

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

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK ve İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DİKİŞ KALİTESİNE ETKİLERİ**

OKAN ŞENGÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF.DR. SELAHATTİN YUMURTACI**

İSTANBUL, 2011

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

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK ve İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DİKİŞ KALİTESİNE ETKİLERİ**

OKAN ŞENGÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF.DR. SELAHATTİN YUMURTACI**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK ve İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DİKİŞ KALİTESİNE ETKİLERİ**

Okan ŞENGÜL tarafından hazırlanan tez çalışması 17.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yeni nesil kaynak yöntemlerinden ultrasonik kaynağın enerji sektöründeki uygulamaları incelenmiş ve güneş kolektörlerinin imalat tekniklerine değinilmiştir. Böylelikle farklı disiplinlerdeki enerji ve imalat başlıkları tek bir uygulama üzerinde kesiştirilerek detaylı irdeleme gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans sürecimde desteklerinden ötürü Sn. Dr. Murat AKDOĞAN, Sn. İrfan FENERCİOĞLU ve tüm ekip arkadaşlarıma teşekkürlerimi iletiyorum.

Çalışmamın başlangıcından tez aşamasına kadar süregelen dönemde katkılarından dolayı danışman hocam Sn. Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI, Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU, Prof. Dr. Ahmet EKERİM ve diğer hocalarıma en içten saygılarımı arz ediyorum.

Hayatımın her döneminde yanımda olan en değerli varlıklarım ailem; sevgili eşim Esra ŞENGÜL, Azime- Hasan Sami ŞENGÜL, Melike ŞENGÜL, Necla- Hasan TURHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyor, bugüne gelmemde en önemli paylardan birine sahip olan Hanife Artar'ı saygı ve rahmet ile anıyorum.

Eylül, 2011

Okan ŞENGÜL

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
1.3.1 Kaynak İşleminin Tanımı ve Gelişim Süreci.....	3
1.3.2 Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	7
BÖLÜM 2.....	11
METALLERİN ULTRASONİK KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ	11
2.1 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Tanımı	11
2.2 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Gelişimi	13
2.3 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Prensibi	14
2.4 Ultrasonik Kaynak Makinesi Ekipmanları	18
2.4.1 Entegre Güç Kaynağı (Jeneratör) , Frekans Dönüştürücü.....	19
2.4.2 Örs- Çene (Anvil).....	20
2.4.3 Dönüştürücü (Converter-Transducer)	22
2.4.4 Yükseltici (Booster).....	24
2.4.4.1 Rijit Yükselticiler.....	25
2.4.4.2 Yükseltici Çevrim Oranı	26
2.4.5 Horn (Sonotrode – Boynuz)	27
2.4.5.1 Silindirik ve Döner Gövdeli Hornlar	27
2.4.5.2 Tek Parçalı Tam Dalga Hornlar	31
2.4.5.3 Birleşik Hornlar	32
2.4.5.4 Değiştirilebilir Uçlu Hornlar	34
2.5 Ultrasonik Kaynak Mekanizması	35
2.5.1 Horn Yüzeyinde Kesme Kuvvetleri ve Kayma Gerilmesi.....	35
2.5.2 Parça Ara Yüzündeki Kuvvetler	38

2.6	Ultrasonik Kaynak Uygulama Şekilleri.....	40
2.6.1	Nokta Kaynağı (Spot Welding)	40
2.6.2	Sürekli Dikiş Kaynağı (Continuos Seam Welding).....	43
2.7	Ultrasonik Kaynağın Metalurjisi.....	43
2.7.1	Isıl Etki.....	46
2.7.2	Kaynak Bölgesinde Plastik Deformasyon ve Sertlik Ölçümü	46
2.7.3	Malzeme İçerisine Dağılmış Kontamine Malzemeler (Oksit, Yağ v.b).50	
2.8	Metallerde Ultrasonik Kaynak Edilebilirlik	51
2.9	Ultrasonik Kaynak Değişkenleri	53
2.9.1	Güç.....	54
2.9.2	Uygulama Genliği (Amplitude).....	55
2.9.3	Uygulama Frekansı	58
2.9.4	Uygulama Basıncı	59
2.9.5	Kaynak Hızı ve Baskı Süresi	60
2.9.6	Malzeme Özellikleri	61
2.9.6.1	Metalurjik ve Mekanik Özellikler	62
2.9.6.2	Kimyasal Özellikler	63
2.9.6.3	Kaynak Edilebilirlik ve Malzemelerin Birbirleri ile Uyumunu.....	64
2.9.6.4	Parça Geometrisi	64
2.9.6.5	İş Parçası Yüzey Özellikleri.....	65
2.10	Kaynak Parçalarının Hazırlanmasında Genel Dizayn Esasları	67
2.10.1	Metallerde En Sık Görülen Bağlantı Şekilleri	70
2.11	Ultrasonik Kaynak Kusurları.....	70
2.12	Ultrasonik Kaynak Avantaj ve Dezavantajları	70
2.13	Ultrasonik Kaynağın Tercih Edildiği Sektörler.....	73
BÖLÜM 3.....		74
GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER.....		74
3.1	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Genel Bakış	74
3.2	Güneş Kolektörleri ve Diğer Güneş Enerji Sistemleri	76
3.2.1	Güneş Kolektörü Çalışma Sistemi.....	77
3.2.2	Güneş Kolektörü Bileşenleri.....	80
3.2.2.1	Cam Örtü	80
3.2.2.2	Soğurucu (Absorber)	81
3.2.2.3	Kasa Profili	82
3.2.2.4	Kollektör Harp Sistemi (Dolaşım Boruları)	83
3.2.2.5	Kollektör Deposu –Su Tankı.....	84
3.2.2.6	Kollektör İzolasyonu ve Alüminyum Örtü	84
3.2.3	Kollektör Enerji Dengesi ve Çalışma Veriminin Hesaplanması	85
3.2.4	Diğer Güneş Enerji Sistemleri	86
3.2.4.1	Güneş Santralleri	86
3.2.4.2	Pasif Güneş Enerji Sistemleri.....	86
3.2.4.3	Fotovoltaik Modüller (PV)	86
3.3	Güneş Kolektörü İmalat Prosesi.....	88
3.3.1	Dolaşım Sistemi Boruları ve Manifoldların Hazırlanması	88
3.3.2	Harp'ın Kaynak ile Birleştirilmesi Operasyonu ve Sızdırmazlık Testi...88	

3.3.3	Soğurucu Kesme Operasyonu	89
3.3.4	Soğurucu –Harp Sistemi Birleştirme Operasyonu.....	90
3.3.5	Kasa Profillerin Kesilmesi ve Delme Operasyonu.....	91
3.3.6	Kollektör Montaj Operasyonu	91
3.3.7	Güneş Kolektörü Deposu ve Boyler.....	92
BÖLÜM 4.....		95
GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK UYGULAMASI ve PARAMETRELERİN İNCELENMESİ		95
4.1	Güneş Kolektörlerinde Ultrasonik Kaynak Uygulaması.....	95
4.1.1	Güneş Kolektörlerinde Ultrasonik Kaynak Uygulama Esasları.....	98
4.1.1.1	Kaynak Öncesi Hazırlık	100
4.1.1.2	Malzemelerin Tezgâh Üzerine Yerleştirilmesi	100
4.1.1.3	Ultrasonik Kaynak Parametrelerinin Ayarlanması.....	100
4.1.1.4	Ultrasonik Kaynak İşlemine Başlama	100
4.1.1.5	Kaynak Sonrası Malzemelerin Alınması ve İnceleme.....	101
4.1.2	Malzeme Seçimi	102
4.2	Ultrasonik Kaynak Makinesi (Sürekli Dikiş Kaynağı).....	102
4.3	Güneş Kolektörleri İçin En Önemli Kaynak Parametreleri.....	103
4.3.1	Kaynak Parametrelerinin Ultrasonik Kaynak Kalitesine Etkisi	105
4.3.1.1	Soğurucu- Boru Seti Kaynağında Sertliğin Kaliteye Etkisi.....	105
4.3.1.2	Soğurucu- Boru Seti Kaynağında Titreşim Frekansı ve Genlik...	106
4.3.1.3	Ultrasonik Kaynak Uygulama Basıncı (P).....	1007
4.3.1.4	Malzemelerin Tezgâh Üzerine Yerleştirilmesi	1008
4.4	Güneş Kolektörlerinde Uygulama Hatalarının Olası Sebepleri.....	109
4.4.1	Örs Üzerinde Boru Tutma Kalıplarının Ayarsızlığı	109
4.4.2	Horn Dış Formlarında Bozulma ve Kullanım Ömrünün Dolması.....	109
4.4.3	Kaynak Hızının Gereğinden Fazla Yüksek veya Düşük Olması	110
4.4.4	Kaynak Basıncının Gereğinden Fazla Yüksek veya Düşük Olması	110
4.4.5	Kaynak Başlangıç Bölgesinde Nüfuziyet Problemi	110
4.4.6	Bakır Borunun Örs Üzerine Doğru Şekilde Bağlanmaması	111
4.4.7	İş Parçalarının Yüzeylerinin Temiz Olmaması	111
4.5	En Sık Karşılaşılan Ultrasonik Kaynak Kusurları	111
4.5.1	Kaynak Esnasında Bakır Soğurucunun Kesilmesi	112
4.5.2	Kaynak Başlangıç Noktasında Nüfuziyet Problemi.....	113
4.5.3	Kaynak Hattı Boyunca Soğurucu Üzerinde Deformasyon ve Kırılma	113
4.6	Güneş Kolektörlerinde Uygulanan Diğer Birleştirme Teknikleri.....	114
4.6.1	Güneş Kolektörlerinde Laser Kaynak Uygulaması.....	114
BÖLÜM 5.....		119
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		119
5.1	Ultrasonik Kaynak Makinesi Amtech Ultraseam 20 D	119
5.2	Numunenelerin Hazırlanması	121
5.3	Test İşlemi.....	127
5.3.1	Görsel Muayene	127
5.3.2	Mekanik Test Uygulaması.....	131

BÖLÜM 6.....	135
DENEYSEL ÇALIŞMA NETİCELERİNİN İRDELENMESİ	135
6.1 Değerlendirmeye İlgili Bilgiler	135
6.2 Görsel Muayene (Göz ve El ile Kontrol).....	136
6.2.1 Kaynak Genliğindeki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi .	136
6.2.2 Kaynak Hızındaki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi	137
6.2.3 Kaynak Basıncındaki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi .	137
6.3 Mekanik Test Uygulaması.....	137
6.3.1 Kaynak Genliğindeki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi	137
6.3.2 Kaynak Hızındaki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi.....	140
6.3.3 Kaynak Basıncındaki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi	143
BÖLÜM 7.....	146
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	155

SİMGE LİSTESİ

λ	Dalga boyu; Dalganın bir periyotluk zamanda aldığı yol
f	Frekans; Birim zamanda akustik dalga kaynağının oluşturduğu dalga sayısı
V	Akustik dalganın birim zamandaki yer değiştirmesi
D1	Dönüştürücü bağlantı noktası tarafındaki çap
D2	Horn bağlantı noktası tarafındaki çap
T	Ultrasonik vibrasyonun uygulanma süresi
A	Titreşimin genliği
F	Baskı kuvveti
P	Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için gereken etken güç
E	Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için gereken enerji miktarı
Ab	Yükseltici genlik oranı
Ah	Horn genlik oranı
H	Test esnasında dinamometreden okunan yükleme değeri
g	Yer çekimi ivmesi
Lk	Ultrasonik kaynak genişliği
Lt	Çekme etkisine maruz kalan kaynak uzunluğu
S	Kaynaklı yüzey kesit alanı
σ	Çekme gerilmesi
σ_A	Akma dayanımı
τ_y	Kayma gerilmesi
As	Horn yüzey alanı
hZ	Hertz
N	Newton
μm	Mikrometre
w	Watt
Qk	Işınım taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı
Qd	Depolanan enerji
Qf	Akışkana geçen enerji
K	Kollektör ısı kayıp katsayısı
η	Verim
Al	Aluminyum
Cu	Bakır

KISALTMA LİSTESİ

UK	Ultrasonik Kit
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
EİE	Elektrik İşleri Etüd İdaresi Daire Başkanlığı
BDR	Baxi-Deidictrich-Rmh
SPF	Solartechnic Prüfung Forschung
CE	European Conformity
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	1925–1945 dönemi koruyucu gaz tekniği uygulamaları5
Şekil 1.2	Kaynak yöntemlerinde otomasyon uygulaması (Tam otomatik MIG).....7
Şekil 1.3	Boy ve çevre kaynağı otomasyon uygulaması (Yarı otomatik MIG)7
Şekil 2. 1	Genlik, frekans ve periyod12
Şekil 2. 2	Ultrasonik sürekli dikiş kaynağı makinesinde frekans dönüşümü15
Şekil 2. 3	İş parçasının sıkıştırılarak basınca maruz bırakılması ve titreşim yönü16
Şekil 2. 4	Ultrasonik kaynak a) Sürekli dikiş kaynağı, b) Punta kaynağı16
Şekil 2. 5	Metal yüzeyinde bulunan oksit tabakası ve diğer yüzey kirleticileri17
Şekil 2. 6	Parça yüzeyindeki oksit tabakasının kırılması ve plastik deformasyon17
Şekil 2. 7	Ultrasonik kaynak makinesi ekipmanları ve cihaz içi pozisyonları19
Şekil 2. 8	Çeşitli entegre güç kaynağı örnekleri ve güç ayarlama sistemi.....20
Şekil 2. 9	Sürekli dikiş kaynak makinesinde örs ve yardımcı elemanlar21
Şekil 2. 10	Çeşitli ultrasonik kaynak uygulamalarında kullanılan örs şekilleri21
Şekil 2. 11	Piezoelektrik ve ters piezoelektrik etki22
Şekil 2. 12	Dönüştürücünün ultrasonik dönüşüm mekanizması içindeki konumu23
Şekil 2. 13	Dönüştürücüye elektrik akımının transferi24
Şekil 2. 14	Rijit bir dönüştürücü üzerinde genlik değerleri.....25
Şekil 2. 15	Mekanizma içerisinde yükselticinin yeri ve genliğe etkisi26
Şekil 2. 16	Yükselticinin dönüştürücü ve horn arasındaki çap değişimi26
Şekil 2. 17	Çeşitli tiplerde yükseltici örnekleri27
Şekil 2. 18	Sürekli dikiş kaynak makinesinde horn ağız kısmı28
Şekil 2. 19	Silindirik bir horn üzerinde genlik dağılımı.....29
Şekil 2. 20	Silindirik hornlarda yüzey görünümü.....30
Şekil 2. 21	Silindirik aksel slotlu horn üzerinde genlik dağılımı.....30
Şekil 2. 22	Sürekli dikiş kaynağı ultrasonik kaynak makinesinde horn ve iş parçası ...31
Şekil 2. 23	Sürekli dikiş kaynağı ile işlenmiş parça31
Şekil 2. 24	Tam dalga prensibine göre çalışan horn örnekleri.32
Şekil 2. 25	Ultrasonik kit üzerinde hornların pozisyonları32
Şekil 2. 26	Birleşik yapılı horn örnekleri.....33
Şekil 2. 27	Birleşik yapılı horn ile yapılmış operasyon örneği33
Şekil 2. 28	Birleşik horn üzerinde genlik dağılımı34
Şekil 2. 29	Değiştirilebilir uçlu horn, çalışma durumunda genlik ve stres yoğunluğu.34
Şekil 2. 30	Ultrasonik kaynak bölgesinin detay görünümü.....36

Şekil 2. 31	Kaynak bölgesinde başlangıç ve uygulama esnasında gerilme dağılımı	37
Şekil 2. 32	Parça ara yüzünde kaynak başlangıcı ve birleştirmenin tamamlanması ...	38
Şekil 2. 33	Kaynak ara yüzleri	39
Şekil 2. 34	Noktasal uygulamalarda dikey kamalı sistem ve yanal sürücülü sistem ...	40
Şekil 2. 35	a) Dikey kamalı sistem, b) Yanal sürücülü sistem.....	41
Şekil 2. 36	a) Horn baskı yüzü, b) Örs yüzeyi.....	41
Şekil 2. 37	İş parçasının; a) horn tarafındaki kısmı, b) örs üzerindeki kısmı	41
Şekil 2. 38	Noktasal ultrasonik kaynakta kayma gerilmesi-baskı kuvveti ilişkisi.....	42
Şekil 2. 39	Sürekli ultrasonik kaynak uygulaması	43
Şekil 2. 40	Kaynak öncesi ana parça yüzeyindeki yabancı maddeler (oksitler v.b).....	45
Şekil 2. 41	Kaynak arayüzü ve yapı içerisinde dağılmış kontamine malzemeler	45
Şekil 2. 42	Kaynak sonrası birleşme ara yüzü ve komşu bölgeler	45
Şekil 2. 43	AA 6111 T4- AA6111 T4 alaşımlarının ultrasonik kaynağı	48
Şekil 2. 44	Kaynak ara yüzü kesitinde sertlik değişim grafiği.....	48
Şekil 2. 45	AA6016 – AA 6111 alaşımlarının ultrasonik kaynağı	49
Şekil 2. 46	AA6016 – AA 6111 alaşımları kaynak kesit alanı sertlik ölçümleri.....	49
Şekil 2. 47	Kaynak öncesi döner çelik tel fırça ile temizleme işlemi	50
Şekil 2. 48	Blok sistem için temizleme tezgâhı.....	50
Şekil 2. 49	Ultrasonik kaynak değişkenleri.....	53
Şekil 2. 50	a) Güç – zaman arasındaki ilişki, b) Basınç-Güç-Zaman etkileşimi	55
Şekil 2. 51	Kaynak operasyonu esnasında genliğin gösterimi.....	56
Şekil 2. 52	Genlik –Güç ve Zaman etkileşimi.....	56
Şekil 2. 53	Amtech Ultraseam 20 D kontrol paneli	58
Şekil 2. 54	Ultrasonik kit kuplaj noktaları üzerinde genlik ve gerilme durumları	59
Şekil 2. 55	Sürekli dikiş kaynak makinesinde baskı uygulama yönü.....	60
Şekil 2. 56	Kaynak kabiliyetine etkiyen genel değişkenler.....	64
Şekil 2. 57	Sertlik ve kaynak bölgesinin gerilme dayanımı arasındaki ilişki.....	66
Şekil 2. 58	Kaynak işleminde yüzey temizliğinin güç – zaman dengesine etkisi	66
Şekil 3. 1	Ülkeler bazında yıllık yenilenebilir enerji üretim miktarları.....	77
Şekil 3. 2	Güneş kolektörü sistemi (depo ve soğurucu) üzerinde su devinimi	77
Şekil 3. 3	Kapalı sistem uygulaması; a) Bireysel, b) Kompleks uygulama	78
Şekil 3. 4	Kollektör çalışması esnasında yüzeydeki kayıplar ve toplam net güç	79
Şekil 3. 5	Güneş kolektörü temel bileşenleri.....	80
Şekil 3. 6	Güneş kolektörü cam örtü	80
Şekil 3. 7	Soğurucu yüzey yapısı	81
Şekil 3. 8	Farklı soğurucu tiplerinin verim kıyaslaması	82
Şekil 3. 9	Mirotherm ve Sunselect soğurucuların ışınım tutma döngüsü	82
Şekil 3. 10	Kasa profili	83
Şekil 3. 11	Kollektör harpı ve çalışma esnasındaki ısıl yüklenme durumu	83
Şekil 3. 12	Boylar- Güneş kolektörü tesisat gösterimi	84
Şekil 3. 13	Fotovoltaik modül ve güneş pili.....	87
Şekil 3. 14	Filmaşın boy kesim istasyonu, manifold patlatma ve büküm istasyonu ...	88
Şekil 3. 15	Dolaşım borusu uç şişirme ve gümüş halka montajı	89
Şekil 3. 16	Otomatik kumandalı harp kaynak operasyonu	89
Şekil 3. 17	Harp (Manifold ve boru seti) test operasyonu	89
Şekil 3. 18	Soğurucu kesim istasyonu.....	90
Şekil 3. 19	Birleştirme şekilleri a) ultrasonik kaynak b) lazer kaynak.....	90

Şekil 3. 20	Alüminyum profil boy kesim ve punch istasyonu.....	91
Şekil 3. 21	Güneş kolektörü montaj operasyonları.....	91
Şekil 3. 22	Klasik kaynak yöntemleriyle depolama tankı imalatı	92
Şekil 3. 23	Boylar kesiti	93
Şekil 3. 24	Çift cidarlı güneş kolektörü deposu kesiti	93
Şekil 4. 1	Bakır boru ve soğurucu tek bant kaynak makinesi.....	97
Şekil 4. 2	Harp ve soğurucu kaynağı otomasyon sistemi.....	97
Şekil 4. 3	a) Bant plaka ve boru kaynak makinesi, b) Çoklu sistem.....	97
Şekil 4. 4	Güneş kolektörü ultrasonik kaynak uygulaması.....	98
Şekil 4. 5	a) Kaynak ara yüzü, b) kaynak dikiş kenarı mikro yapı görüntüsü	99
Şekil 4. 6	Ultrasonik kaynak makinesi temizleme ve kaynak hareket eksenleri	101
Şekil 4. 7	Sürekli dikiş kaynak makinelerinde ultrasonik kit	103
Şekil 4. 8	Kaynak kalitesine etki eden parametreler sebep sonuç diyagramı.....	105
Şekil 4. 9	Bakır absorber için sertlik- çekme gerilmesi ilişkisi	106
Şekil 4. 10	Bakır soğurucu ve bakır boru arasındaki kaynaklı birleştirme problemi .	107
Şekil 4. 11	a)Kaynak dikişi görüntüsü, b)Yüksek basınç ve dikiş bölgesi hasarı	108
Şekil 4. 12	Ultrasonik kitin yüksek hızla hareketi sonucu birleştirme problemleri ...	108
Şekil 4. 13	Kaynak esnasında bakır soğurucunun kesilmesi problemi	112
Şekil 4. 14	Kaynak başlangıcında nüfuziyet problemi	113
Şekil 4. 15	Kaynak hattı boyunca soğurucu üzerinde meydana gelen kırılma.....	114
Şekil 4. 16	Güneş kolektörlerinde en sık tercih edilen birleştirme tipleri [53]	115
Şekil 4. 17	Ultrasonik ve laser kaynak dikişleri.....	116
Şekil 4. 18	Laser kaynak ekipmanları ve uygulama	118
Şekil 5. 1	Amtech ultraseam 20D kaynak makinesi	120
Şekil 5. 2	Boru kesim ve numune hazırlama	122
Şekil 5. 3	Numunelerin ön incelemesi için uygulanan dayanım testi.....	122
Şekil 5. 4	Çekme testi numuneleri ve gerilmeye maruz kalan kesit alanı.....	123
Şekil 5. 5	Kaynak öncesi boruların temizlenmesi, kaynak işlemi	124
Şekil 5. 6	No 1- No 10 arası test numuneleri.....	125
Şekil 5. 7	No 11- No 20 ve No 21-No 30 arası test numuneleri	126
Şekil 5. 8	Numune görsel inceleme- nüfuziyet hatası	127
Şekil 5. 9	Dijital dinamometre ve kalibrasyon etiketi.....	131
Şekil 5. 10	Sabitlenme çenesi, test sehpası ve çekme aparatı	132
Şekil 5. 11	Çekme kuvvetini üreten kreyn ve test düzeneğinin genel görünümü.....	132
Şekil 5. 12	Test aparatlarına bağlanmış deney numunesi	133
Şekil 6. 1	El ile kontrol tekniği; a) yetersiz nüfuziyet b) uygun kaynak dikişi.....	136
Şekil 6. 2	a) Kaynak uygulama genliğinin a) maksimum, b) minimum değerleri	140
Şekil 6. 3	Yüksek basınç nedeniyle iş parçasında kırılma ve yırtılma.....	145
Şekil 6. 4	Yüksek kaynak hızına bağlı olarak oluşan nüfuziyet problemi.....	145
Şekil 7. 1	Soğurucudan –Bakır boruya ısı transferi	147
Şekil 7. 2	Kaynak genliğindeki artışın dayanım özelliklerine etkisi.....	147
Şekil 7. 3	Kaynak hızındaki artışın dayanım özelliklerine etkisi.....	148
Şekil 7. 4	Kaynak basıncındaki artışın dayanım özelliklerine etkisi	149

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Yükseltici tipleri için tanımlı renk kodları	25
Çizelge 2. 2	Ultrasonik kaynak birleştirmelerinde kullanılan alüminyum alaşımları	47
Çizelge 2. 3	Metal ve alaşımlarının ultrasonik kaynak edilebilirliği.....	52
Çizelge 2. 4	Metallerde sıklıkla kullanılan bağlantı şekilleri.....	70
Çizelge 4. 1	Güneş kolektörlerinde en sık kullanılan malzeme çiftleri	102
Çizelge 5. 1	Amtech Ultraseal 20 D teknik özellikleri.....	121
Çizelge 5. 2	Bakır soğurucu ve bakır boruya ait özellikler.....	121
Çizelge 5. 3	Amtech ultrasonic 20 D gösterge çizelgesi dönüşüm tablosu.....	123
Çizelge 5. 4	Değişken genlik durumunda hazırlanan numuneler için görsel muayene (Sabit parametreler; P=2bar, V=0,04 m/sn).....	128
Çizelge 5. 5	Değişken hız değerlerinde hazırlanan numuneler için görsel muayene (Sabit parametreler; P=2bar, A= 28 µm).....	129
Çizelge 5. 6	Değişken basınç değerlerinde hazırlanan numuneler için görsel muayene (Sabit parametreler; V=0,04 m/sn, A= 28 µm).....	130
Çizelge 6. 1	Kaynak uygulama genliğinin değişken olduğu durumda No 1-No 10 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri.....	138
Çizelge 6. 2	Kaynak uygulama genliğinin değişken olduğu durumda No 1-No 10 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri.....	139
Çizelge 6. 3	Kaynak uygulama hızının değişken olduğu durumda No 11 - No 20 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri.....	141
Çizelge 6. 4	Kaynak uygulama hızının değişken olduğu durumda No 11-No 20 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri.....	142
Çizelge 6. 5	Kaynak uygulama basıncının değişken olduğu durumda No 21 - No 30 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri.....	143
Çizelge 6. 6	Kaynak uygulama basıncının değişken olduğu durumda No 21 - No 30 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri.....	144

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK ve İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DİKİŞ KALİTESİNE ETKİLERİ**

Okan ŞENGÜL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Günümüzde enerji kullanım ihtiyacındaki artış ve aynı paralelde ekolojik dengenin korunması hususu, araştırma- geliştirme çalışmalarını yenilenebilir enerji kaynakları üzerine odaklamış bulunmaktadır.

