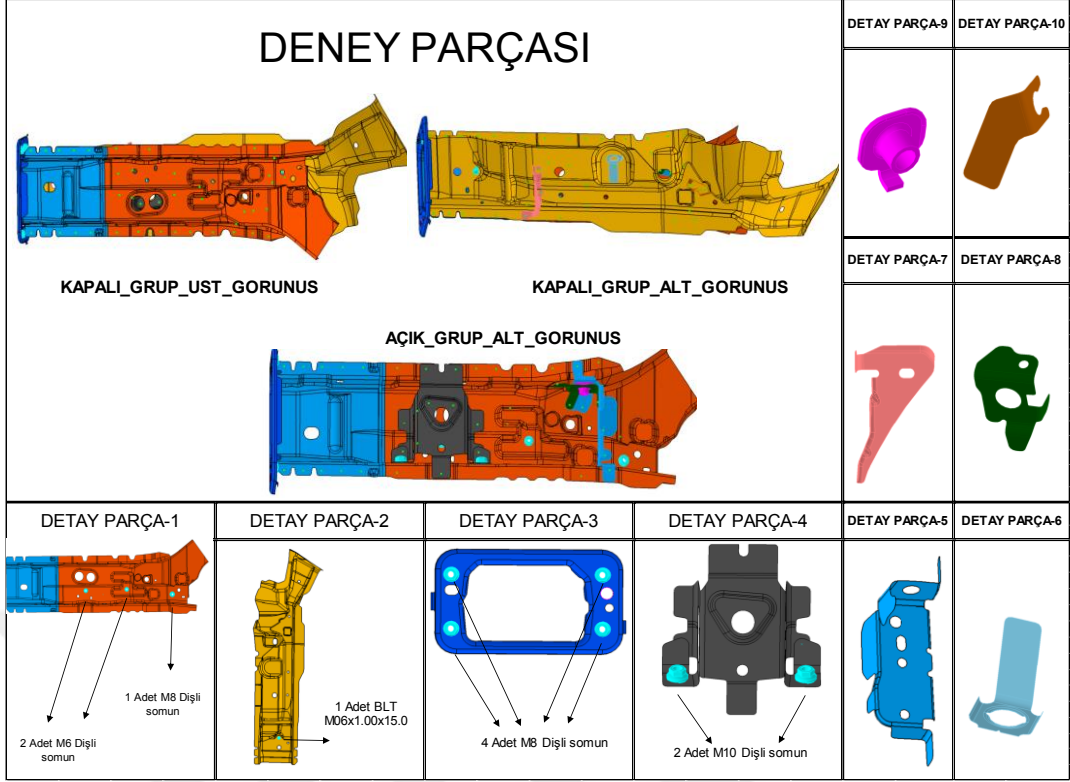
Genel olarak alaşımlı çelik saclar kullanılmıştır. 2,3 mm sacı ve detay parça-2’de kullanılan 1,8 mm sacı Avrupa standartları olarak 2660-00’a göre malzeme özelliklerine sahiptir. Diğer saclar ise EN 10346:2015 standardına göre malzeme özelliklerine sahiptirler. Montaj parçasının malzeme özellikleri detaylı olarak Çizelge 3.1 ile görülebilir.



Şekil 3. 1 Deney parçası

3.2 Deney Parçasının Montajlama Bilgileri

Deney parçası, Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi 10 farklı alt detay parçanın birleşmesi sonucu oluşmaktadır. Bu parçaların 2 tanesi alt ana detay parçalardır. 2 grup halinde alt detay parçalar birleşerek ana alt detay parçaları oluşturmaktadır. Deney parçamız toplam 4 operasyonla (OP-10/OP-20/OP-30/OP-40) oluşmaktadır. Operasyon 10, OP-10 ile detay 1-6-7-10 parçaları toplam 6 adet punta ile birbirine birleştirilmekte ve böylece ana alt detay parça-1 oluşmaktadır. Devamında operasyon 20, OP-20 detay 2-4-5-8-9 parçaları, toplam 10 adet punta ile birleştirilerek ana alt detay parça-2’yi oluşturmaktadır. Ana alt detay 1-2 parçaları operasyon 30, OP-30 ile toplam 24 adet punta kaynağı ile birbirine puntalanmaktadır Operasyon 40, OP-40 ile detay parça-3 gaz altı kaynağı yardımıyla 24 adet puntayla birleştirilmiş bu 2 alt ana detay parçaya kaynatılarak, deney parçamız elde edilmiş olmaktadır. Çizelge 3.2 ile her bir detay parçanın sac kalınlıklarını ve sac malzeme kalitesini incelenebilir. Ayrıca, punta yapılan OP-10, OP20 ve OP-30 operasyonlarındaki detay parçaların birleştirilmesi şekli ve parçaların üzerindeki punta noktaları Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ile detaylı olarak incelenebilir.

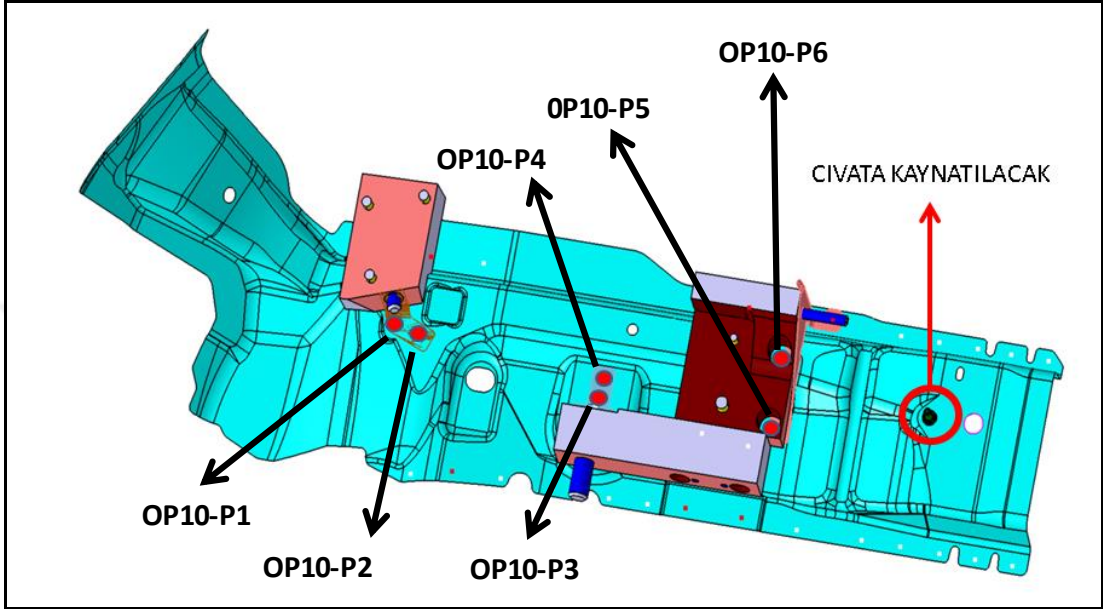


Şekil 3. 2 Deney parçasının detay parçaları ile montaj hali

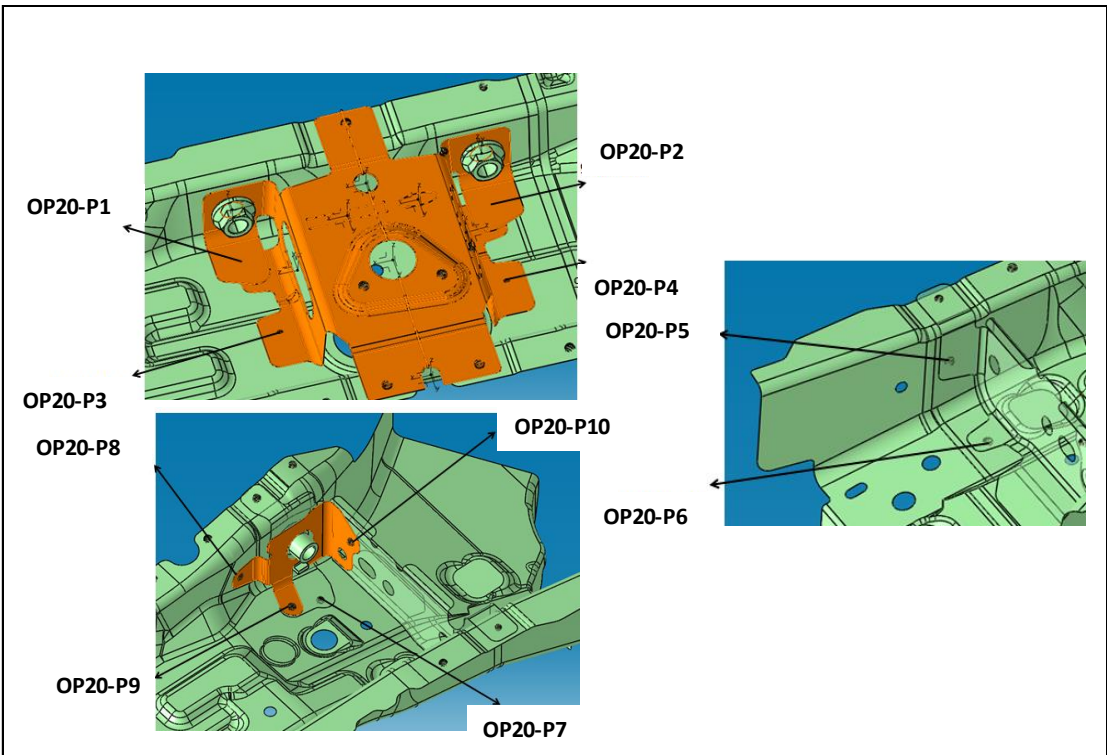
Çizelge 3. 2 Deney parçası detay parçaları malzeme özellikleri eşleşmesi

DETAY PARÇA NUMARASI	SAC KALİTESİ	SAC KALINLIĞI [mm]
DETAY PARÇA-1	DP600	2,3-1,8
DETAY PARÇA-2	DP600	1,8
DETAY PARÇA-3	H340+Z	2,9
DETAY PARÇA-4	ERD 1312	1,6
DETAY PARÇA-5	ERD 1312	1,5
DETAY PARÇA-6	ERD 1332	1,5
DETAY PARÇA-7	DX51D+Z100	1,8
DETAY PARÇA-8	ERD 1312	1,4
DETAY PARÇA-9	ERD 1314	2,0
DETAY PARÇA-10	ERD 1314	2,1

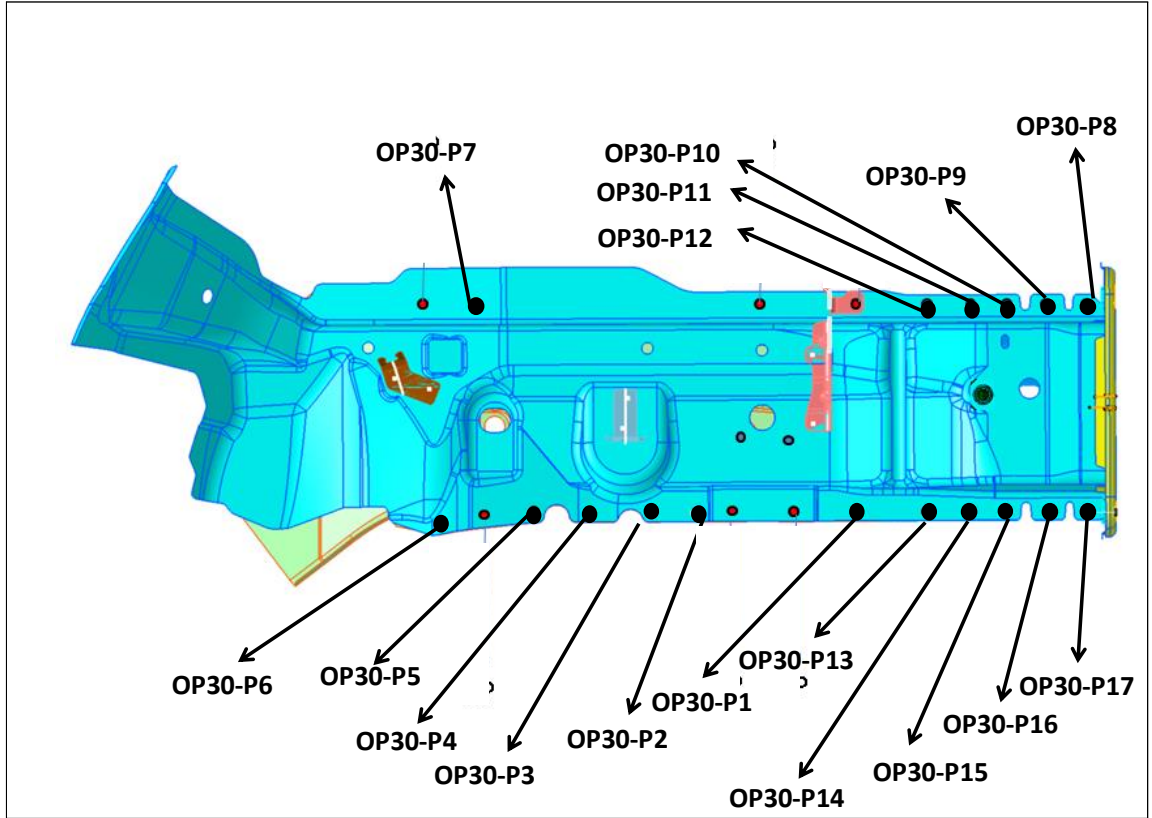
Çizelge 3.3 ile her bir punta operasyonundaki puntalar, kendi içerisinde işlevsellik bakımında aynı görevi görüyorsa bir grup haline getirilerek “punta kümesi” adını verdiğimiz özel punta kümeleri oluşturulmuştur. Bunun amacı, her bir punta kümesindeki puntalar kendi içerisinde belli sayıda uygunsuz uygun yani OK ve uygunsuz yani NG punta içerebilir. Bu punta kümeleri kendi içerisinde ayrı ayrı inceleme yapacağız.



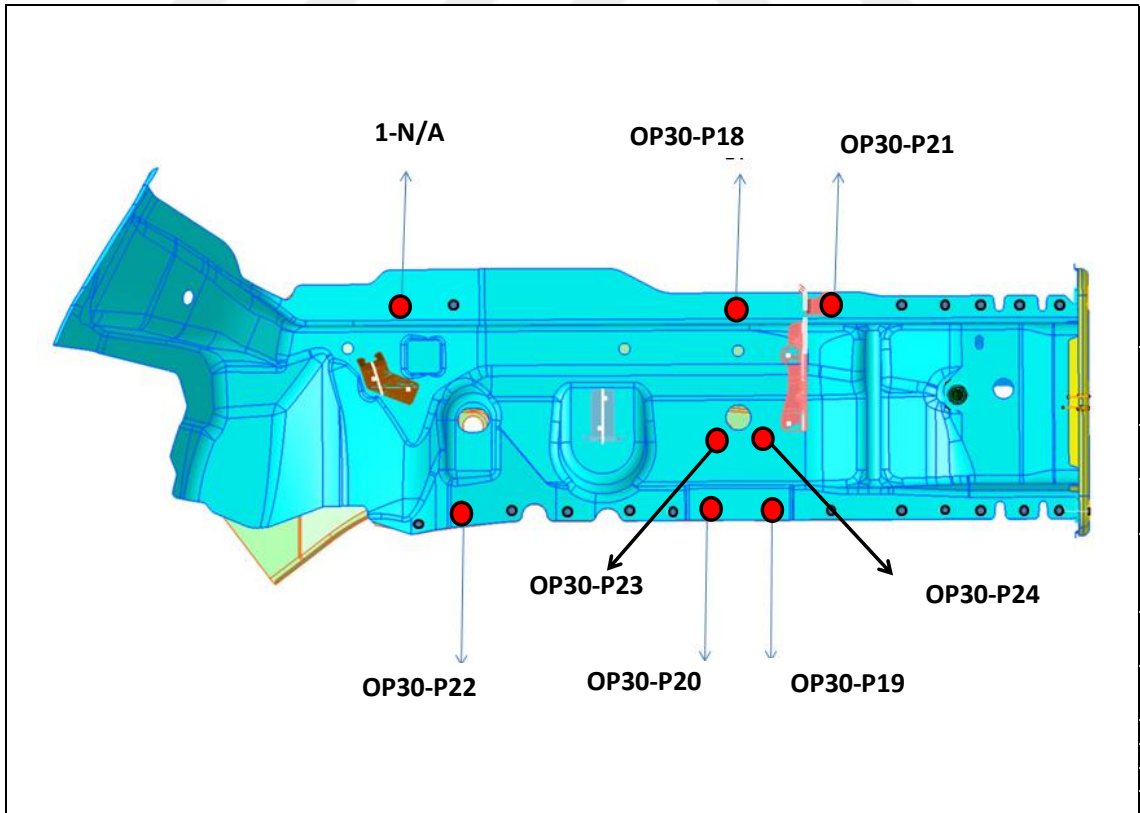
Şekil 3. 3 OP-10 nolu punta noktaları



Şekil 3. 4 OP-20 nolu punta noktaları



Şekil 3. 5 OP-30 nolu punta noktaları-1



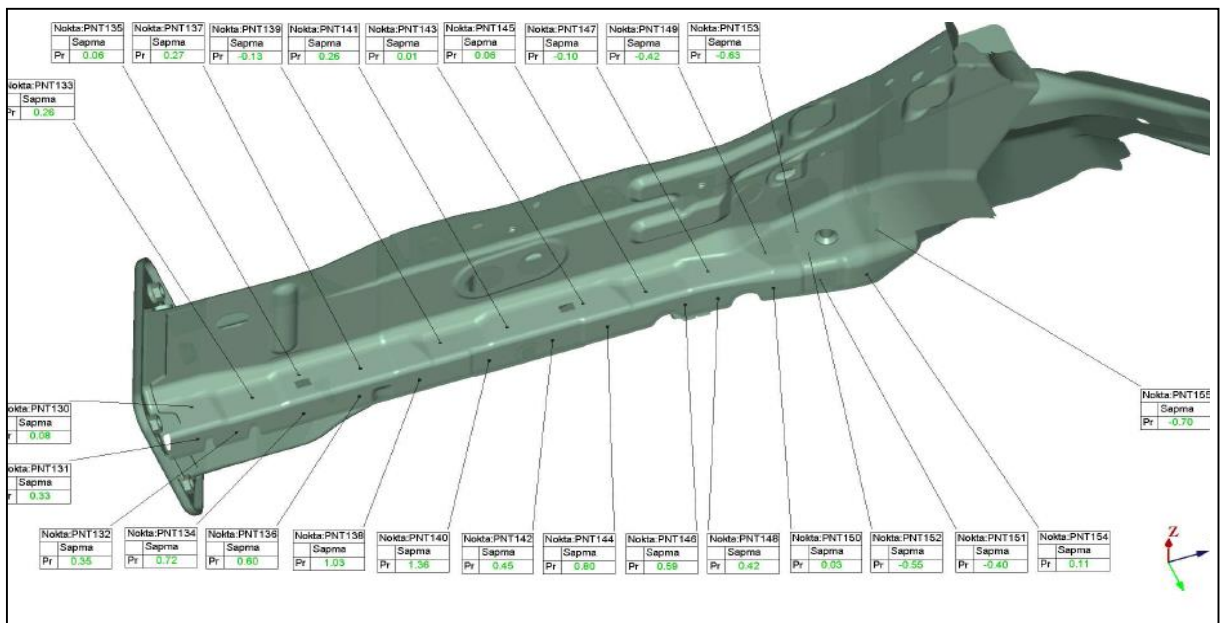
Şekil 3. 6 OP-30 nolu punta noktaları-2

Çizelge 3. 3 Punta kümesi noktaları tablosu ve punta özellikleri

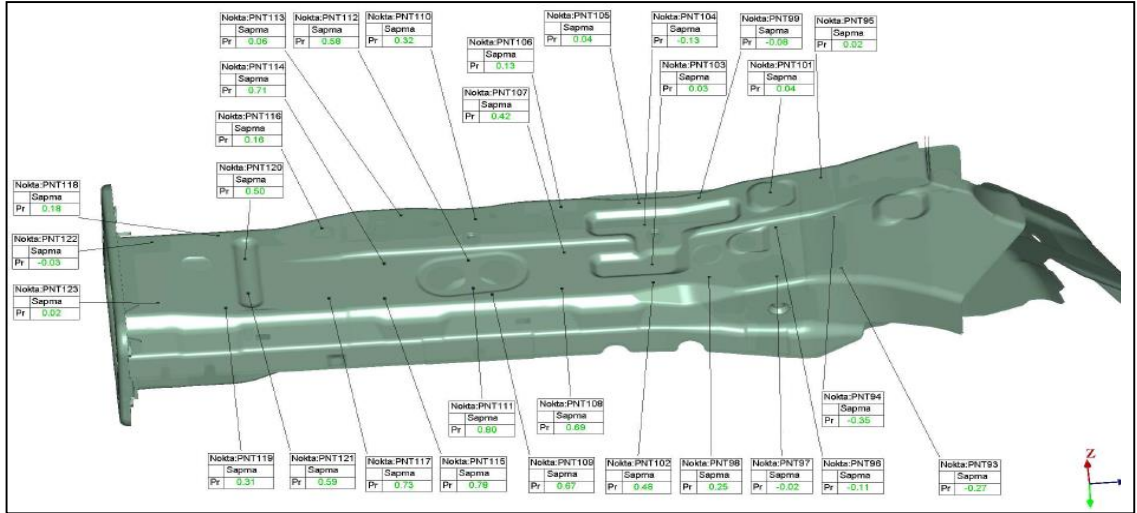
Punta Kümesi Numarası	Punta Adedi	Punta Numaraları	Punta Kümesi Numarası	Punta Adedi	Punta Numaraları
1	2	OP10-P1	9	7	OP30-P5
		OP10-P2			OP30-P6
2	2	OP10-P3			OP30-P7
		OP10-P4	10	10	OP30-P8
3	2	OP10-P5			OP30-P9
		OP10-P6			OP30-P10
4	2	OP20-P1			OP30-P11
		OP20-P2			OP30-P12
5	2	OP20-P3			OP30-P13
		OP20-P4			OP30-P14
6	3	OP20-P5			OP30-P15
		OP20-P6			OP30-P16
		OP20-P7			OP30-P17
7	1	OP20-P8	11	3	OP30-P18
8	2	OP20-P9			OP30-P19
		OP20-P10			OP30-P20
9	7	OP30-P1	12	1	OP30-P21
		OP30-P2	13	1	OP30-P22
		OP30-P3	14	2	OP30-P23
		OP30-P4			OP30-P24

3.3 Deney Parçasının 3 Boyutlu Ölçüm İle Doğrulanması

Punta kaynak kalitesinin tam olarak belirlenmesi için, üretilmiş parçanın ölçülerinin, tasarlandığı programdaki dataya uygunluğunun kontrol edilmesi gereklidir. Bunun nedeni, dataya uygun formları almamış parça, araç karoserisinde montaj olacağı yere monte edilemeyecektir. Aynı zamanda punta noktalarının, belirlenen yerlerde olması gereklidir. Farklı formlarda imal edilen bir parçada puntalara gelen özellikle kesme kuvvetinin değişmesi kaçınılmazdır. Sac parça imali yapan tedarikçi firmalar ve sac tedariki yapan ana firmalarda, özellikle kalıplı parçaların dataya uygun üretilip üretilmediği belirli periyotlarla 3 boyutlu ölçüm yapan, 3D cihazlarla ve fiktürlerle kontrol edilmektedir. Proje başında belirlenen dataya uygun bir şahit numune ile görsel olarak kontroller de yapılmaktadır (Şekil 3.7, Şekil 3.8). 3D ölçüm yapmak genelde zaman alan ve maliyetli bir işlem olduğu için firmalar bu ölçümleri yıllık periyotlarda yapmaktadır. Üretime başlarken ilk numune onayı denilen ve üretilen ilk birkaç parçanın özellikle şahit numuneyle olan uyumuna görsel olarak bakılması ve devamında varsa parçanın 3D datasına göre oluşturulmuş fiktüründe kontrollerin sonucuna göre karar verilen bir konudur (Şekil 3.9). Deneylerde kullanılan parçanın doğruluğunun garanti edilmesi adına hem fiktürde kontrolleri yapılmış hem de 3D olarak ölçüm yapılarak dataya uygunluğu, sapma olsa dahi toleranslar içinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Cihazın tolerans değeri $[+1,-1]$ mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 7 Deney parçasının 3D ölçüm sonucu-1



Şekil 3. 8 Deney parçasının 3D ölçüm sonucu-2



Şekil 3. 9 Deney parçasının fişstürü

3.4 Punta Kaynak Parametreleri

Deney parçasının detay parçalarının punta kaynağında Tek Fazlı 6500 tipi punta kaynak makineleri kullanılmıştır. Bu detay parçaların birleştirilmesinde ise otomotiv sektöründe pek çok firmada kullanılan 3 eksenli mafsallı sanayi tipi robot kullanılmıştır (Şekil 3.10). Her bir operasyondaki punta kaynak makinesinin parametreleri Çizelge 3.11 ile detaylı olarak listelenmiştir. Zamansal değerlerin minimum ve maksimum değerlerinin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni sistemsel olarak gecikmelerin olabilmesi ve bu durum oluştuğunda alt-üst değerler arasında kaynak yapılmasının sağlanması amaçlanır.