Bu çalışmanın kapsam alanı, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir paya sahip olan Güneş Enerji Sistemleri esas alınarak hazırlanmış, yeni kuşak kaynak yöntemleri olarak adlandırdığımız katı hal kaynak yöntemlerinden özellikle çok ince malzemelere rahatlıkla uygulanabilen Ultrasonik Kaynağın uygulama prensipleri, parametreleri ve birleştirme kalitesine etkisi incelenmiştir.

Çalışmada ayrıca güneş enerji sistemlerinin, imalat ve çalışma esaslarına da değinilmiş olup seçilen bakır soğurucu yüzey- bakır boru birleştirmelerinde özellikle frekans, genlik, hız ve basınç parametrelerinin etkileri deneysel olarak incelenip sonuçlar irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler; Ultrasonik Kaynak, Ultrasonik Kaynak Değişkenleri, Güneş Enerji Sistemleri İmalatı

**ULTRASONIC WELDING APPLICATIONS FOR SOLAR ENERGY SYSTEM and
EFFECT OF THE WELDING VARIABLES TO SEAM QUALITY**

Okan ŞENGÜL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Increasing energy consumption lets people focus on research and development of renewable energy resources in order to protect the ecological balance.

This paper's coverage will be based on Sun-Powered Energy Systems which is one of the most important renewable energy resources. It will have an effect on Sun-Powered Energy Systems - implementation of Ultrasonic welding , which can be conveniently applied on very thin materials (what we call new generation welding systems), parameters, and joint quality.

This study will also touch upon manufacturing and rules & procedures of Sun-Powered Energy Systems. The effects of frequency/amplitude- acceleration, and pressure parameters on selected copper cooling surface-copper pipe joints will be empirically explored and examined.

Key words; Ultrasonic Welding, Ultrasonic Welding Parameters, Manufacturing of Sun-Powered Energy Systems

1.1 Literatür Özeti

Spesifik bir birleştirme tekniği olan ultrasonik kaynak, metallerin yanı sıra termoplastiklere, cam ve seramiklere de kolaylıkla uygulanabilmektedir. Literatür araştırmalarında farklı ultrasonik kaynak uygulamaları için hazırlanan pek çok makale ve tez çalışmalarının yanı sıra büyük üretici firmalar ile kontak kurularak bilimsel tanımlamalara erişilmiştir.

Kanagawa Üniversitesi'nden J.Tsujino, T.Ueoka, TKashino ve F.Sugahara metallere uygulanan ultrasonik kaynak yönteminde parça düzlemine paralel yönde uygulanan karmaşık titreşim sistemlerini incelemişlerdir (Tsujino, J., Ueoka, T., Kashino, K ve Sugahara, F [38])

Bakır boru ve bakır yüzeyin ultrasonik kaynak ile birleştirilmesi operasyonu Tang Yong ve arkadaşları tarafından ele alınarak, kaynak uygulaması kısaca özetlenerek önemli tanımlamalar yapılmıştır (Yong , T., Zherrping, W., Yarjun, L ve Shurdao [26]) .

Evrenin oluşumunu modellemek için İsviçre- Cern Laboratuarlarında yapılan çalışmada, büyük hadron çarpıştırıcısı deney düzeneğinde ara bağlantı noktalarında ultrasonik kaynak yönteminden yararlanılmış olup kaynak işleminin yeterliliği inceleme konusu olarak seçilmiştir (Jacquemod, A., Tock, J.Ph., Balaguer, J.M., Laurent, F ve Vaudaux, L [20])

Ultrasonik kaynak yöntemi bakır, alüminyum ve titanyum gibi malzemelere rahatlıkla uygulanabilmektedir. Loughborough Üniversitesi'nden C.Y.Kong ve arkadaşları Al 3003 malzemesine uygulanan ultrasonik kaynak yönteminin parametreleri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapmışlardır (Kong, C. Y., Soar,R.C., Dickens,P.M [32] ve [34])

Kaynak parametrelerinin optimize edilmesi ve parçaya en doğru şekilde uygulanması için S.Elangovan ve arkadaşları tarafından yapılan deneysel tasarım çalışmasında ince kesitli iki bakır levhanın farklı parametrelerdeki bağlantı karakteristikleri incelenmiştir. (Elangovan, S., Prakasan, K ve Jaiganesh, V [14]).

1.2 Tezin Amacı

Ultrasonik kaynak yöntemi herhangi bir ergime – katılaşma prosesinin gözlenmediği katı hal kaynak yöntemleri olarak adlandırdığımız birleştirme grubu içerisinde önemli bir yere sahip olan bir uygulamadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla uygulama alanı oldukça genişlemiş olan bu birleştirme tekniği başlıca otomotiv, havacılık sanayi, enerji, medikal, elektrik-elektronik ve tekstil sektörlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Bu çalışmada ana hedef, güneş enerji sistemleri imalatında bakır boru ve soğurucu arasında uygulanan ultrasonik birleştirme tekniğinin parametrelerinin incelenmesi, endüstrideki kullanım alanları, kaliteye etki eden parametrelerin bilimsel ve pratik uygulamaların pekiştirilmesi suretiyle gözden geçirilmesidir.

1.3 Hipotez

Ultrasonik kaynak yönteminde kabul edilebilir kaynak kalitesinin elde edilmesinde ana başlıklarıyla genlik, hız ve basınç parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Bahsedilen parametreler uygun değerlerde seçilmediği takdirde doğrudan kaynak ve ürün kalitesine etki edebilecek derecede önemli unsurlardır. Kullanılacak malzeme ve konstrüksiyon özelliklerine uygun parametrelerin belirlenmesi amacıyla Bölüm 5 ve Bölüm 6 içerisinde yapılan deneysel çalışmalar ile hipotez desteklenmiştir. Kaynak yöntemlerinin tanım ve gelişim süreçleri alt başlıklar halinde sunulmuştur.

1.3.1 Kaynak İşleminin Tanımı ve Gelişim Süreci

Kimyasal kompozisyonları birbirinin aynısı veya birbirinden farklı olan iki malzemenin ısı, basınç ya da her ikisinin de etkisiyle çözülemeyecek şekilde birleştirilmesi işleme kaynak adı verilir. Yöntem ilk olarak tunç ve demir çağlarında Avrupa ve Ortadoğuda ateş kaynağı şeklinde, ısıtılan parçaların çekiçle dövülerek birleştirilmesi suretiyle uygulanmıştır. Metaller üzerine uygulanan birleştirme tekniklerinin ilk örneklerine özellikle Mısır ve Romalılar zamanından kalan buluntularda sıklıkla rastlanmaktadır [1].

Gelişimi uzunca bir dönem durağan olarak seyreden kaynak teknikleri, 19.yüzyılda Sir Humphry Davy' nin elektrik arkını keşfetmesi ve aynı yüzyılın sonlarında Nikolai Slavyanov 'un elektrotlar üzerine yaptığı çalışmalar ile tekrar ivme kazanmıştır. I.Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde kaynak teknolojisi ilerlemelerini sağlamlaştırmış ve üretim amaçlı kullanımın yanı sıra tamir amaçlı da kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak aynı dönemde Elihu Thomson direnç kaynağı ile ilgili çalışmalara başlamıştır [1].

1900'lere kadar gelişimini sürdüren direnç kaynağı teknikleri ergitme metodu kadar kabul görmediğinden o dönemde sahasını büyük ölçüde elektrik arkı yöntemine bırakmıştır. 1920'lerde otomatik tekniklerinde geliştirilmesiyle yöntem bir hayli mesafe katetmiştir.

Günümüzde konstrüksiyonlar iş verimini- güvenliği arttırmaya, boyutlarını ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda üretim masraflarını azaltmaya yönelik olarak dizayn edilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda ilk denemeleri 1950'li yıllarda geliştirilen yapıştırma teknolojisi bazı uygulamalarda nokta kaynağı ile birleştirilmiş ve çok verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu yöntem özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde tercih edilmektedir [1].

20. yüzyılın erken ve orta dönemlerinde oldukça hızlı bir gelişme gösteren (I.Dünya Savaşı ve II. Dünya Savaşı sonlarında) kaynak işleminin metallere uygulanabilirliğinin yanı sıra termoplastiklerde de olumlu sonuçlar vermesi yöntemin en önemli avantajlarından bir tanesi olarak kabul görmüştür.

Belirtilmesinde fayda olan bir diğer husus da yapıştırma teknolojisine paralel olarak aynı dönemlerde uygulaması gerçekleştirilen katı hal kaynak yöntemi uygulamalarıdır.

Çalışmamızda detaylı olarak inceleyeceğimiz plastik malzemeler, yarı iletkenler, ince bakır, alüminyum ve titanyum gibi levhaların birleştirilmesinde sıklıkla tercih edilen Ultrasonik kaynak yönteminin yanı sıra, sürtünme, patlatma ve difüzyon kaynakları da bu başlık altında toplanabilecek uygulama örnekleridir [1].

Ayrıca son yıllarda Laser teknolojisindeki hızlı gelişim, metallerde ve plastik malzemelerde yaşanan pek çok imalat problemini çözmüştür. Laser'in katı hal kaynak uygulamaları elektronik - elektrik endüstrisinde ince tel veya levha kaynağında, ultrasonik kaynak yöntemi ile çekişmektedir.

Özellikle ergitme usulüne dayanan birleştirme tekniklerinde yüksek ısı etkisiyle dönüşüm gösteren malzemenin dış etkilerden korunması ve operasyonun nispeten izole bir ortam içerisinde gerçekleştirilerek spesifikasyonlarını yitirmemesi amacıyla örtülü elektrot ile ark, gazaltı ve tozaltı kaynak yöntemleri üzerine çok yoğun çalışmalar yapılmıştır.

MIG-MAG ve soygaz koruyucu atmosferinde gerçekleştirilen TIG-WIG kaynak yöntemleri görsel özellikleri, kolay uygulanabilirlik, nüfuziyet özellikleri ve otomasyona uygunluk konusunda önemli bir boşluğu doldurmuştur.

Tozaltı yöntemi de hız ve kalın malzemelere uygulanabilme avantajından dolayı özellikle gemi inşaa sektöründe oldukça tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir [1].

Belirtmesinde fayda umulan başka bir yenilik de sürtünme kaynağıdır. Katı hal kaynak yöntemlerinden bir diğeri olarak bilinen difüzyon kaynağı ise A.B.D ve Rusya'daki araştırmaların sonucunda geliştirilmiş olup, uçak ve uzay sanayide çok tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir. Gelişmeler, yüzyılın ikinci yarısında da lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağının bulunması ile devam etmiştir.

Elektron ışını ile yapılan kaynağın ilk pratik uygulaması roket ve uçak inşası gibi teknolojik alanlarda kendini göstermiştir. Bu yeni birleştirme tekniğindeki en şaşırtıcı yan ise atmosfer dışında elde edilen başarılı uygulama neticeleri olmuştur [1].

Kaynak tekniğindeki gelişim sürecini kısaca aşağıdaki kronolojik sıraylada özetleyebiliriz.

1802 – Elektrik arki üzerine araştırmalar

1867 – Elektrik direnç kaynağının keşfi

1900 – Gaz ergitme kaynağının endüstride kullanımı

1919 – Koruyucu gaz kaynağının ilk uygulaması

1936 – Helyum gazı ile koruyucu gaz kaynağı

1950 – Ultrasonik kaynak yönteminin keşfi, katı hal kaynak yöntemi uygulamaları

– Yapıştırma teknolojisi denemeleri

– Yapıştırma – direnç nokta kaynağı ortak uygulamaları

1951 – Sürtünme kaynağı uygulamaları

1953 – Karbondioksit gazı ile koruyucu gaz kaynağı uygulamaları

1961 – Plazma kaynağı uygulamaları

1970 – Katı hal kaynak yöntemlerinin kullanılmaya başlanması (Sengul [3]).



Şekil 1. 1 1925–1945 dönemi koruyucu gaz tekniği uygulamaları [2]

Birleştirme teknolojisindeki son dönem gelişmeleri ve eş zamanlı olarak farklı pek çok kaynak yönteminin bulunması 1948 yılında "Uluslararası Kaynak Enstitüsünün" (International Institute of Welding IIW-Institut International de la Soudure MS) kurulmasına sebep olmuştur [1].

¹ Dünya savaşı sırasında İngilizler gemi, Almanlar ise uçak yapımında elektrik ark kaynağı kullanmışlardır.

² 1929 yılında Polonya kaynaklı birleştirme tekniğini köprü konstrüksiyonlarında kullanmaya başlamıştır.

³ Yapıştırma tekniği; Rus AN 22 ve AN 24, A.B.D Lockheed C- 5 askeri uçakları ve Sikorskylerde perçinin yerini almıştır.

Ülkemizde kaynaklı uygulamanın tam olarak yaygınlaşması 1950 yılı itibarıyla gerçekleşmiştir. İlk denemelere örnek olarak 1916 yılındaki oksijen-asetilen kaynağı uygulamalarını verebiliriz. Bunun haricinde 1920’de Gölcük ve İstinye Tersaneleri’nde, 1930’da Sümerbank Hereke Fabrikası, 1934 T.C.D.D Eskişehir Fabrikası’nda kaynaklı birleştirme örneklerine rastlanmaktadır [1].

Türkiye’de günümüz şartlarında gemi inşaatı, çelik yapı, basınçlı kaplar, kazanlar ve büyük makine konstrüksiyonlarında temel üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca katı hal kaynak yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak difüzyon, ultrasonik kaynak, lazer kaynağının katı hal uygulaması gibi pek çok yöntem medikal sanayiden ısıtma ve enerji sektörüne kadar çok geniş bir alanda tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

Kaynak dikişlerinin muayene ve kontrolündeki gelişmeler de 1970’li yıllardan sonra önemli ölçüde ivmelenmiştir. Bu arada Türk Standartları Enstitüsü de Avrupa’ da kullanımda olan önemli kaynak uygulama ve muayene standartlarını dilimize çevirerek kullanıma almıştır [6].

Özellikle dış pazarlara açılan ülkemizin ürünler üzerinde ihracat yeterliliklerini sağlaması ve pazar payımızın ürün / üretim kalitemize paralel olarak genişlemesi için gerekli olan bu standartlar ve kontrol yöntemleri sanayinin her alanında kullanılmaktadır.

Ülkemizde kaynak makineleri, elektrod ve farklı özelliklerdeki kaynak telleri üretilmekte ve ürünlerimiz geniş bir yelpazede kullanılarak Türkiye dışında da önemli pazarlara hitap etmektedir.

Kaynak bilimsel gelişimini günümüzde de devam ettiren bir imalat yöntemidir. Son dönemlerde robot diğer bir deyimle otomasyon kaynağı, endüstride yaygın bir yer edinmiş olup, yeni kaynak metotları, kaynak birleştirme kalitesinde iyileştirme çalışmaları ve her imalat yönteminin ana şartlarından maliyet ekonomisini dengelemek için çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir [1].

¹ 1951 yılında kaynak modern bir üretim yöntemi olarak Teknik Üniversite öğrenim planına dâhil edilmiştir. 1955 yılında Makine Malzemesi ve İmal Usulleri Enstitüsü tarafından ilk kaynak kursları açılmış yine aynı enstitü 1958 yılında Alman Kaynak Tekniği Cemiyetinin esaslarına uygun Kaynak Mühendisliği (Uzmanlığı) kurslarını başlatmıştır.

Şekil.1.2 ve Şekil.1.3' te modernize edilmiş, otomasyona yönelik gazaltı kaynak üretim hatlarına ait resimler görülmektedir.



Şekil 1. 2 Kaynak yöntemlerinde otomasyon uygulaması (Tam otomatik MIG)



Şekil 1. 3 Boy ve çevre kaynağı otomasyon uygulaması (Yarı otomatik MIG)

1.3.2 Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kaynak tanım olarak yukarıda da izah edildiği gibi aynı veya benzer cinsten iki malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanmak suretiyle, ilave bir malzeme katarak veya katmadan yapılan birleştirme operasyonudur. Kaynak tekniği geçirdiği süratli gelişim sürecinin sonrasında metal malzemelerin dışında plastik ve seramik malzemelere de uygulanabilecek duruma gelmiştir [1], [6].

1.3.2.1 Uygulama Amacına Göre Sınıflandırma

- a) Birleştirme kaynağı; iki veya daha fazla parçayı çözülmüş bir bütün haline getirmek.
- b) Dolgu kaynağı; bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütmek, ayrıca korozyona veya aşındırıcı tesirlere karşı korumak maksadıyla üzerine sınırlı bir alan dâhilinde malzeme kaynak etmektedir. Örnek olarak; kaplama, zırlama ve tampon tabaka kaplama doldurması verilebilir [1], [6].

1.3.2.2 Yöntem Bakımından Sınıflandırma

Kaynak yöntemleri uygulamada takip edilen yola göre dört grupta toplanır. Bunlar el kaynağı, yarı mekanize, tam mekanize ve otomatik kaynak uygulamalarıdır.

- a) El kaynağı; Kaynak, yalnız el ile sevk edilen bir kaynak aleti vasıtasıyla yapılır.
- b) Yarı mekanize kaynak; Kaynak aleti, el yerine kısmen mekanize edilmiş bir vasıta ile sevk edilir.
- c) Tam mekanize kaynak; Kaynak aleti, el yerine tamamen mekanize edilmiş bir makine ile sevk edilir.
- d) Otomatik kaynak; Gerek kaynak işlemi, gerekse iş parçasının değiştirilmesi gibi bütün ana ve yardımcı işlemler tam olarak otomasyon şeklinde mekanize edilmiştir [1].

1.3.2.3 Malzeme Türüne Göre Sınıflandırma

Kaynak yöntemi iki ana malzeme grubuna uygulanabilir. Önceleri sadece metal malzemelerin birleştirme ve tamir gereksinimleri için kullanılan yöntem son yıllarda uygulama alanını genişletmiş ve plastik matrisli malzemeler üzerinde de olumlu sonuçlar vermeye başlamıştır. Geniş bir alanı kapsayan bu sınıflandırma metal kaynağı ve plastik kaynağı olarak iki alt başlık altında listelenecektir [1], [6].

a) Metal Malzeme Kaynağı

Metal malzemelerin kaynağı ergitme, basınç ya da her iki unsurun uygulandığı şekillerde gerçekleştirilir.

a.1) Ergitme Kaynak Usulleri

Ergitme kaynağı; malzemeyi yalnız sıcaklık etkisi ile bölgesel olarak eritip, bir ilave metal katarak veya katmadan birleştirmektir. Bu nedenle kaynak yöntemlerinin bazılarını bölgesel döküm işlemi olarak adlandırmamız yerinde olur. Ergitme kaynak usulleri aşağıda basit olarak kategorize edilerek listelenmiştir.

- Döküm eritme kaynağı
- Elektrik direnç eritme kaynağı
- Gaz eritme kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
- Karbon arkı ile kaynak
- Metal arkı ile kaynak
- Koruyucu gazla kaynak (Gazaltı kaynağı)
 - TIG Kaynağı
 - MIG-MAG Kaynağı
- Tozaltı kaynağı
- Elektron bombardımanı ile kaynak
- Laser ışını ile kaynak

a.2) Basınç Kaynak Usulleri

Basınç kaynağı; malzemeyi genellikle ilave metal katmadan basınç altında bölgesel olarak ısıtarak ya da ısıtmadan birleştirme yöntemidir. Metallerin basınç kaynağında başlıca aşağıdaki usuller kullanılır.

- Soğuk basınç kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Sürtünme kaynağı
- Ocak kaynağı
- Döküm basınç kaynağı
- Gaz basınç kaynağı
- Elektrik direnç kaynağı
- Elektrik ark basınç kaynağı
- Difüzyon kaynağı

Bunların yanı sıra iki veya daha fazla metalik malzemenin, kendilerinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip bir alaşımın (lehim alaşımı) ergitilmesiyle birleştirilme işlemine lehimleme ismi verilir [1].

b) Plastik Malzeme Kaynağı

Plastik malzeme kaynağı; aynı veya farklı cinsten termoplastik, yani sertleşmeyen plastik malzemeyi ısı ve basınç kullanarak aynı cinsten bir plastik malzemeye ilave ederek veya etmeden birleştirmektir. Aşağıdaki listede çeşitli plastik malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemlerden örnekler verilmiştir.

- Plastik malzeme kaynağı usulleri
- Sıcak gaz kaynağı
- Sıcak eleman kaynağı;
 - Direkt sıcak eleman kaynağı,
 - İndirekt sıcak eleman kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Yüksek frekans kaynağı
- Ultrasonik kaynak

Kaynak işlemi, birleştirilecek malzemelerin birbirine temas eden yüzeylerinin sıcaklığını plastik hale gelme noktasına kadar yükselterek yapılır. Bu esnada sınır yüzeylerindeki serbest hareketli molekül zincirleri birbiri içerisine akarak kümeleşirler.

Endüstride plastik malzemelerin birleştirilmesinde çok çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Plastik malzemelerin kaynak edilmesinde en sık kullanılan ve tercih edilen yöntemlerden biride ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecek olan “Ultrasonik kaynak” yöntemidir.

METALLERİN ULTRASONİK KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

2.1 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Tanımı

Ultrasonik kaynak yöntemi gerek tasarım gerek uygulama aşamasında sağladığı önemli avantajların getirisi olarak seri imalat ve özel uygulamalar da birleştirme yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir [3].

Katı hal kaynak yöntemleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan ultrasonik kaynak yönteminde yüksek basınç ve yüksek frekans altında uygulanan vibrasyon ile metal veya termoplastik malzemeden yapılmış kablolar, ince tabakalar ve boru-plaka birleştirilmeleri gerçekleştirilebilir. Tanımdan anlaşıldığı gibi ultrasonik kaynakta plastik matrisli malzemelerin ve hafif metallerin kaynakları efektif bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca yöntem son yıllarda plastik- metal birleştirmelerinde de ön plana çıkmış durumdadır [5].

Bu aşamada ultrason ya da ultrasonik ses tanımlarının tariflerini yapmak zaruridir. 16 hz ile 20 khz arasındaki sesler duyum eşiği içerisinde olup insanlar tarafından işitilebilir niteliktedir. Bu frekansın üzerindeki akustik dalgalara ultrasonik ses dalgaları adı verilmektedir. Ses dalgaları tekrarlanan seri basınç dalgalarından oluşur. Literatürde infrases (16hz altı frekans), işitilebilir ses (16 hz–20 khz frekans) ve ultrason (20 khz üzeri frekans) olmak üzere 3 grup altında toplanmıştır. Ultrasonik kaynakta en sık kullanılan frekans aralıkları 16–100 khz dolaylarındadır. Fakat bazı özel uygulamalarda, özellikle tıp elektronisinde frekans değerlerinin üst sınırı 30 mhz değerlerine kadar erişebilmektedir [5].

Megahertz mertebesindeki sinyaller radyo frekans dalgaları olarak adlandırılmasına rağmen ultrasonik dalgalar ile radyo dalgaları arasında yapı olarak önemli farklılıklar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi radyo dalgalarının elektromanyetik dalga, ultrasonik dalgaların ise akustik dalga yapısında olmalarıdır. Ultrasonik dalgaların temelini darbe- yansıma (pulse-echo) prensibi oluşturmaktadır. Şekil.2.1. de temel akustik bileşenlerini ifade eden grafik gösterilmiştir [13].

Dalga boyu (λ) : Dalganın bir periyotluk zamanda aldığı yoldur.

Frekans (f): Birim zamanda akustik dalga kaynağının oluşturduğu dalga sayısıdır. (Hz)

Periyot (T): Bir tam akustik dalganın oluşması için geçen süredir. (sn)

Genlik (A): Akustik dalga tepesinin denge eksenine olan uzaklığıdır. (μm)

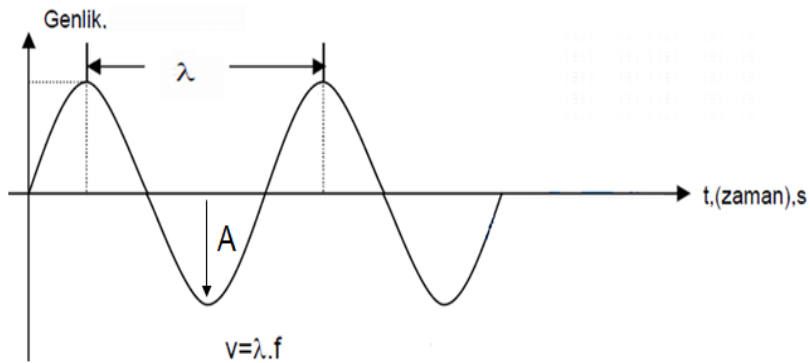
Hız (v) : Akustik dalganın birim zamandaki yer değiştirmesidir.(m)

λ : Dalga boyu v: Hız

f: Dalga frekansı A: Genlik

$$V = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

$$f = 1 / T \quad (2.2)$$



Şekil 2. 1 Genlik, frekans ve periyod [13]

Ultrasonik kaynak yönteminin esas kuramı, titreşim mekanizmasının yüzeylerde bulunan oksit tabakalarını kırarak bertaraf etmesi ve atomlar arasında metalurjik bir bağ oluşturmasıdır. Birleştirme işlemi iki parça arasında gönderilen ultrasonik frekansta titreşimsel kayma gerilmelerinin mekanik etkisi ile gerçekleştirilmektedir [5].

Ultrasonik titreşimler metallerin kaynağı, şekillendirilmesi, tahribatsız malzeme muayeneleri, yüzey temizleme, tekstil, elektronik ve sağlık-tedavi alanlarında da sıklıkla kullanılmaktadır [5].

2.2 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Gelişimi

Günümüzde aynı ya da farklı cinsteki malzemelerin birleştirilmesi oldukça önemli olup ilgili teknolojiler her geçen gün yükselen bir ivme ile gelişmektedir. Malzemelerin karakteristik özellikleri ve imalat hususundaki gelişmelerin yarattığı avantajlar dolayısıyla insan hayatında ihtiyaçların karşılanmasında her geçen gün daha çok noktada kullanılmaya başlanması neticesinde malzemelerin mamullere çevrilmesine yönelik faaliyetler içerisinde yeni birleştirme teknikleri denenmiş ve başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

Ultrasonik kaynak yöntemi 1950'li yıllarda geliştirilmiş olmasına rağmen o dönemde ısı ve ergime olmadan birleştirmenin sağlıklı olmayacağı endişesiyle 1960 yılına kadar patent başvurusu yapılamamıştır.

İlk dönemde kullanılan makinelerin ekonomik olmaması ve verim konusunda yaşanan sıkıntılara karşılık günümüz teknolojisinde gerek donanımların kullanılabilirliği- yüksek verim değerlikleri gerek yatırım maliyetindeki uygunluk yöntemi pek çok alanda tercih edilebilir bir konuma getirmiştir. Başlangıçta yapılan uygulamalarda donanımlar üzerinde ferromanyetik malzemeler kullanılırken günümüz teknolojisinde, ferromanyetik malzemeler yerini piezoelektrik malzemelere bırakmıştır.

Hafif metaller ve termoplastiklere rahatlıkla uygulanabilen bir yöntem olmasının yanı sıra son dönemlerde yapılan çalışmalarda seramik ve cam malzemeler üzerinde de olumlu neticeler alınmış ayrıca tekstil sektöründeki uygulamalarla kaynak yönteminin kullanılma spektrumu daha da genişletilmiştir [5].

Günümüz uygulamalarında ultrasonik kaynak yöntemi özellikle enerji sistemleri üzerinde dikiş kaynağı, havacılık ve otomotiv sektöründeki spot kaynağı uygulamaları ile ön plana çıkmış durumda olup kaynak donanımlarının günden güne modernleştirilmesiyle operatör inisiyatifini minimize edecek düzenekler geliştirilmiş ve işlem kalitesi standardize olmuştur [6], [7].

2.3 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Prensibi

Ultrasonik kaynak yönteminin ana prensibi yüksek frekansta sağlanan elektrik enerjisinin yüksek frekanstaki mekanik vibrasyona dönüştürülmesidir. Ses dalgaları ile sağlanan mekanik vibrasyon akustik ayarlı bir horn yardımıyla kaynak yüzeyine aktarılmaktadır. Bu aktarım birleştirilecek malzemenin cinsine göre metal malzemelerde yatay, plastik matrisli malzemelerde ise dikey darbeler şeklinde gerçekleştirilir [5].

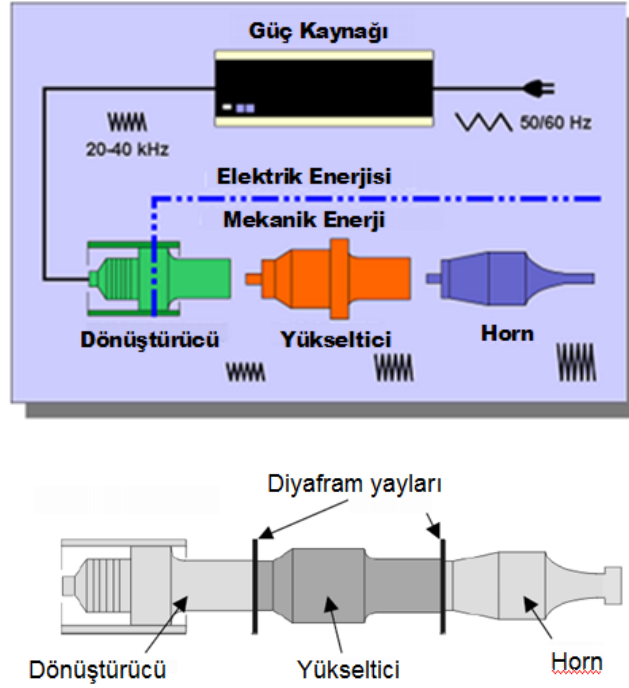
Yüksek frekanslı elektriksel enerji dönüştürücüden (converter) titreşim genliğini artırabilen bir yükselticiye (booster) transfer edilir. Booster içerisinde genliği yükseltilecek hareket horn parçasına ve buradan da doğrudan kaynak ara yüzeyine aktarılır. Uygulanan bu mekanik darbeler, statik baskı kuvvetinin de yarattığı basınç etkisiyle bir iç sürtünmeye ve deformasyona neden olur. Böylelikle yüzeyler arası plastik deformasyon meydana gelerek birleşme sağlanır .

Mekanik vibrasyon kullanılan makine ve horn özelliklerine göre saniyede 15.000-40.000 darbe üreten bir harekettir. Daha öncede değinildiği gibi vibrasyonun frekansı özel uygulamalarda bu aralık üzerindeki değerlere de erişebilmektedir. Yüksek frekanslı titreşim horn üzerinden gelen baskı kuvveti ile birleşerek yüzeydeki oksitleri bertaraf eder ve atomların birleşerek difüze olması için uygun bir yüzey oluşumunu sağlar. Böylelikle meydana gelen plastik deformasyon ile bağlantı sağlanmış olur. Ultrasonik kaynak metodunda uygulama mantığı ve makinelerin çalışma prensibi tüm uygulama alanlarında hemen hemen aynı olmakla birlikte ileriki konularda da değinileceği gibi metaller ve plastikler arasında mekanik titreşim doğrultusu ve birleşme ara yüzeylerinde bir takım farklılıklar mevcuttur [9].

Metallerde yatay eksenli titreşim atımları kullanılırken plastik malzemelerde birleştirme yüzeyine dik eksende atımlar kullanılmaktadır. Ayrıca herhangi bir ergime katılma prosesinin oluşmadığı metal uygulamalarının aksine plastik malzemelerde temas yüzeyinde bir miktar ergime meydana gelmektedir [3], [4].

Çalışmamızda özellikle irdelenecek olan husus metal malzemelere uygulanan ultrasonik kaynak yöntemi olmakla birlikte plastiklere uygulanan birleştirme tekniğine de değinilecektir. Son 20 yıl içerisinde teknolojik olarak önemli gelişmelerin yaşandığı

ultrasonik kaynak tekniği endüstrinin pek çok alanında metaller üzerine uygulanmakta ve efektif sonuçlar elde edilmektedir. Yüksek frekanslı elektrik enerjisinin mekanik vibrasyona çevrimi dönüştürücü (converter) içerisinde gerçekleştirilir. Yükseltici içerisinde frekansı daha da artırılan titreşimler akustik ayarlı horn vasıtasıyla kaynak ucuna kadar iletilir. Şekil.2.2 de mekanik titreşimin dönüşümü ve transferini sağlayan elemanlar sırasıyla şematize edilmiştir.

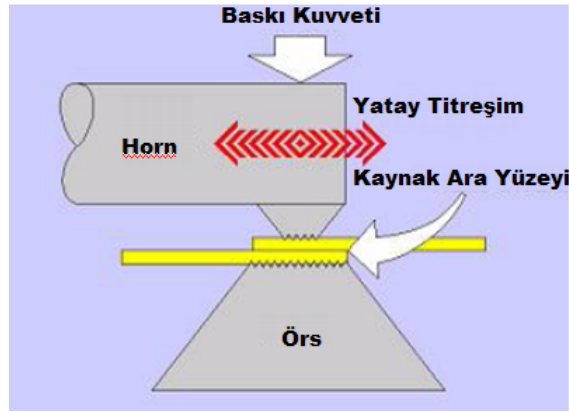


Şekil 2. 2 Ultrasonik sürekli dikiş kaynağı makinesinde frekans dönüşümü [9]

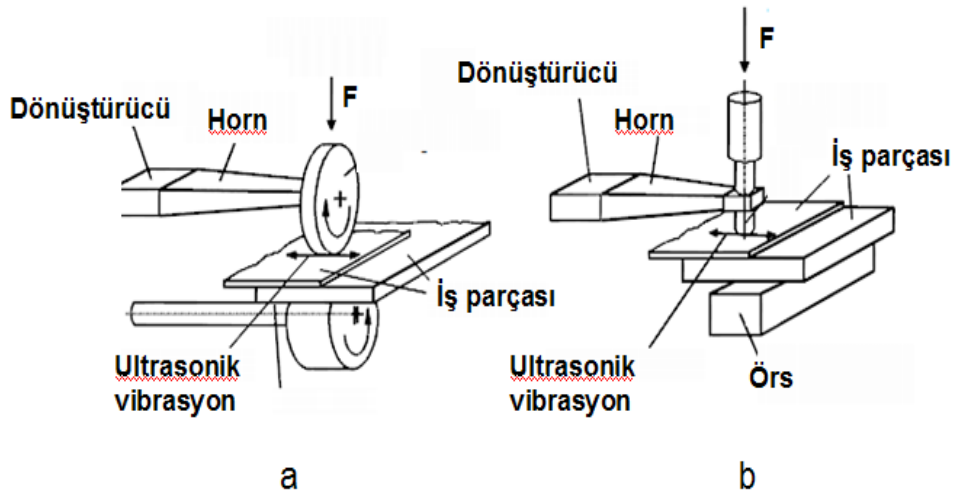
Kaynak düzeneği üzerindeki iş parçası rijit bir örs üzerinde sabitlenmiş şekilde bulunmalıdır. Böylelikle sağlanan yüksek frekans ve baskı kuvveti doğrudan iş parçası üzerine iletilir. Böylelikle operasyon sırasında kaynak ekseninden sapmalar ortadan kaldırılarak daha kaliteli ve kaynak işleminde net olarak standart bir uygulama elde edilir. Tertibat üzerinde kullanılan piezoelektrik malzemeler ile elektrik enerjisinin titreşim ve mekanik güç dönüşümü en az kayıpla gerçekleştirilmektedir. Eski tip uygulamalarda kullanılan ferromanyetik komponentlere karşılık piezoelektrik malzemeler ile verim daha da artırılmıştır. Ultrasonik kaynak uygulama şekilleri başlıca nokta kaynağı (spot welding), hat kaynağı (line welding), halka kaynağı (ring welding) ve sürekli dikiş kaynağı (seam welding) olarak dört grup altında toplanılabilir. Bu grupların tümünde işlem mantığı aynı olmakla birlikte makine dizaynı, uygulama

şekilleri ve amaçları birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Ultrasonik kaynak yönteminde birleştirme işlemi ve operasyon aşamalarını aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz.

İş parçaları mekanik vibrasyonun ve sıkıştırma basıncının etkisiyle birbirleri üzerinde hareket eder (Şekil 2.3). Yatay vibrasyon kuvvetli bir mekanik etki ile malzemelerin birbirleri üzerinde moleküler mertebede kaymasını sağlar ve birleştirme için uygun ortamı sağlar [9].

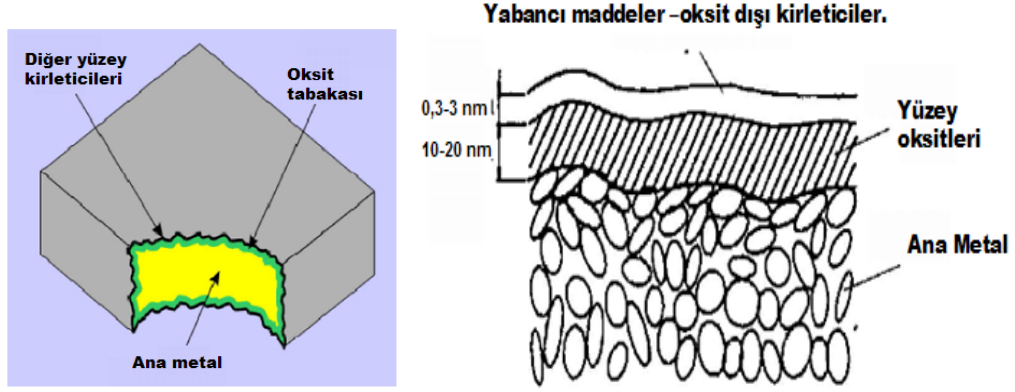


Şekil 2. 3 İş parçasının sıkıştırılarak basınca maruz bırakılması ve titreşim yönü [9]



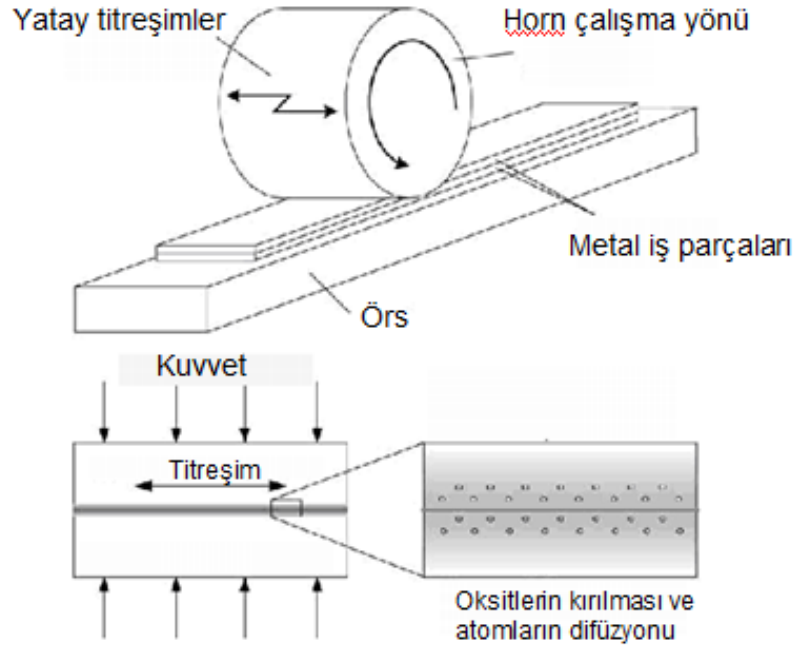
Şekil 2. 4 Ultrasonik kaynak a) Sürekli dikiş kaynağı, b) Punta kaynağı [23]

Özellikle hava ile temas eden hafif metal malzemelerin yüzeylerinde oksitlenme sürekli olarak gözlemlenen bir durumdur.



Şekil 2.5 Metal yüzeyinde bulunan oksit tabakası ve diğer yüzey kirlenmeleri [9]

Ultrasonik kaynak esnasında sıkıştırma basıncı ve vibrasyonun etkisiyle bu oksit tabakası kırılmaktadır. (Şekil 2.6) Boru- plaka birleştirmeleri gibi özel uygulamalarda kaynak öncesinde yüzeyin mekanik bir yöntemle temizlenmesi birleştirme kalitesini artırmaktadır [5].



Şekil 2.6 Parça yüzeyindeki oksit tabakasının kırılması ve plastik deformasyon [20]

Oksit tabakasının kırılması ile kristal yapıda bağlar birbirine yaklaşır ve yeniden yapılırlar. Malzemeler arasında atomların difüzyonu ile bir bağ oluşur.

Ultrasonik kaynak yöntemi herhangi bir ergime olmaksızın ve metalurjik özelliklerin korunduğu bir prosestir. Temas yüzeylerinde ergime sıcaklığının çok altında olmak kaydıyla bir miktar sıcaklık artışı görülmektedir [9], [10].

Kaynağın oluşumu için zaman, güç ve genlik değerlerinin yeter seviyede olması gerekmektedir. Çalışma içerisinde incelenecek olan değişkenlerden hız dolaylı yoldan zaman değişkeni, basınç ise kuvvet değişkeniyle ilişkilidir.

Grafiksel olarak inceleyeceğimiz gibi yapılan araştırmalarda kaynak için uygun ve temiz olan bir ara yüzeyde daha az enerji kullanılarak etkin sonuçlar alındığı tespit edilmiş ve kaynak öncesinde yüzey temizliğinin önemi gözlenmiştir.

Titreşimin başlaması ve sürekliliğinin sağlanması için enerji ve dolayısıyla güç hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Daha önce bahsi olduğu gibi bu enerji ihtiyacı metal malzemelerde herhangi bir ergime durumuna sebebiyet vermeyecek orandadır [9], [10].

2.4 Ultrasonik Kaynak Makinesi Ekipmanları

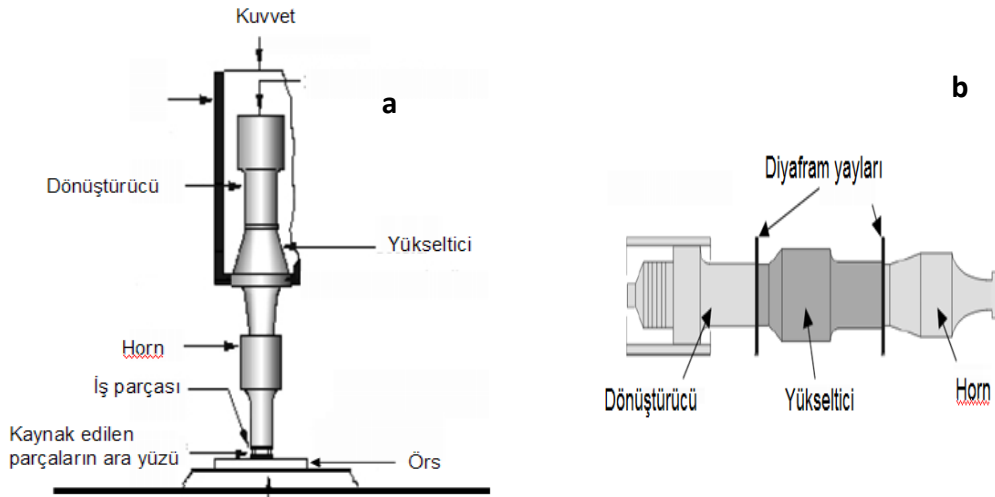
Yukarıda açıklanan detaylardan anlaşıldığı gibi ultrasonik kaynak makinesi bünyesindeki ekipmanlar elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü ve iş parçasına transferini sağlar. Bu döngüdeki en önemli elemanlar güç ünitesi, örs, dönüştürücü, yükseltici ve horndur [5], [9].

Kaynak bileşenlerini açıklarken rezonans (tınlama) konusuna değinilmesi faydalı olacaktır. Rezonans, fizikte bir sistemin (genellikle doğrusal bir sistemin) bazı frekanslarda diğerlerine nazaran daha büyük genliklerde salınması eğilimidir. Bunlar, o sistemin rezonans (tınlama) frekansları olarak adlandırılır. Bu frekanslarda küçük periyodik kuvvetler bile çok büyük genlikler üretebilir.

Bir cismi ötelenme, eğilme, burulma gibi temel hareket biçimlerinde, bir uç konumdan diğerine geri gelme süresi rezonans frekansını belirler. Rezonansa neden olan kuvvet periyodik ve yeterli büyüklükte olursa cisim parçalanabilir. Örneğin deprem dalgalarının frekansı bina rezonans frekansına yakın ya da eşit ise binanın taşıyıcı bileşenlerinin hasar alması muhtemeldir. Gerilmiş bir müzik aleti telinin belirli bir frekansta titreşmesi rezonansa örnektir. Ultrasonik kit üzerindeki tüm elemanlarda rezonans dayanımları aynıdır, böylelikle tüm kit eş koşullara çalışmak için dizayn edilmiştir.

Aşağıdaki maddelerde inceleyeceğimiz dönüştürücü, yükseltici, güç kaynağı, horn ve örsün toplandığı düzenek ultrasonik kaynak makinesi olarak ifade edilir.

Kaynak makinelerinde iş parçası örs üzerine sabitlendikten sonra kaynak ucu (horn) iş parçasına tam olarak temas edecek şekilde indirilip yükseltilebilir. Tüm ultrasonik kaynak makinesi ekipmanları için bu mesafe ayarlanabilir şekildedir [5].



Şekil 2. 7 Ultrasonik kaynak makinesi ekipmanları ve cihaz içerisindeki pozisyonları [9]

Şekil 2.7 a'da nokta kaynak tertibatı, b'de ise sürekli dikiş kaynak tertibatı görülmektedir. İşlem sırasında horn'un indirilmesiyle iş parçası üzerine kuvvet uygulanmaya başlar. Güç, genlik, kaynak hızı gibi parametreler kumanda paneli üzerinden ayarlanabilmektedir. Eğer yapılan operasyon sürekli dikiş kaynağı uygulamasıysa horn operasyon rotasını tamamladıktan sonra duruş noktasında otomatik olarak operasyonu tamamlar. Yeni tip makinelerde tüm kaynak parametrelerinin görülerek ayarlanabileceği LCD monitörlere yer verilmiştir. Böylelikle kaynak parametreleri daha kolay şekilde kontrol altında tutulmaktadır [5], [9].

2.4.1 Entegre Güç Kaynağı (Jeneratör) , Frekans Dönüştürücü

Tüm kaynak fonksiyonlarının ayarlandığı kasa içerisinde yer almaktadır. Hem doğru akım (DC) hem de alternatif akım (AC) prensibi ile çalışabilirler. Bu ünite içerisinde faz yoluyla elde edilen elektrik enerjisinin gücü ve frekansı artırılır. 2500–4000 Watt sıklıkla tercih edilen kapasitelerdir. Ünitelerde şebekeden sağlanan elektrik enerjisinin frekansı 50-

60 Hz değerlerinden 16000–40000 Hz değerlerine yükseltilir. Daha önceki konularda değinildiği gibi spesifik uygulamalarda daha yüksek değerler elde edilebilir.