Şekil 3. 10 Servo tabancalı punta kaynak robotu

Çizelge 3. 4 OP-10, OP-20, OP30 için punta kaynak parametreleri

Parametreler	OP-10			OP-20			OP-30		
	Nominal Değer	Aralık		Nominal Değer	Aralık		Nominal Değer	Aralık	
		Min.	Maks.		Min.	Maks.		Min.	Maks.
Sıkma Peryodu [T]	17	18	20	7	6	8	13	14	17
Tutma Peryodu [T]	3	3	5	3	3	5	3	3	5
Ön Isıtma Peryodu [T]	3	3	5	3	3	5	3	3	5
Kaynak Peryodu [T]	17	16	18	14	12	16	15	12	16
Basma Peryodu [T]	3	3	5	3	3	5	3	3	5
Kaynak Akımı [kA]	61	60	62	63	60	65	63	62	64

Çizelge 3. 4 OP-10, OP-20, OP30 için punta kaynak parametreleri (devamı)

Parametreler	OP-10			OP-20			OP-30		
	Nominal Değer	Aralık		Nominal Değer	Aralık		Nominal Değer	Aralık	
		Min.	Maks.		Min.	Maks.		Min.	Maks.
Elektrot Çapı [mm]	Ø6X16	Ø6	Ø7	Ø6X16	Ø6	Ø7	Ø8X20	Ø8	Ø20
Elektrot Sıkma Basıncı [bar]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Kaynak Voltajı [V]	24	24	24	24	24	24	24	24	24

3.5 Hasarlı Muayene Çalışmaları

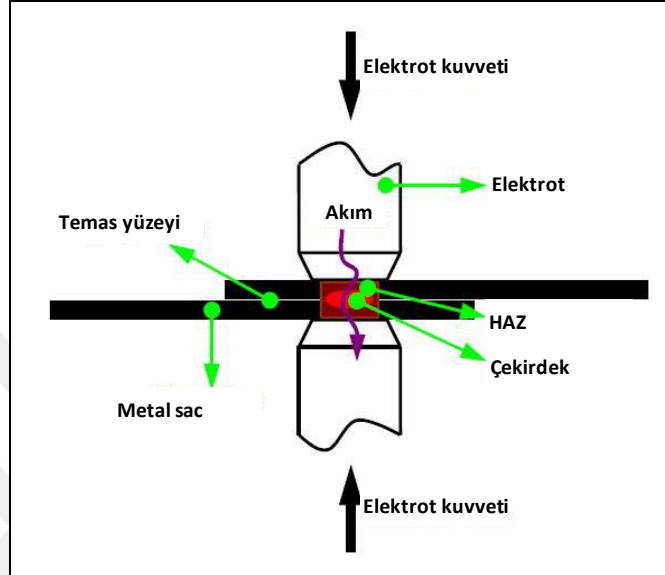
Punta kaynaklarının kalitesi ile ilgili yorumlar yapılırken 3 farklı tanımdan bahsedilmektedir. Kabul edilebilir punta kaynak, birbirine kaynak edilen sacların her bir yüzeyindeki minimum punta kaynak çapını karşılayan ve görsel olarak da uygun olan puntadır. İstenmeyen punta kaynak, minimum tatmin edici punta kaynak çapının %75'ine tekabül eden çapa sahip olan ve görsel olarak da uygun olan puntadır. Kayıp punta ise sistemsel veya proses hatasından dolayı, tanımlandığı noktada oluşmamış puntadır.

3.5.1 Çekirdek Oluşumu

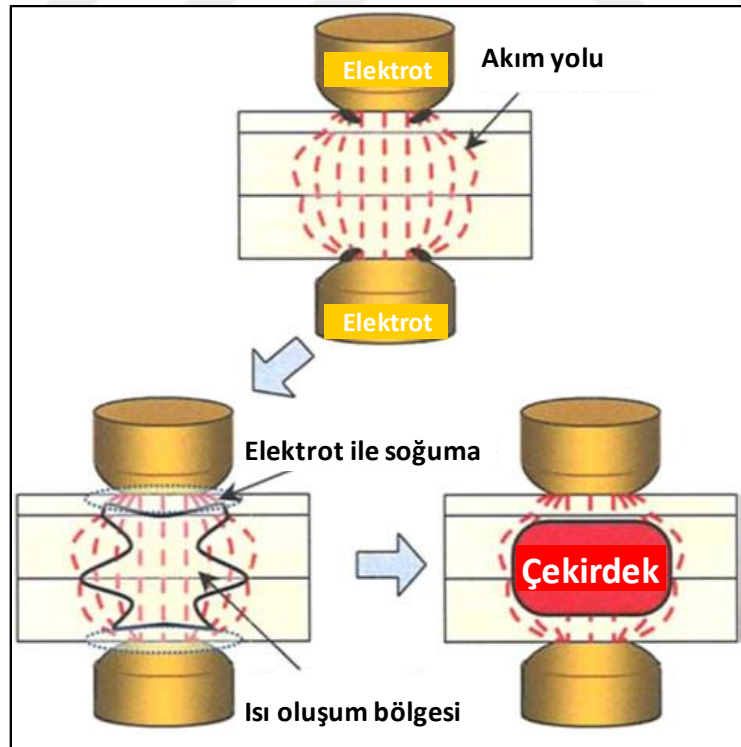
Punta kaynak işlemi, içini genelde 2 sacın birleşimiyle olmaktadır. Punta çekirdeği Şekil 3.11'de de görüleceği gibi sacların birleşim noktasından oluşmaya başlar.

İkili sac puntasına kıyasla göre çok sık olmasa da 3 sacın punta kaynağı da yapılmaktadır. Üçlü sacın punta kaynağında çekirdek, bu 3 sacın toplam kalınlığının orta noktasında oluşmaya başlamaktadır (Şekil 3.12). En alttaki ve en üstteki 2 sac kalınlığı diğer saca göre çok fazla ise bu durumda çekirdek oluşumu ince sacın içerisinde oluşmamış olacaktır. Bu durumda bu sac bağlantı kalitesiz olmuş olacaktır (Şekil 3.12). Bu nedenle 4 ve üzeri sacların bağlantısı ise çok sağlıklı bir birleştirme yöntemi olmadığı görülmektedir. Punta kaynağında çekirdek oluşumu sırasında sıkma, kaynak, tutma ve

bırakma şeklinde 4 farklı sekans mevcuttur (Şekil 3.13). Sıkma sekansında, torçların uçları sacları tutarak, kaynağın yapılacağı ve çekirdeğin oluşacağı noktada kenetlenme sağlamaktadır. Kaynak sekansında torçlardan akım geçmeye başlamakta ve eğer torçların eksenleri aynı düzlemde ise sacların kalınlıklarının olası bir orta noktasında, çekirdek oluşumu olmaktadır.

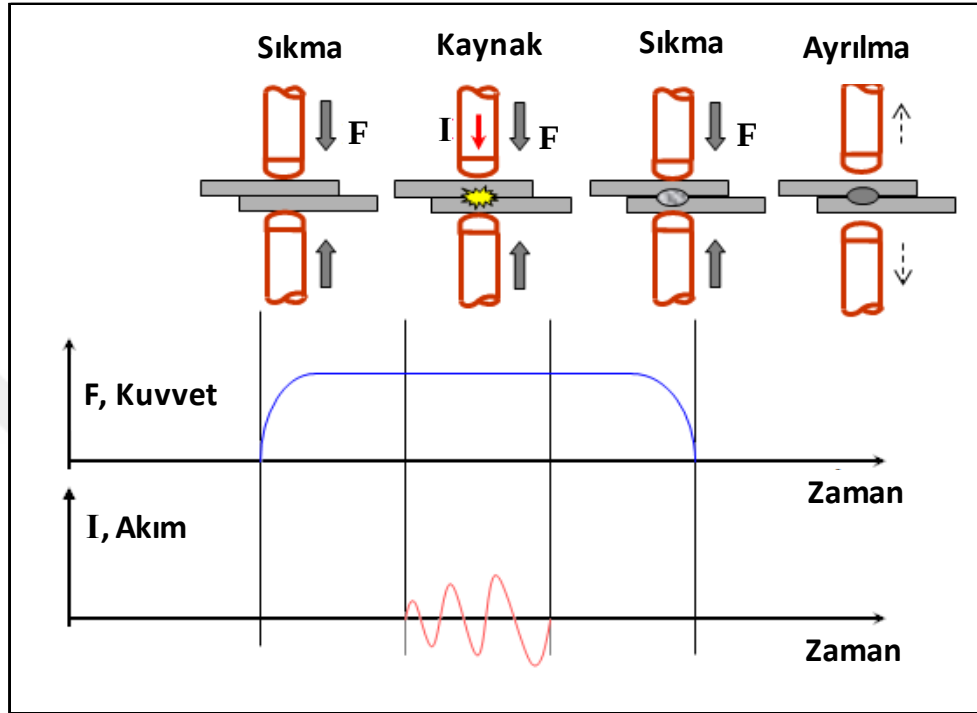


Şekil 3. 11 Punta kaynağında ikili sacların çekirdek oluşum şeması



Şekil 3. 12 Üçlü sac plakaların elektrik punta kaynağı işleminde çekirdek oluşumu

Devamında gelen tutma sekansında kaynak sekansından olduğu gibi torçların sıkma işlemi devam etmekte ancak akım olmadan bu durumda devam etmektedir. Böylece çekirdek oluşmuş olmaktadır. Devamında, ayrılma sekansında torçlar birbirinden uzaklaşmakta ve punta kaynak işlemi tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 3. 13 Punta kaynak oluşum diyagramı

Çizelge 3. 5 Kabul Edilebilir ve İstenmeyen Punta Çapları [14]

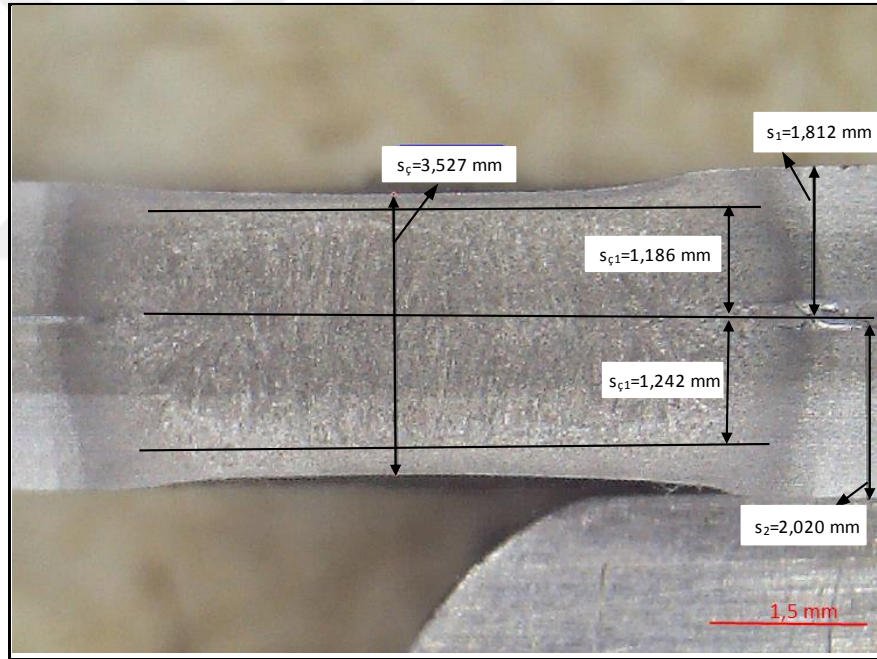
Kaynak Yüzeyindeki En İnce Sacın Kalınlığı [mm]	Minimum Kabul Edilebilir Punta Çapı- d_p [mm]	Minimum İstenmeyen Punta Çapı- d_p [mm]
0,5-0,79	3,5	2,6
0,8-1,24	4	3
1,25-1,99	5	3,8
2,00-3,00	6,3	4,7

Punta işlemi sonrası oluşan çekirdeklerin boyutlarına göre, yapılan puntanın kalitesinin tayini yapılmaktadır. Tek kriter punta çapı olmasa da, sacların birbiri ile bağını gösteren önemli bir parametredir. Bu konuda birleştirilen sacların kalınlıklarına göre (sac kümesindeki en ince sac kalınlığı esas alınır) olması gereken minimum kabul edilebilir

punta çekirdek çapı ve minimum istenmeyen punta çapları Çizelge 3.5 ile incelenebilir. Burada kabul edilebilir sınırın üzerindeki değerler uygun olarak tanımlanır. İstenmeyen punta çapı ile kabul edilebilir punta çapı arasındaki değerlere sahip puntalar, görsel ve ultrasonik test sonuçlarına bağlı olarak şartlı uygun şeklinde kabul edilmektedir.

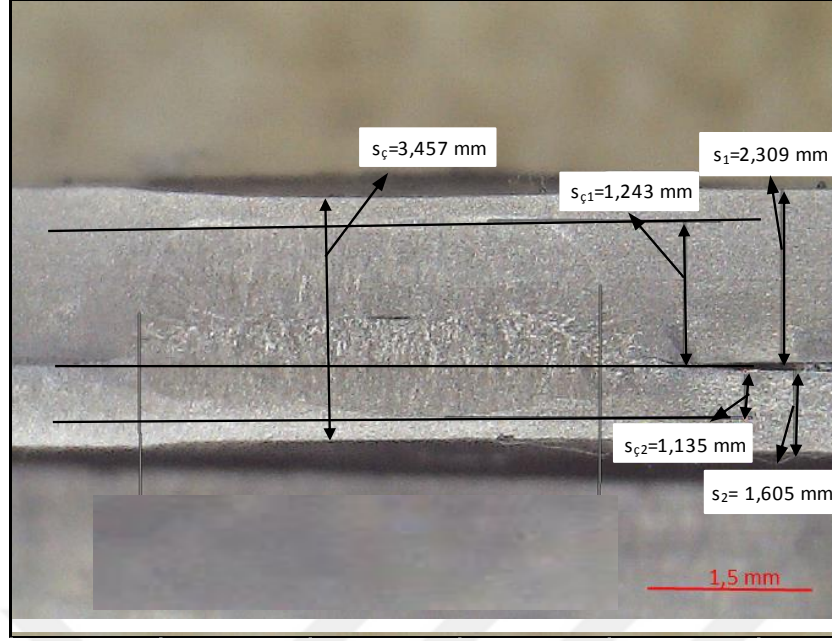
3.5.2 Makroskopik İncelemeler

Deneylerde çökmenin hesaplanması için, nüfuziyet ölçümlerinin yapılabilmesi için, çekirdek çapının hesabı için makroskopik inceleme yoluna gidilmiştir. Bu işlemler için TRONIC marka dijital video mikroskopa sahip bir cihaz kullanılmıştır. Cihaz, iyi bir ışıklandırma kaynağına ve kameraya sahiptir. Kamerası 10X ile 40X yakınlaşma yapabilmektedir. Resimlerin çözünürlüğü ise 1024x768'tir. Tarama alanı 200X olduğu zaman 4,55x3,38 mm, 10X olduğu zaman 18,2x13,6 mm'dir.



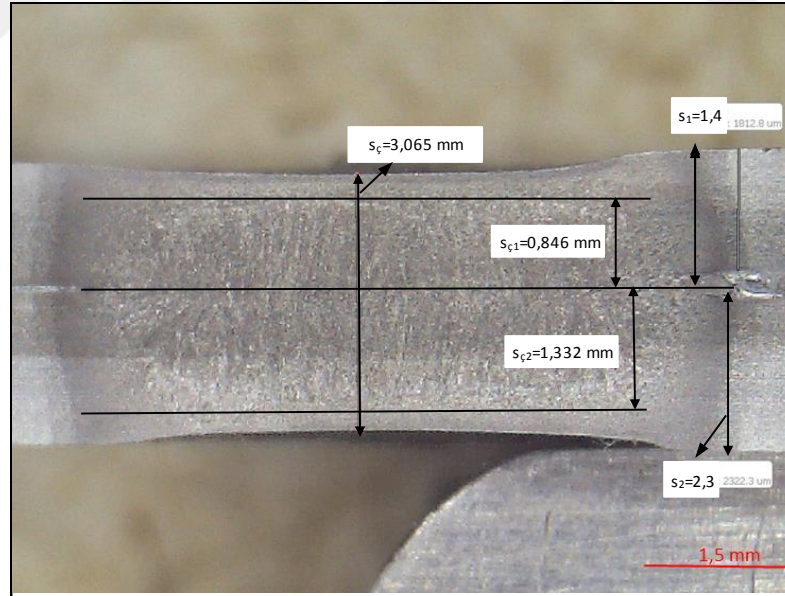
Şekil 3. 14 OP10-P2 puntasının makroskopik incelemesi

Her operasyon için bir veya iki adet puntanın makroskopik incelemeleri yapılmıştır. Operasyon 10 için OP10-P2 (Şekil 3.14), operasyon 20 için OP20-P3 ve OP20-O5 (Şekil 3.15, Şekil 3.16) ve operasyon 30 ise OP30-P4 ve OP30-P14 (Şekil 3.17, Şekil 3.18) seçilmiştir.

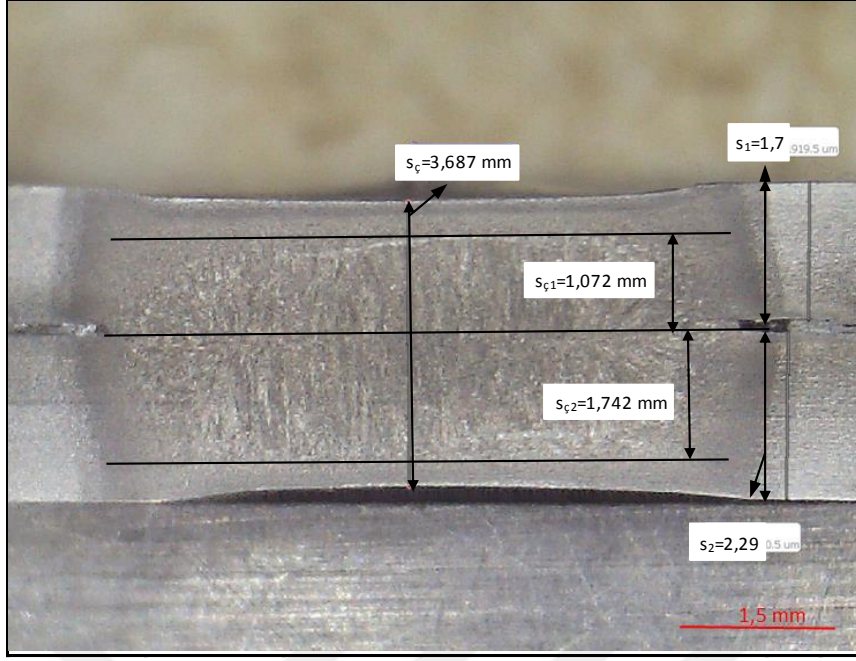


Şekil 3. 15 OP20-P3 puntasının makroskopik incelemesi

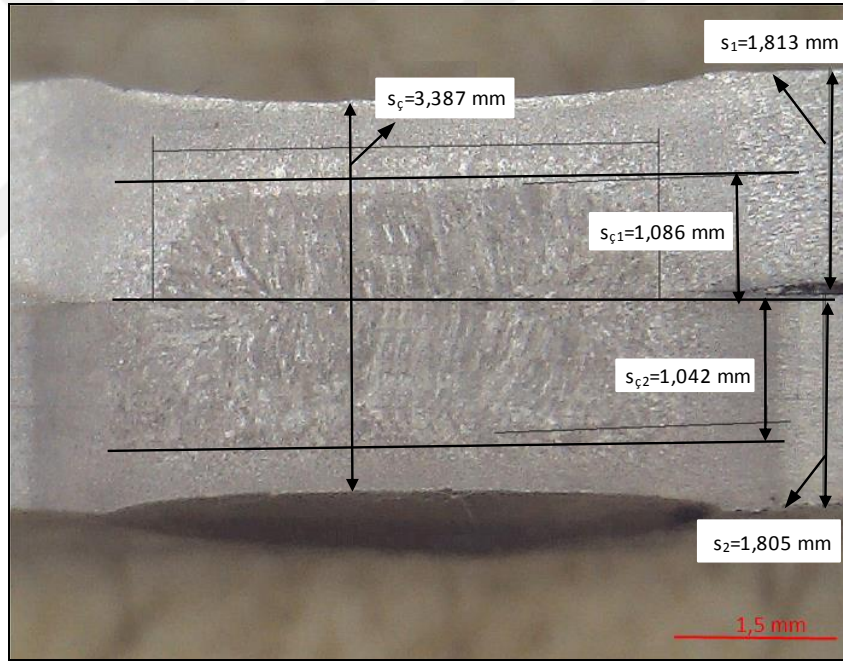
Bu şekillerde sac kalınlıkları (s_1 ve s_2), üstteki ve alttaki saca nüfuziyet miktarları (s_{p1} ve s_{p2}), aynı zamanda çökme sonrası çekirdek kısmının toplam kalınlığı (s_c) değerleri görülebilir. Sonraki deneylerde bu değerler referans olarak kullanılacaktır.