Son dönemdeki gelişmelerle güç kaynakları küçük yapılı, kompakt şekilde tasarlanmaya başlanmıştır. Ayrıca sistemde aşırı ısınmaya karşı uygun malzeme seçimi ya da ek emniyet tertibatlarıyla kullanım ömürleri artırılmıştır.



Şekil 2. 8 Çeşitli entegre güç kaynağı örnekleri ve güç ayarlama sistemi [10]

Tüm kaynak uygulamalarında olduğu gibi ultrasonik kaynak yönteminde de dikey olarak uygulanacak statik kuvvetin tertiplenmesi için bir sistem gerekmektedir. Güç sistemleri yüksek güç gerektiren uygulamalar için hidrolik, orta seviyedeki uygulamalar için pnömomatik, diğer hafif sistemler için de yaylı olarak düzenlenebilir.

Sert materyaller düşük güç, yüksek kuvvet seviyesinde kaynak edilebilirken yumuşak malzemeler için bu durum tam tersidir. Şekil 2.8’de güç kaynağı ve güç ayarlama sistemi örneği görülmektedir [5], [13].

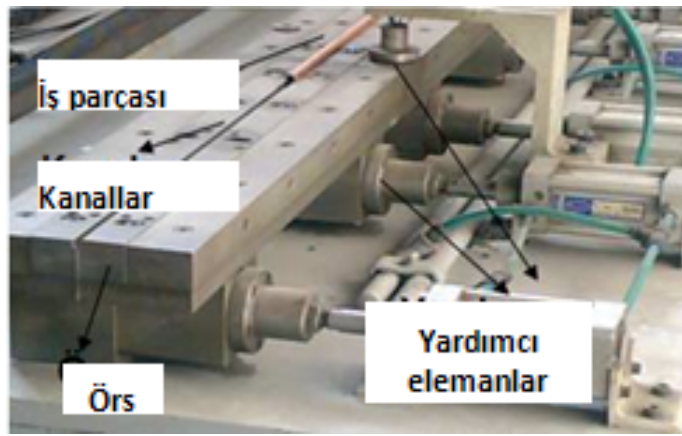
2.4.2 Örs- Çene (Anvil)

Örs parçasını kontra-rezonans elemanı olarak adlandırabiliriz. En temel görevleri kaynak esnasında vibrasyonun iş parçası üzerine yoğunlaşmasını ve kararlı bir birleştirme olmasını sağlamaktır. Bu nedenle iş parçasını sabitleyici şekilde tasarlanmaktadır. Örs parçasını doğru bir birleştirme yapılabilmesi için referans parça olarak tanımlayabiliriz. Genel olarak örslerin yüzeyleri düz olarak imal edilse de bazı noktasal ultrasonik kaynak uygulamalarında yüzeyi oluklandırılarak form açılmış örsler de kullanılmaktadır.

Bazı hallerde ise örs parçasının iş parçasını sabitleme fonksiyonunu artırmak için yardımcı elemanlar da kullanılabilir. Bu yardımcı elemanlara örnek olarak örsün kitlenmesini sağlayan pnömatik ya da hidrolik pistonları örnek olarak verebiliriz.

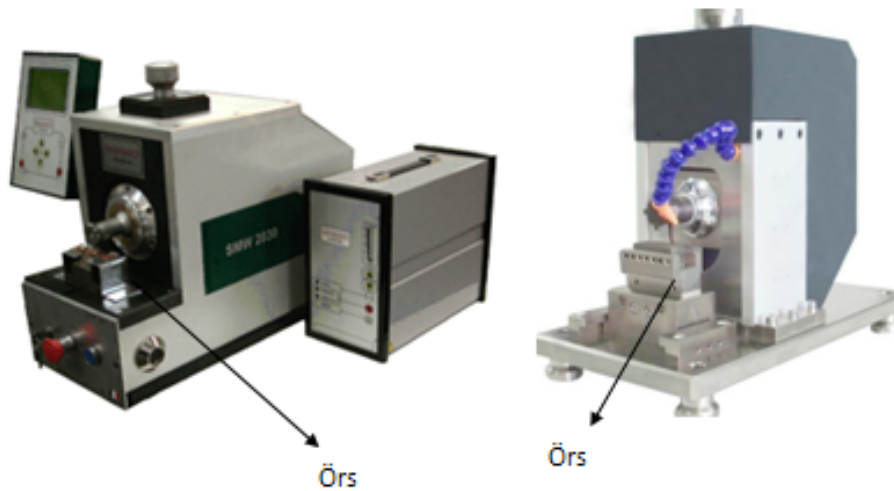
Örsler dikdörtgen, kare ya da dairesel şekilde imal edilebildikleri gibi detaylarını 4. bölüm içerisinde göreceğimiz güneş kolektörlerinin kaynak düzeneklerinde olduğu gibi pistonlu ve yataklı olarak da imal edilebilir.

Şekil.2.9'da görülen bu tip uygulamalarda iş parçası örs içerisine geçme şeklinde oturtulur ve yataklama şeklinde sabitleme gerçekleştirilir.



Şekil 2. 9 Sürekli dikiş kaynak makinesinde örs ve yardımcı elemanlar

Örslerde en önemli konulardan bir tanesi malzeme seçiminde gösterilmesi gereken hassasiyettir. Özellikle kaynatılacak parça ve operasyon özelliklerine göre seçilmesi gereken örs malzemesinde sert ve yüksek dayanımlı malzemeler tercih edilmelidir.



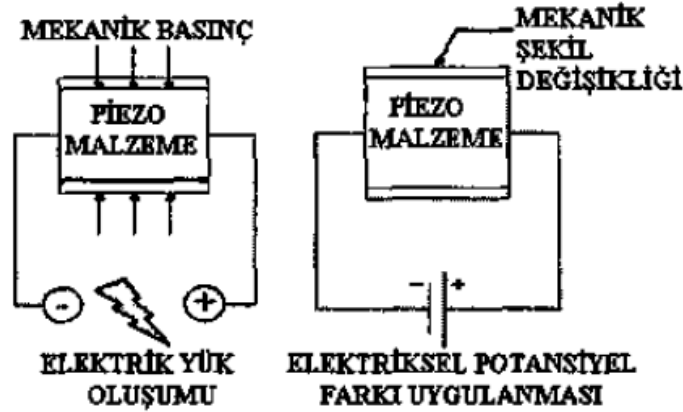
Şekil 2. 10 Çeşitli ultrasonik kaynak uygulamalarında kullanılan örs şekilleri [13].

2.4.3 Dönüştürücü (Converter-Transducer)

Entegre güç kaynağı vasıtasıyla frekansı yükseltileen elektrik enerjisinin yine yüksek frekanslı boyuna ya da enine mekanik vibrasyonlara dönüşümünün gerçekleştirildiği ünitedir. Piezoelektrik prensibine göre çalışmaktadır. Son yıllardaki gelişmeler sonrasında dönüştürücülerde %95 çevrim verimine erişilmiştir. Ultrasonik mekanizma takımı içerisindeki konumu yükseltici (booster) ile faz kabloları arasında yer alır.

Dönüşüm işleminde kilit fonksiyon piezoelektrik olayıdır. Genel olarak ultrasonik kaynak donanımlarında kullanılan akıllı malzemeler kurşun- zirkonat- titanat (PZT) şeklindeki tek kristal polar eksenine sahip malzemelerdir. Eski uygulamalarda ferromanyetik malzemeler ile yapılan bu dönüşüm işleminde piezoelektrik malzemeler önemli bir boşluğu doldurmuş ve çevrim veriminin artmasını sağlamıştır.

Piezoelektrik malzemeler tersinirdir yani direkt piezoelektrik etki sergileyen malzemeler, ters piezoelektrik etki de gösterebilir. Piezoelektrik etki, baskı uygulandığında elektriksel potansiyel elde edilmesi, ters piezoelektrik etki ise elektrik alanına maruz kalma durumunda mekanik etki oluşması durumudur. Ters piezoelektrik etkide, karşılıklı yüzeyleri arasına elektrik gerilimi uygulanan bir kristalde boyutsal bir şekil değişimi oluşur ve dik olarak yüksek frekanslı ultrases dalgaları açığa çıkar [11].



Şekil 2. 11 Piezoelektrik ve ters piezoelektrik etki [11]

¹ Piezoelektrik etki görünen başlıca malzemeler Kuvars (SiO₂), Turmalin, Lityum Sülfat, Kadmiyum sülfat, Çinko oksit (ZnO), Rochelle tuzu (NaKC₄H₄O₆-4H₂O), Baryum titanat (BaTiO₃), Kurşun zirkonat titanat (PZT) gibi tek kristal polar eksenine sahip maddeler de görülür. Piezoelektrik etki dielektrik sabitindeki artış ile doğru orantılı olarak değişir.

Piezoelektrik malzeme kristalleri, orijinal boyutundan % 0.1 oranına kadar şekil değiştirebilen sentetik kristallerdir. Böylelikle sesin oluşturulması, algılanması, yüksek voltajlar oluşturulması, elektronik frekans yaratılması ve mikrobalans gibi işlemlerde yüksek verimler elde edilmektedir [11].

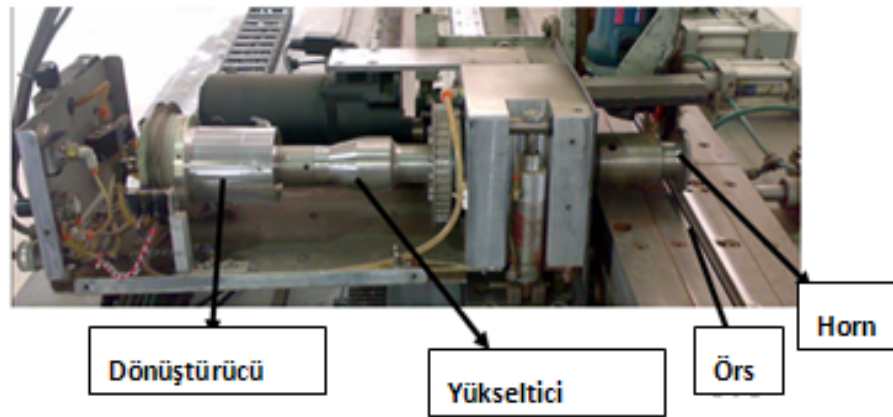
Dönüştürücü malzemelerin kullanım alanları enerji dönüşüm yönlerine göre 3 şekilde incelenir.

Mekanik enerji → Elektrik enerjisi dönüşümü (Mikrofon, gaz ateşleyici, hız ölçer v.b)

Elektrik enerjisi → Mekanik enerji dönüşümü (Sonik dönüştürücü, valf, ultrasonik elemanlar v.b)

Elektrik enerjisi → Mekanik enerji → Elektrik enerjisi (Transformatörler, akustik dalgaölçerler, transformatörler v.b)

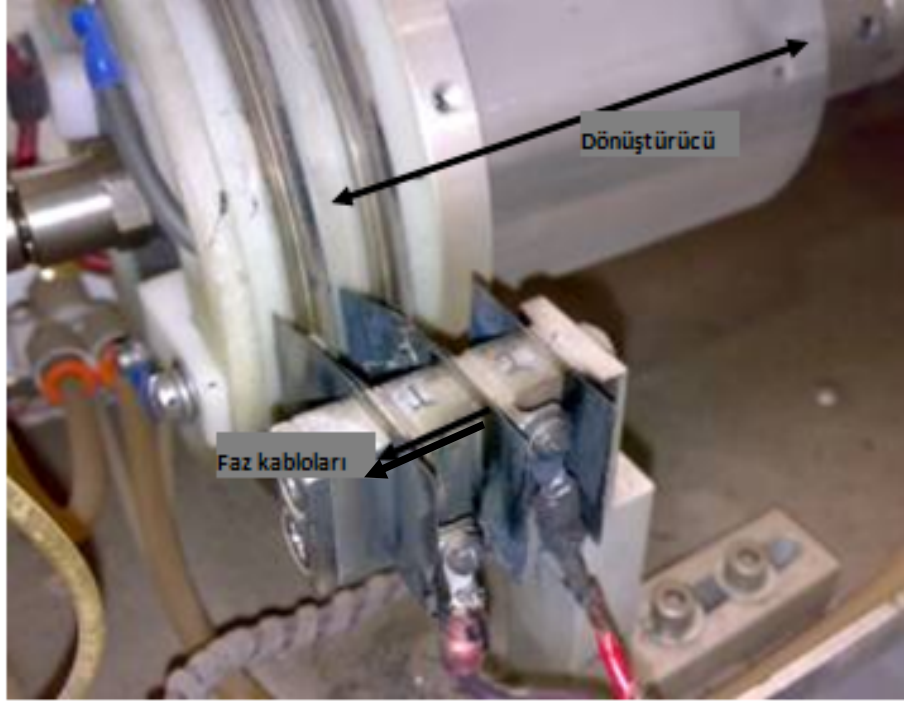
Şekil 2.12 'de dönüştürücünün ultrasonik sistem içerisindeki konumu, şekil 2.13'te ise dönüştürücüye elektrik enerjisinin transfer şekli görülmektedir.



Şekil 2. 12 Dönüştürücünün ultrasonik dönüşüm mekanizması içerisindeki konumu

¹ Dönüştürücü üzerinde en sık karşılaşılan arıza Şekil.2.12'de görüldüğü gibi faz hattı ile dönüştürücü arasında köprü görevi yapan plakaların kısa devre sonucu yanması ve transferin sağlanamamasıdır.

² Ultrasonik dalgaların oluşturulması kuramı, Pierre ve Jacques Crue, SiO₂'e bir gerilim uygulandığında elektrik yükünün oluştuğunu bulmalarıyla keşfedilmiştir. Dolayısıyla kristalin yüzeyine uygulanan elektriksel yük, boyutsal bir değişimi meydana getirmektedir.



Şekil 2. 13 Dönüştürücüye elektrik akımının transferi

2.4.4 Yükseltici (Booster)

Ultrasonik kit (UK) içerisinde dönüştürücü (converter) ile horn arasında yer alan, rezonans yarım dalga aygıtı olarak tariflenir. Başlıca iki görevi vardır. Bunların içerisinde en önemlisi operasyon genliği ve frekansını ayarlamaktır [9].

Dönüştürücüden çıkan titreşimler genel olarak düşük genliklidir ve bu halleriyle birleştirme operasyonu için uygun olmayabilirler. Yükseltici bu frekansların genliğini artırarak zaten frekansı yüksek olan vibrasyonu horn ucuna transfer eder. Yani diğer bir dille kaynak için yeter şartta olan genlik değeri yükseltici tarafından sağlanır. Bir diğer görevi ise dönüştürücü ile horn arasında rijit ve merkezi bir montaj yapılmasını sağlamaktır.

Çıkış – giriş arasındaki genlik farkı hesaplanmasıyla yükselticinin verim değerine kolaylıkla erişilebilir. Ölçüm alabilmek için en uygun nokta horn ağız kısmıdır [9].

Yükselticilerin imalatında alüminyum ve titanyum yüksek oranda tercih edilmektedir. Yapılan araştırmalarda titanyumun (Ti) frekans dönüşümünde alüminyuma (Al) göre daha verimli olduğu görülmüştür. Yükseltici üzerinde çapları birbirinden farklı iki kısım mevcuttur. Çapı küçük olan bölüm doğrudan horn ile temas halindedir [9], [10] ve [15].

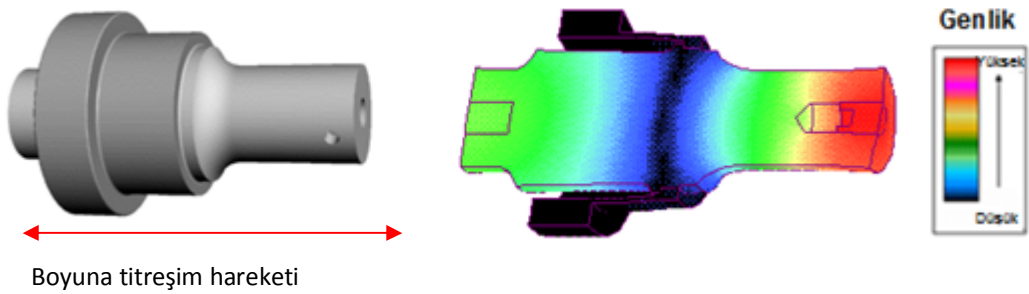
2.4.4.1 Rijit Yükselticiler

Metallerin sürekli dikiş kaynağında kullanılan, sertlik oranı yüksek olan malzemelerdir. Radyal hornlarla eşleştirilerek kullanılırlar. Yükselticiler renk kodlarıyla tanımlıdır, bu renk kodları yükselticinin verimini ya da yükseltme oranlarını tariflemektedir. Her yükselticinin 0,6:1 ile 0,25:1 oranı arasında bir çevrim sabiti mevcuttur [17].

Çizelge 2. 1 Yükseltici tipleri için tanımlı renk kodları

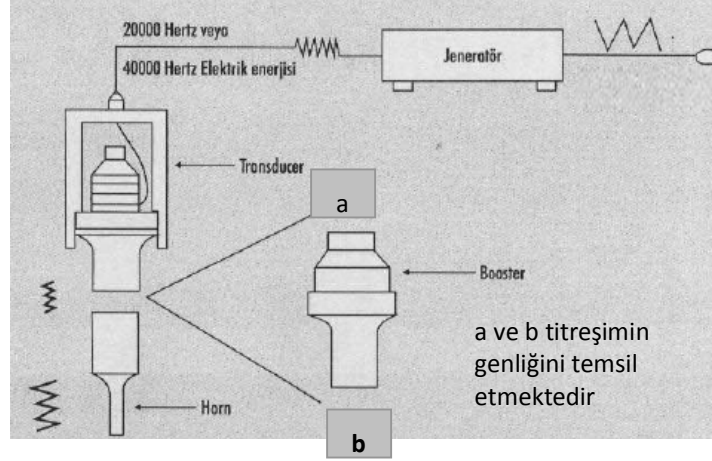
Renk	Yükseltme Oranı
Mavi	0.6:1
Mor	0,75:1
Yeşil	1.0:1
Altın	1.5:1
Gümüş	2.0:1
Siyah	2.5:1

Şekil.2.14'deki örnekte görülen 20 kHz frekans, 1.5:1 yükseltme oranındaki rijit bir yükseltici görülmektedir. Genliğin en yoğun olduğu bölge kırmızı bölge olarak gösterilmiştir. Bu tasarım çalışma frekansı aralığından da anlaşılacağı gibi hafif malzemelerin ultrasonik dikiş kaynağı için tasarlanmıştır. Yükselticiler özellikle hafif malzemelerin kaynağında titreşimi mükemmel yakın şekilde horn üzerine ulaştırmaktadır. Yapısının sert olması nedeniyle ultrasonik kit üzerinde parçaların rijit tutulmasına da yardımcı olmaktadır [19].



Şekil 2. 14 Rijit bir yükseltici üzerinde genlik değerleri [19]

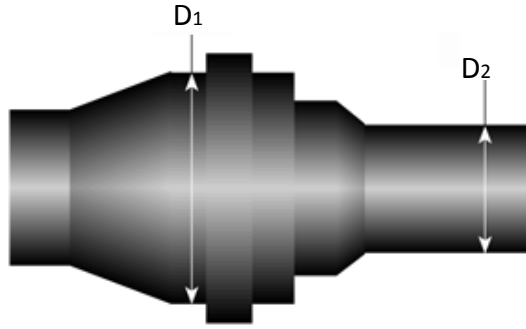
Şekil 2.15'te yükselticinin ultrasonik kuplaj üzerindeki pozisyonu ve başlangıç – çıkış genliklerinin şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2. 15 Mekanizma içerisinde yükselticinin yeri ve genliğe etkisi [17]

2.4.4.2 Yükseltici Çevrim Oranı

Yükselticinin dönüştürme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir;



D1; Dönüştürücü bağlantı noktası tarafındaki çap

D2; Horn bağlantı noktası tarafındaki çap

Şekil 2.16 Yükselticinin dönüştürücü ve horn tarafındaki çap değişimi [16]

$$\text{Yükseltici Çevrim Oranı} = D_1 / D_2: 1 \quad (2.3)$$

Yükseltici çevrim oranı 1 değerinden yüksekse genliğin % olarak artışı, çevrim oranı 1 değerinden düşük ise genliğin % olarak azaldığını ifade etmektedir [16].

Örnek; $D_1 : 45 \text{ mm}$, $D_2 : 35 \text{ mm} \rightarrow \text{Yükseltici Çevrim Oranı: } 45 / 35: 1 = 1,28: 1$

Diğer bir deyimle dönüşüm oranı % 28 olarak kabul edilebilmektedir.

Şekil 2.17' de çeşitli uygulamalarda kullanılan yükseltici örnekleri görülmektedir. Genlik ayarlamasının yapıldığı bu ünite tanımlardan da anlaşıldığı üzere ultrasonik kitin (ultrasonic stack) en önemli elemanlarından.



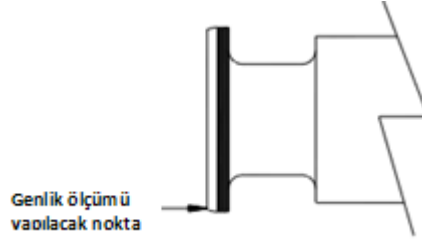
Şekil 2. 17 Çeşitli tiplerde yükseltici örnekleri
(<http://www.mpi-ultrasonics.com>)

2.4.5 Horn (Sonotrode – Boynuz)

Ultrasonik kaynakta birleştirme işleminin en önemli parçalarındandır. İşlem için uygun genlik ve frekanstaki mekanik titreşimleri parça yüzeyine aktararak birleştirmede doğrudan aktif rol oynar. Bu çalışmada spesifik uygulamalar hariç tutularak standart olarak dizayn edilen hornlar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Bu hornların çalışma frekans aralıkları 15 Hz ile 40 Hz arasında değişmektedir. Yükselticiden alınan yüksek frekans ve genlikteki ultrasonik titreşimleri kaynak edilecek parça üzerine taşıyan, metal rezonans yarım dalga cihazı olarak tanımlanabilir. Metal malzemelerin kaynağında titreşimler enine yani parça yüzeyine paralel şekilde uygulanır.

Genellikle hornlar ultrasonik kitin diğer elemanları gibi alüminyum (Al) ya da titanyum (Ti) gibi malzemelerden imal edilir. Bazı özel uygulamalar için takım çeliğinden ya da paslanmaz çeliklerden imal edilmiş hornlar kullanılmaktadır. Dizayn aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi, titreşimin bütün horn yüzeyine uniform olarak dağılımının sağlanması ve efektif bir şekilde parça yüzeyine aktarılmasıdır [18].

Ultrasonik hornlar uygulanacak kaynak modeline göre farklı geometrilere imal edilebilir. Şekil 2.18’de operasyona hazır bir sürekli dikiş kaynağı sisteminde ultrasonik titreşimin genliğinin horn üzerinde en iyi ölçülebileceği nokta gösterilmiştir. Hornları geometri ve uygulama şekillerine göre başlıca 4 grupta toplayabiliriz.



Şekil 2.18 Sürekli dikiş kaynak makinesinde horn ağız kısmı [9]

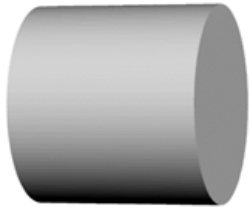
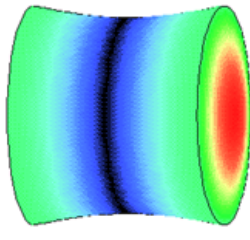
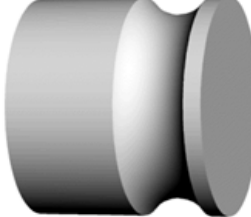
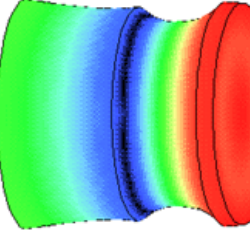
2.4.5.1 Silindirik ve Döner Gövdeli Hornlar

Silindirik şekilde tasarlanmıştır. Kaynak işlemi esnasında ultrasonik kaynak kiti ile birlikte dönme ve ilerleme hareketi yapar. Şekil 2.18’de görüldüğü gibi genlik değeri hornun uç kısmından kolaylıkla ölçülebilir [9].

Parçanın silindirik olmasının en önemli avantajlarından bir tanesi işlemi gerçekleştiren yüzey üzerinde herhangi bir boşaltma formunun olmamasından dolayı üniform bir genlik değerinin elde edilebilmesidir.