Şekil 3. 16 OP20-P5 puntasının makroskopik incelemesi



Şekil 3. 17 OP30-P4 puntasının makroskopik incelemesi



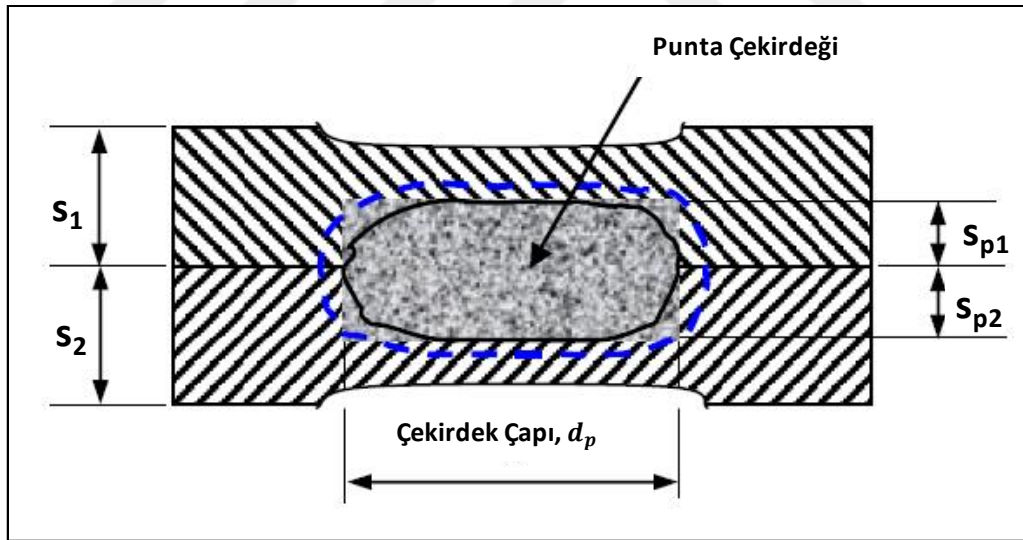
Şekil 3. 18 OP30-P14 puntasının makroskopik incelemesi

3.5.3 Nüfuziyet Testi ve Hesabı

Nüfuziyet, punta kaynağı sonrası oluşan çekirdeğin her bir sacın içerisinde ne kadar kalınlıkta var olduğunun ifadesidir. Bu değer genelde makroskopik test ile bulunur ve teorik değerlerle kıyaslanarak puntanın nüfuziyet kalitesi belirlenmiş olur. Nüfuziyet testinin yapılabilmesi için puntanın orta kısmından kesilmesi, makroskopik olarak

incelenmesi gereklidir. Çünkü kullanılacak değerler çok küçük olduğu için kumpas vs. kullanmak zordur ve uygun sonuç vermeyecektir. Çift sacın punta kaynağında, punta nüfuziyet oranı aşağıda görülen 3.1 eşitsizliği ile belirlenmektedir. Şekil 3.19 ile de bu eşitsizlik içerisindeki değerlerin nasıl bulunduğu görülmektedir. Belirlenen alt ve üst limit oranları 0,4-0,8 arasında olan puntaların nüfuziyetleri uygundur. Nüfuziyet oranının belirlenmesi için, parça üzerindeki punta kaynak tam orta kısmında uygun bir alet ile (en uygunu bu iş için kullanılan makinelerdir) kesilerek; çekirdeğin olduğu kısmın önce temizlenmesi sonra asit ile dağlanması, sonra da zımparalanması gereklidir. Ortaya çıkan test numunesi, makroskopik ölçümler yapmaya imkân veren bir cihaz kullanarak nüfuziyet oranı mikron düzeyinde belirlenebilmektedir. Diğer ölçümler uygun sonuçlar vermeyecektir. Bu formüllerdeki alt ve üst limiti belirleyen katsayıların kullanılma amacı, çekirdeğin içerisinde, kaynak sırasında metalürjik değişiklikler kaynaklı oluşan süreksizlikleri göz önüne almaktır. Kaynak içerisindeki kırıklar, yüksek ısıdan, kaynak çevrimi sırasındaki düzgün dağılmamış yüklemekten kaynaklanmaktadır.

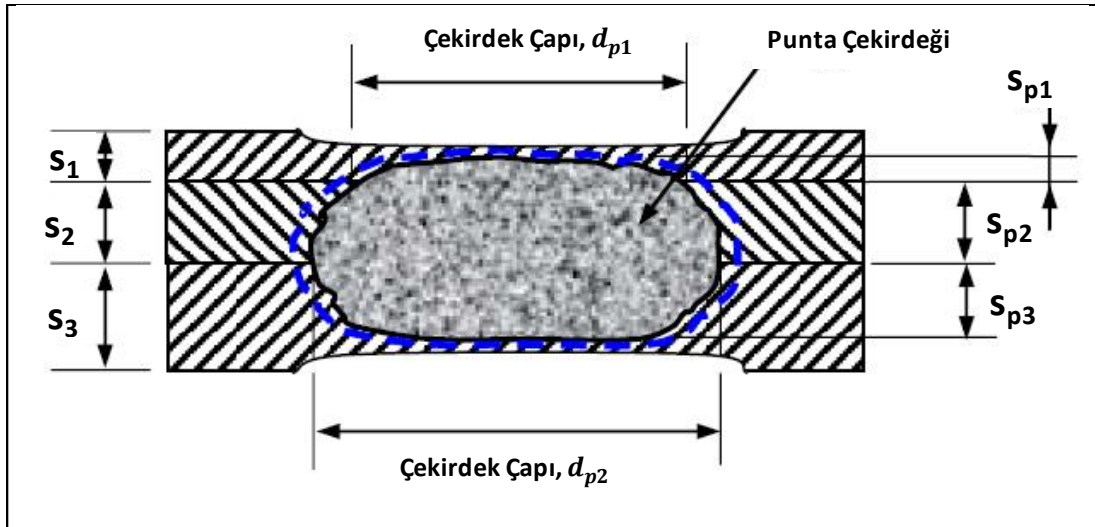
$$0.4 \leq s_{p1} / s_1 \leq 0.8 \text{ ve } 0.4 \leq s_{p2} / s_2 \leq 0.8 \quad [14] \quad (3.1)$$



Şekil 3. 19 Çift sacın punta kaynağında, punta çapının belirlenmesi [14]

Üst üste 3 sacın punta kaynağında, punta nüfuziyetinin belirlenmesi için aşağıdaki 3.2 eşitsizliği kullanılmaktadır. Şekil 3.20 ile de bu eşitsizlikteki değerlerin tanımlamaları görülmektedir.

$$0.3 \leq s_{p1} / s_1 \leq 0.8 \text{ ve } s_{p2} / s_2 = 1 \text{ ve } 0.3 \leq s_{p3} / s_3 \leq 0.8 \quad [14] \quad (3.2)$$



Şekil 3. 20 Üç sacın punta kaynağında, punta çapının belirlenmesi [14]

Elektrik nokta direnç kaynağında oluşan nüfuziyetlerin kabul sınırları eşitsizlik formülleri 3.1 ve 3.2 ile belirlenmektedir. Bu sınırlar içerisinde kalan değerlere sahip olan puntaların nüfuziyetlerinin uygun olduğu sonucuna varılır. Bu kapsamda her operasyondan 1 adet puntanın detaylı makroskopik incelemeleri yapılmıştır.

Çizelge 3. 6 Makroskopik test sonuçları ile teorik nüfuziyet değerlerinin kıyaslanması ve sonuçları

Punta Numarası	Sac Kalınlıklar [mm]	1. Sac Nüfuziyet- s_{p1} [mm]			2. Sac Nüfuziyet- s_{p2} [mm]			Sonuç
		Teorik		Ölçülen	Teorik		Ölçülen	
		Alt Sınır	Üst Sınır		Alt Sınır	Üst Sınır		
OP10-P2	1,8-2,0	0,72	1,44	1,186	0,8	1,44	1,242	Uygun
OP20-P3	1,6-2,3	0,64	1,28	1,243	0,92	1,28	1,135	Uygun
OP20-P5	1,4-2,3	0,56	1,12	0,846	0,92	1,12	1,332	Uygun
OP30-P4	1,8-2,3	0,72	1,44	1,072	0,92	1,44	1,742	Uygun
OP30-P14	1,8-1,8	0,72	1,44	1,086	0,72	1,44	1,042	Uygun

Daha önce makroskopik incelemeleri yapılan Operasyon 10 için OP10-P2 (Şekil 3.14), operasyon 20 için OP20-P3 ve OP20-O5 (Şekil 3.15, Şekil 3.16) ve operasyon 30 ise OP30-P4 ve OP30-P14 (Şekil 3.17, Şekil 3.18) puntalarının nüfuziyet değerleri Çizelge 3.6 ile

gösterilmiştir. Buna göre seçilen 5 puntanın da nüfuziyet değerlerinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

3.5.4 Çökme Ölçümleri

Çökme, kaynak torçlarının sacların yüzeylerinde bıraktığı seviyesel azalmaya denir ve punta kalitesi açısından belirli değerler arasında olması gereklidir. Çöküntü miktarı, dıştaki sacın kalınlığının %15'inden fazla olmaması gereklidir [14]. Eşitsizlik 3.3. ve 3.4 ile sac kalınlıklarına göre izin verilen maksimum çökme değerleri belirlenmektedir. $s_{ç1}$ ile üstteki sacdaki çökme miktarı, $s_{ç2}$ ile alttaki sacın çökme miktarı ve $s_{ç}$ ise çökme sonrası çekirdek bölgesinde kalan sac kalınlığının olması gereken değeri göstermektedir (Şekil 3.21). Daha önce makroskopik incelemeleri yapılan operasyon 10 için OP10-P2 (Şekil 3.14), operasyon 20 için OP20-P3 ve OP20-O5 (Şekil 3.15, Şekil 3.16) ve operasyon 30 ise OP30-P4 ve OP30-P14 (Şekil 3.17, Şekil 3.18) puntalarının çökme değerleri teorik değerlerle kıyaslanmıştır (Çizelge 3.7). Buna göre seçilen 5 punta noktası için de çökme değerleri teorik değerlere göre uygundur.

Ayrıca, deney parçasının bütün puntalarının çökme ölçümleri için dijital mandallı kalınlık ölçer cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.22, Şekil 3.23). Bu ölçümlerin nedeni punta kaynağında, torçların çene kuvveti ile puntanın olduğu bölgelerde çöküntülerin miktarını bulmaktır. Çizelge 3.8'de görüleceği gibi manüel olarak yapılan çökmelerin ölçüm sonuçları, eşitsizlik 3.5'e göre çökme üst değeri bulunmuş oluşturulan $s_{ç}$ değerleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre 40 puntanın da çökme değerleri teorik değerlere göre uygun çıkmıştır.

$$s_{ç1} < 0,15.s_1 \quad (3.3)$$

$$s_{ç2} < 0,15.s_3 \quad (3.4)$$

$$[(s_1+s_2+s_3)-[(0,15.s_{ç1})+(0,15.s_{ç2})]] < s_{ç} \quad (3.5)$$



Şekil 3. 21 Punta çekirdeğinde çökme [14]



Şekil 3. 22 Saclardaki çökmenin ölçülmesi-1



Şekil 3. 23 Saclardaki çökmenin ölçülmesi-2

Çizelge 3. 7 Makroskopik test sonuçları ile teorik çökmelerin kıyaslanması

Punta Numarası	Sac Kalınlıkları [mm]	1. Sac Çökme- S _{ç1} [mm]		2. Sac Çökme- S _{ç2} [mm]		Çökme Sonrası Sac Kalınlığı [mm]		Sonuç
		Teorik		Teorik		Teorik Çökme Üst Sınır-S _ç	Ölçülen	
		Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır			
OP10-P2	1,8-2,0	0,72	1,44	0,8	1,44	3,23	3,527	Uygun
OP20-P3	1,6-2,3	0,64	1,28	0,92	1,28	3,315	3,457	Uygun
OP20-P5	1,4-2,3	0,56	1,12	0,92	1,12	3,145	3,065	Uygun
OP30-P4	1,8-2,3	0,72	1,44	0,92	1,44	3,485	3,687	Uygun
OP30-P14	1,8-1,8	0,72	1,44	0,72	1,44	3,06	3,387	Uygun

Çizelge 3. 8 Puntaların çökme miktarları

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Punta Kaynak Numarası	Teorik Çökme Üst Sınırı- $s_{ç}$ [mm]	Çökme Sonrası Çekirdek Bölgesi Kalınlığı- $s_{ç}$ [mm]	Sonuç
1,50-1,80-2,30	3	1-N/A	3,23	3,751	Uygun
1,80-2,00	2	OP10-P1	3,23	3,624	Uygun
1,80-2,00	2	OP10-P2	3,23	3,244	Uygun
1,50-1,80	2	OP10-P3	2,805	3,054	Uygun
1,50-1,80	2	OP10-P4	2,805	2,882	Uygun
1,80-1,80	2	OP10-P5	3,06	3,513	Uygun
1,80-1,80	2	OP10-P6	3,06	3,484	Uygun
1,60-2,30	2	OP20-P1	3,315	3,843	Uygun
1,60-2,30	2	OP20-P2	3,315	3,481	Uygun
1,60-2,30	2	OP20-P3	3,315	3,53	Uygun

Çizelge 3. 8 Puntaların çökme miktarları (devamı)

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Punta Kaynak Numarası	Teorik Çökme Üst Sınırı-sç [mm]	Çökme Sonrası Çekirdek Bölgesi Kalınlığı-sç [mm]	Sonuç
1,60-2,30	2	OP20-P4	3,315	3,827	Uygun
1,40-2,30	2	OP20-P5	3,145	3,323	Uygun
1,40-2,30	2	OP20-P6	3,145	3,363	Uygun
1,50-2,30	2	OP20-P7	3,23	3,465	Uygun
1,50-2,30	2	OP20-P8	3,23	3,769	Uygun
1,50-2,30	2	OP20-P9	3,23	3,241	Uygun
1,50-2,30	2	OP20-P10	3,23	3,701	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P1	3,485	4,078	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P2	3,485	3,502	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P3	3,485	4,079	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P4	3,485	4,052	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P5	3,485	3,53	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P6	3,485	4,056	Uygun
1,80-2,30	2	OP30-P7	3,485	4,054	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P8	3,06	3,387	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P9	3,06	3,444	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P10	3,06	3,521	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P11	3,06	3,497	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P12	3,06	3,109	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P13	3,06	3,595	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P14	3,06	3,442	Uygun

Çizelge 3. 8 Puntaların çökme miktarları (devamı)

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Punta Kaynak Numarası	Teorik Çökme Üst Sınırı-sç [mm]	Çökme Sonrası Çekirdek Bölgesi Kalınlığı-sç [mm]	Sonuç
1,80-1,80	2	OP30-P15	3,06	3,098	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P16	3,06	3,106	Uygun
1,80-1,80	2	OP30-P17	3,06	3,333	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	OP30-P18	3,315	3,382	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	OP30-P19	3,315	3,881	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	OP30-P20	3,315	3,683	Uygun
1,80-1,80-2,30	3	OP30-P21	3,485	3,968	Uygun
1,80-1,50-2,30	3	OP30-P22	3,23	3,679	Uygun
1,80-1,60	2	OP30-P23	2,72	2,97	Uygun
1,80-1,60	2	OP30-P24	2,72	2,961	Uygun

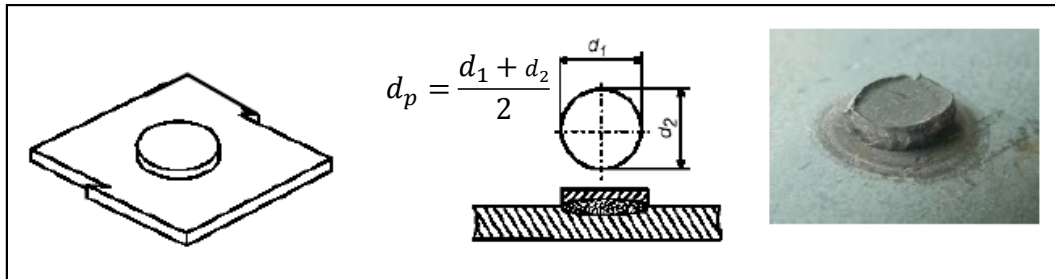
3.5.5 Koparma Testi / Punta Çekirdek Çapı Hesabı

Punta kaynak işlemi tamamlanmış nihai montajlı parça, sanayide tear-down denilen; parçanın punta noktalarından, punta çekirdekleri zarar görmeyecek şekilde, çekiç, ispiral vs. aletleri kullanılarak koparılması işlemidir. Bu yöntem punta çekirdek çapının kumpas ile ölçülmesine veya puntaların makroskopik testleri için gerekli alt küçük deney parçalarının oluşturulması için kullanılır. Deney parçasının tear-down yöntemi ile parçalanmış hali Şekil 3.24’de görülmektedir. Punta çapının (d_p) belirlenmesi için kumpas ile ilk ölçüm sonucu bulunan değer baz alınmaz. Genelde Puntalar homojen tam dire şeklinde bir yapıda elde edilmez. Bu nedenle eğer punta çekirdeği düzgün bir şekilde çıkmış ise Şekil 3.25’de, eğer çekirdek kopmuş ise Şekil 3.26’de ve eğer çekirdek düzgün çıkmamış kırıklı bir yapı var ise Şekil 3.27’de görüldüğü şekilde 2 farklı noktadan ölçülür ve ortalaması alınmaktadır.

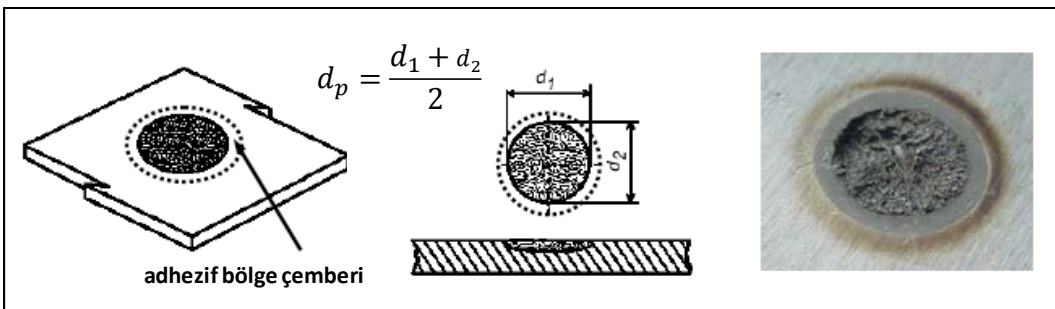
Bulunan sonuçlar ilgili puntanın punta çekirdek çapı d_p 'yi verir. Bulunan değerler Çizelge 3.5'deki sac kalınlıklarına göre minimum kabul edilebilir punta çekirdek çap değerleri ile kıyaslanır. Burada en ince sac kalınlığına göre tablo kullanılır. Eğer üç sac üst üste ise Çizelge 3.5'in kullanılması için baz alınacak sac kalınlığı; her bir sac birleşim yüzeyindeki en sac çiftlerinin en incesidir (Şekil 3.28).



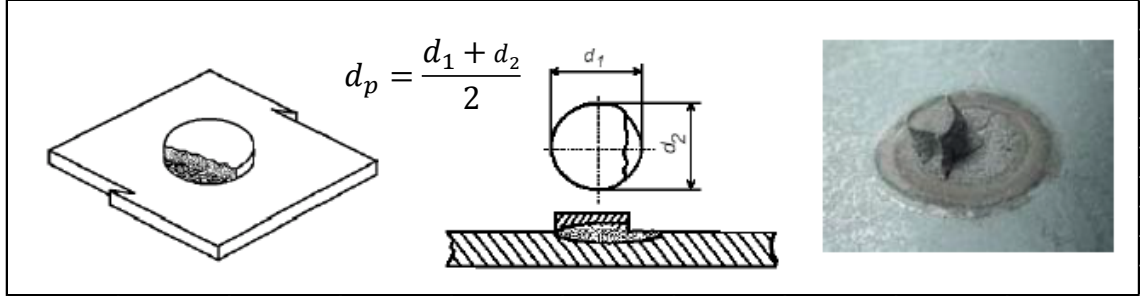
Şekil 3. 24 Teardown yöntemiyle puntaları koparılmış deney parçası



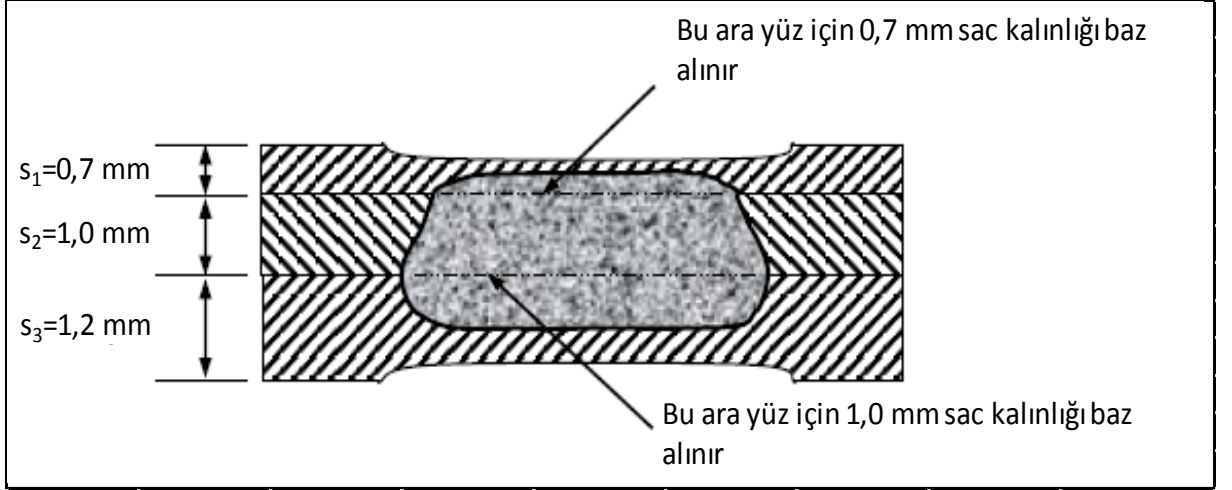
Şekil 3. 25 Çekirdeğin düzgün çıkması durumunda çekirdek çapı hesabı [14]



Şekil 3. 26 Çekirdeğin kopması durumunda çekirdek çapı hesabı [14]



Şekil 3. 27 Çekirdeğin düzgün çıkmaması durumunda çekirdek çapı hesabı [14]



Şekil 3. 28 Örnek olarak üçlü sacların punta çekirdek çap hesabında baz alınacak sac kalınlıkları [14]

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.6)$$

Çizelge 3. 9 Puntaların çekirdek çap ölçüm sonuçları

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Ölçülen Punta Çapı [mm]	Olması Gereken Minimum Çap [mm]	Punta Numaraları	Sonuç
1,50-1,80-2,30	3	8,82	5,0	1-N/A	Uygun
1,80-2,00	2	7,54	5,0	OP10-P1	Uygun
1,80-2,00	2	6,83	5,0	OP10-P2	Uygun
1,50-1,80	2	8,54	5,0	OP10-P3	Uygun
1,50-1,80	2	6,35	5,0	OP10-P4	Uygun

Çizelge 3. 9 Puntaların çekirdek çap ölçüm sonuçları

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Ölçülen Punta Çapı [mm]	Olması Gereken Minimum Çap [mm]	Punta Numaraları	Sonuç
1,80-1,80	2	6,89	5,0	OP10-P5	Uygun
1,80-1,80	2	7,29	5,0	OP10-P6	Uygun
1,60-2,30	2	8,76	5,0	OP20-P1	Uygun
1,60-2,30	2	6,95	5,0	OP20-P2	Uygun
1,60-2,30	2	8,87	5,0	OP20-P3	Uygun
1,60-2,30	2	6,05	5,0	OP20-P4	Uygun
1,40-2,30	2	8,07	5,0	OP20-P5	Uygun
1,40-2,30	2	8,6	5,0	OP20-P6	Uygun
1,50-2,30	2	7,88	5,0	OP20-P7	Uygun
1,50-2,30	2	7,11	5,0	OP20-P8	Uygun
1,50-2,30	2	7,96	5,0	OP20-P9	Uygun
1,50-2,30	2	8,71	5,0	OP20-P10	Uygun
1,80-2,30	2	7,54	5,0	OP30-P1	Uygun
1,80-2,30	2	6,87	5,0	OP30-P2	Uygun
1,80-2,30	2	6,57	5,0	OP30-P3	Uygun
1,80-2,30	2	4,6	5,0	OP30-P4	Uygun değil
1,80-2,30	2	6,98	5,0	OP30-P5	Uygun
1,80-2,30	2	7,19	5,0	OP30-P6	Uygun
1,80-2,30	2	7,87	5,0	OP30-P7	Uygun
1,80-1,80	2	7,18	5,0	OP30-P8	Uygun

Çizelge 3. 9 Puntaların çekirdek çap ölçüm sonuçları

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Sayısı	Ölçülen Punta Çapı [mm]	Olması Gereken Minimum Çap [mm]	Punta Numaraları	Sonuç
1,80-1,80	2	7,56	5,0	OP30-P9	Uygun
1,80-1,80	2	1,2	5,0	OP30-P10	Uygun değil
1,80-1,80	2	7,94	5,0	OP30-P11	Uygun
1,80-1,80	2	8,79	5,0	OP30-P12	Uygun
1,80-1,80	2	1,8	5,0	OP30-P13	Uygun değil
1,80-1,80	2	6,67	5,0	OP30-P14	Uygun
1,80-1,80	2	7,26	5,0	OP30-P15	Uygun
1,80-1,80	2	7,1	5,0	OP30-P16	Uygun
1,80-1,80	2	7,34	5,0	OP30-P17	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	6,57	5,0	OP30-P18	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	7,12	5,0	OP30-P19	Uygun
1,80-1,60-2,30	3	6,05	5,0	OP30-P20	Uygun
1,80-1,80-2,30	3	7,32	5,0	OP30-P21	Uygun
1,80-1,50-2,30	3	6,07	5,0	OP30-P22	Uygun
1,80-1,60	2	7,93	5,0	OP30-P23	Uygun
1,80-1,60	2	8,23	5,0	OP30-P24	Uygun

Deney parçasındaki 40 adet puntanın koparma testi sonrası çekirdekleri kumpas ile 3.6 denklemi ve Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'deki tariflere göre ölçümler yapılmıştır. Çizelge 3.9'da detaylı olarak çekirdek çap ölçümleri ve sonuçları görülebilir. Buna göre

teorik değerlerle deneysel olarak bulunan değerler detaylı olarak listelenmiştir. Sonuçlara göre uygun ve uygun olmayan değerler mevcuttur.

3.5.6 Sertlik Testi

Teardown sonrası parçalanan deney parçası üzerindeki hasar görmemiş sağlam puntalardan bazılarının sertlik ölçüm cihazı ile lmlerler yapılmıştır (şekil 3.29). ERD 1311 kalitesine sahip 1,8 mm kalınlığında sacın puntalandığı OP30-P1 puntasındaki sertlik ölçümü yapılmıştır. şekil 3.24’de görüldüğü gibi punta tahribatlı yöntem ile kesilmiş ve Vickers sertliği cihaz ile ölçülmüştür.

Çizelge 3. 10 çekirdeğin sertlik değer tablosu [14]

Metal iftinin Sertlik Değeri [HRC]	Punta ekirdeğinin Sertlik Değeri [HRC]
<120	<350
>120...<200	<450
>200...<300	<550
>300	<600



şekil 3. 29 Punta ekirdeğinin sertlik testi

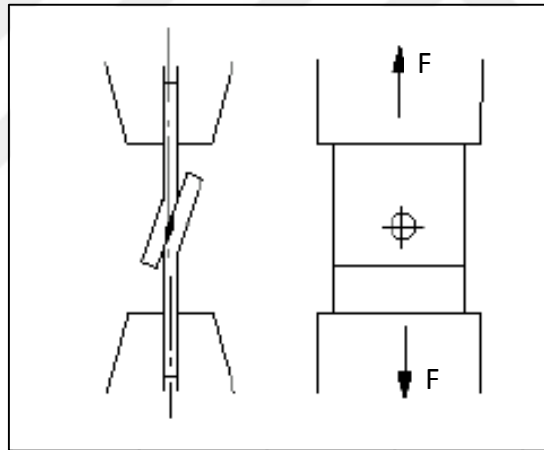
Buna göre; izelge 3.10’a görülüğü gibi ince sacın sertliği baz alınarak punta çekirdeğinin sertlik değeri belirli bir aralıktaki olması gereklidir. OP30-P1’deki 1.8 mm kalınlığında ERD

1311 kalitesine sahip sacın sertliği 165 HRC [15] olduğu için Çizelge 3.10'ye göre punta çekirdeği en fazla 450 HRC olabilir. Test sonucuna göre punta sertlik değeri 262 HRC ölçölmüş ve puntanın uygun olduğu görölmüşür.

3.5.7 Çekme Testi

Punta kaynaklarında çekme testi için standart olarak DIN EN ISO 14273 kullanılmaktadır. Çekme testi için, önceden belirlenmiş sac çiftleri punta kaynağı ile birleştirilir ve devamında Şekil 3.30'de görölen düzeneğe göre çekme testi yapılır. F , uygulanan kuvvettir. Çekme testi sonucunda bulunan çekme testi sonuçları, Çizelge 3.11'deki referans değerlerle kıyaslanmıştır. 2 adet sac çiftinin çekme testi yapılmıştır. Bu kalınlıklar, deney parçasında sıkça kullanılan çiftlerden seçilmiştir.

İlk olarak 1,6 mm-2,3 mm sac kalınlık çiftine sahip OP20-P3 nolu punta diğeri, 1,8 mm-2,3 mm sac kalınlığına sahip OP30-P4 çifti seçilmiştir.

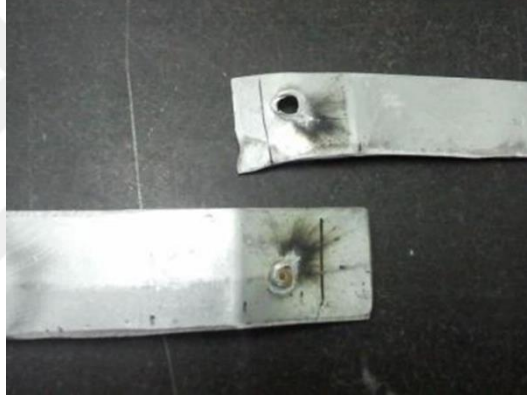


Şekil 3. 30 Çekme testi şematik düzeneği

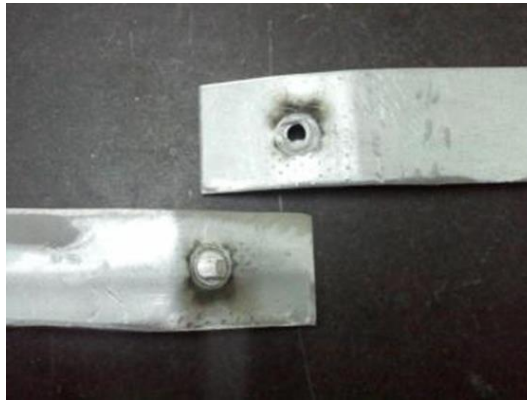
Deney parçasındaki bazı puntaların çekme testini yapmak için uygun bir noktadan keserek almak gerekir. Özellikle puntaların birbirine çok yakın olduğu yerlerde bunu yapmak çok zor olabilir. 1,6 mm-2,3 mm sac kombinasyonlu parçanın çekme testi sonucu punta kaynağı kopma değeri 7,9 kN olarak bulunmuştur. Çizelge 3.11 ile kıyas yapıldığından bu sonuç uygun görölmektedir (Şekil 3.31). 1,8 mm-2,3 mm sac kombinasyonlu parçanın çekme testi sonucu punta kaynağı kopma değeri 11 kN olarak bulunmuştur. Çizelge 3.11 ile kıyas yapıldığından bu sonuç uygun görölmektedir (Şekil 3.32).

Çizelge 3. 11 Sac kalınlığına göre çekme dayanım tablosu [14]

Sac kalınlığı [mm]	Çekme Dayanımı [kN]
0,5	1,5
0,8	2,6
1	3,2
1,25	4,8
1,5	5,1
2	7,8
2,5	10,6



Şekil 3. 31 1,6 mm-2,3 mm OP20-P3 nolu puntanın kopma testi



Şekil 3. 32 1,8 mm-2,3 mm OP20-P3 nolu puntanın kopma testi

2 testin sonucu Çizelge 3.11 ile kıyas yaparak Çizelge 3.12 elde edilmiştir. Sonuçlar uygun çıkmıştır. Alt limit değeri için sac kalınlıkları baz alınarak iterasyon yapılmıştır.

Çizelge 3. 12 Çekme testi sonuçları

Sac Kalınlıkları [mm]	Sac Kaliteleri	Çekme Testi Sonucu [kN]		Sonuç
		Alt Limit Değeri	Ölçülen Değer	
1,6-2,3	ERD1312-3660	5,64	7,9	Uygun
1,8-2,3	DP600-3660	6,6	11	Uygun

3.6 Hasarsız Muayene Çalışmaları

3.6.1 Ultrasonik Test

Hasarsız muayene yöntemlerinden biri olan ses dalgaları yardımıyla çalışan Ultrasonik test metodu kullanılmıştır. Ultrasonik test cihazı olarak GE-USLT USB, prob olarak da G20MN4.0X, program olarak UltraLog Version 5.0.14 kullanılmıştır. %25 yüksek girintili işleme, %5 minimum girinti oranıyla, 20 MHz frekansta çalıştırılmıştır. Şekil 3.33’de manüel olarak yapılan bir ultrasonik testinden bir kesit görülmektedir.



Şekil 3. 33 Manüel Ultrasonik test [9].

Ultrasonik teste başlamadan önce, parça üzerindeki uygun olduğuna emin olunan bir punta ile bir bakıma sıfırlama, referans punta ölçümü yapılır. Devamında diğer bütün puntalar, prob yardımıyla ölçülür. Deney için kullanılan prob Şekil 3.34 ile görülmektedir.

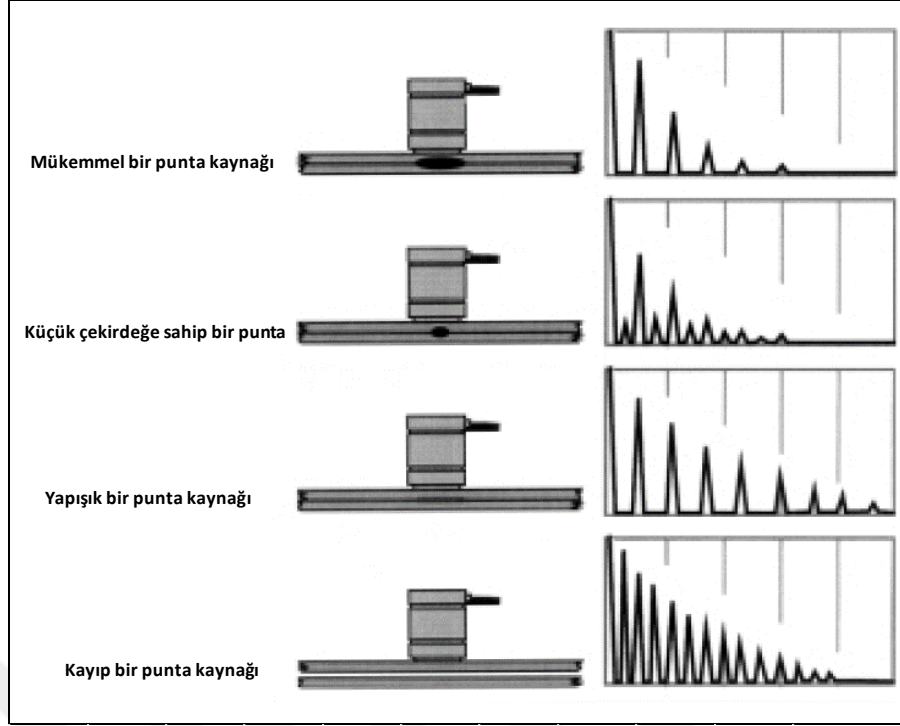


Şekil 3. 34 Ultrasonik test sırasında kullanılan G20MN5-6 tipi prob lar [9].

Bir puntadaki ölçümün bitmesinin koşulu, puntanın uygun (OK), uygun olmayan yanık (burnt), uygun olmayan yapışık (stick weld) olduğunun grafik üzerinde netleşmesidir. Bu grafikler test sonunda bir liste halinde cihaz tarafından kayıt edilmektedir. Grafikteki ses dalgaları incelenerek puntanın kalitesi hakkında karar vermektedir.

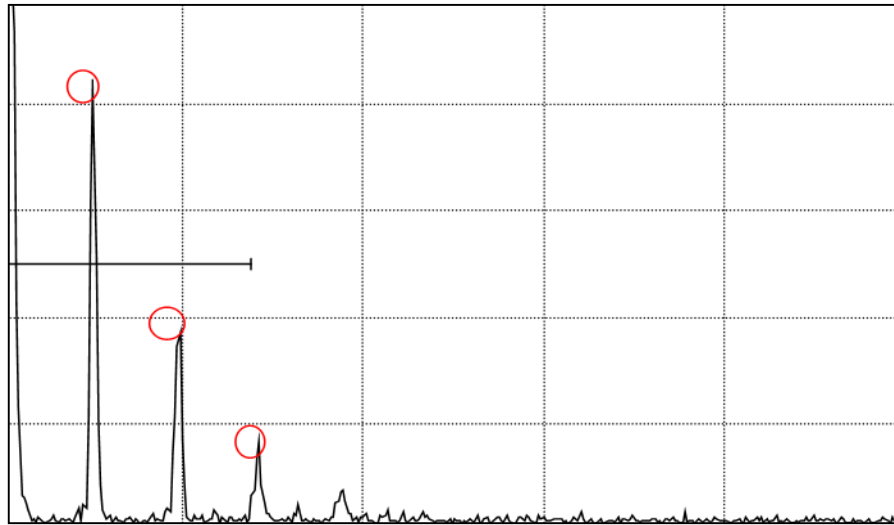
Ultrasonik test sonucu her bir puntanın bir ultrasonik dalga grafiği çıkmaktadır. Bu grafikteki dalgalanmaların sürekliliğine göre puntanın uygun mu (OK) yoksa uygun değil mi (NG-yanık) noktasında kararı, kullanılan cihaz karar vermektedir. Bunu da rapor olarak incelenmek üzere çıktı olarak alınmaktadır. Genel olarak bu grafikte 4 farklı sekans oluşmaktadır. Şekil 3.35’da görülen 4 farklı punta kalitesine sahip puntanın Ultrasonik test grafiklerinin yorumları detaylı olarak aşağıda yapılmıştır.

- Mükemmel punta kaynağında birbirini izleyen ses yankılarının genliği, diğer punta türlerine göre nispeten daha hızlı düşmektedir çünkü kaynak yapısı kaba taneli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden de bu yapı yüksek bir ses sayıflatma, söndürme karakteristiğine sahiptir. Yankıların zaman aralığı, sıklığı elektrot çöküntüsünden daha az olan kaynak saclarının toplam kalınlığına karşılık gelmektedir [9].
- Çok punta çekirdeğine sahip puntada, olayı inceleyen enspektör birbiri ardına gelen normal yankılara ek olarak, saclar arası yüzeylerin sınırlarından gelen küçük orta şiddetli yankıları da gözlemleyecektir. Bu durum, ses sinyalinin çapından daha küçük bir punta çekirdek çapı olup olmadığı sonucuna ulaşmamıza olanak verir. Bu yüzden farklı nominal punta çekirdek çapları için, seçilen deney numunesinin çapına uygun bir prob seçilmesi gerekmektedir [9].



Şekil 3. 35 Direnç punta kaynağında ultrasonik test sekansları

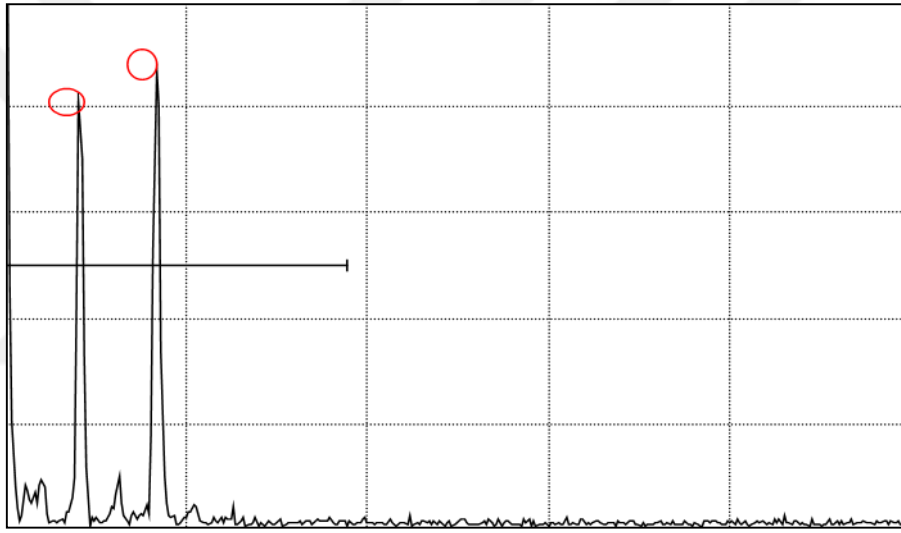
- Punta eğer soğuk atım veya yapışık yani uygunsuz olan bir punta olduğunda, çift sacdan yayılmış yankı dizileri elde edilmiş olur. Soğuk atım punta kaynağında ise, çekirdeğin içyapısı ince taneli yapıya sahiptir, bu durum da, daha düşük yankı azalmasından dolayı uzun yankı dizilerinin oluşmasına neden olur [9].
- Son olarak da, kayıp bir punta kaynağı, tek sac kalınlığının yerini tutan, kısa yankı sıklığı olan uzun yankı dizilerinin oluşmasına neden olur [9].



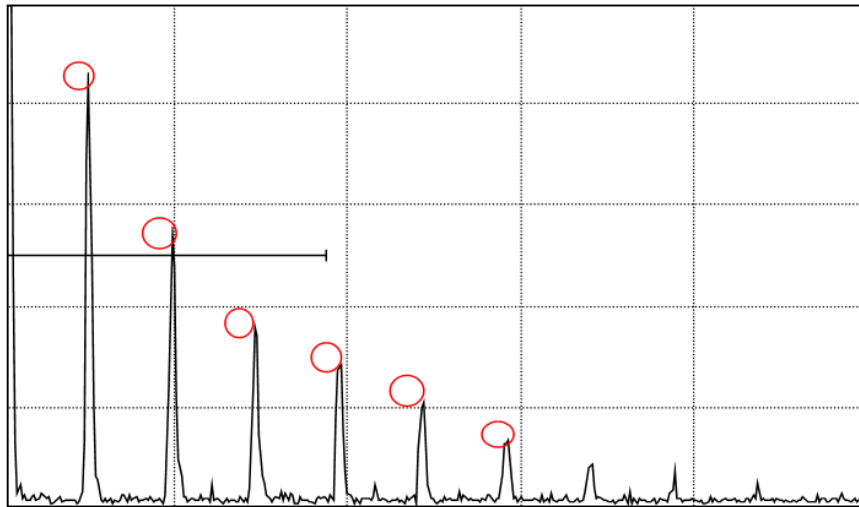
Şekil 3. 36 Uygun (OK) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği

Deneylerde kullanılan parçanın ultrasonik testinde, farklı punta kalite sahip puntalardan elde edilen grafikler aşağıdaki gibi görülebilir. Bu grafikler, cihaz tarafından punta kaynağına gönderilen seslerin yankılarından elde edilen ve cihaz tarafından her bir punta için raporlana görsellerdir.

Şekil 3.36, kaynak kalitesi uygun olan yani makine tarafından OK şeklinde tanımlanarak raporlanan bir kaynağı temsil etmektedir. Şekil 3.37 ise, yanık punta denilen ve kalitesiz olan bir punta türünün grafiksel olarak ses yankı görüntüsüdür. Şekil 3.38, yapışık punta yani uygun olmayan bir kaliteye sahip, bulunduğu yerdeki istenen yükleri karşılayamayacak, çekirdeği oluşmamış veya çok küçük oluşmuş olan puntanın grafiksel görüntüsüdür.



Şekil 3. 37 Uygun olmayan, yanık (burnt) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği



Şekil 3. 38 Uygun olmayan, yapışmış (stick weld) bir puntanın ultrasonik test sonuç grafiği

Yapacağımız deneylerde, her bir puntanın kalitesi kullanılan cihaz tarafından raporlanır. Aynı ortak işlev için kullanılan puntalara punta kümesi adı verilir ve bu kümeler belirli bir bölgedeki punta demetidir. Bu demetler içerisindeki puntaların tamamı uygun sonuçta elde edilmeyebilir. Amaç bütün puntaların OK olarak parçaların üretilmesidir, sadece robot punta makinelerinin elektriksel, mekanik, yazılımsal hatalarından veya parça geometrisinden dolayı uygunsuz, NG parçalar üretilmektedir. Bu durumda daha önceden yapılan testlerle belirlenen ve belirli bir uygunsuz puntaya kadar üretilen parçaların OK alması amaçlanan bir standart oluşturulmuştur.

Çizelge 3. 13 Punta kümesi içerisindeki puntaların kalitesel olarak kabul sınırları [14]

Punta kümesindeki Punta Kaynak Sayısı[N]	Kabul Edilebilir Punta Sayısı[N ₁]	Kabul Edilebilir + İstenmeyen Punta Sayısı [N ₂]	Kayıp Punta Sayısı[N-N ₂]
2	1	2	0
3	2	2	1
4	3	3	1
5	4	4	1
6	4	5	1
7	5	6	1
8	6	6	2
9	6	7	2
N>9	toplam puntaların %70'i	toplam puntaların %80'i	toplam puntaların %20'i

Buna göre, Çizelge 3.13’de detaylı olarak belirtilen değerler ile belirli bir uygunsuzluğa sahip puntaların olduğu parçalar OK şeklinde kabul edilecektir. Buna karar verilirken de daha önce belirlenen punta kümesi grupları kullanılmaktadır. Deney parçamız için bu punta kümesi grupları Çizelge 3.3 ile incelenebilir. Deney parçasındaki punta kümelerinin Ultrasonik test sonuçları Çizelge 3.14 ile incelenebilir. Buna göre bütün punta kümeleri Çizelge 3.14’e göre kalite yönünden olarak kabul sınırları içerisinde.