Güneş enerji sistemlerinde (Güneş kolektörleri, fotovoltaik modüller v.b) en sık kullanılan horn tipi silindirik gövdeli hornlardır. Metal malzemelerde dönüştürücü ve yükselticiden aldıkları boyuna titreşimleri baskı altında dönme ve ilerleme hareketi yaparak parça yüzeyine iletir. Horn yüzeyindeki pürüzler iş parçalarının birbirlerine difüze olmasını kolaylaştırmakta ve doğal olarak titreşimin iş parçası üzerine daha iyi odak olmasını sağlamaktadır. Enine titreşimden dolayı sıklıkla metal birleştirmelerinde tercih edilen hornların tekstil sektöründe ve ultrasonik temizleme endüstrisinde de farklı uygulamalarına rastlanmaktadır.

Aşağıda şekilsel olarak verilecek örnekte, silindirik yapılı bir hornun dizayn geliştirme aşamaları kısaca incelenecektir. Çalışma yapılan horn 20 khz çalışma frekansı için hazırlanmış 127 mm (5”) çapında bir örnektir. Dizayn aşamasında dikkat edilecek en önemli özellik, maksimum genliğin üniform bir şekilde uç kısımda (parça ile işleme giren yüz) toplanmasıdır. Şekil 2.18’de izah edildiği gibi silindirik bir horn düzeneğinde genliğin en mutlak ölçümü ancak bu bölge üzerinden yapılabilir. Kırmızı ile gösterilen noktalar en yüksek genliğin bulunduğu noktaları işaret etmektedir [19].

	HORN GEOMETRİSİ	GENLİĞİN DAĞILIMI	AÇIKLAMALAR
A			İlk tasarlanmış, üzerinde herhangi bir optimizasyon çalışması yapılmamış olan örnektir. Horn üzerindeki titreşim genlikleri görüldüğü gibi üniform değildir. Kırmızı olan bölge genlik açısından daha yoğun değerdedir.
B			Tasarım iyileştirme çalışması olarak parçanın boğaz kısmı tarafına radyüs verilmiştir. Amaç genliğin çalışma yüzeyine homojen olarak dağılmasının sağlanmasıdır. Yapılan dizayn iyileştirme ile genliğin üniform dağılımı sağlanmıştır.

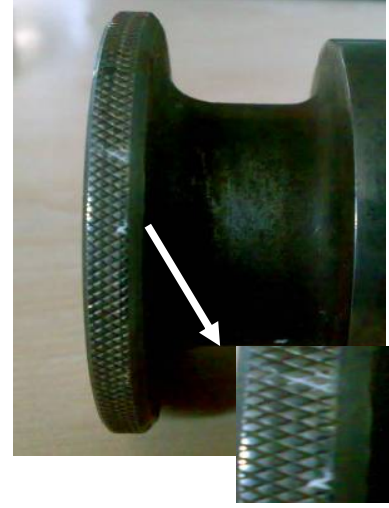
Şekil 2. 19 Silindirik bir horn üzerinde genlik dağılımı

Yukarıdaki tabloda parça dizaynındaki optimizasyon sonrasında en elverişli genlik değerine ulaşılmıştır. A şeklinde ilk deneme sonucu genlik yoğunluğu, B şeklinde ise dizayn optimizasyonundan sonraki genlik dağılımı gösterilmektedir. Horn işlem sırasında aksel yönde titreşerek işlem yüzeyine paralel titreşimler oluşturur ve parça yüzeyine iletir. Dikkat edilecek noktalardan bir tanesi, üniform yüzey genliğini korumak amacıyla horn yüzey kalitesinin muhafaza edilmesidir. Şekil 2.20 'de kullanım için uygun olan ve kullanım özelliğini yitirmiş horn örnekleri görülmektedir. Horn çapı arttıkça yüzeydeki radyal genlik miktarı artmaktadır. 20kHz frekansa ayarlı bir sistemde maksimum horn çapı 127 mm (5'')i aşmamalıdır. Çap limitinin aşılması gereken durumlarda oluklu silindirik hornlar tercih edilmelidir. Ayrıca ön görülenden düşük dalga boylu titreşimler genliğin stabil durumunu bozar ve horn dizaynının değiştirilmesini gerektirebilir.

Oluklu silindirik hornlar, büyük parçaların işleneceği ve daha büyük horn çaplarına ihtiyaç duyulan uygulamalarda tercih edilmektedir. Kısaca özetleyecek olursak 127 mm (5'') üzerinde horn çapı gereksinimi olan uygulamalarda, horn üzerindeki aksel ve üniform genliğin korunması için parça üzerine akseline paralel olarak çevre boyunca slotlar açılır [19].



a) Operasyon için uygun olan gravür şeklindeki yüzey örneği



b) Operasyon için uygun olmayan gravürleri deforme olmuş yüzey örneği

Şekil 2. 20 Silindirik hornlarda yüzey görünümü

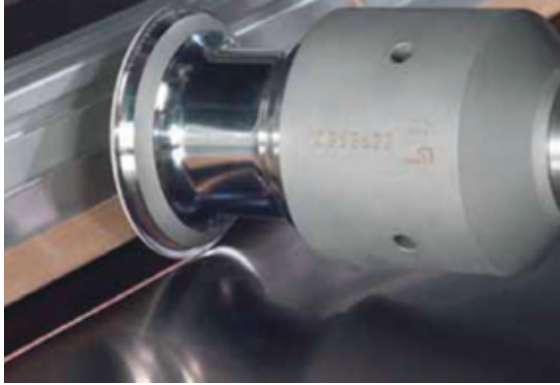
Şekil.2.21’de bu tip bir horn ve dizayn geliştirme basamakları görülmektedir. Kırmızı olan noktalar genliğin maksimumda olduğu noktaları işaret eder. A şeklinde ilk deneme sonucu genlik yoğunluğu, B şeklinde ise tasarım optimizasyonundan sonraki genlik durumunu göstermektedir.

Güneş kolektörlerinde yapılan uygulama, tertibat ve kullanılan malzemeler ile ilgili detaylı bilgiler 4. bölüm içerisinde işlenecektir.

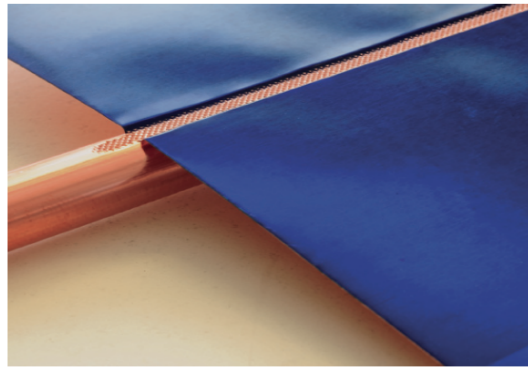
	HORN GEOMETRİSİ	GENLİĞİN DAĞILIMI	AÇIKLAMALAR
A			İlk tasarlanmış, üzerinde herhangi bir optimizasyon çalışması yapılmamış olan horn örneğidir. Parça üzerindeki titreşim genlikleri görüldüğü gibi üniform değildir. Kırmızı olan bölge genlik yoğunluğunun en fazla olduğu bölümdür.
B			Tasarım iyileştirme çalışması olarak horn üzerine eksenel yönde slot açılmıştır. Amaç genliğin çalışma yüzeyine homojen olarak dağılmasının sağlanmasıdır. Yapılan dizayn iyileştirme ile genliğin üniform dağılımı sağlanmıştır.

Şekil 2. 21 Silindirik eksenel slotlu horn üzerinde genlik dağılımı,

Şekil 2.22 ve 2.23'te bakır soğurucu ile bakır boru kaynağı arasında uygulanan sürekli dikiş kaynağı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2. 22 Sürekli dikiş kaynağı ultrasonik kaynak makinesinde horn ve iş parçası [5]



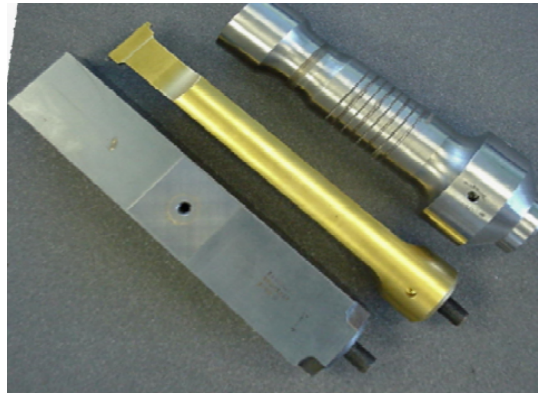
Şekil 2. 23 Sürekli dikiş kaynağı ile işlenmiş parça [5]

2.4.5.2 Tek Parçalı Tam Dalgalı Hornlar

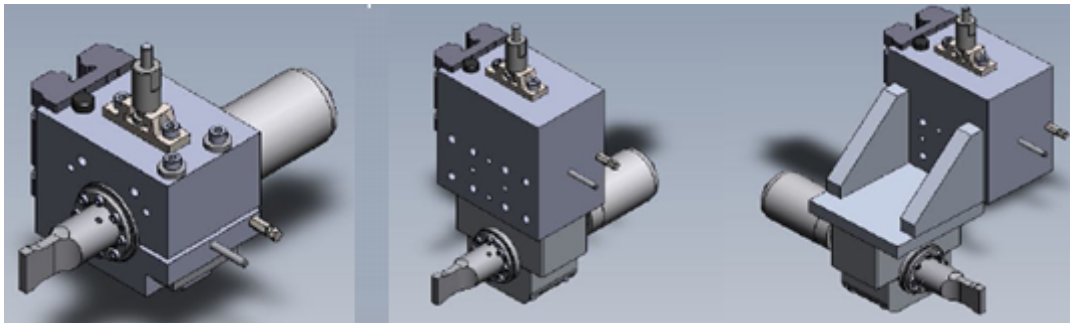
Tam dalga hornlar genlik miktarının daha stabil olarak korunması ve birleştirme kalitesinin önem arz ettiği noktalar için kullanılır. Özellikle otomotiv sektöründe (hava yastığı, emniyet tertibatları) ve silah sanayindeki (fünyeler) spesifik uygulamalarda

tercih edilir. Tam dalga hornlarda daha derin bir birleştirme sağlanmaktadır. Birleştirme kalitesi ve dayanımı yarım dalga hornlarla yapılan operasyonlara göre daha iyidir. Şekil 2.24'te tam dalga çalışma prensibine göre tasarlanmış horn tipleri için örnekler görülebilir. Ağırlıklı olarak bıçak ya da kama şeklinde geometriye sahiptir fakat silindirik tipte yapılan uygulamalar da mevcuttur.

Hornlarda tahrik frekansı cismi etkilemeye merkezden başlar, bu nedenle tam dalga prensibine göre çalışan hornlardaki rijit frekans ve genlik hornun kolay hasar almasını önleyeceği gibi çalışma ömrünü de uzatmaktadır [10].



Şekil 2. 24 Tam dalga prensibine göre çalışan horn örnekleri [10]

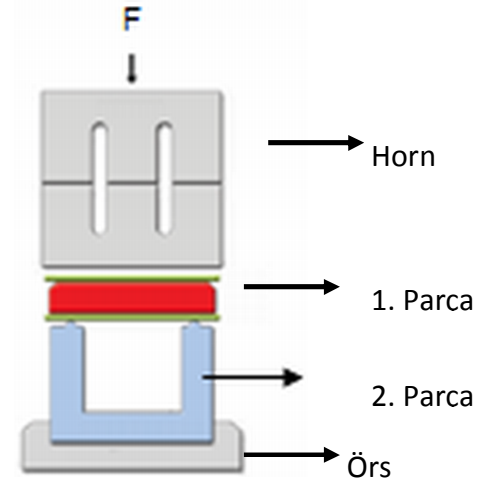
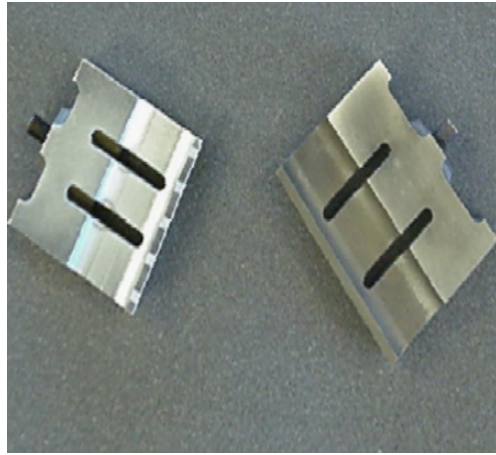


Şekil 2. 25 Ultrasonik kit üzerinde hornların pozisyonları [10]

2.4.5.3 Birleşik Hornlar

Birleşik hornlar, parçanın iş parçası üzerindeki daha geniş bir alanda kaynak yapabildiğini yani kısaca baskı yüzey alanının artırılması gereken dizaynlar için seçilir. Dikdörtgen formatlıdır, slotlu ve slotsuz tipleri mevcuttur. Silindirik hornlarda olduğu gibi slotlu hornlar daha büyük genlik değerlerinde tercih edilmektedir.

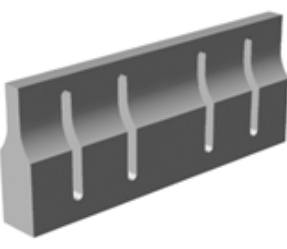
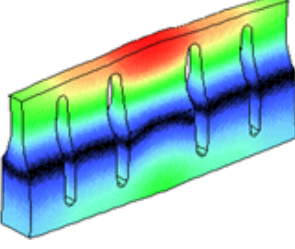
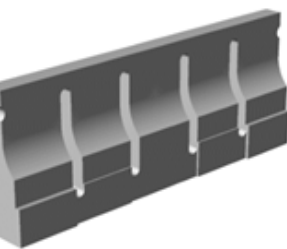
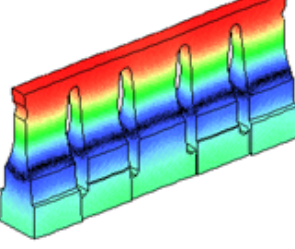
Alüminyum, titanyum ve sertleştirilmiş takım çeliklerinden imal edilmektedir [5]. Hafif metallere yapılmış çok ince plakaların bindirme şeklinde kaynak edilmesi, elektrik-elektronik sektöründe kabloların birbirleri ile ya da terminal ile bağlantılanması işlemlerinde ekseri olarak birleşik hornlar kullanılmaktadır. Şekil 2.28 A şeklinde ilk deneme sonucu genlik yoğunluğu, B şeklinde ise optimizasyon sonrası genlik dağılımı görülmektedir [10], [19].



Şekil 2. 26 Birleşik yapılı horn örnekleri [10]



Şekil 2. 27 Birleşik yapılı horn ile yapılmış operasyon örneği [10]

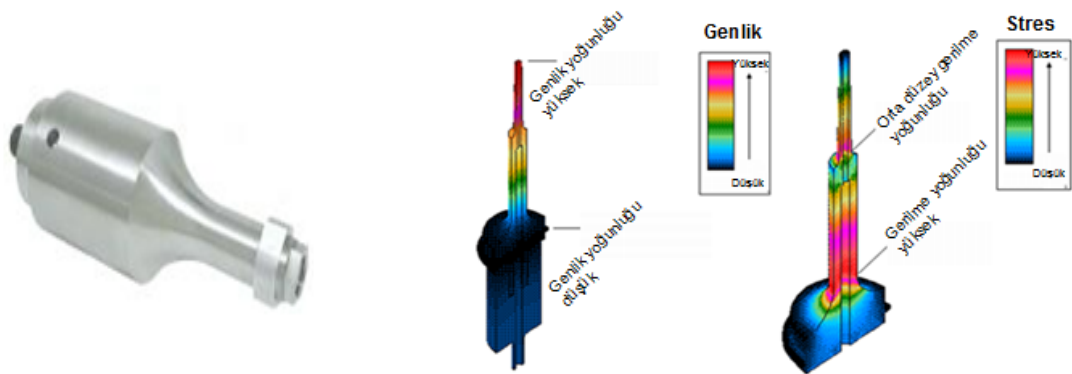
	HORN GEOMETRİSİ	GENLİĞİN DAĞILIMI	AÇIKLAMALAR
A			Birleşik horn düzeninde tasarlanmış olan parça ilk yapılan numunedir. Kırmızı olan bölümler genliğin en yüksek olduğu noktaları işaret etmektedir.
B			Şekildeki birleşik hornda üniform genlik dağılımını sağlamak amacıyla dizayn iyileştirme yapılmıştır. Kırmızı olan bölge genliğin en üniform olduğu alandır.

Şekil 2. 28 Birleşik horn üzerinde genlik dağılımı

2.4.5.4 Değiştirilebilir Uçlu Hornlar

Yüksek üretim kapasiteleri için tercih edilmez. İmal edildiği malzemeler diğer tip hornlarda olduğu gibi çelik, alüminyum, titanyum alaşımlarıdır fakat mekanik özellikler açısından kullanım ömrü daha azdır.

Metallerin sürekli dikiş kaynağı uygulamalarında, küçük hacimli parçaların noktasal kaynağında kullanılır [10], [19].



Şekil 2. 29 Değiştirilebilir uçlu horn, çalışma durumunda genlik ve stres yoğunluğu [19].

2.5 Ultrasonik Kaynak Mekanizması

Bölüm 5 ve Bölüm 6' da detaylarıyla incelenecek olan temel kaynak değişkenlerinden bazılarının listesi ve formülizasyonu aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Zaman (T); Ultrasonik vibrasyonun uygulanma süresi (Sn)

Amplitude (A) ; Titreşimin genliği (μm)

Kuvvet (F); Dik olarak uygulanan baskı kuvveti (N)

Uygulanan kuvvet; horn yüzey alanı ile basınç (hava basıncı) çarpımı sonucunda bulunur.

Güç (P); Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için makinenin sahip olması gereken etken güç miktarı (watt)

$$P = F \times A \quad (2.4)$$

Enerji (E) : Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için makinenin sahip olması gereken enerji miktarı (joule)

$$P = d E / d T \quad (2.5)$$

$$E = P \times T \quad (2.6)$$

$$E = (F \times A) \times T \quad (2.7)$$

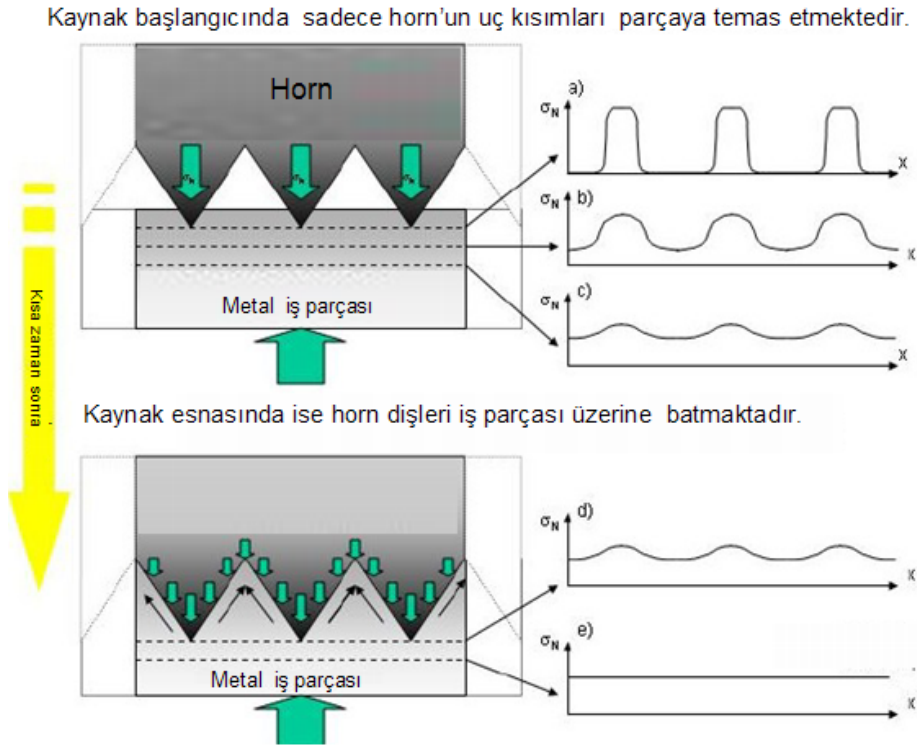
Dönüştürücü – yükseltici ve horn takımı kaynak yapılmadığı rölanti durumunda operasyon halinden çok daha düşük genlikte titreşimler üretir ve enerji / güç gereksinimi minimum seviyelerdedir.

Operasyon başladığında güç ve mekanik yük skalasında yükselme gözlenir. Kaynağın en ideal olduğu durumda elde edilen güç maksimum seviyededir [9].

2.5.1 Horn Yüzeyinde Kesme Kuvvetleri ve Kayma Gerilmesi

Birleştirme esnasında hornun uyguladığı kayma gerilmesi horn ve örs üzerindeki işlemin esası Şekil 2.6' da görülmektedir. Şekilde ultrasonik kaynak mekanizmasında plastik deformasyon oluşmasını sağlayan önemli bileşenlere değinilmiştir.

Şekil 2.31' de operasyon esnasında hornun iş parçası üzerine yaptığı baskının derinlik ile mukayesesi görülmektedir. Baskı kuvveti ya da diğer bir deyimle basınç, maksimum batma derinliğine kadar etkili olmakla birlikte tüm parça bünyesinde derinlemesine bir plastik şekil verme meydana getirememektedir.



Şekil 2. 31 Kaynak bölgesinde başlangıç ve uygulama esnasında gerilme dağılımı [21]

Hornun kesme kuvvetini aşağıdaki bağıntı ile sınırlandırabiliriz.

F_s : Titreşimin etkisiyle parça yüzeyinde kayma gerilmesi etkisi oluşturan kesme kuvveti

σ_A : Akma dayanımı

A_s : Horn yüzey alanı

F_n : Normal bası kuvveti

τ_y : Kayma gerilmesi

$$F_s \leq \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{2}\right)^2 - \left(\frac{F_n/A_s}{2}\right)^2} * A_s = \tau_y * A_s \quad (2.8)$$

F_s kuvveti en çok hornun doğrudan parça ile temas eden yüzünü etkileyecektir. Bu nedenle hornun tasarımında bu kuvvet kesinlikle dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir.

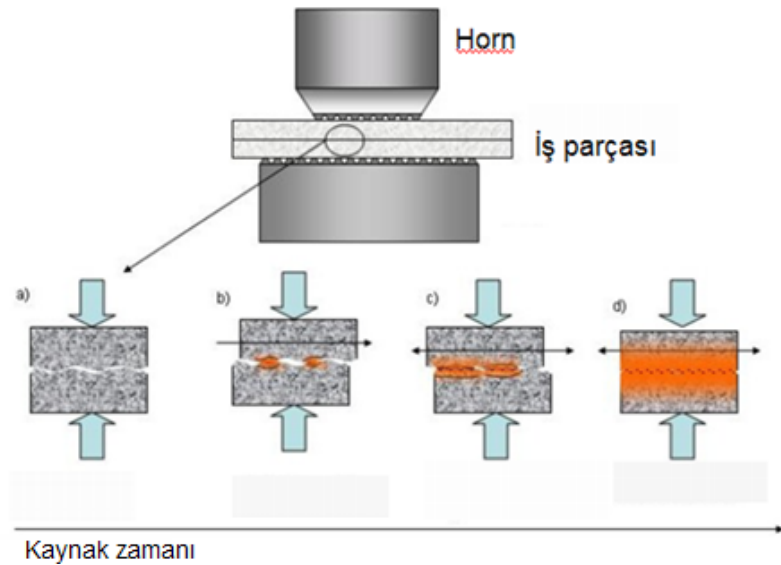
Doğrudan horn yüzeyindeki tırtıklı form ile bağıntılı olan bu etki nedeniyle horn uzun süreli kullanımda hasara uğrayabilir. Bu nedenle horn yüzey formlarının gerekli olduğu kadar açılması gerekmektedir

2.5.2 Parça Ara Yüzündeki Kuvvetler

Bu bölümde kaynağın başlamasından sonlanmasına kadar olan süreçte parçaların ara yüzünde etkin olan kuvvetler incelenecektir.

Daha önce de belirtildiği gibi kaynak öncesinde parça yüzeyi oksit filmleri, madeni yağ, nem gibi kontamine malzemeler ile kaplıdır. Bu kontamine malzemeler, parçaya yetersiz baskı kuvveti uygulanması durumunda kırılmayarak birleşmeyi engelleyebilir.

F_N olarak tanımlanan nominal baskı kuvveti Şekil 2.6'da görülmektedir. Bakır ve alüminyum malzemeler de bu baskı kuvvetinin oksit tabakasını kırarak, parçanın moleküler düzeyde difüze olmasının kaynaklı birleştirmenin temel unsuru olduğu unutulmamalıdır [21].