Çizelge 3. 14 Ultrasonik punta ve punta kümeleri sonuçları [14]

Sac Kalınlıkları [mm]	Punta Kaynak Numarası	Puntanın Test Sonucu	Punta Kümesi		
			Küme Numarası	Kümedeki Punta Sayısı	Küme Test Sonucu
1,80-2,00	OP10-P1	Uygun	1	2	Uygun
1,80-2,00	OP10-P2	Uygun			
1,50-1,80	OP10-P3	Uygun	2	2	Uygun
1,50-1,80	OP10-P4	Uygun			
1,80-1,80	OP10-P5	Uygun	3	2	Uygun
1,80-1,80	OP10-P6	Uygun			
1,60-2,30	OP20-P1	Uygun	4	2	Uygun
1,60-2,30	OP20-P2	Uygun			
1,60-2,30	OP20-P3	Uygun	5	2	Uygun
1,60-2,30	OP20-P4	Uygun			
1,40-2,30	OP20-P5	Yanık	6	3	Uygun
1,40-2,30	OP20-P6	Uygun			
1,50-2,30	OP20-P7	Uygun			
1,50-2,30	OP20-P8	Uygun	7	1	Uygun
1,50-2,30 mm	OP20-P9	Uygun	8	2	Uygun
1,50-2,30 mm	OP20-P10	Uygun			
1,80-2,30 mm	OP30-P1	Uygun	9	7	Uygun
1,80-2,30 mm	OP30-P2	Uygun			
1,80-2,30 mm	OP30-P3	Uygun			

Çizelge 3. 14 Ultrasonik punta ve punta kümeleri sonuçları [14]

Sac Kalınlıkları [mm]	Punta Kaynak Numarası	Puntanın Test Sonucu	Punta Kümesi		
			Küme Numarası	Kümedeki Punta Sayısı	Küme Test Sonucu
1,80-2,30 mm	OP30-P4	Yapışık	9	7	Uygun
1,80-2,30 mm	OP30-P5	Uygun			
1,80-2,30 mm	OP30-P6	Uygun			
1,80-2,30 mm	OP30-P7	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P8	Uygun	10	10	Uygun
1,80-1,80 mm	OP30-P9	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P10	Yanık			
1,80-1,80 mm	OP30-P11	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P12	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P13	Yapışık			
1,80-1,80 mm	OP30-P14	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P15	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P16	Uygun			
1,80-1,80 mm	OP30-P17	Uygun			
1,80-1,60-2,30 mm	OP30-P18	Uygun	11	3	Uygun
1,80-1,60-2,30 mm	OP30-P19	Uygun			
1,80-1,60-2,30 mm	OP30-P20	Uygun			
1,80-1,80-2,30 mm	OP30-P21	Uygun	12	1	Uygun

Çizelge 3. 14 Ultrasonik punta ve punta kümeleri sonuçları [14]

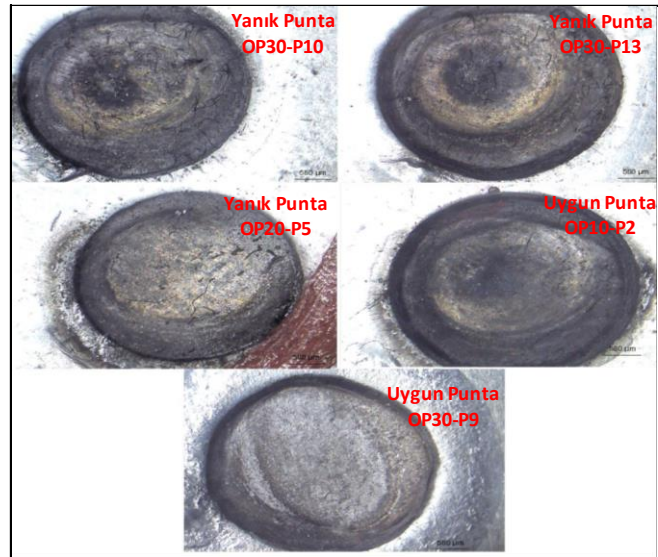
Sac Kalınlıkları [mm]	Punta Kaynak Numarası	Puntanın Test Sonucu	Punta Kümesi		
			Küme Numarası	Kümedeki Punta Sayısı	Küme Test Sonucu
1,80-1,50-2,30 mm	OP30-P22	Uygun	13	1	Uygun
1,80-1,60 mm	OP30-P23	Uygun	14	2	Uygun
1,80-1,60 mm	OP30-P24	Uygun			

Bütün punta noktalarının detaylı Ultrasonik grafiklerine EK-A kısmından incelenebilir.

3.6.2 Görsel Kontrol

Makroskopik test sonucunda punta yüzeylerinin resimlerini görsel olarak inceleyerek de puntanın kalitesi hakkında bazı yorumlar yapılabilir.

%100 sonuç veren bir yöntem olmayan bu yöntemle göre; OP10-P2, OP20-P5, OP30-P9, OP30-P10, OP30-P13 nolu punta çekirdeklerinin üstten görünüşleri Şekil 3.39'da incelenebilir. OP30-P10, OP30-P13 ve OP20-P5 puntalarının ultrasonik test sonuçları uygun çıkmamıştır.



Şekil 3. 39 OP10-P9, OP20-P5, OP30-P9, OP30-P10, OP30-P13 puntalarının görsel kontrolleri

Bu puntaların üstten görünüşleri incelendiğinde yüzeyde yoğun çatlaklar, farklı renk yoğunlukları mevcuttur. Ancak, OP10-P2 ve OP30-P9 puntalarını incelediğimizde yüzeyde çok az çatlak ve renk ton değişimleri minimum düzeydedir. Yüzeyinde yoğun çatlaklar olan ve renk tonlarının çok değişken olduğu puntaların uygun çıkmama ihtimali diğerine oranla daha yüksektir sonucu çıkarılabilir.



BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; otomotiv endüstrisinde, hafif ticari bir araçta, aracın ön karoserisinde bulunan ve araç darbe aldığında sönümlleme amaçlı kullanılan bir parçanın hasarlı ve hasarsız test yöntemleri kullanılarak, punta kaynak kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, deneysel olarak bulunan değerlerin kıyaslanması için Ford Otomotiv Sanayiinin ES-E6DB-1N261-AA nolu Punta Kaynak Standardı baz alınmıştır.

Öncelikle, parçanın montajlanmadan önceki alt detay parçaları ve bu parçaların sac kaliteleri sıralanmış, daha sonra da, 3 farklı operasyonda punta kaynak işlemi yapılmıştır. Elde edilen parça, 3 boyutlu ölçüm cihazı ile $[+1,-1]$ mm tolerans aralığında ölçülerek doğrulanmıştır. Bu ölçüm aynı zamanda parçanın 3D datasına göre hazırlanan kontrol fikstüründe de kontrol edilerek 2 boyutlu olarak da doğrulanmıştır.

5 adet puntanın makroskopik incelemeleri yapılmıştır. Buna göre mikron mertebesinde nüfuziyet ve çökme ölçümleri yapılmış, bulunan değerler, standarda göre olması gereken teorik değerlerle kıyaslanmıştır. Sonuçlar teorik kabul standardına uygun değer aralıklarının da olduğu görülmüştür.

Bütün punta noktalarının çökme ölçümleri manüel olarak yapılmıştır. Aynı zamanda standarda uygun olarak olması gereken maksimum çökme değerleri her bir punta için hesaplanmıştır. Deneysel ölçümlenen değerler standart ile kıyaslanmış ve teorik standart değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Bütün noktaların nüfuziyet ölçümleri yapılamamıştır. Nedeni ise nüfuziyet için gerekli hassas ölçümler ancak makroskopik ölçüm cihazı ile yapılabilmektedir. Her puntanın da

makroskopik deneye uygun hale getirilmesi mümkün değildir. Bu nedenle her operasyon için sık kullanılan kalınlıktaki sac çiftleri seçilmiştir. 5 farklı noktanın nüfuziyet testi yapılmış, bulunan deneysel veriler teorik olarak olması gereken değerler aralığından çıkmıştır.

Test parçası koparma (tear-down) metodu ile hasarlı olarak sökülüştür. Her bir puntanın çekirdek çapı kumpas ile ölçülmüş ve standartta olması gereken teorik değerler ile kıyaslanmıştır. Teorik değerlerin üzerinde punta çekirdek çapları elde edildiği görülmüştür.

Koparma testi ile sökülen parçadaki 1 adet puntanın sertlik testi yapılmıştır. Punta işlemleri sırasında en çok kullanılan sac kalınlığı olan 1,8 mm ile puntalanan bir nokta seçilmiştir. Standarda göre olması gereken teorik değerle, test sonrası elde edilen ölçüm değeri kıyaslanmış ve bulunan deneysel değer, teorik değerden çok üzerinde çıkmıştır.

Punta çiftleri içinde en fazla kullanılan 2 adet sac çiftinin çekme testi yapılmıştır. Bulunan değer, standart ile kıyaslanmıştır. Deneysel değer, teorik değerden fazla olduğu görülmüştür.

Hasarsız muayene yöntemi olan ultrasonik test yöntemi kullanılarak bütün puntaların kontrolleri yapılmış ve sonuçlar EK-A kısmına eklenmiştir. Ultrasonik ölçüm cihazı yardımıyla alınan bu grafiklere göre puntaların kaliteleri tayin edilmiştir. Buna göre daha önce ölçümü yapılan ve uygun çekirdek çapına sahip olmayan OP30-P4, OP30-P10, OP30-P13 puntalarının ultrasonik testleri de uygunsuz çıkmıştır. Bu da gösteriyor ki, punta çekirdek çapının teorik değerlere uygun olması, ultrasonik test sonuçlarını etkilemektedir.

Punta çekirdek çapı uygun çıkan OP20-P5 nolu puntanın ultrasonik test sonucu uygun çıkmamıştır. Buradan da anlaşılıyor ki, punta çapı standarda uygun olsa bile Ultrasonik test sonucunun uygun çıkması için tek geçerli şart değildir.

Deney parçasında toplamda 40 punta vardır ve bu puntalar standarda göre belirli punta kümelerine ayrılmıştır. Bu punta kümeleri içerisindeki her bir puntanın ultrasonik test sonuçları listelenmiştir. Standarda göre olması gereken uygunsuz punta alt limit sayıları ile punta kümelerindeki uygunsuz punta sayıları kıyaslanmıştır. Sonuçta bütün punta kümeleri kabul edilebilir, dolayısıyla da kaliteli çıkmıştır.

Hasarsız punta muayene yöntemlerinden gözle kontroller yapılmıştır. Buna göre, uygun olmayan puntaların üstten görsel incelemeleriyle punta kaynak kaliteleri arasında bağ kısmen kurulmuştur. Buna göre, yüzeyinde çatlakları ve renk tonu farklılıkları olan puntaların hem ultrasonik test sonuçları hem de çekirdek punta çap ölçüleri uygun çıkmamıştır. Aksine, yüzeyinde çatlak olmayan ve yüzeyindeki renk tonu farklılığı çok az olan puntaların uygun kalitede oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak, kaynak robotu kullanılarak imalatı gerçekleştirilen iş parçasına, tahribatlı (hasarlı) ve tahribatsız (hasarsız) muayene yöntemleri uygulanarak elde edilen değerlerin, standarda göre kıyaslanması sonucunda; punta kaynak kalitesinin seri üretim onayı için kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüştür.



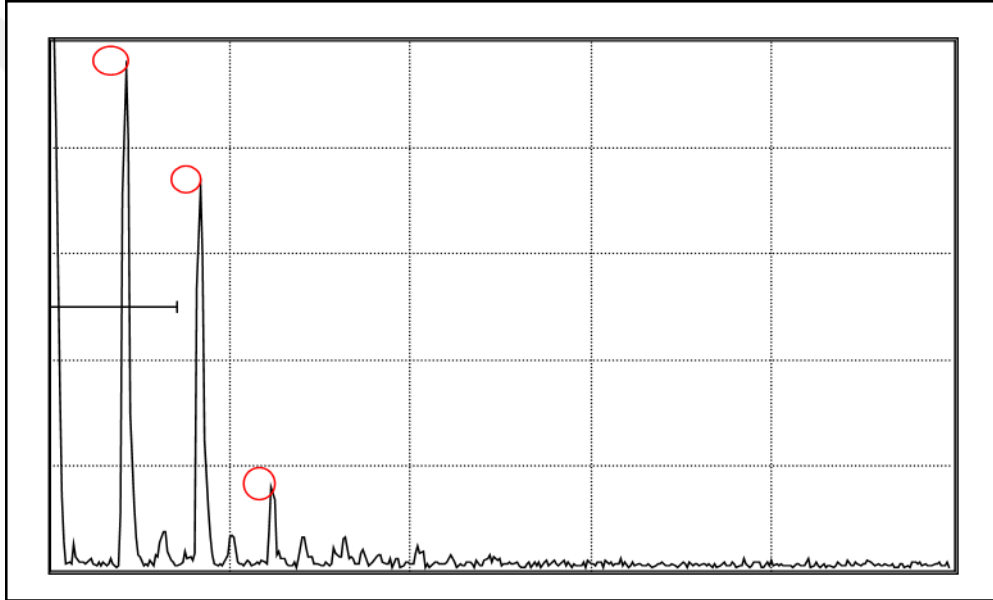
KAYNAKLAR

- [1] Boran, N. ve Salman, S., (2004). Elektrik Direnç Punta ve Tıg Punta Kaynağı ile 6114 Çelik Sac Malzemelerde Yapılan Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Karşılaştırılması, Marmara Üniv.Teknik Eğitim Fakültesi, 1-12, İstanbul.
- [2] Yavuz, N. ve Güner, R., (2002). “Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi”, Uludağ Üniv. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1): 221-228, Bursa.
- [3] Peng, J., H. ve Hu, S., J., (1999). “Controls of Resistance Spot Welding”, Proceedings of the American Control Conference, 187-191, San Diego.
- [4] Sharma, P., Ghosh, P., Ve Nath, S., (1993). “Fatigue Behavior of Resistance Spot Welded Mn - Cr - Mo Dual Phase Steel. Z. Metallkunde”, University of Roorkee, Department of Industrial Engineering, 518–525.
- [5] Çalışoğlu, İ., (2009). Ticari Olarak Temin Edilen ve % 10 Soğuk Deforme Edilen Erdemir 7660 Kalite Dual Fazlı Çeliğin Nokta Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ZÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [6] Vural, M., (2012). IML 212 İmal Usulleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul.
- [7] Eryürek, B., (1982). Elektrik Direnç Kaynağı, Mühendis ve Makine, 24: 22-28, İstanbul.
- [8] Yener, S., (1999). Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Elektrodu Ömrünün Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 13-37, İstanbul.
- [9] Gürdaş, M., (1999). Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Alüminyum ve Alaşımlarının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 4-65, İstanbul.
- [10] Anık, S., Anık, E., ve Vural, M., (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt 1, Birsan Yayınevi, 186-195, İstanbul.
- [11] Anık, S., (1983). Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Giriş Makine ve Montaj Sanayi A.Ş., 175-193, İstanbul.

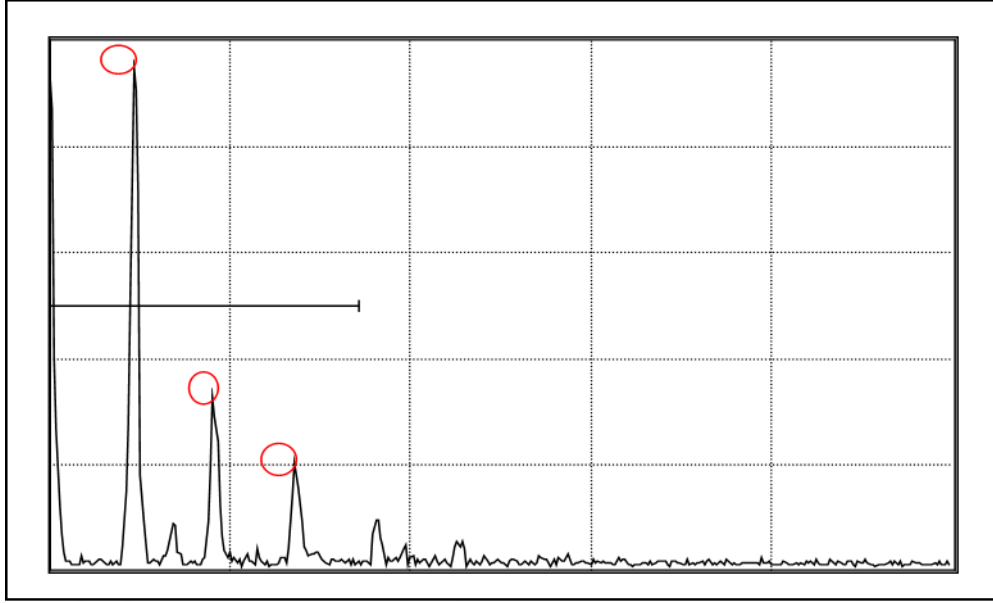
- [12] Kahraman, N., ve Gülenç B., (2009). Modern Kaynak Teknolojisi'', Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti., Cilt 1, 1-99, Ankara.
- [13] Aktaş, S., (2008). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Dual Fazlı Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü , Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, 62, Sakarya.
- [14] FORD ESBM5A_1N261_AA Standardı, (2008). Resistance Spot Welding, Ford Otomotiv Endüstrisi, Rev. A, North America.
- [15] Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., 2015. ERDEMİR Ürün Kataloğu, Zonguldak.



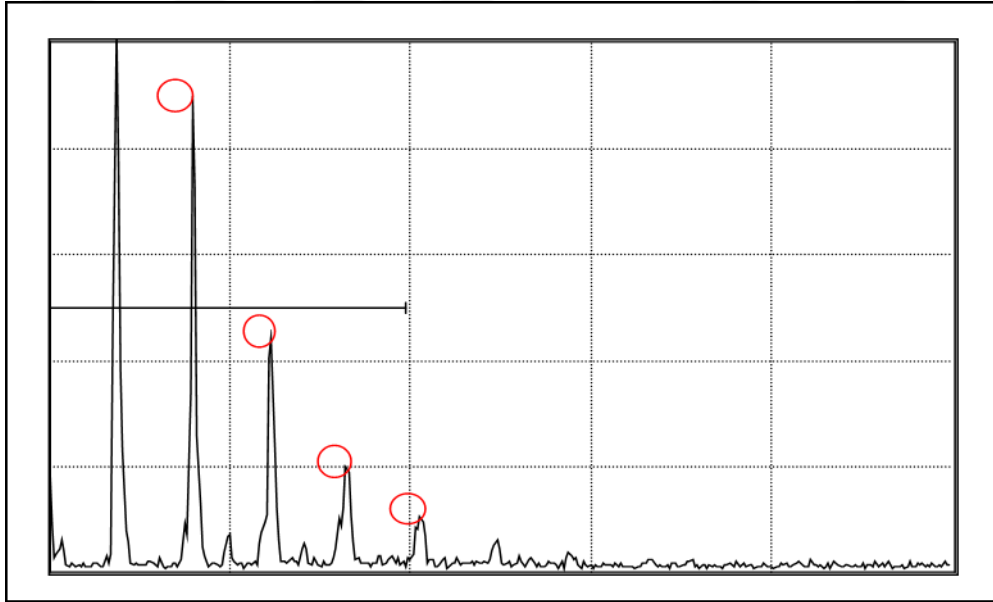
ULTRASONİK TEST SONUÇLARI



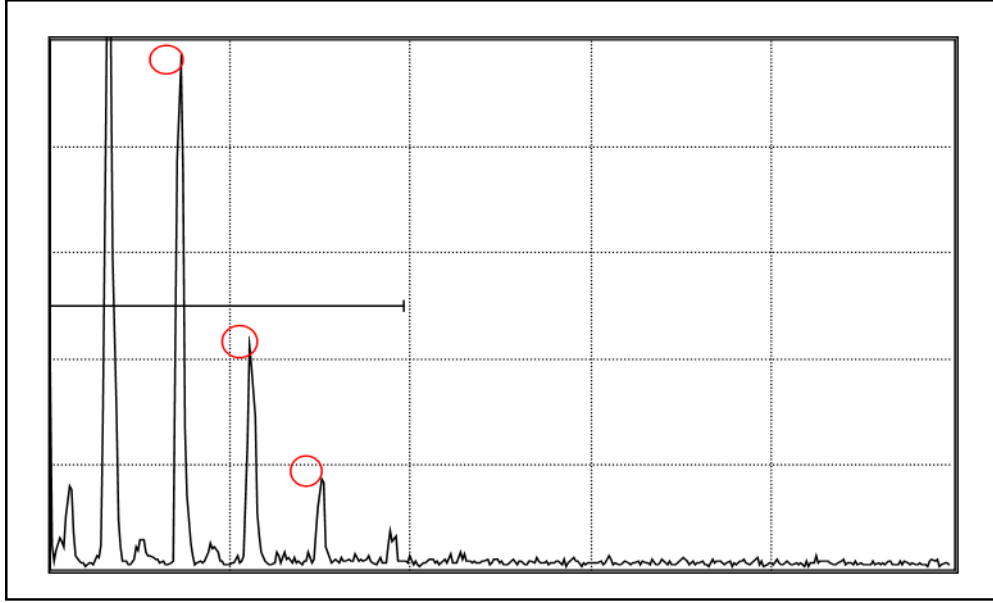
Şekil A.1 OP10-P1 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



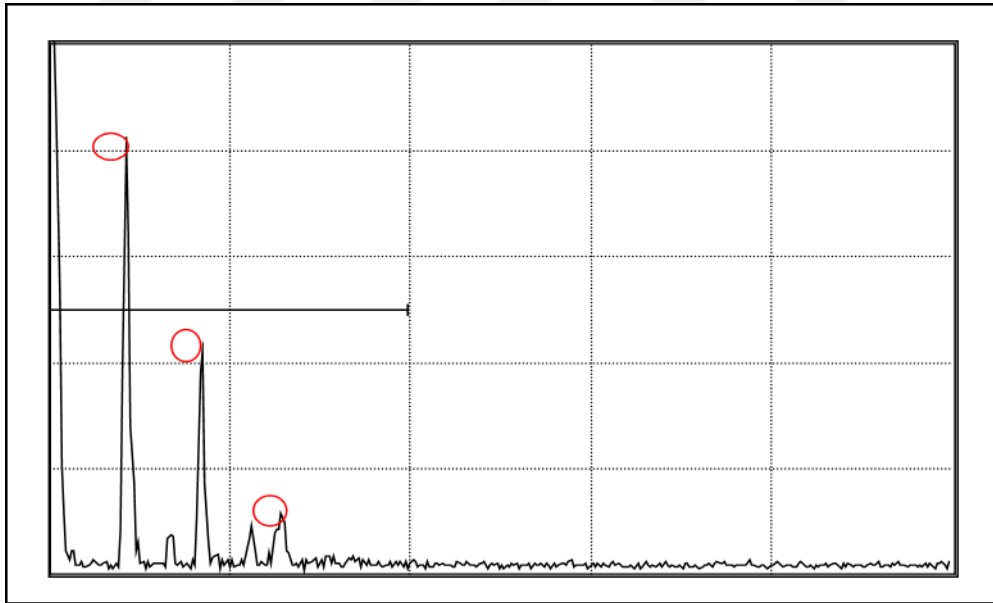
Şekil A.2 OP10-P2 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