Şekil 2. 32 Parça ara yüzünde kaynak başlangıcı ve birleştirmenin tamamlanması [21]

Şekil 2.32 üzerindeki aşamaları aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz [21] ;

a) Statik kuvvetin uygulanmaya başladığı durumdur. Kaynağın operasyonunun başlangıç halidir. Horn ve ultrasonik kit aynı genlikte titreşerek kaynak operasyonunun başlamasını sağlar.

b) Kuvvet ve titreşimin etkisiyle plastik deformasyon alanı artmaya ve difüzyon alanı yayılmaya başlar.

c –d)Kaynak işleminin tamamlanması ve kesin birleştirmenin sağlanması bu aşamada gerçekleştirilir.

Deformasyon alanı, horn baskı alanı ile eşittir ve 3 bölgeye ayrılarak incelenmelidir.

A_W , metal – metal kontak noktasında plastik deformasyona uğrayan alandır.

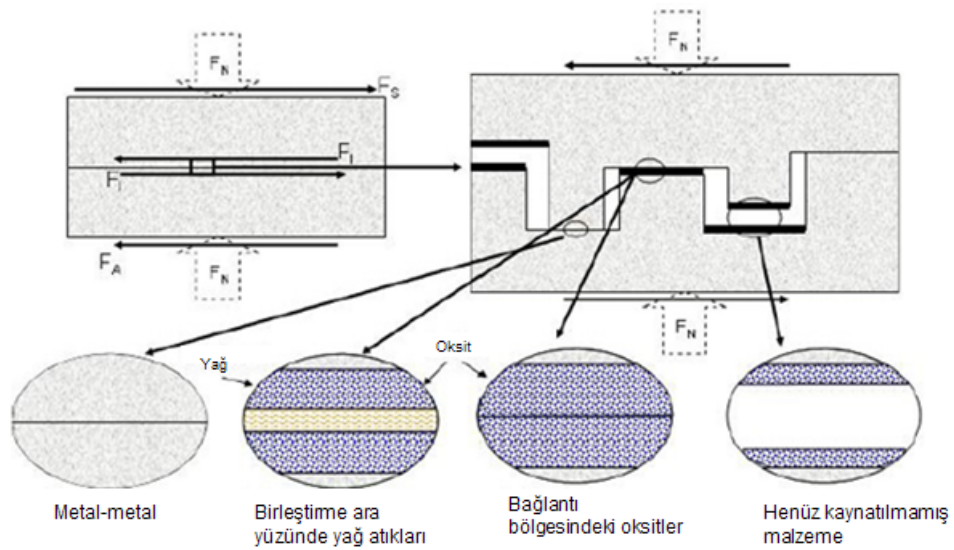
A_{FR} , sürtünen yüzey alanıdır.

A_{NC} , Birleştirme ya da temas olmayan alandır. Deformasyon alanındaki maksimum bağlantı gerilmesi ise aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$\frac{F_N}{A_{DZ}} \leq \frac{F_N}{A_W + A_{FR}} \ll \frac{F_N}{\lim_{A_{NC} \rightarrow A_{DZ}}$$

(2.9)

Birleştirme esnasında, temas bölgelerindeki kontamine maddeler ve oksitlerin görünümü şekil 2.33' te görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 33 Kaynak ara yüzleri [21]

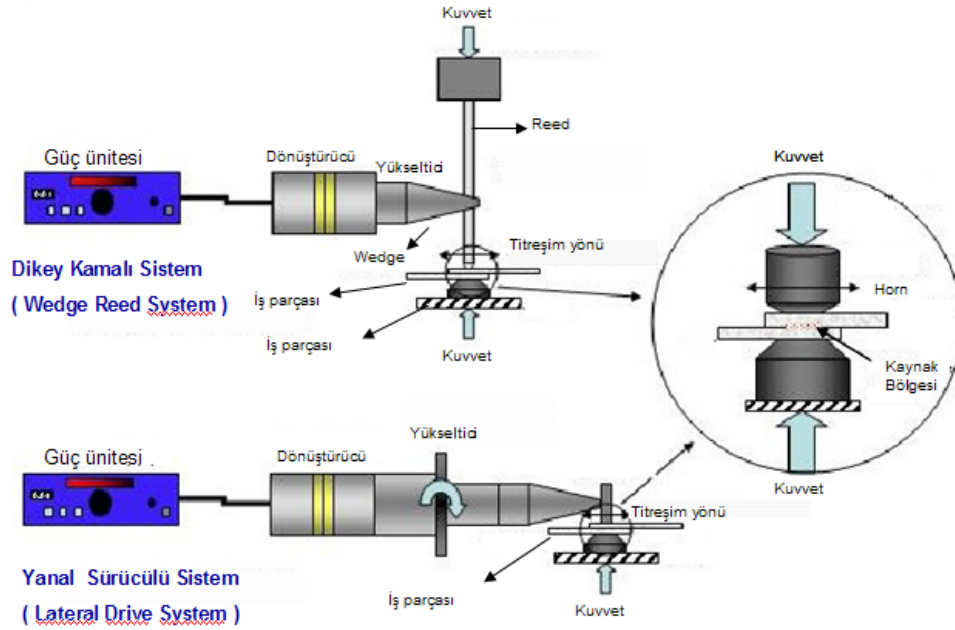
2.6 Ultrasonik Kaynak Uygulama Şekilleri

Ultrasonik kaynak operasyonu ana hatlarıyla nokta kaynağı (Spot welding), sürekli dikiş kaynağı (Continuous seam welding) olarak iki grup altında toplanabilir. Literatürde adı geçen halka (ring) ve hat boyu kaynak (line welding) uygulamaları aslında bu iki ana grup içerisinde yer alan uygulamalardır. Ultrasonik kaynak yönteminin tüm uygulama tiplerinde işlem, hesaplamalar ve bağlantı oluşum mekanizması aynı olup sadece cihaz özellikleri farklılık göstermektedir. Cihaz özelliklerine örnek olarak farklı horn tipleri, horn hareket şeklindeki farklılıklar ve örs dizaynları verilebilir [5].

2.6.1 Nokta Kaynağı (Spot Welding)

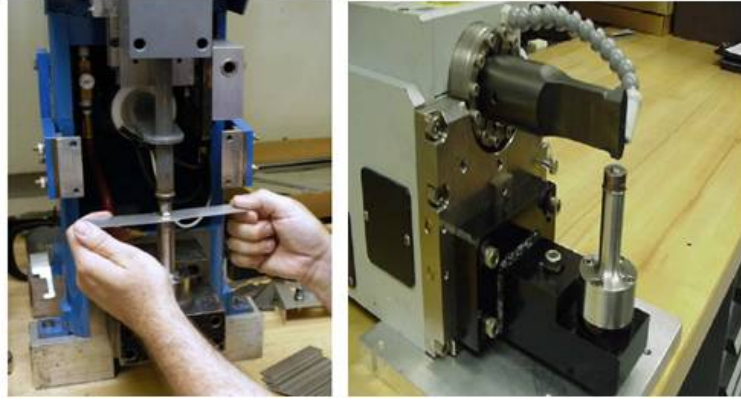
Nokta kaynağı uygulamasında iş parçası genellikle horn ve örs arasında sıkıştırılarak sabitlenir. Dairesel, eliptik, dikdörtgenel ağızlı uygulamalarına sık rastlanmaktadır. Kaynak zamanı ve gereken enerji malzeme kalınlığına göre değişkenlik göstermektedir.

Dikey kama sürücülü sistemde, dönüştürücü tarafından elde edilen boyuna titreşimler metal kama tarafından enine titreşimlere dönüştürülerek horn vasıtasıyla örs üzerine oturtulan iş parçalarına uygulanır. Şekil 2.34'te uygulama doğrultusu görülen F kuvveti parça üzerine pnömatik pistonlar vasıtasıyla uygulanmaktadır [22] .



Şekil 2. 34 Noktasal uygulamalarda dikey kamalı sistem ve yanal sürücülü sistem [24]

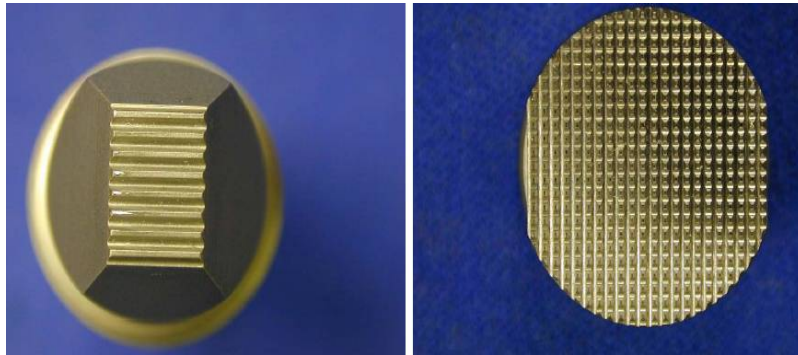
Yatay sürücülü sistemde ise, sistem üzerinde dönüştürücüye halka şeklindeki segman monte edilmiştir. Yükseltici daha önce de açıklandığı gibi titreşimin mekanik etkisini yükseltme görevi görmektedir [22].



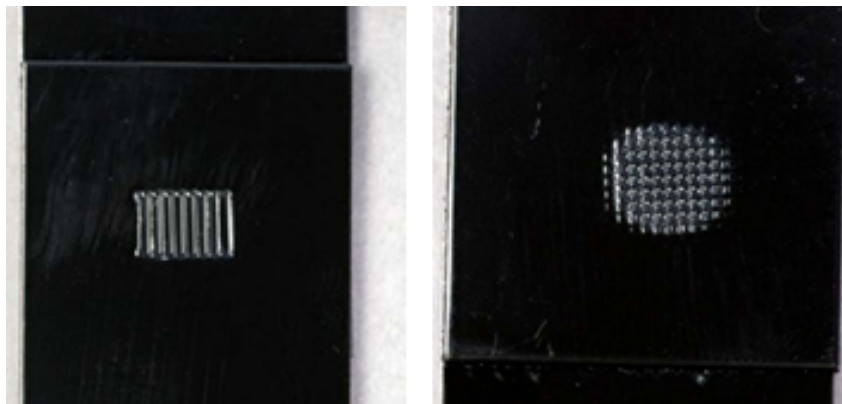
a)

b)

Şekil 2. 35 a) Dikey kamalı sistem, b) Yanal sürücülü sistem [24], [25]



Şekil 2. 36 a) Horn baskı yüzü, b) Örs yüzeyi [24], [25]



Şekil 2. 37 İş parçasının; a) horn tarafındaki kısmı, b) örs üzerindeki kısmı [24], [25]

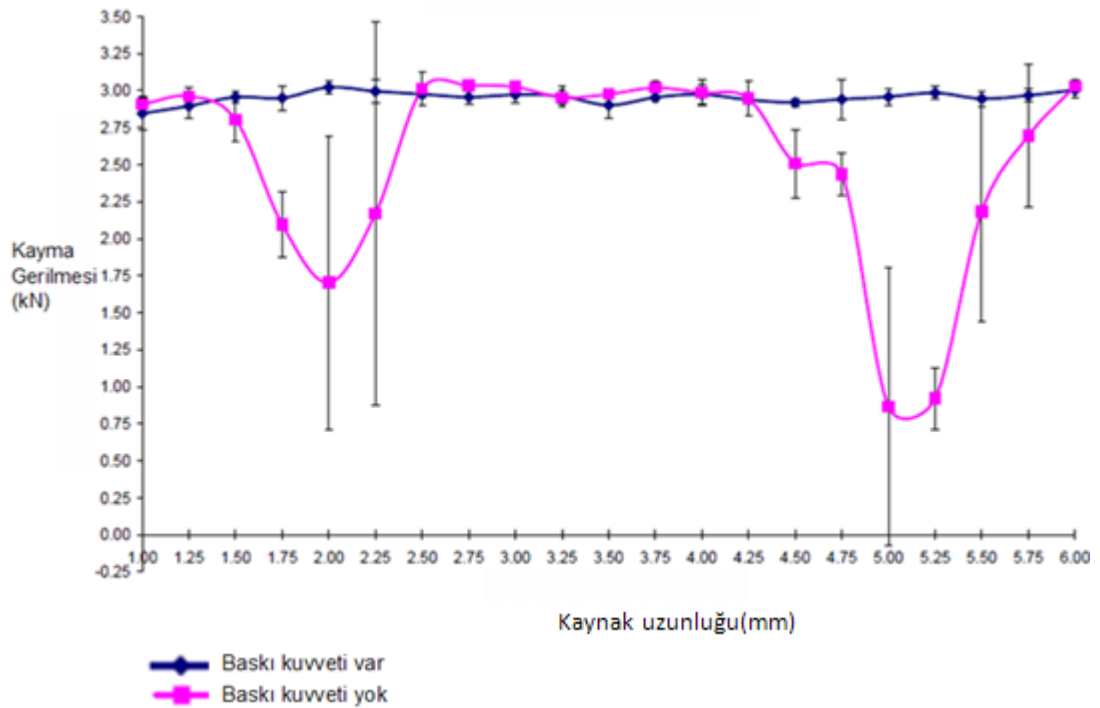
Nokta kaynağı uygulamaları için yukarıda özetlenen sistemlerin haricinde çift taraflı dikey kamalı sistemler de geliştirilmiş olup birleştirme teorisi mevcut sistemlerin aynıdır. Sistemdeki dizayn farkı iş parçasının sabit bir örs üzerine değil de hareketli ikincil bir dikey kamalı sistem üzerine oturtulması ve çift taraflı vibrasyona maruz bırakılmasıdır. Ultrasonik birleştirme de iş parçasını sabitlemek için uygulanan sıkma kuvveti- kelepçeleme parçanın tutunmasına ve kaynak kalitesini stabil kalmasını sağlamaktadır. Sıkıştırma kuvveti kullanılmadığı durumda aynı şartlarda özdeş iki malzemenin kaynağı esnasında kayma gerilmesi etkisinin değişimi Şekil 2.38’de bu durum grafik üzerinde gösterilmiştir [24].

Şekil 2.38’de parçaları örs üzerine sabitlemek için kullanılan baskı kuvvetinin uygulandığı ve uygulanmadığı durumlarda, aynı enerji ve basınç değerlerinde birleştirme için gereksinim duyulan kayma gerilmesi değerleri görülmektedir.

Kaynaklı operasyonu şartları ve malzeme;

Malzeme: AA6111 0.9 X 25 X 225- Alüminyum

Güç: 2500 W, Enerji: 500 J, Basınç: 6 Bar



Şekil 2. 38 Noktasal ultrasonik kaynakta kayma gerilmesi-baskı kuvveti ilişkisi [24]

2.6.2 Sürekli Dikiş Kaynağı (Continuos Seam Welding)

İş parçası silindirik dönen bir horn ile örs arasında sabitlenir. Örs üzerindeki bilyalı yataklar, kanallar ve sistem üzerindeki yardımcı elemanlar (pnömatik ya da hidrolik piston vb.) iş parçasının sabitlenmesini sağlar. Örs boyuna olarak uzundur ve hornun ilerleme hareketi örs boyunca paralel düzlem şeklindedir. Güneş kolektörlerinde ve fotovoltaik hücrelerde soğurucu ile bakır boru arasındaki birleştirme işleminde ultrasonik kaynağın bu metodu uygulanmaktadır. Kaynak hızı çok büyük uygulama sistemlerinde dakikada 125 metreye kadar ulaşabilmektedir.

Örs üzerinde paralel olarak çalışan horn baskı altında dönme ve ilerleme hareketi yaptığından dolayı aşınmayı azaltmak için özel tekniklerle kaplanabilir. Özellikle enerji sektöründe çok tercih edilen bir uygulamadır. Şekil 2. 39'da sürekli ultrasonik kaynak makinesi örnekleri görülmektedir. Örnekler çalışmanın ana konusu olan güneş kolektörleri soğurucuları ile dolaşım boruları arasında gerçekleştirilen uygulamalara aittir.



Şekil 2. 39 Sürekli ultrasonik kaynak uygulaması

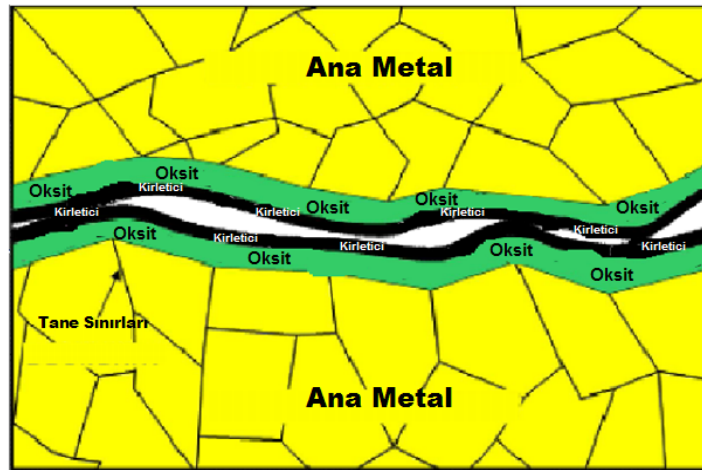
Sürekli dikiş kaynağı makinelerinin özellikleri, değişkenleri ve uygulamaları ileriki konularda detaylı olarak irdelenecektir [5].

2.7 Ultrasonik Kaynağın Metalurjisi

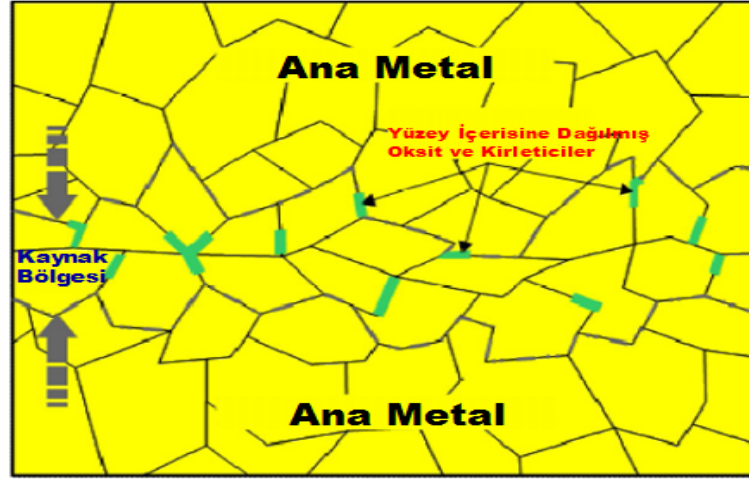
Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen horn ile sabit duran bir altlık arasına konur ve kuvvet vasıtasıyla bastırılır. Ultrasonik kit tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde iş parçası eksenine paralel bir harekete neden olur.

Bu durum hatırlanacağı gibi sürekli dikiş kaynağında dönen tekerlek şeklindeki hornlar, noktasal uygulamalarda ise kare, dairesel, halka ya da bar şeklindeki hornlar ile gerçekleştirilir [22]. Titreşim öncelikle üstteki parçaya aktarılır. Kaynak yapılan metallerde yeterli bastırma kuvveti, titreşim frekansı ve genliği sağlandığında, iş parçasının her iki temas ara yüzünde titreşimler akmaya başlar. Aynı zamanda yüzeyde bulunan oksitler ve yabancı maddeler (pislikler, gazlar, yağ v.b) kesme zorlamasıyla yırtılarak kenarlara doğru kayar. Böylece oluşan sürtünme ısı, malzemenin kaynak bölgesinde baskının da tesiriyle iki parça atomsal mertebede birleşir. Şekil değiştirme ve rekristalizasyon başlar. Böylece yeni oluşan kristaller bir parçadan diğerine difüze olur. Bu birleştirmede daha önce de açıklandığı gibi ergime durumu söz konusu değildir (Termoplastiklerin kaynağında ergime oluşmaktadır). Oluşan sıcaklık ergime sıcaklığının çok daha aşağısındadır ve titreşim kaynaklı sürtünme nedeniyle ortaya çıkar. Buradan ultrasonik kaynak prosesinin, malzemenin spektral yapısını değiştirmeyen bir uygulama olduğu sonucuna tekrar ulaşılabilir [5], [10]. Ultrasonik kaynak yönteminde ısı ergime sıcaklığının çok altında olan sürtünme ısından ibarettir. Bu durumdan dolayı dönüşüm meydana gelmez [26], [27].

Yöntemin avantajlarından en önemlisi işlem esnasında ortaya çıkan sürtünme ısısının değerinin düşüklüğünden dolayı ITAB bölgesinin oluşmamasıdır. Şekil 2.40 ve 2.41' de görüldüğü gibi kaynak öncesi ve kaynak sonrası durumda metal tane büyüklüğünde değişimler meydana gelmektedir. Bu da araştırmacıların elde ettiği verilerin ışığında birleştirme olan bölgenin sertliğinin ana metale göre az da olsa değişiklik gösterebileceği neticesini çıkartmaktadır [25].

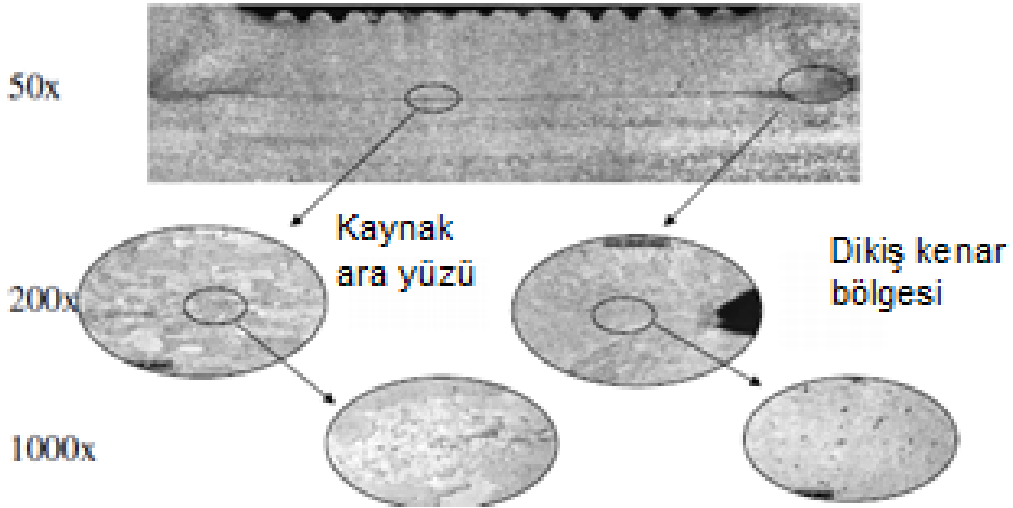


Şekil 2. 40 Kaynak öncesi parça yüzeyindeki yabancı maddeler (oksitler, yağ v.b) [10]



Şekil 2. 41 Kaynak arayüzü ve yapı içerisinde dağılmış kontamine malzemeler [10]

Kaynak öncesi durumda ana malzeme iri taneli mikro yapısal özellik gösterirken kaynak sonrası tane yapısında küçülme yani ince taneli yapıya dönüşüm mevcuttur. Bu durum kaynak sonrasında çok az da olsa bir miktar sertlik artışına neden olacaktır [25].



Şekil 2. 42 Kaynak sonrası birleşme ara yüzü ve komşu bölgeler [24]

Kaynak esnasında ergime olup olmadığı ve yaklaşık kaynak sıcaklığı ile ilgili denemelerde araştırmacılar kaynak ara yüzündeki sıcaklığın 70 °C'dan daha düşük olduğunu görmüşlerdir.

Bu da yöntemin fiziksel bir usul olduğunun açık göstergesidir. Ölçüm yapılan numuneler alüminyum ve bakır alaşımlarının kaynak örnekleridir.

Ultrasonik birleştirme işleminin açıklanmasıyla ilgili araştırmalar günümüzde de devam etmektedir. Jeneratör tarafından sağlanan güç, titreşim genliği, darbe süresi, parça yüzeyi ile ilgili değişkenler, parçaların şekil ve malzeme özellikleri ultrasonik birleştirmenin esası olan plastik deformasyonu önemli derecede etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin kaynak parçasına kontrolsüz şekilde etki etmesi işlem bölgesinde kırılmalara mikro- makro çatlaklar oluşmasına neden olur. Bu nedenle optimizasyon çok önemlidir.

Yukarıdaki açıklamaları kısaca özetleyecek olursak, literatürde ultrasonik kaynak ile ilgili metalografik incelemeler aşağıdaki gibi 3 kısımda toplanmaktadır.

2.7.1 Isıl Etki

Yapılan kapsamlı araştırmaların neticesinde ultrasonik kaynak prosesinin yukarıda açıklandığı gibi termal bir proses olmadığı sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı çalışma içerisinde, kaynak işleminde oluşan düşük miktardaki ısı artışının etkisi incelenmeyecektir. Ultrasonik kaynak yeniden kristalleşme ve ergiyik oluşumunun yaşanmadığı bir prosestir.