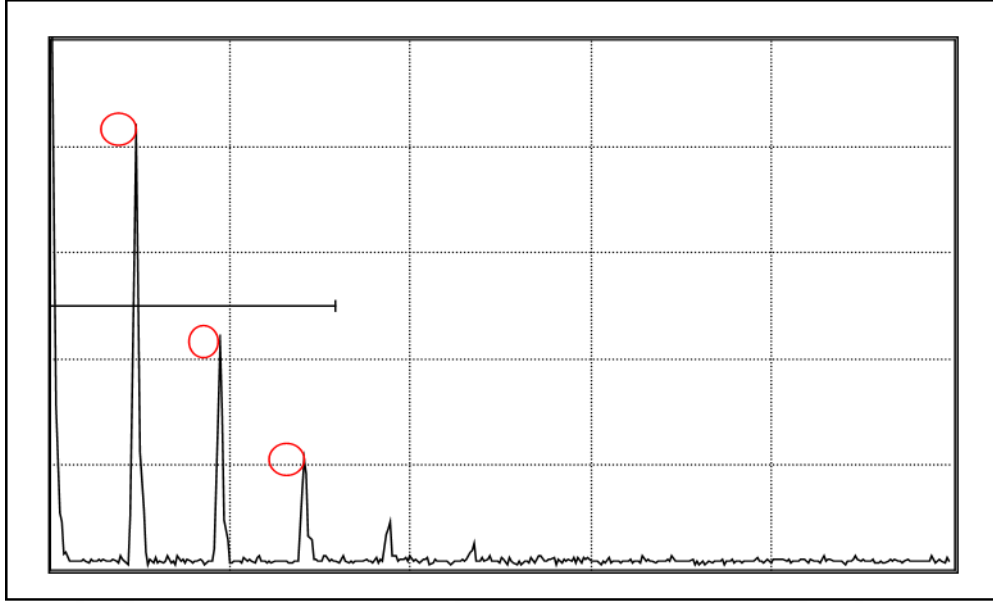
Şekil A.3 OP10-P3 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



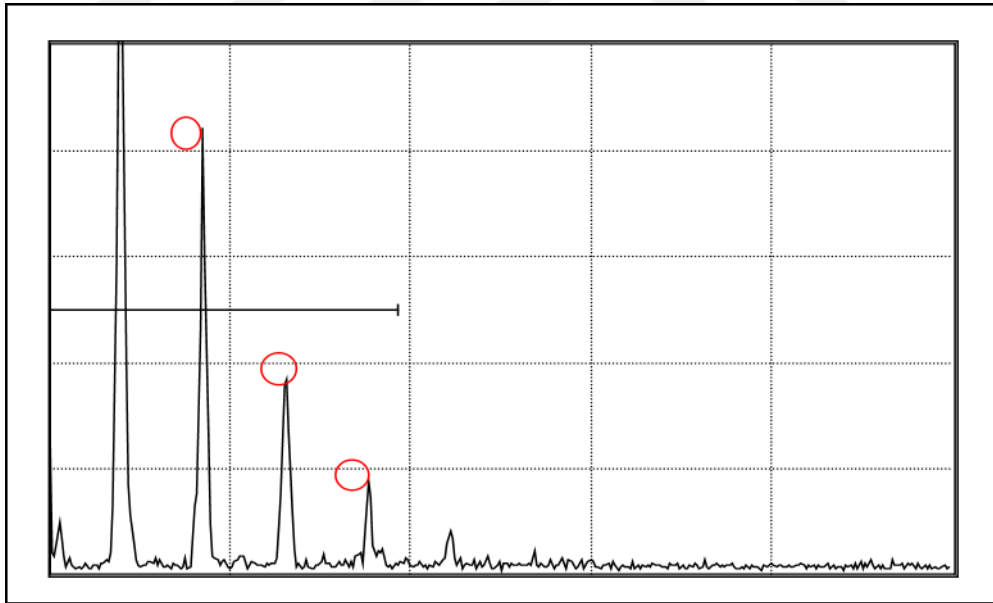
Şekil A.4 OP10-P4 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



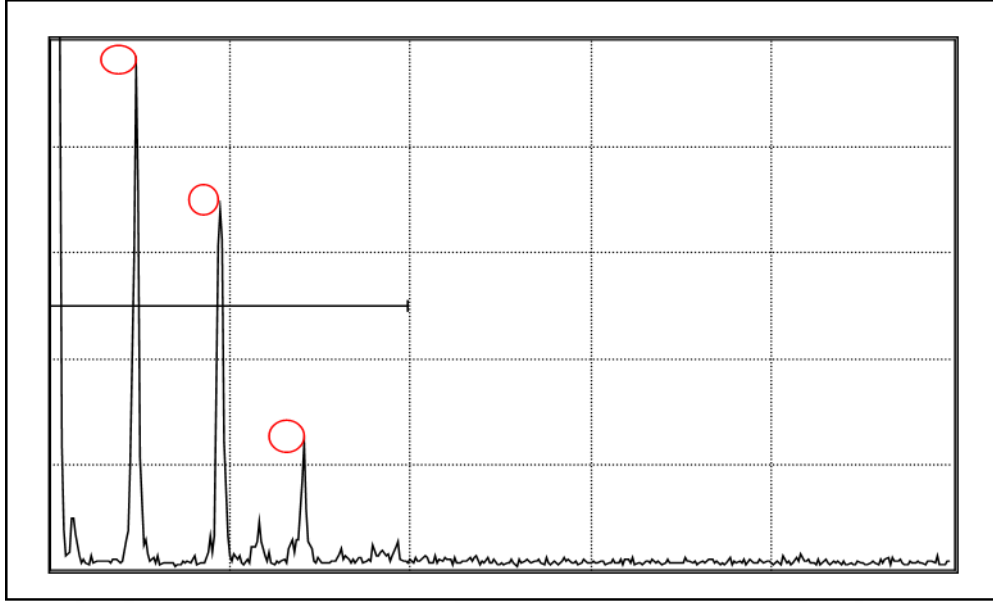
Şekil A.5 OP10-P5 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



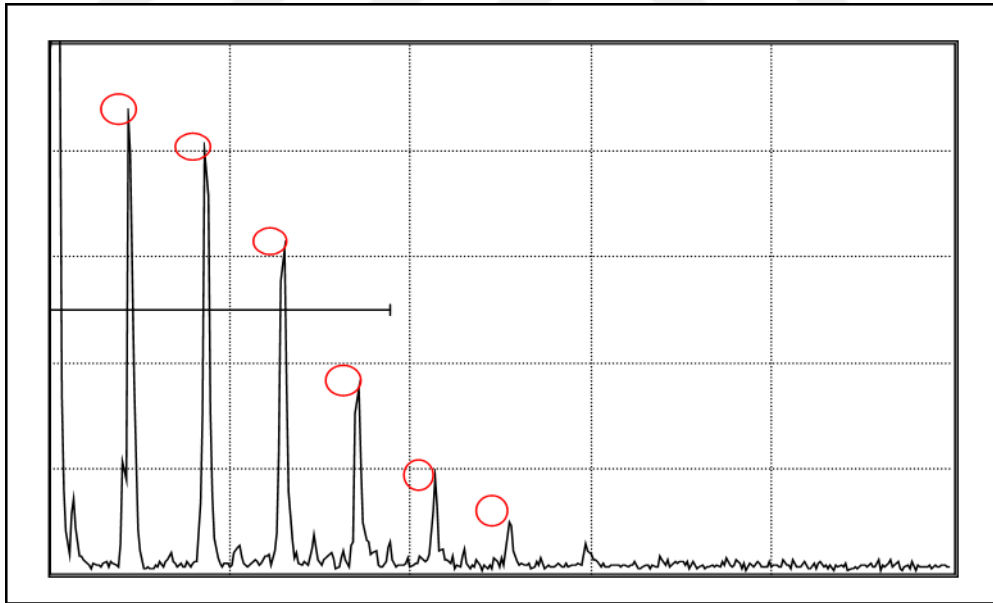
Şekil A.6 OP10-P6 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



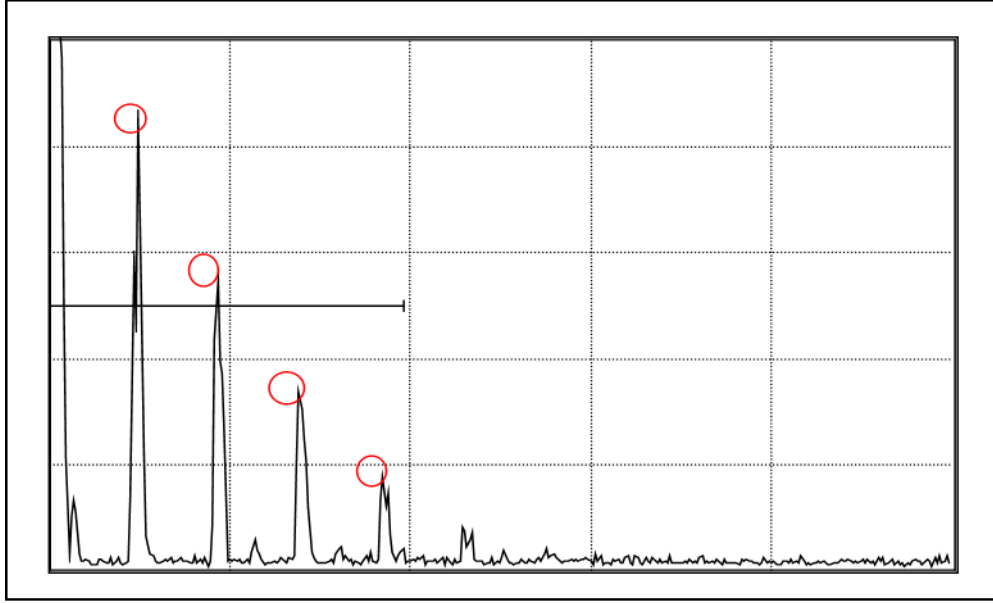
Şekil A.7 OP20-P1 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



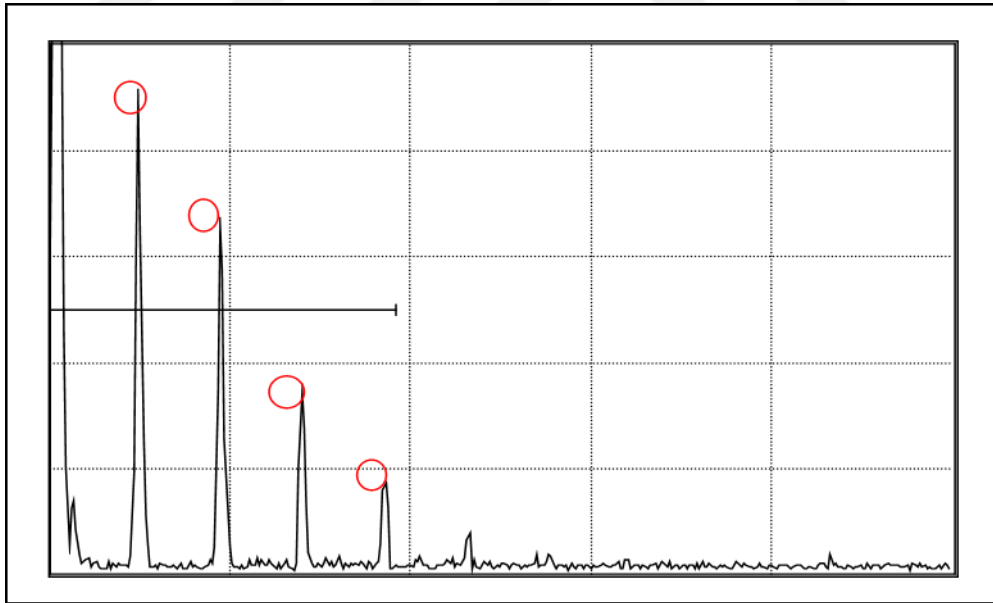
Şekil A.8 OP20-P2 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



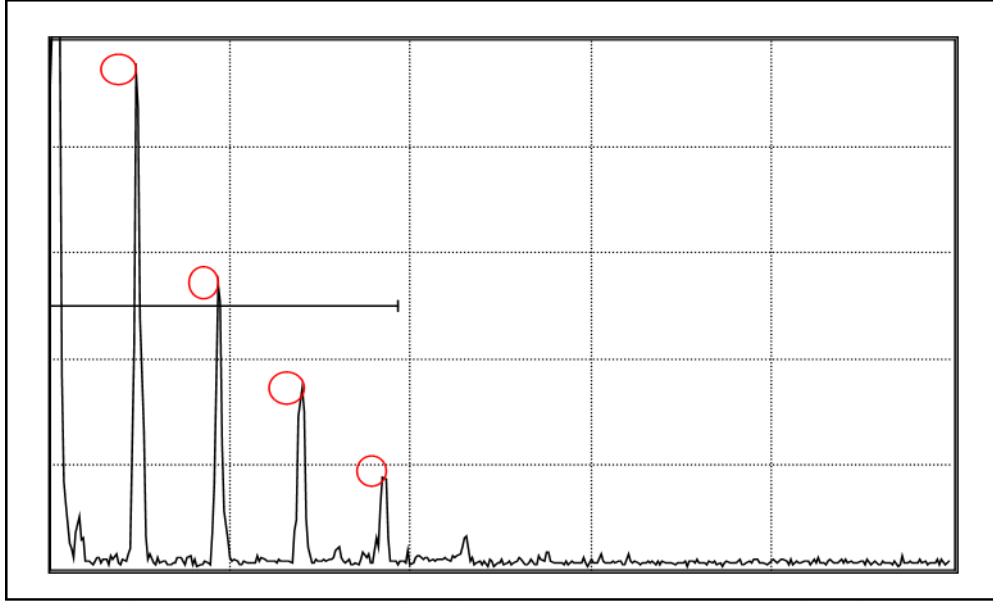
Şekil A.9 OP20-P3 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



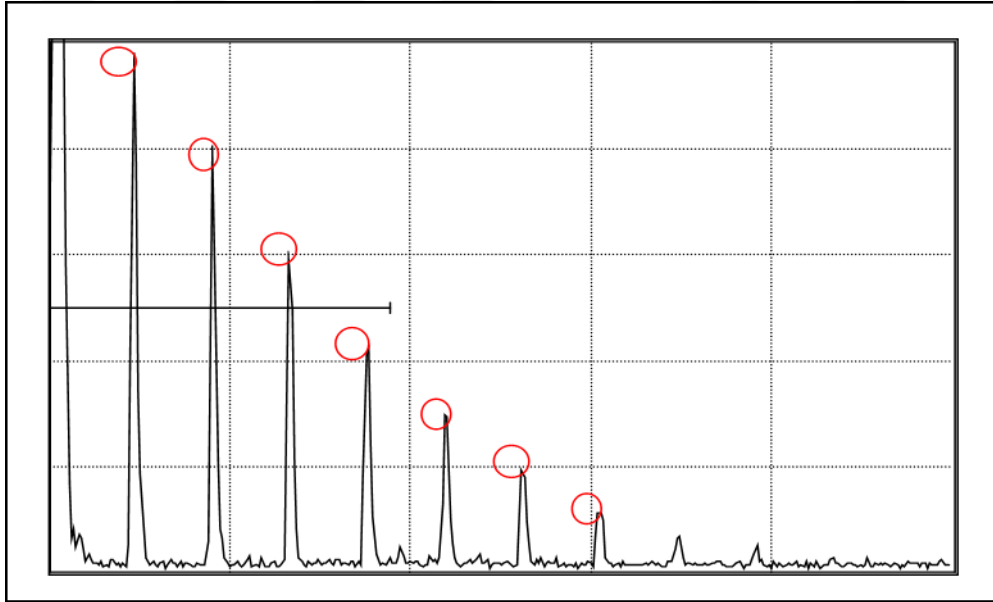
Şekil A.10 OP20-P4 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



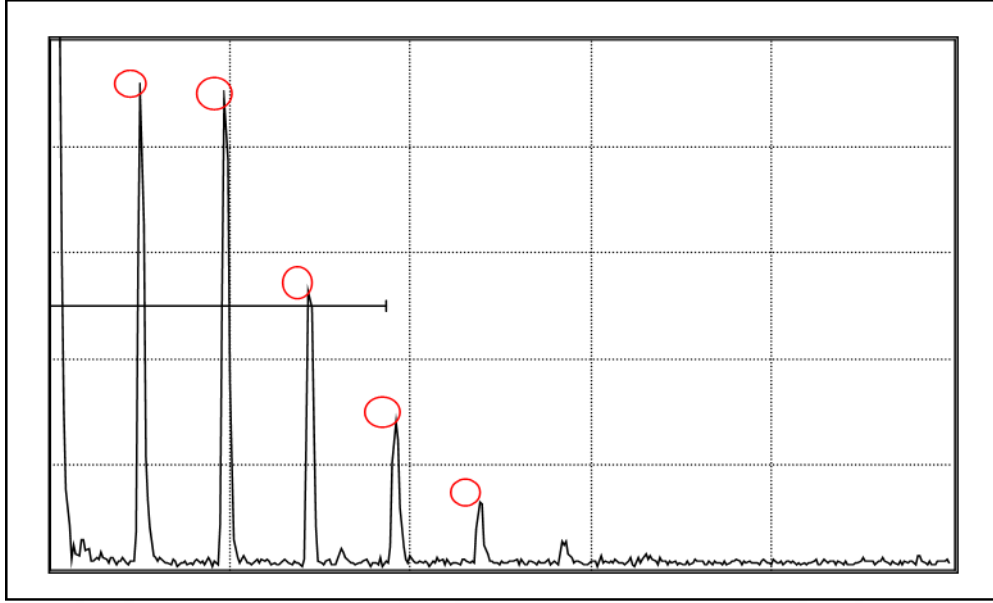
Şekil A.11 OP20-P5 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



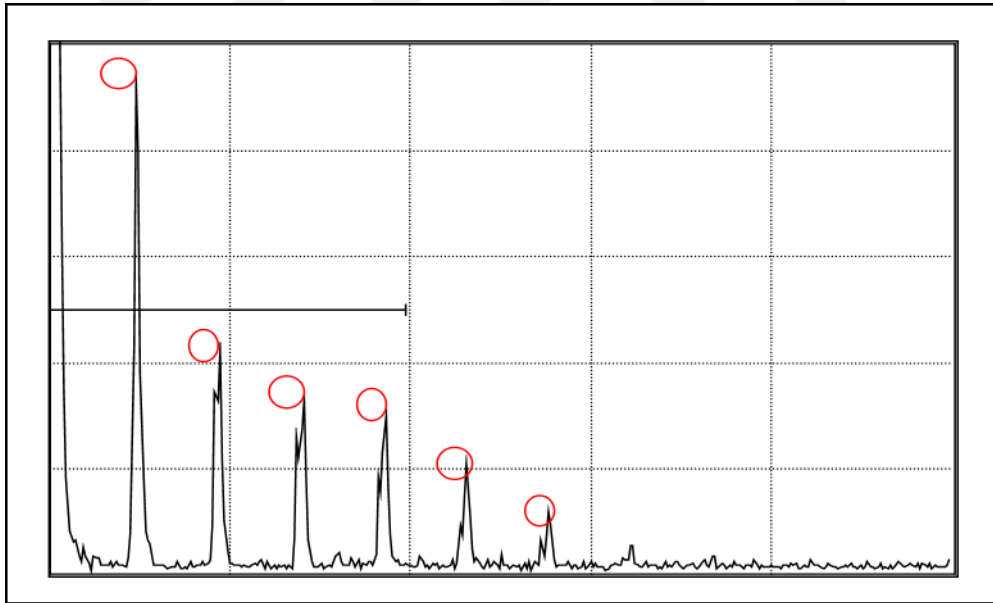
Şekil A.12 OP20-P6 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



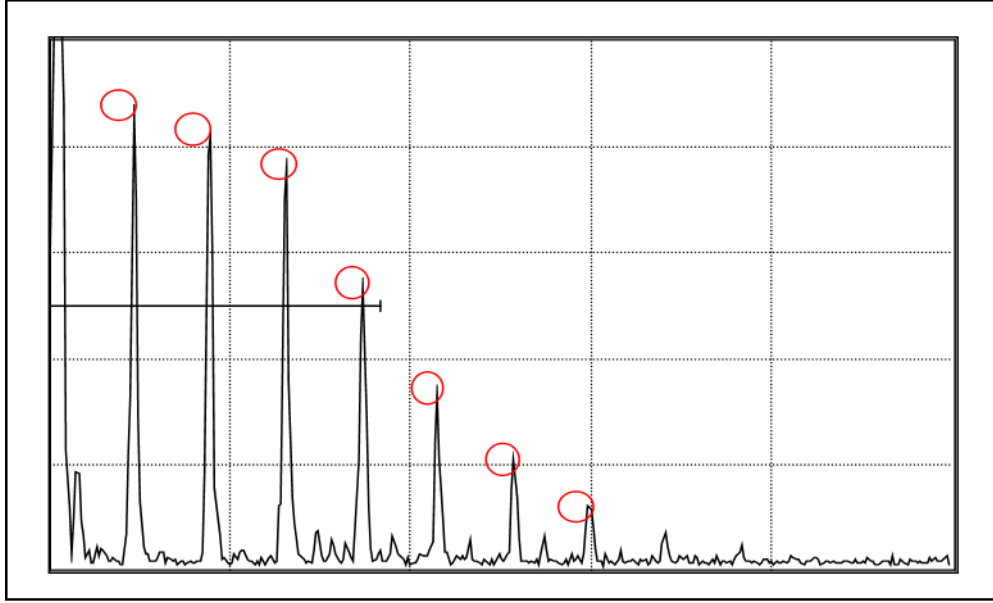
Şekil A.13 OP20-P7 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



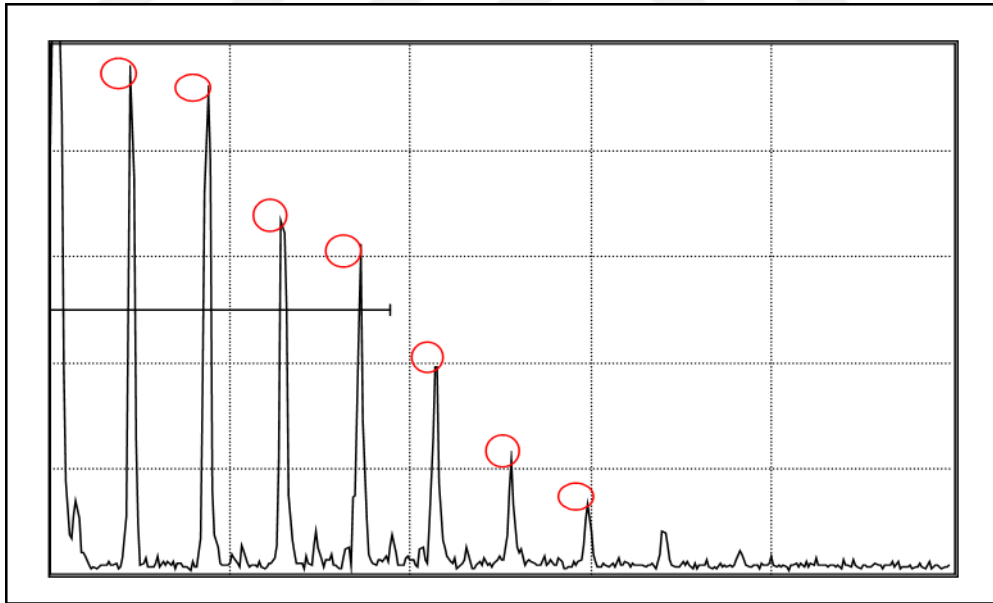
Şekil A.14 OP20-P8 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



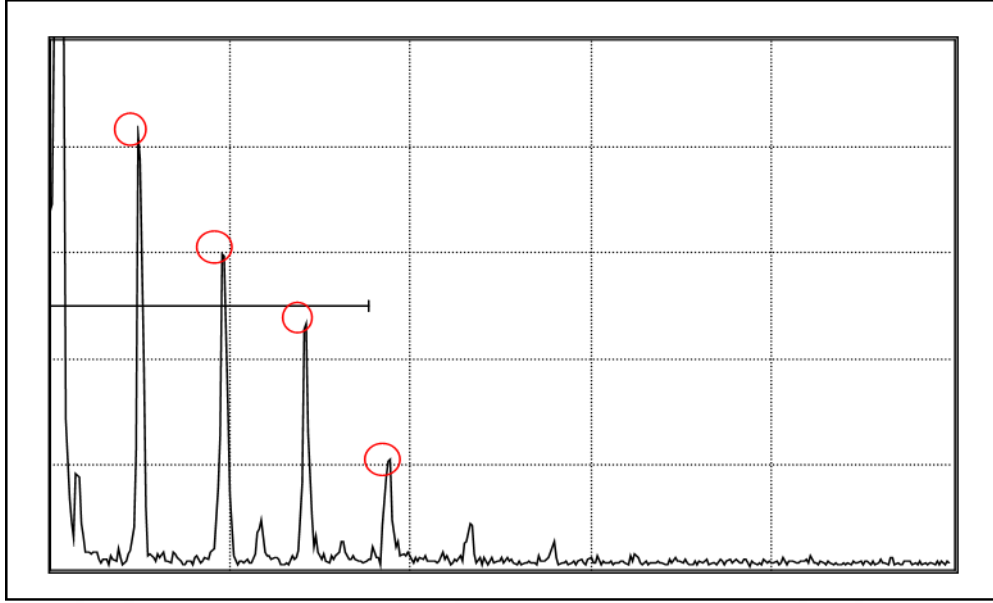
Şekil A.15 OP20-P9 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



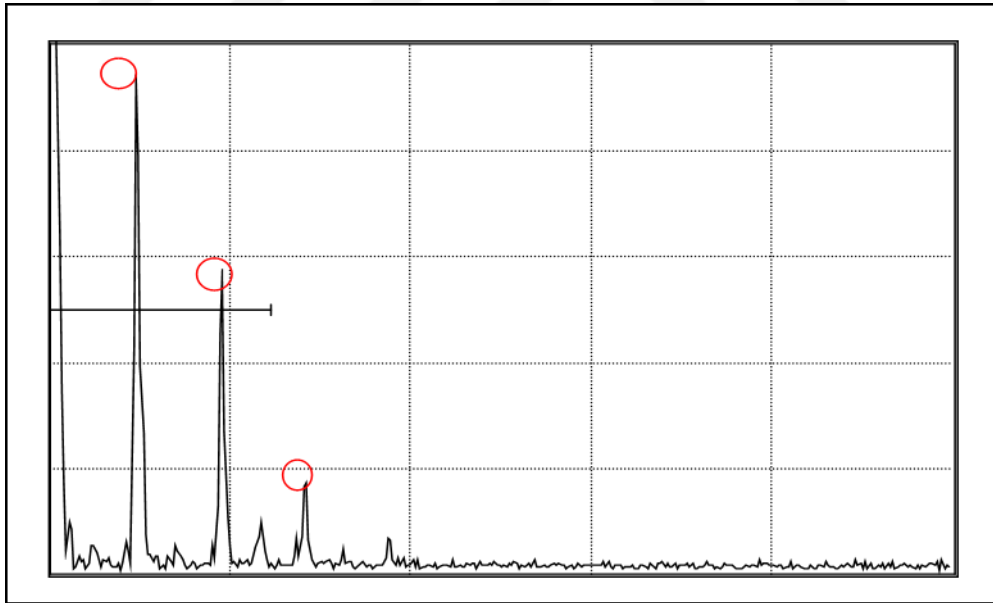
Şekil A.16 OP20-P10 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



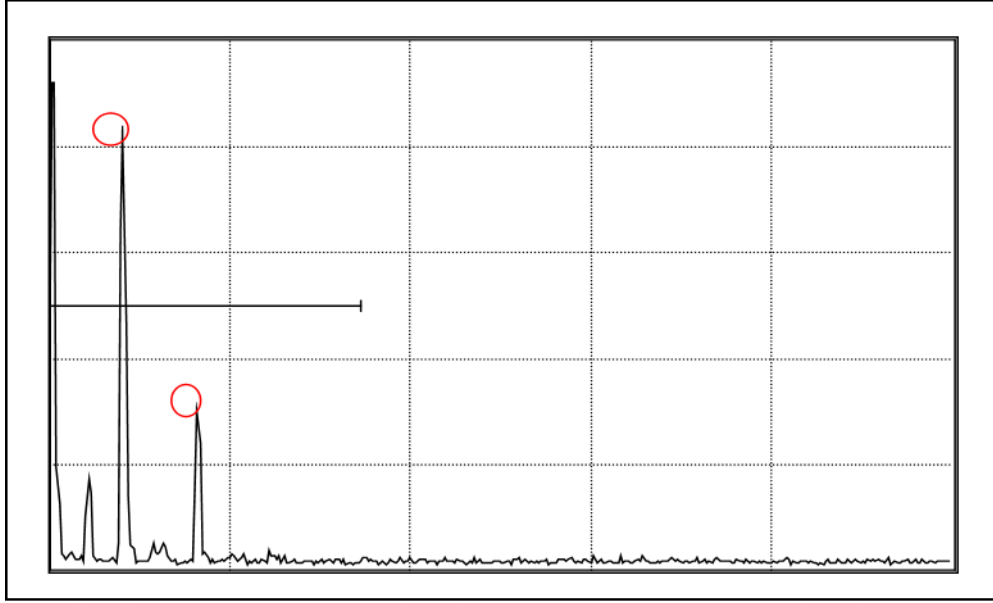
Şekil A.17 OP30-P1 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



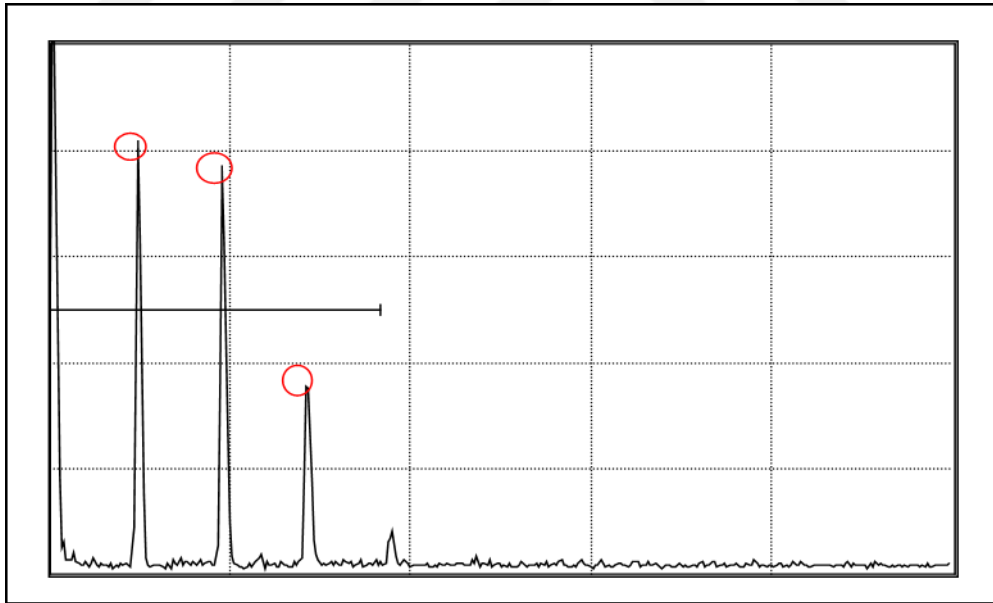
Şekil A.18 OP30-P2 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



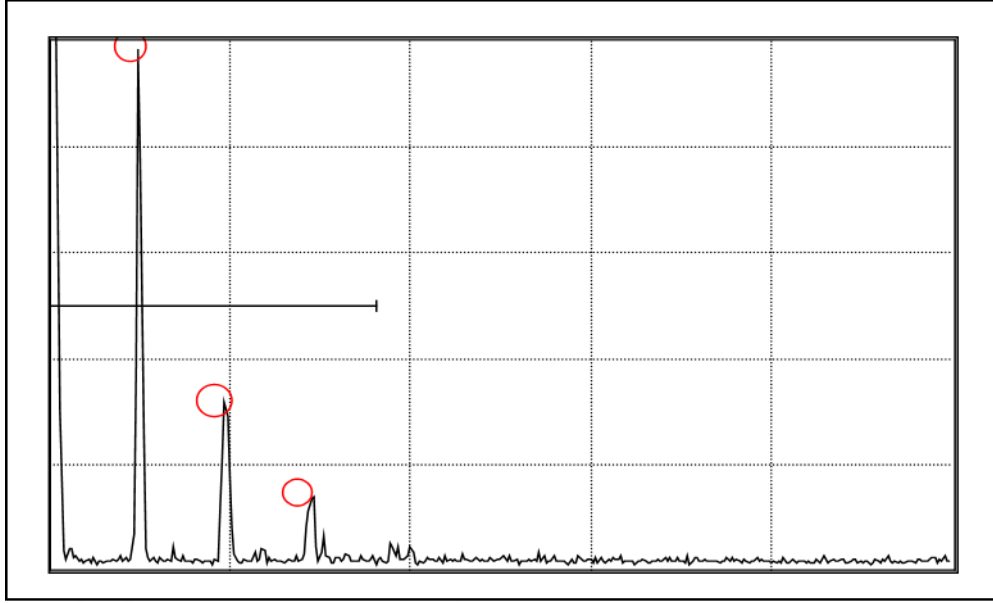
Şekil A.19 OP30-P3 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



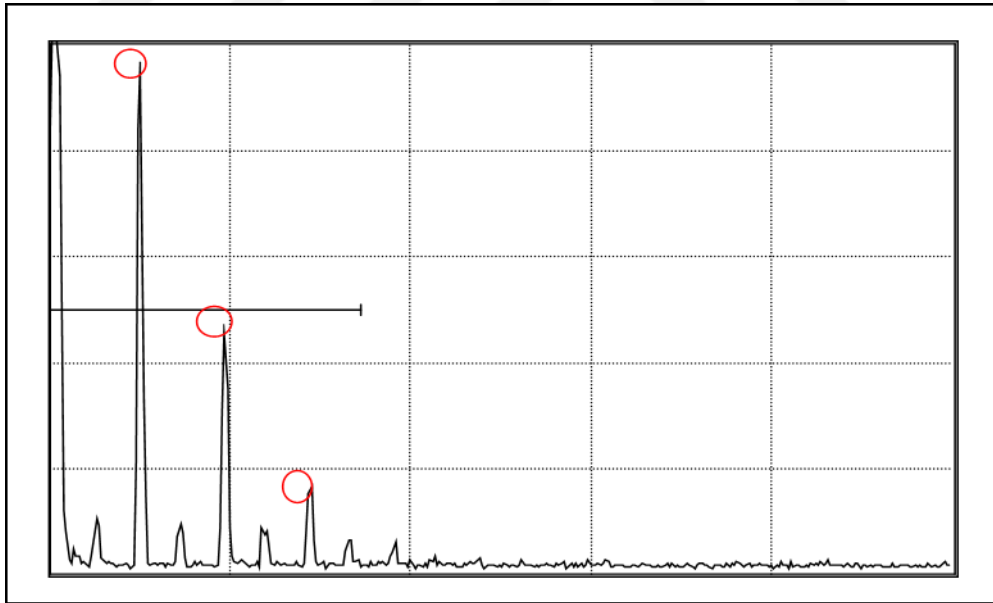
Şekil A.20 OP30-P4 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



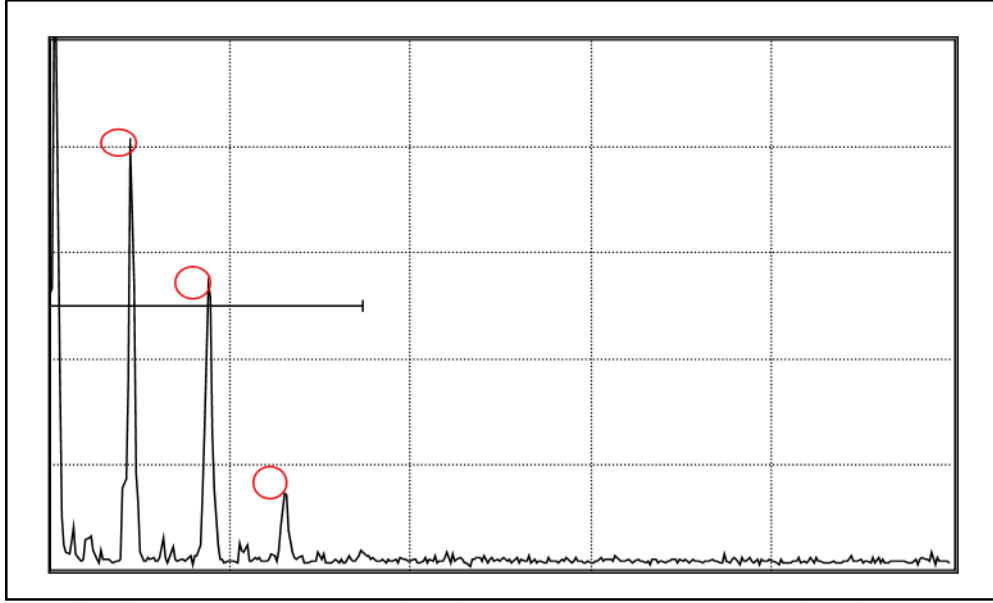
Şekil A.21 OP30-P5 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



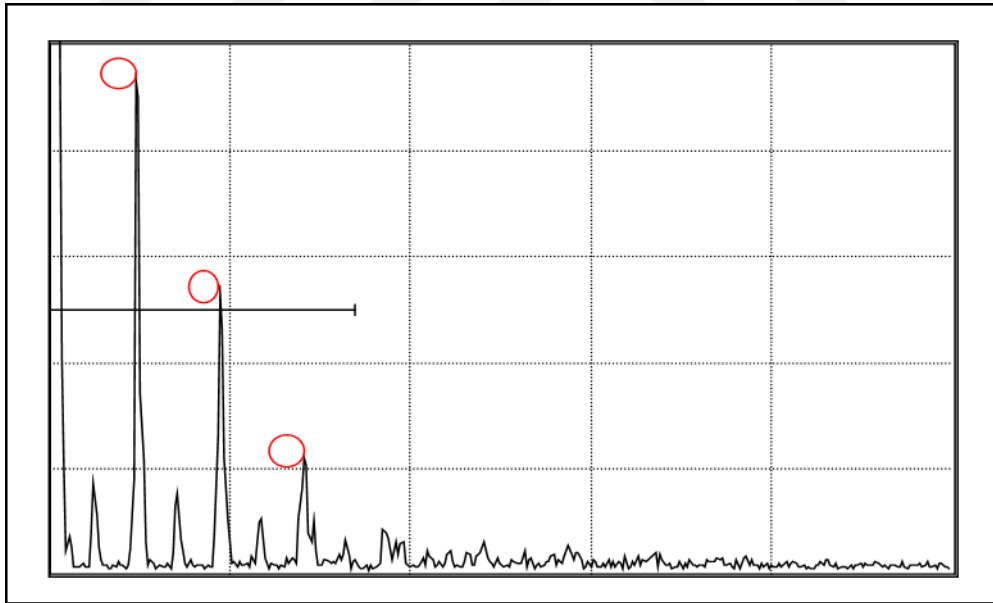
Şekil A.22 OP30-P6 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



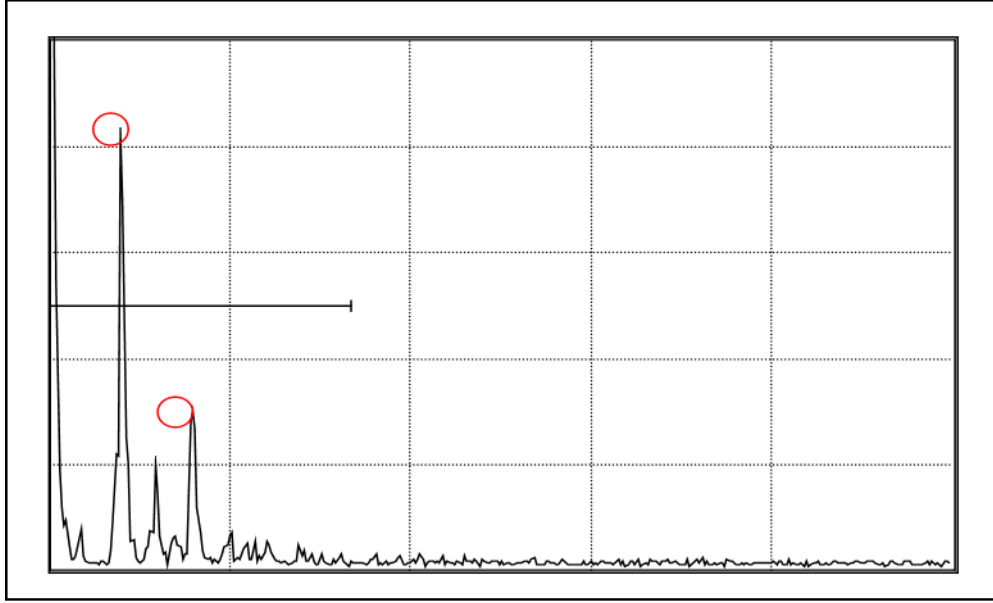
Şekil A.23 OP30-P7 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



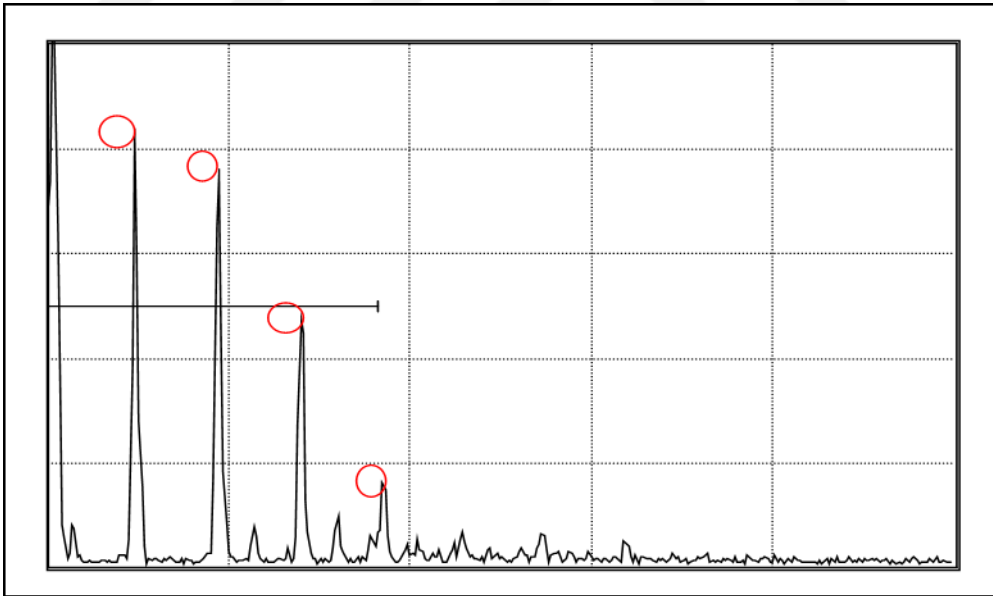
Şekil A.24 OP30-P8 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



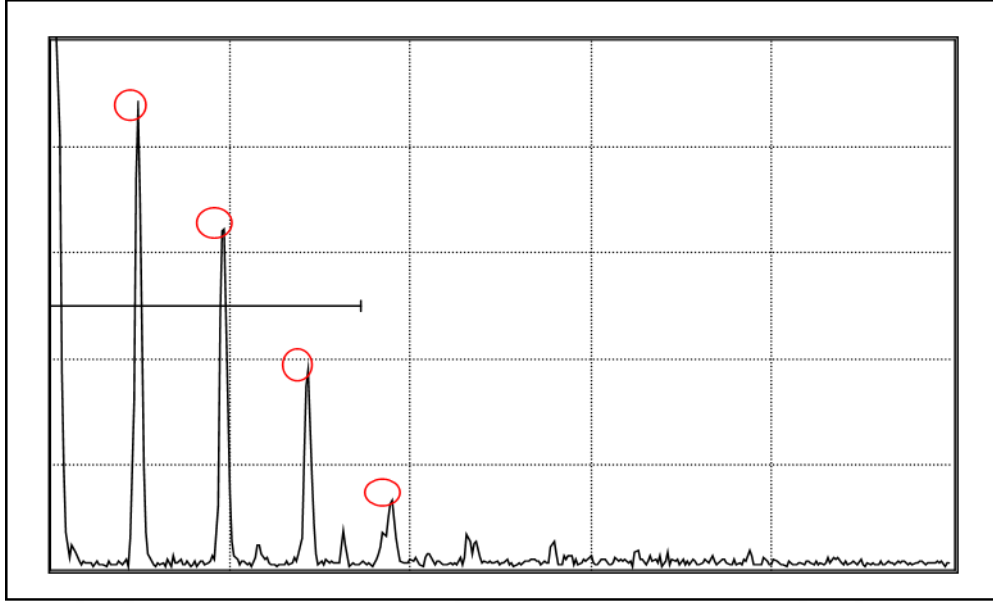
Şekil A.25 OP30-P9 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



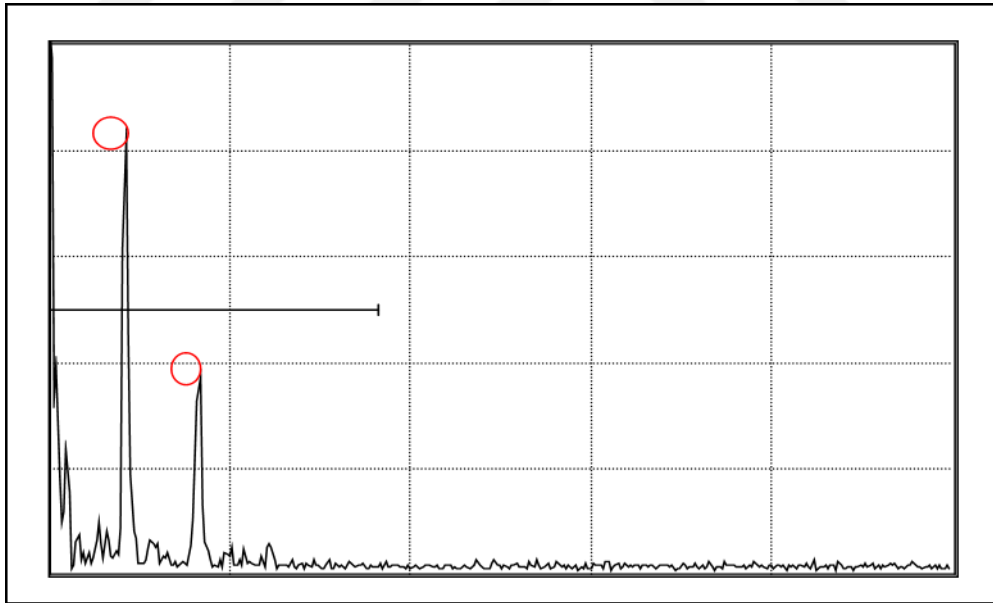
Şekil A.26 OP30-P10 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