2.7.2 Kaynak Bölgesinde Plastik Deformasyon ve Sertlik Ölçümü

Literatür incelemelerinde görülmüştür ki, konu ile ilgili çalışan araştırmacılar, yöntemin ilk keşfedildiği dönemden bugüne kadar süreçte pek çok nicel gözlem yapmış olup hemen hemen benzer neticelerde uzlaşmışlardır. Baladin ince bakır levhalarda plastik akış yönünün kaynak dikişi etrafında 200 mikrometrelilik dolaylarında olduğunu elde etmiştir. Beyer alüminyum oksitin kaynak bölgesi içerisinde 20 mikrometrelilik kalınlığında bir alanda dağıldığını tespit etmiştir ve yukarıda tarif edilen ultrasonik kaynak operasyonu prosesini açıklamıştır. Chang ve Frich uygulamalarda 60 mikrometrelilik bir alanda deformasyon ile karşılaştıklarını kayıt altına almışlardır. Joshi denemelerinde alüminyum- bakır, bakır-bakır ve alüminyum- alüminyum birleştirmelerini gerçekleştirmiş ve mevcut denemelerde tüm kaynak yüzeyinde lokal deformasyonun meydana geldiği sonucuna ulaşmıştır.

Heyman'a göre plastik deformasyon ultrasonik kaynağın gereksinimidir ve kaynak işleminin oluşması için kesinlikle gerçekleşmesi gereken bir süreçtir.

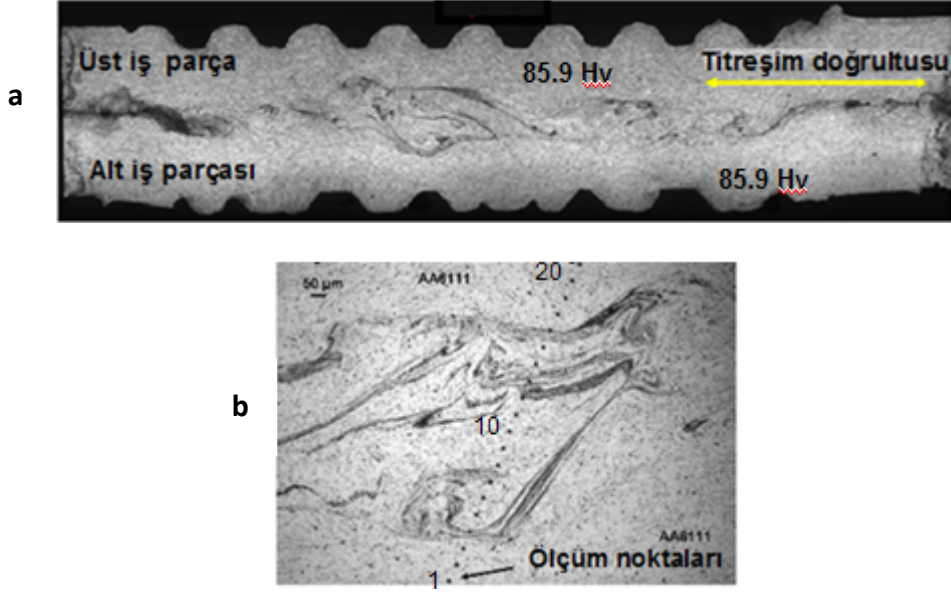
Bütün bu yorumlara bağlı olarak kaynak operasyonunda meydana gelen plastik deformasyon, enerji ve birleştirme için gerekli olan kuvvete bağlı olarak değişmektedir şeklinde değerlendirilebilir. Kaynak bölgesindeki sertlik ile ana metal sertliğinin ölçümü ile ilgili olarak araştırmacıların bulduğu nicel sonuçlar tartışmaya açıktır. Örnek verecek olursak, Beyer alüminyum- bakır kaynağında kaynak bölgesindeki sertlik artışının % 50-80, Heymann bakır- bakır uygulamalarında % 20-40, alüminyum- alüminyum denemelerinde ise %15-40 arasında değişim gösterdiğini ölçmüşlerdir [24].

Ford ve Sonobond Ultrasonic firmalarının otomotiv sektöründe kullanılan hafif metallerde uygulanan ultrasonik kaynak birleştirmeleri ile ilgili olarak ortak yaptığı çalışmada alüminyum ile denemeler yapılmıştır. Çizelge 2.1'de denemelerde kullanılan alüminyum alaşımlarının normları görülmektedir.

Çizelge 2. 2 Ultrasonik kaynak birleştirmelerinde kullanılan alüminyum alaşımları [24],

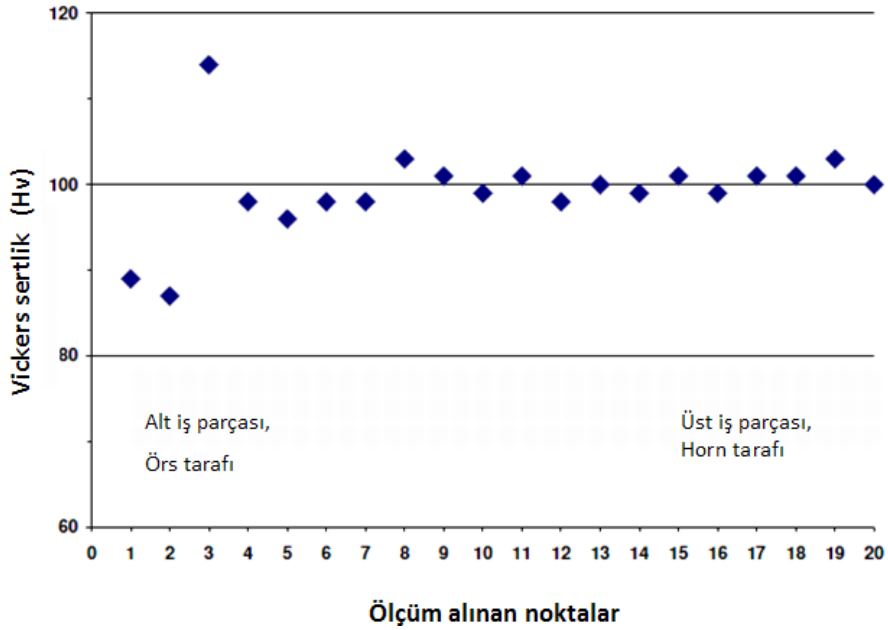
Alaşım	Kalınlık Ölçümleri (mm)
AA5182-O	0.9.- 3
AA5754-H111	1-3
AA6016-T4	1-1.5
AA6111-T4	0.9 – 2

Şekil 2.43'de AA6111-T4 alaşımının ultrasonik birleştirmesine ait mikro inceleme fotoğraflarında, kaynak ara yüzündeki mekanik karışma net olarak görülmektedir. Şekil 2.43- b 'de birleşmenin tam olduğu noktadaki malzemelerin katı olarak birbiri içerisine karışması net olarak görülebilir. Kaynak dikişinin üzerindeki sertlik değerlerinin ölçümü yine Şekil 2.43 b 'deki noktalar üzerinden alınmıştır.

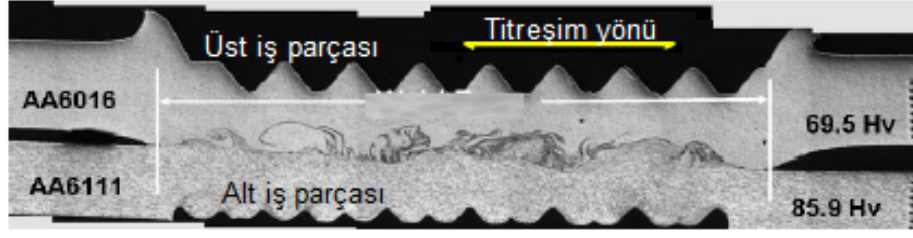


Şekil 2. 43 AA 6111 T4- AA6111 T4 alaşımlarının ultrasonik kaynağı [24]

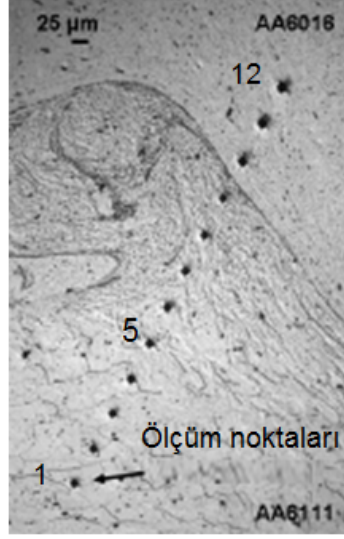
Şekil 2.43 a'da kaynak ara yüzü, b'de ise sertlik ölçümü yapılan noktalar gösterilmiştir. Şekil 2.44 'te AA6111 T4 - AA611 T4 kaynak işlemi sonrasında Şekil2.43 b' deki noktalar üzerindeki sertlik ölçümlerinin grafiksel dökümü görülmektedir. Elemanların kaynak öncesi nominal sertliği 85.9 Hv olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. 44 Kaynak ara yüzü kesitinde sertlik değişim grafiği [24]

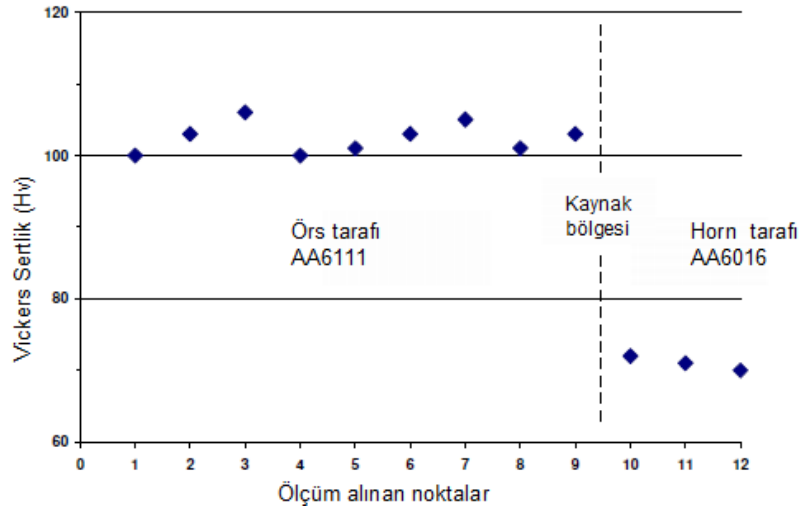


a) Kaynak arayüzü



b) Sertlik ölçümü yapılan noktalar [24]

Şekil 2. 45 AA6016 – AA 6111 alaşımlarının ultrasonik kaynağı

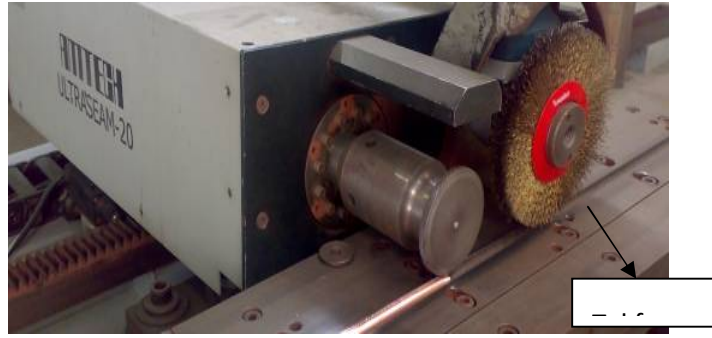


Şekil 2. 46 AA6016 – AA 6111 alaşımları kaynak kesit alanı sertlik ölçümleri [24]

Yukarıdaki verilerden de anlaşıldığı gibi alüminyum malzemelerin ultrasonik kaynak birleştirmelerinde kaynak sonrasında ara yüz üzerinde bir miktar sertlik artışı meydana gelmektedir. İleriki konularda değinileceği gibi bakır malzeme üzerinde yapılan incelemelerde kaynak bölgesinde bu miktarda bir sertlik artışı ölçülmemiştir.

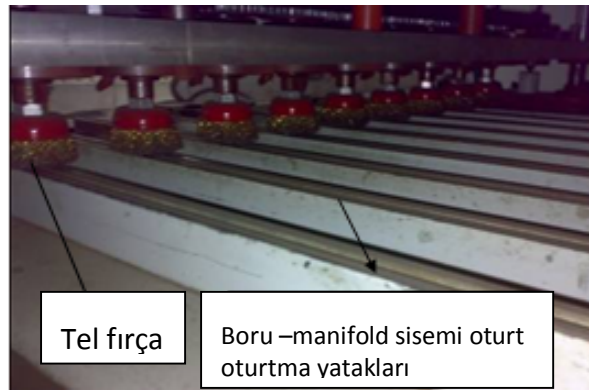
2.7.3 Malzeme İçerisine Dağılmış Kontamine Malzemeler (Oksit, Yağ v.b)

Genel olarak kabul edilen durum, ultrasonik kaynak sırasında yüzey oksitleri, yağ v.b kontamine malzemelerin dikiş yüzeyine dağılmasıdır. Bu kontamine malzemelerden alüminyum ana metal üzerinden gelebileceği gibi yağ ve diğer kontaminantlar taşıma alanları ya da bekletme sürecinde stoklar da oluşabilir. Hafif metallerin (alüminyum, bakır ve alaşımları v.b) hava ile temas ettiği anda doğrudan yüzey oksiti oluşturduğu bilinen bir durumdur. Bu oksitler genel itibarıyla 1–10 mikron kalınlığında bir film şeklinde belirirler. Özellikle sürekli dikiş kaynağı uygulamalarında tutunmayı artırmak için kaynak metallerinin elik tel fira ile temizlenmesinin nedeni bu durumdur. Böylelikle kaynak bölgesi oksit ve diğer atıklardan temizlenmiş ve ayrıca birleşme bölgesindeki oksit atıkları bir miktar bertaraf edilmiş olur.



şekil 2. 47 Kaynak ncesi döner elik tel fira ile temizleme işlemi

şekil 2.47’de temizleme işlemi görülmektedir. Döner tel düzenek tezgâh üzerine (horn arkasına) kuple edilebileceği gibi blok şeklindeki çoklu kaynak uygulamalarında ayrı bir tezgâh üzerinde de uygulanabilmektedir.



şekil 2. 48 Blok sistem için temizleme tezgâhı

2.8 Metallerde Ultrasonik Kaynak Edilebilirlik

Ultrasonik kaynak yöntemi ile farklı ve benzer özelliklerdeki malzemelerin birleştirme işlemleri verimli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Farklı kalınlıkların yanı sıra kaynak sistemi dizaynının el verdiği ölçüde farklı geometrilerdeki parçaların birleştirilmesi de kolaylıkla sağlanabilir. Kaynaklı birleştirme tekniklerinin tümünde kusursuz birleştirme için gereken şartlar tüm malzemeler için aynı değildir. Tatminkar bir kaynak kalitesi elde edilmesi için dizayn aşamasından uygulama aşamasına kadar geçen süreçte özel tedbirlere ihtiyaç duyulabilmektedir.

Ultrasonik kaynakta uygulama yapılacak metallerin seçilmesi çok önemli bir husustur ve önemli ölçüde malzeme bilgisi yanı sıra dizayn becerisi gerektirmektedir.

Kaynak için genel bir tanım olan sertlik özelliğinin kaynak edilebilirliği güçleştirilmesi ergitme kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ultrasonik kaynak yöntemi içinde geçerlidir. Sert olan malzemelerin birleştirilmesi yumuşak malzemelere göre daha güç, daha fazla enerji gerektiren bir işlemdir.

Yumuşak malzemelere örnek olarak, alüminyum, bakır, altın, gümüş gibi hafif metalleri verebiliriz. Sert metaller için ise refrakter alaşımlar olarak da adlandırabileceğimiz tungsten, molibden gibi sert malzemeler örnek olarak verilebilir. Uygun enerji ataması yapıldığı takdirde bu bahsedilen refrakter alaşımların da kaynağı problemsiz olarak gerçekleştirilmektedir.

Sertliğe ek olarak, yüzey üzerindeki pürüzlülükler, kaplamalar, oksit ve diğer kontamine atıklar doğrudan kaynak edilebilirliği etkileyen parametreler arasında gösterilmektedir.

Özellikle farklı malzemelerin birbiri ile birleştirilmesi işleminde yüzey özellikleri ve oksitler, malzemelerin kaynak ara yüzünde farklı özellikler göstermesine neden olabilir. Bu durum da doğrudan kaynak kalitesine etkileyen bir unsurdur.

Örnek vermek gerekirse alüminyum ve bakır ile yapılan kaynak denemelerinde alüminyum üzerinde oluşan oksit kolaylıkla kırılırken, bakır üzerindeki oksit tabakasının kırılması için daha yüksek enerji gerekmektedir. Bu nedenle farklı malzemelerin kaynağında parametrelerin optimizasyonu çok önemlidir [10].

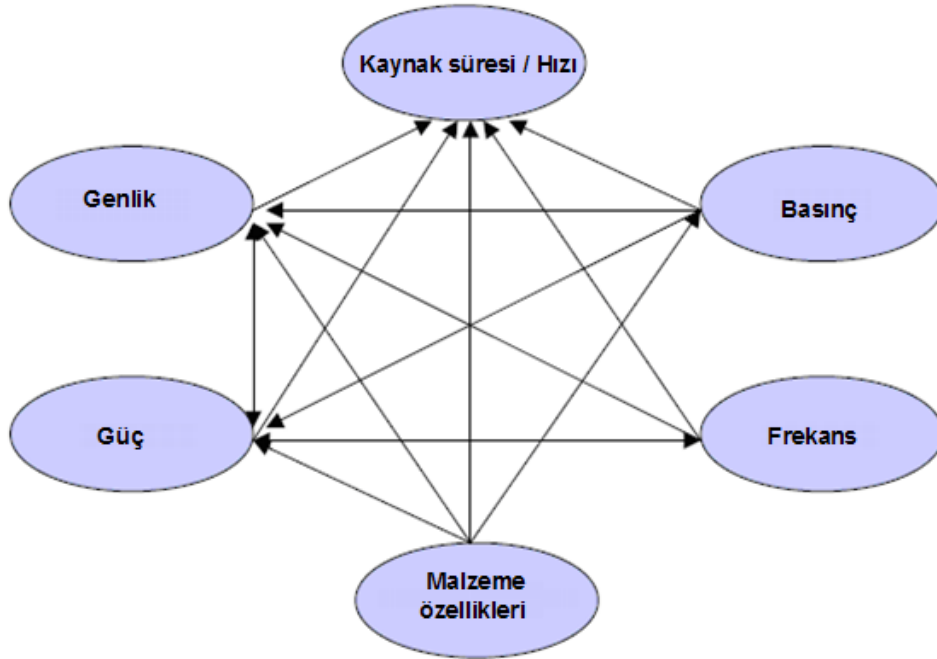
2.9 Ultrasonik Kaynak Değişkenleri

Yeni nesil kaynak yöntemlerinden olan ultrasonik kaynak yöntemiyle ilgili olarak deneyler ve optimizasyon çalışmaları sonrasında ortaya çıkan yorumların sonucunda yöntemin kalitesine ve verimliliğine etki eden temel parametreler ortaya çıkartılmıştır.

Gerek metal malzemelerde gerek termoplastik malzemelerin ultrasonik yöntem ile birleştirilmesinde istenilen bağlantının sağlanması, malzemeye aktarılan enerji miktarı ile orantılıdır. Bununla birlikte aktarılan enerji miktarını da belirleyen üç ana bileşen; basınç, genlik ve kaynak süresi (sürekli kaynak sistemlerinde kaynak hızı ile bağlantılı) olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenler birbirleri ile ters orantılı olarak enerji miktarını etkiler [9],.

Bu temel değişkenler '2.5 Ultrasonik Kaynak Mekanizması' bölümünde formülleri ile birlikte açıklanmıştır. Bu değişkenlerin yanı sıra şekil 2.49'da gösterilen hususlar da kaynak kalitesi için büyük önem arz etmektedir.

Bölüm 2.5'i tekrar hatırlayacak olursak, ultrasonik kaynağın 3 temel değişkeni basınç dolayısıyla kuvvet, güç ve zaman olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin tümü birleşerek enerjiyi oluştururlar. Güç, vibrasyonun genliğinin bir fonksiyonudur [9],[10], [23].



Şekil 2. 49 Ultrasonik kaynak değişkenleri

Temel değişkenlerin formül ve tanımları hatırlatma amaçlı olarak 2.5'te tanımlanan haliyle aşığıda tekrar verilmiştir.

Zaman (T); Ultrasonik vibrasyonun uygulanma süresi (Sn)

Amplitude (A) ; Titreşimin genliği (µm)

Kuvvet (F); Dik olarak uygulanan baskı kuvveti (N)

Uygulanan kuvvet; horn yüzey alanı ile basınç (hava basıncı) çarpımı sonucunda bulunur.

Güç (P); Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için makinenin sahip olması gereken etken güç miktarı (watt)

Enerji (E) : Titreşimi başlatmak ve sürdürmek için makinenin sahip olması gereken enerji miktarı (joule)

2.2 bağıntısında Güç → $P = F \times A$

2.4 bağıntısında Enerji → $E = P \times T$

2.9.1 Güç

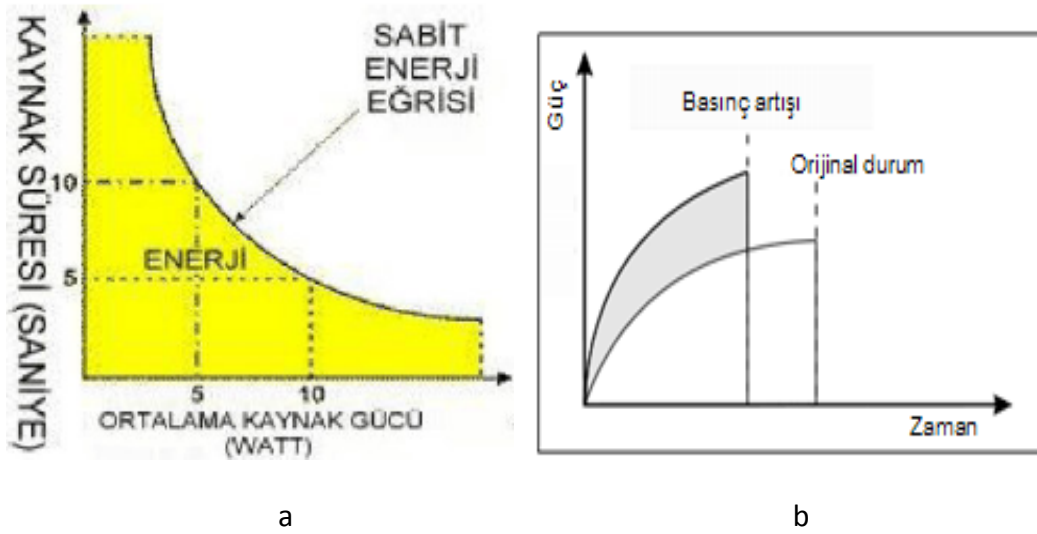
Dönüştürücü / güçlendirici / boynuzdan oluşan montaj kitinin çalışmasını, başlatmak ve sürdürmek için gerekli olan elektriksel güç jeneratörden sağlanmaktadır. Jeneratörler 2500–4000 watt arasında güç sağlayabilir. Operasyon sırasında mekanik yük, basınç, titreşim gibi değerliklerin artması kullanılan gücün de artmasına işaret etmektedir.

Güç ve zaman arasındaki ilişki şekil 2.50 a 'da grafiksel olarak verilmiştir. Burada güç arttıkça operasyon süresinin azaldığı net olarak görülmektedir. Fakat bunun da bir sınır değerinin olduğu ve malzemenin hasarına neden olabilecek girişimlerde bulunmadan önce gerekli optimizasyonun kesinlikle yapılması gerekmektedir.

Güç miktarındaki sürekli artış dolayısıyla genlik değişkenine ve titreşime bağlı olduğundan bir noktadan sonra malzemenin yırtılmasına, kaynak donanımında hasar oluşmasına neden olabilir.

Ayrıca burada bahsedilen zaman değişkeni, çalışmamızda inceleyeceğimiz sürekli ultrasonik kaynak makinesi için kaynak hızı olarak kabul edilecektir. Sürekli dikiş kaynak makinelerinde operasyonun süresi doğrudan ultrasonik kitin birim zamanda yapacağı dönme ve ilerleme hareketini gösterecektir.

Şekil 2.50 b’de açıklanan durum ise basınç dolayısıyla uygulama kuvvetindeki artışın sağlanan güç ve enerjiye etkisini göstermektedir. Basınç arttığı takdirde birim zamanda kaynak bölgesine aktarılan enerji artmaktadır.