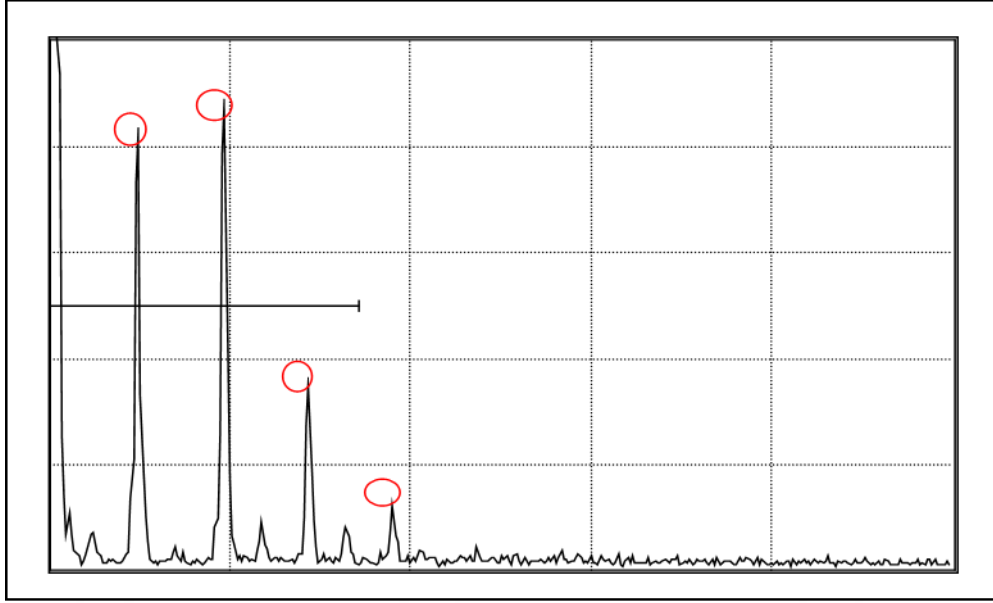
Şekil A.27 OP30-P11 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



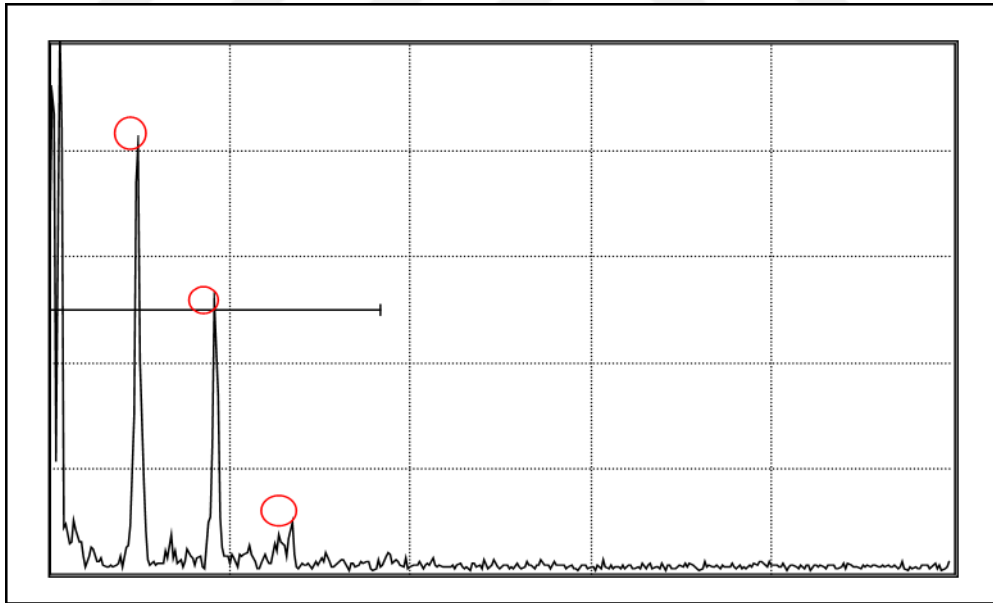
Şekil A.28 OP30-P12 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



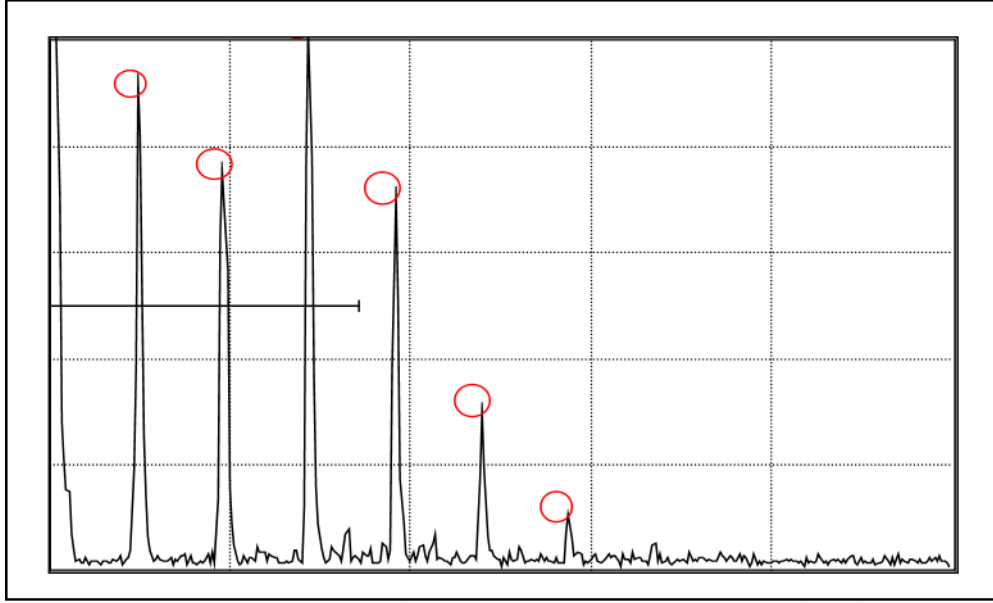
Şekil A.29 OP30-P13 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



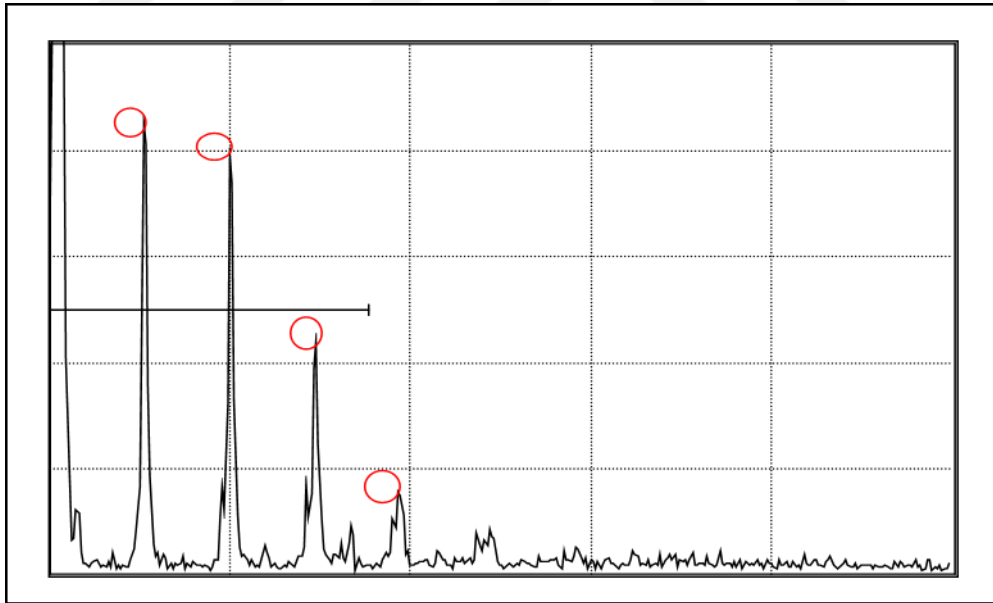
Şekil A.30 OP30-P14 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



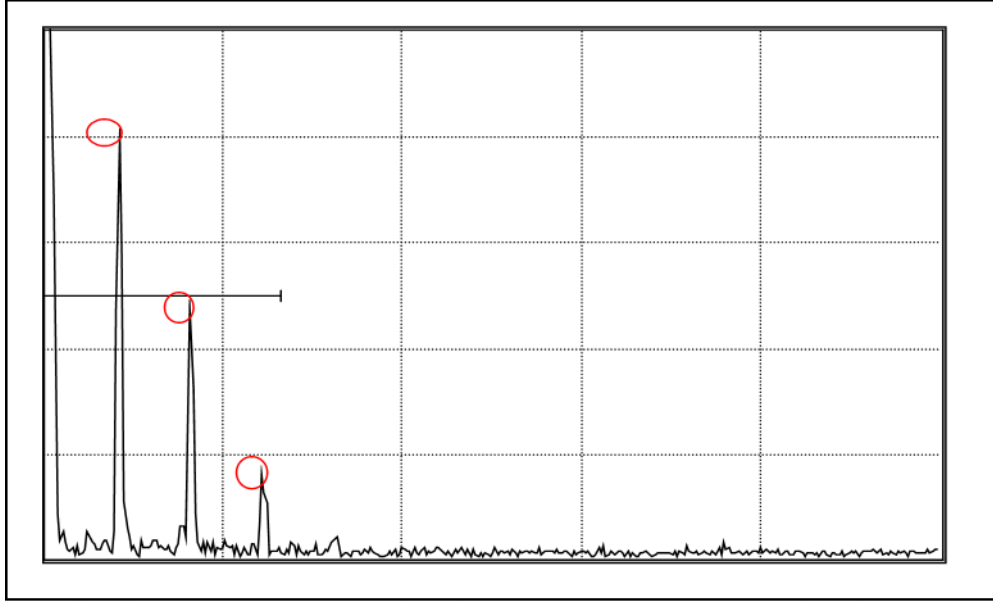
Şekil A.31 OP30-P15 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



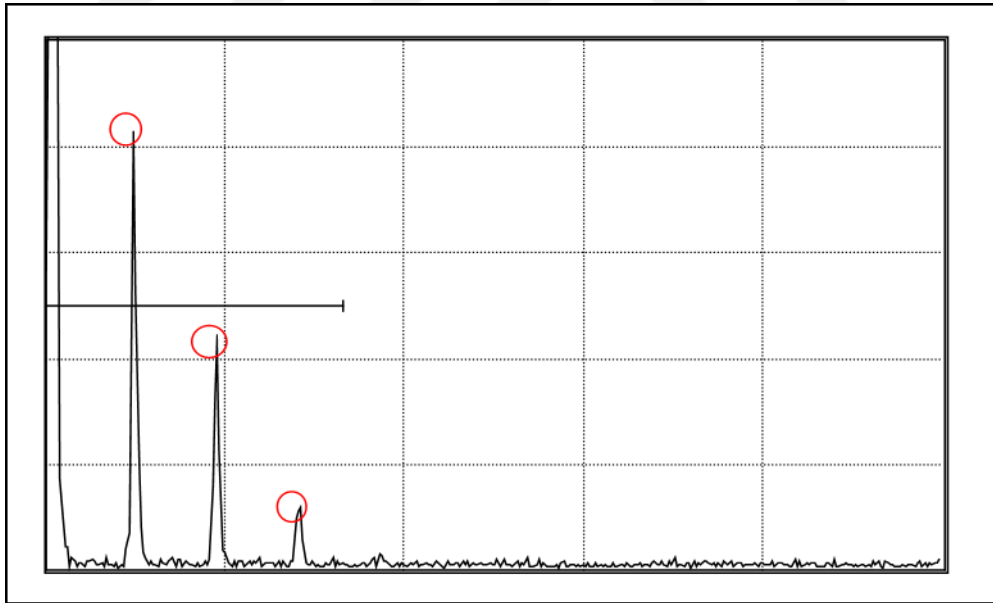
Şekil A.32 OP30-P16 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



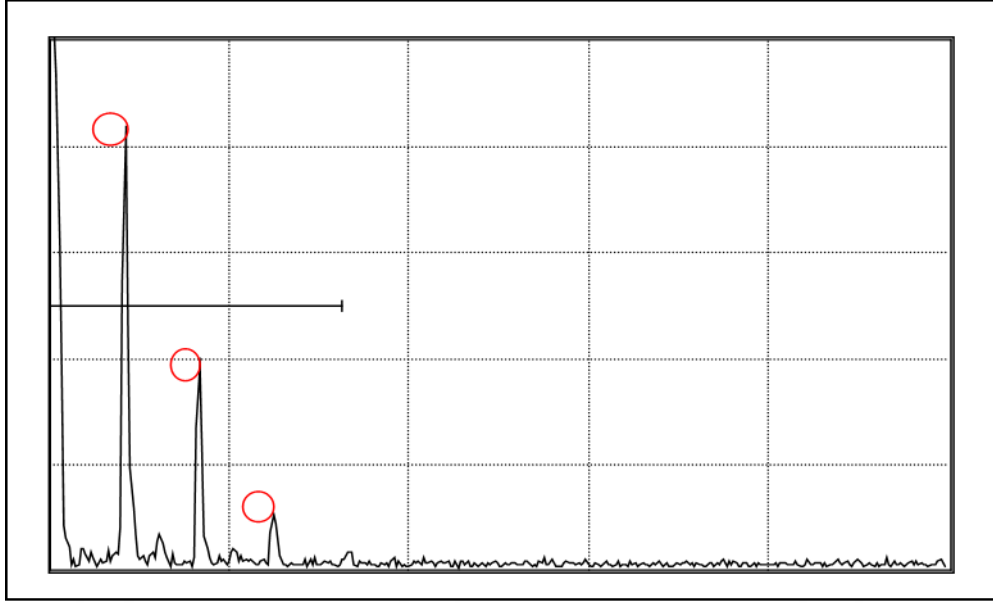
Şekil A.33 OP30-P17 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



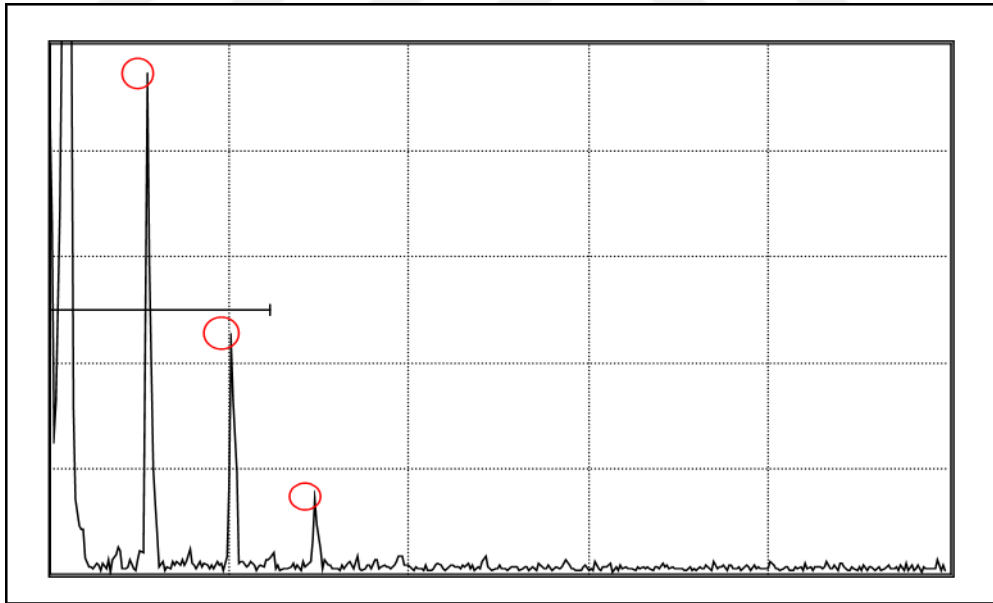
Şekil A.34 OP30-P18 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



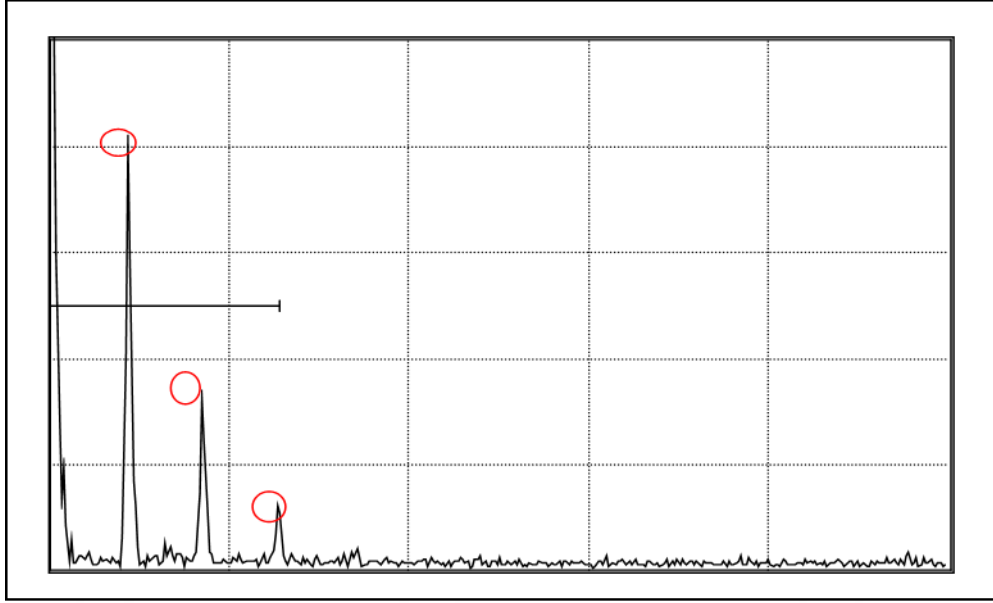
Şekil A.35 OP30-P19 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



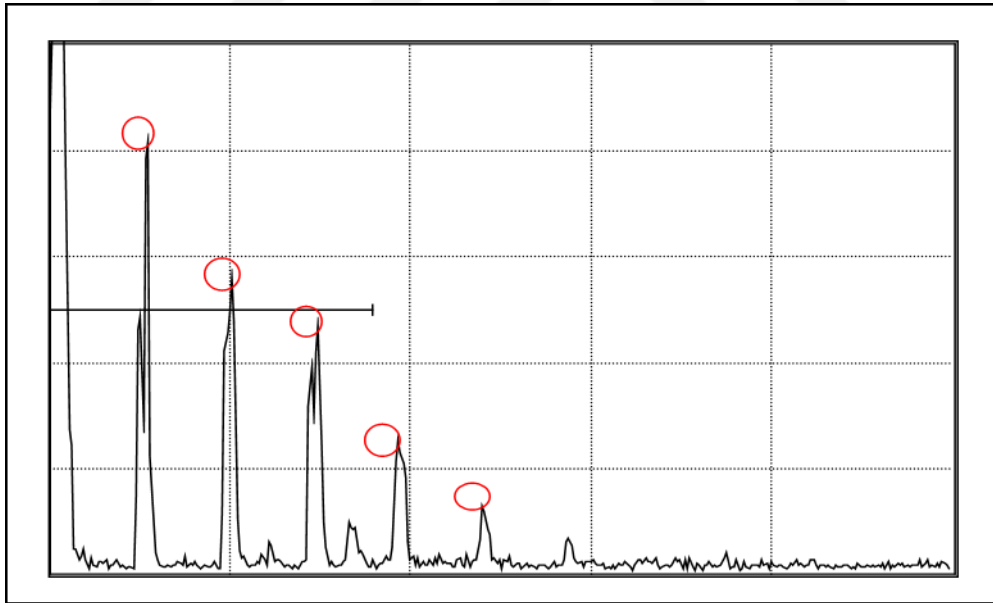
Şekil A.36 OP30-P20 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



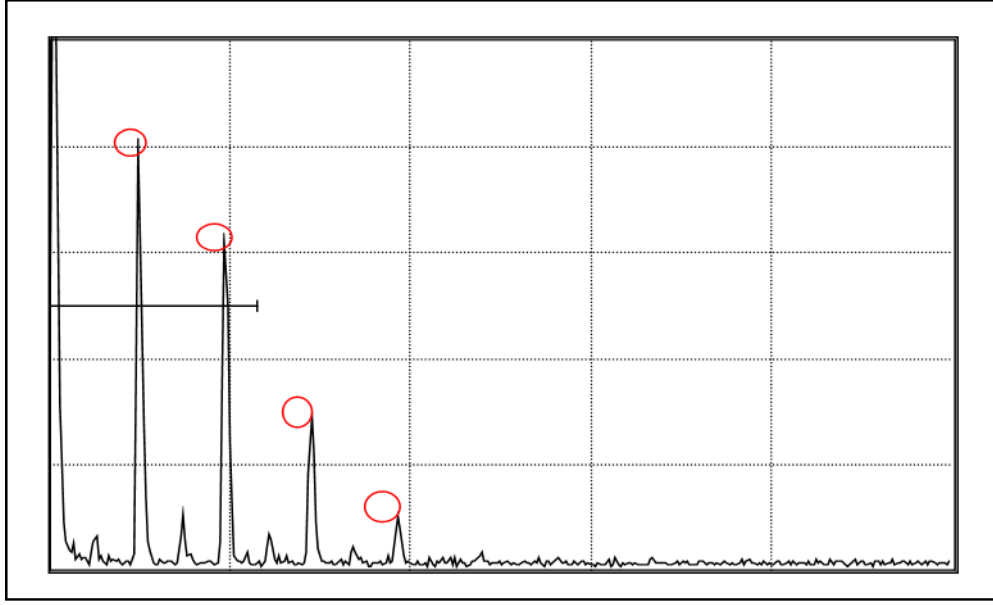
Şekil A.37 OP30-P21 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



Şekil A.38 OP30-P22 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



Şekil A.39 OP30-P23 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu



Şekil A.40 OP30-P24 numaralı puntanın ultrasonik test sonucu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin TÜRKOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.02.1989 Dört Yol/Hatay
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : turkoglu.huseyn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makina Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Matematik-Fen	Dört Yol Süper Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	ANADOLU ISUZU A.Ş.	Kalite Mühendisi
2013	YILDIZ KALIP A.Ş.	Kalite Mühendisi
2012	BM MAKİNA A.Ş.	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. APMAS-2014-4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, The Comparison of Destructive and Non-Destructive Tests of Spot Welding Quality Examination at a Roof Body Bracket Part Used in Automotive Industry, 2014
2. MSE-Materials Science Engineering, Darmstadt, The Analysis of Destructive and Non-destructive Tests of Spot Welding Quality Examination at an Engine Carrier Body Part Used in Automotive, 2014