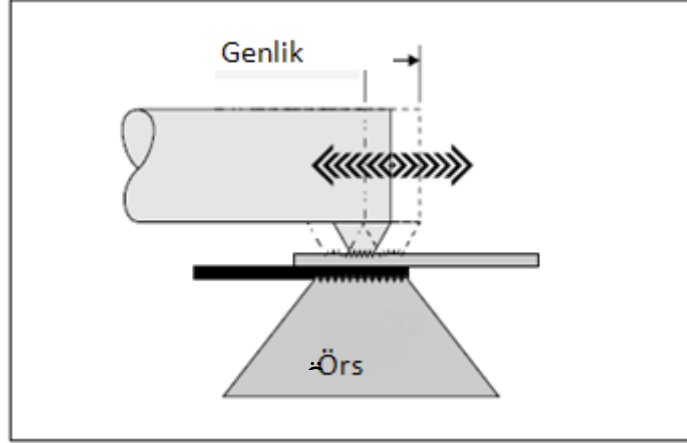


Şekil 2. 50 a) Güç – zaman arasındaki ilişki, b) Basınç-Güç-Zaman etkileşimi [9]

2.9.2 Uygulama Genliği (Amplitude)

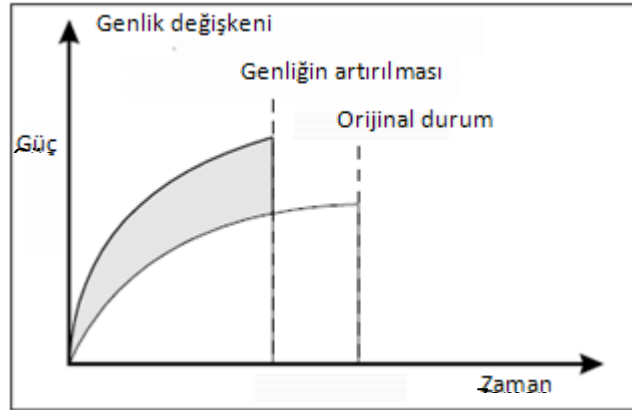
Ultrasonik kaynak işlemindeki en önemli parametrelerden bir tanesi titreşimin genliğidir. Mikrometre olarak ifade edilen ve malzemelerin akma dayanımları ile doğrudan alakalı olan bir parametredir. Yükseltici tarafından artırılarak ya da azaltılarak kaynak için en uygun değere getirilir. Ultrasonik kiti akustik rezonans cihazı olarak da ifade edebiliriz. Genlik titreşim esnasında boyuna genişleme ve tekrar kasılma hareketini ifade etmektedir. (Şekil 2.51)

Kaynak işleminde genlik değeri yükseltici tarafından ayarlanmaktadır. Dönüştürücüden çıkan titreşimlerin frekansı yüksek fakat genliği düşüktür. Yüksek frekanslı ve genlikli titreşimler sayesinde horn iş paçaları üzerine sürterek parçaların birbiri içerisinde difüze olmasını sağlar. Bu nedenle titreşimin genliği kaynak kalitesi açısından çok önemli bir parametredir.



Şekil 2. 51 Kaynak operasyonu esnasında genliğin gösterimi [9]

Genlik aynı zamanda doğrudan güç ve enerjiyi etkileyen bir büyüklüktür. Genlik arttığı takdirde formüle uygun olarak birim zamandaki kaynak gücü ve enerjisi de artmış olacaktır. Tabii ki genliğin kontrolsüz şekilde artırılması ile iş parçasına transfer edilen birleştirme enerjisi artacağı için gerek iş parçası üzerinde gerek ultrasonik kit üzerinde hasarlar meydana gelebilir. Dolayısıyla kaynak kalitesi de düşmüş olacaktır. Ters yönde de genliğin azalması demek kaynak birleştirmesinde nüfuziyet ya da parçaların birbirine tutunmaması problemlerini doğuracaktır [9].



Şekil 2. 52 Genlik –Güç ve Zaman etkileşimi [9]

Genliğin doğrulaması cihaz üzerinde iki şekilde yapılabilir. Bunlardan birincisi doğrudan kontrol paneli üzerindeki butonlardan genlik değerinin ayarlanmasıdır. Bir diğer yöntem ise dışarıdan sisteme kuple edilecek bir ölçüm cihazı ile hornun ucundan yapılacak manuel ölçümdür [9].

Genliğin ayarlanması hususunda dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi ideal genlik değerinin malzemedeki malzemeye farklılık göstermesidir. Bu durum karar aşamasının öncesinde kapsamlı bir deneme yanılma çalışmasının yapılmasını şart koşmaktadır.

Kaynak işlemi için uygun genliğin seçilmesinde aşağıdaki gibi basit bir formülasyon kullanılabilir;

Ab: Yükseltici genlik oranı (μm)

Ah: Horn genlik oranı (μm)

A: Sistemde kaynak için gerekli olan genlik oranı (μm)

$$A = Ab \times Ah \quad (2.10)$$

Elangovan &, K. Prakasan ve V. Jaiganesh bakır plakaların birbirleri ile kaynağında zaman-genlik ve basınç değişkenlerini irdeleyerek optimize etmişlerdir [14].

Tang Yong ve arkadaşlarına göre ultrasonik gücün sabit kaldığı bir durumda frekansın artırılması genliğin azalmasına neden olabilir [26].

Güneş kolektörü sistemlerinde olduğu gibi ince levhaların kaynak edildiği bir sistemde azalan genlik malzeme üzerindeki yorulma hasarının oluşma ihtimalini azaltacaktır fakat parça üzerinde yine alternatif gerilme yığılmaları bulunabilir.

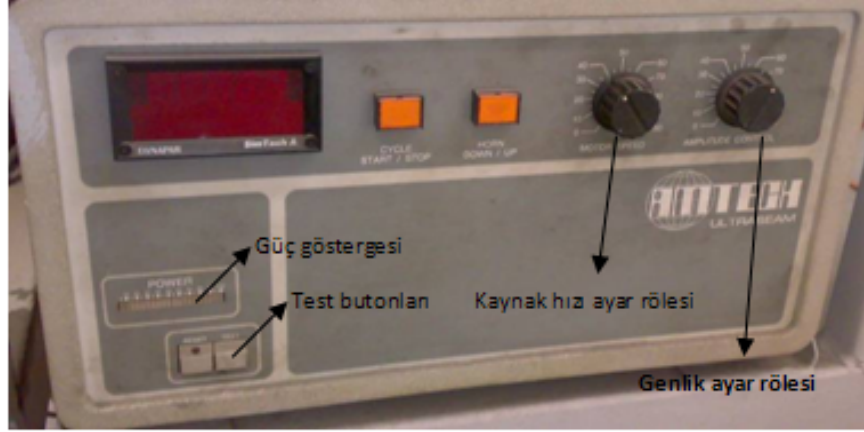
Frekansın artırılması ile birlikte, akustik sistem içerisindeki yüksek frekanslı titreşimin enerji kaybı artacaktır. Bu nedenle frekans ve genlik birbirine uygun olarak seçilmelidir.

Bu durum kullanılan iş parçalarının akma dayanımları ile doğrudan alakalıdır.

Akma dayanımı yüksek olan ince kesitli malzemeler ile yapılan uygulamalarda frekans yüksek olarak seçilmeli bunun yanı sıra genlik değeri oransal olarak daha düşük tutulmalıdır. Fakat güneş kolektörlerinde olduğu gibi bakır absorber- bakır boru birleştirmelerinde, bakırın akma dayanımının düşük olmasından dolayı frekans / genlik oranının düşük tutulması kaynak için herhangi bir olumsuzluk yaratmayacaktır [26].

Malzeme kalınlığının 0,16 – 0,20 mm olduğunu kabul edersek çok ince metallerin kaynağında bu nokta üzerinde optimizasyon yapılması verim ve kaliteyi olumlu olarak etkiler.

Bölüm5 içerisinde detaylı olarak incelenecek olan optimizasyon çalışması ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalarda güneş kolektörlerinde yapılan uygulamalarda 20 khz frekans, 16–20 mikrometre arası genlik değeri ideal şartlar olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2. 53 Amtech Ultraseam 20 D kontrol paneli

2.9.3 Uygulama Frekansı

Frekans veya titreşim sayısı bir olayın birim zaman (tipik olarak 1 saniye) içinde hangi sıklıkla, kaç defa tekrarlandığının ölçümüdür. Matematiksel ifadeyle 2.2 formülizasyonunda gösterildiği gibi periyodun çarpmaya göre tersidir. Ultrasonik kaynak işleminde, ultrasonik kit üzerindeki tüm elemanların titreşimlerinin eşitlenmesi durumu rezonans hali olarak adlandırılır.

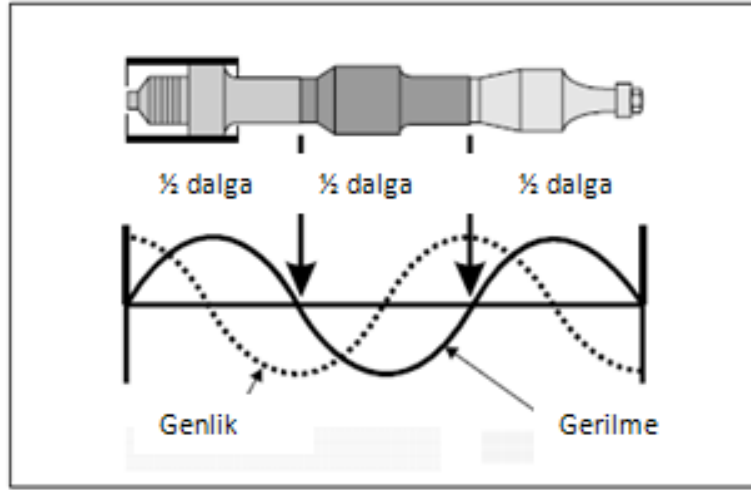
Operasyonun sağlanabilmesi için titreşim eşdeğerliğinin sağlanması gerekmektedir. Dönüştürücü üzerinde mekanik titreşim hareketine dönüşen yüksek frekanslı elektrik enerjisi sırasıyla yükseltici (genlik ayarlayıcı), horn üzerinden geçerek iş parçası üzerine aktarılmaktadır. Yani akustik dalga ultrasonik kit üzerinden parçaya transfer olmaktadır. (Şekil2.54)

Rezonans frekansı hornun naturel çalışma frekansı ile diğer iki faktöre bağlıdır.

Kit üzerindeki parçaların geometrik şekilleri ile ilgili konu, genliğin iş parçası üzerine transferi konusunda da dizayn iyileştirme örnekleri ile detaylı olarak açıklanmıştır.

Malzemeye doğru olan akustik hız

Genel olarak en sık tercih edilen kaynak makineleri için, 20–40 kHz büyüklüğünde frekans üretebilen sistemler tercih edilmektedir.



Şekil 2. 54 Ultrasonik kit kuplaj noktaları üzerinde genlik ve gerilme durumları [9]

2.9.4 Uygulama Basıncı

Basınç ultrasonik titreşimlerin iş parçası üzerine etkin şekilde aktarımı açısından yani kaynak kalitesine etki eden en önemli parametrelerden bir tanesidir. Üretilecek parçanın dizayn aşamasında teknik özelliklerin tümü göz önüne alınarak karar verilmesi gereken faktördür. Basınç değerinin yüksek seçilmesi ile kaynak işlemi kalitesi ya da diğer bir deyimle iki iş parçasının birbirine tutunması bir noktaya kadar artacaktır. Fakat belirli bir değer sonrasında malzemelerde hasar meydana gelmesi olasıdır. Bu nedenle diğer etken parametreler gibi malzemeden malzemeye farklılık gösteren ve optimize edilmesi gereken bir parametredir.

Şekil 2.47’de basınç- güç ve zaman arasındaki ilişki net olarak verilmiştir. Basıncın artırılması ile birim zamanda kaynak alanına etki eden iş- enerji miktarında artış olacak ve nominal duruma göre daha hızlı, daha sağlıklı bir kaynak dikişi elde edilmiş olacaktır. Fakat bu durumda kontrolsüz artışın kaynak karakteristiğini ve istikrarını bozacak durumlara sebebiyet vermemesine dikkat edilmelidir. Ayrıca gereğinden fazla kuvvet kullanılması dolayısıyla basıncın gereğinden fazla yüksek olması, enerji miktarının da artmasına ve üretim içerisinde gereksiz bir maliyet oluşmasına neden olacaktır.

Basınç hornun iş parçaları üzerine bastırılmasının yanı sıra özellikle sürekli dikiş kaynaklarında ikincil parçanın da örs üzerine sabitlenmesinde rol alır. Tesislerde sistem basıncı hava tesisatı hattından hava şartlandırıcısı vasıtasıyla kaynak makinesine taşınmaktadır. Kaynak makinesi içerisinde basınç mastarı, kaynak kuvvetini

ayarlayabilmek için regülatör ve kaynak kafasının parçaya yaklaşım hızını ayarlayabilmek için bir akış kontrol vanası bulunmaktadır.

Basıncın pnömatik silindirler yerine elektromanyetik kuvvet ile sağlandığı sistemler de uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip makineler genellikle küçük ve hassas parçaların kaynağında tercih edilir ve horn takımının parçaya yaklaşım hızının daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Ultrasonik kaynak genel olarak kolay şekillendirilebilen hafif metallerin kaynağında tercih edildiğinden dolayı sistemlerdeki basınç kaynağı genel olarak pnömatik silindirlerden sağlanır.

Kaynak kalitesinin istikrarlı olabilmesi için bu donanımların koruyucu ve önleyici bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekir. Böylelikle kaynak sisteminin teorik ömrüne yaklaşık bir kullanım süresi elde edilebilir [9], [26].



Şekil 2. 55 Sürekli dikiş kaynak makinesinde baskı uygulama yönü

2.9.5 Kaynak Hızı ve Baskı Süresi

Bir diğer önemli değişken parametre ise kaynak hızı ya da baskı süresidir. Diğer kaynak değişkenlerinde olduğu gibi yine malzemenin yapısına, kaynak basıncına ve genlik değerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu parametrenin kaynak yapılan parçalarda etkisi ise; iki kaynak parçasının belirli bir basınç altında belli bir süre bekletilerek, kaynak edilen parçaların tam olarak birbirine yaklaşması ve iki parça arasındaki boşlukların giderilerek birleştirmenin sağlanmasıdır.

Kaynak süresinin az veya çok olması, kaynak bölgesinde boynuzun ne kadar kalması gerektiğini ifade eder. Malzeme özelliklerine göre seçilen uygulama süresi gereğinden uzun olursa iş parçaları üzerinde deformasyon meydana gelebilir ya da tam tersi olarak bu sürenin olması gerekenden düşük tutulması durumunda ise istenen kaynak nitelikleri sağlanamadan kaynak tamamlanmış olur. Bu durum malzeme birleştirme hatalarına ve kaynak kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Baskı süresi yukarıda açıkladığımız gibi doğrudan kaynak hızına bağımlı bir değişkendir [9], [26].

Kısaca tekrarlayacak olursak basınç, genlik, kaynak hızı gibi kritik makine parametreleri belirlenirken uygulanacak malzemelerin tasarım özellikleri, teknik karakteristikleri göz önüne alınarak sağlıklı bir deneme yanılma sürecinden geçirilmeli ve optimize edilmelidir.

Parametrelerin gereksiz yere büyük seçilmesi kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği gibi iş parçası ve makine komponentleri üzerinde ömür kısalması, üretim zamanlarında kayıp, gereksiz hat durma kayıp süreleri v.b birbirinden farklı pek çok problem ile karşılaşılmasına neden olmaktadır.

Sürekli dikiş kaynağından örnek verecek olursak kullanılan makinelerin kaynak hızları ultrasonik kitin birim zamanda aldığı mesafe olarak aşağıdaki formülizasyon ile ifade edilir ve 2 -12 m/dk arasında değişmektedir. Bu parametrelerin birbirleri ve parçalar ile etkileşimi ileriki bölümlerde daha detaylı irdelenecektir [9].

X: Örs uzunluğu (m)

T: Süre(dk)

V: Hız (m/dk)

$$V= X / T \quad (2.11)$$

2.9.6 Malzeme Özellikleri

Ultrasonik kaynak işleminde etkin olan ve diğer parametrelerin seçiminde göz önüne alınması gereken malzeme iş parçaları ile ilgili parametreleri aşağıdaki şekilde gruplandırabiliriz. Ultrasonik kiti oluşturan dönüştürücü, yükseltici, horn ve örsün imalatında kullanılan malzemelere daha önceki konularda değinilmiştir.

Metalurjik ve mekanik özellikler

— Şekil değiştirebilme kabiliyeti, akma özellikleri

— Tane yapısı

— Sürtünme ve aşınma özellikleri

Kimyasal özellikler

—Alaşım elemanlarının etkisi

Kaynak edilebilirlik ve malzemelerin birbirleri ile uyumu

Parça geometrisi

Yüzey özellikleri

—Sertlik

—Temizlik

—Pürüzlülük

2.9.6.1 Metalurjik ve Mekanik Özellikler

Tasarım aşamasında dikkate alınması gereken, birleştirme kalitesini, konstrüksiyon güvenliğini, işlevselliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyebilecek olan bir parametredir. Genel tanım itibarıyla, dış kuvvetlerin etkisi altında değişik zorlamalar karşısında, malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve bu etkiler altında malzemenin gösterdiği dayanma gücü özelliklerine mekanik özellikler adı verilir. Mekanik özellikler ise bilindiği üzere metaller içerisinde bulunan alaşım elemanları ve diğer ek katışımlarla değiştirilebilir. Yani malzemeler için tanımlayıcı olan kimyasal ve mekanik özellikler birbirini tamamlayan iki faktördür.

Ultrasonik kaynak bir katı hal prosesidir ve operasyon sıcaklığı ergime sıcaklığından çok daha düşük tür.

Bazı metaller veya metal kombinasyonları, bir yöntemle kolayca kaynak edilebilirken diğerleriyle zor kaynak yapılır. Örneğin; paslanmaz çelik, çoğu ark ve direnç kaynak yöntemleriyle kolayca kaynak edilebilir ancak ultrasonik kaynak yöntemiyle kaynak edilmesi çok ince folyoları hariç tutarsak oldukça güç olup daha yüksek enerji gerektirir.

Dolayısıyla bu tip birleştirmelerin yapılacağı metaller bakır, alüminyum ya da gümüş gibi baskı altında kolay şekil değiştirebilen ve yeterli süneklikte olması gereken hafif metal malzemelerdir. Özgül ağırlığı $3,8 \text{ g/cm}^3$ 'ten küçük olan malzemeler hafif metaller grubuna girerler. Ultrasonik kaynak ile birleştirilen malzemeler çalışma esnasında üst düzey gerilimlere ve dinamik zorlamalara maruz kalmamasına rağmen mukavemet/ağırlık oranları da göz önüne alınmalıdır. Ultrasonik kaynak işleminde malzeme seçimi hususunda çizelge 2.2'de bulunan tablo kullanılabilir.

- Şekil değiştirme kabiliyeti, akma özellikleri; Ultrasonik kaynak basınç ve titreşim altında gerçekleştirilen bir katı hal prosesidir. Bu nedenle kaynak parametrelerinin malzemenin kopma, yırtılma gibi hasarlar olmadan şekil değiştirebilmesine yeter miktarda olması şarttır. Çizelge 2.2'den de anlaşılacağı gibi şekil değiştirme kabiliyeti yüksek, hafif metal malzemeler üzerine uygulamalar tercih edilmektedir.

- Tane yapısı; Tane yapısı küçüldükçe malzeme sertleşir ve şekil değiştirilmesi zorlaşır. Bu da işleme ya da kullanım esnasında hasarlara neden olan bir durumdur. Ayrıca daha önce belirtildiği gibi literatür araştırmalarında ultrasonik kaynak sonrasında, kaynak dikiş bölgesinde bir miktar sertlik artışı olduğu yani baskı altındaki şekil değişimi sonrasında tanelerin küçüldüğü sonucuna varılmıştır.

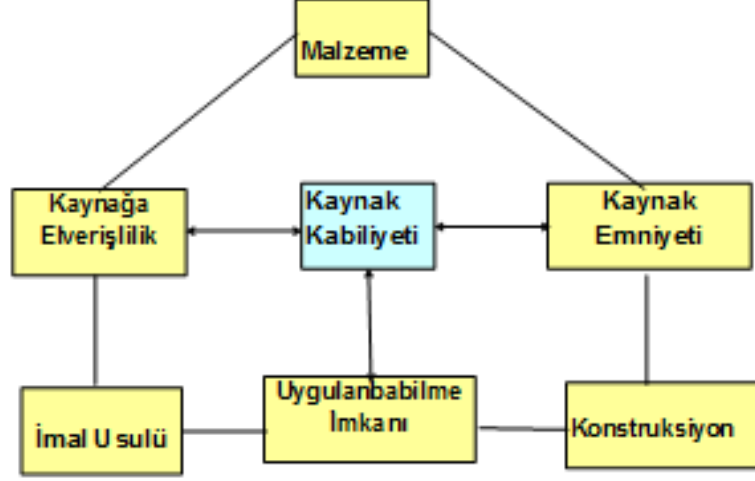
- Sürtünme ve aşınma özellikleri; İşlem esnasında ultrasonik kaynak kiti, iş parçası üzerine belirli bir baskı kuvveti, frekans ve genlik altında titreşim uygulanır. Metal malzemelerin birleştirilmesinde, horn titreşimi iş parçasına paralel olarak iletir. Bu esnada ortaya çıkan sürtünme kaynak yapılmasına olanak verecek seviyede olmamalı, gerek horn gerek iş parçası yüzeyine aşınma nedeniyle zarar vermemelidir.

2.9.6.2 Kimyasal Özellikler

Kimyasal ve mekanik özellikler birbirleriyle bağlantılıdır. Eğer iş parçası üzerinde alaşımlama yapılmışsa, bu alaşımlama sonucu değişkenlik gösteren kimyasal yapı malzeme dayanımını, kaynak edilebilme özelliklerini değiştirmeyecek şekilde olmalıdır. Şayet ultrasonik kit üzerindeki parçalar söz konusu ise, bu malzemelerin imalatı ve malzeme seçimi 2.4'te açıklandığı gibi olmalıdır.

2.9.6.3 Kaynak Edilebilirlik ve Malzemelerin Birbirleri ile Uyumu

Çizelge 2.2' de kaynak edilebilirlik ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Ek olarak klasik birleştirme yöntemleri için de kullandığımız Şekil 2.56'daki faktörleri belirtebiliriz.



Şekil 2. 56 Kaynak kabiliyetine etkiyen genel değişkenler

Birbirinden farklı iki metalin kaynağında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bu durumda imal edilecek parçanın çalışma ortamı da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin güneş kolektörlerinde bakır- bakır kaynağında hiçbir problem yaşanmamasına rağmen, alüminyum- bakır gibi eşleşmeler kaynak esnasında problem çıkartmamakta fakat uzun kullanım dönemleri sonrasında, bağlantı bölgelerinde korozyon yaşanmasına sebep olmaktadır. Burada yaşanan korozyon tipi özellikle nem ve sıcaklığın da etkisiyle meydana gelen galvanik korozyondur.

Tariflenen şekildeki durumlar ile karşılaşmamak için dizayn aşamasında malzemeler kaynak edilebilirlik özellikleri, galvanik sıralamadaki yerleri v.b faktörler göz önüne alınarak seçilmelidir.

2.9.6.4 Parça Geometrisi

Parça tasarımı aşamasında uygulanacak ultrasonik kaynak metodu, makine sınırlamaları göze alınarak çalışma yapıldığı takdirde üretim esnasında üretimden kaynaklanabilecek kısıtlamalar aşılmış olmaktadır.

Ultrasonik kaynak metodunun efektif olmadığı veya tercih edilmediği tasarımlardan karmaşık model ve geometrilerden kaçınmak gerekmektedir. Şayet dizayn sınırlaması aşılamıyorsa birleştirme metodu değiştirilmelidir.

Bu noktalar göze alınmadığı takdirde daha sonradan parça tasarımında yapılacak değişiklikler ekstradan kalıp ve malzeme maliyetlerine neden olacağından yöntemin efektifliği ile çelişen durumlara sebebiyet verebilir.

Kaynak Bölgesi Tasarımı, bir kaynak metodunun en önemli aşamasını oluşturmaktadır. Bir kaynak bölgesi tasarımında, hesaplamaların tamamen doğru yapılması, istenen kaliteye ve özelliğe göre bölge şeklinin doğru tasarlanması, ultrasonik kit ile parça temasının uygun şekilde sağlanması konularına dikkat edilmelidir.

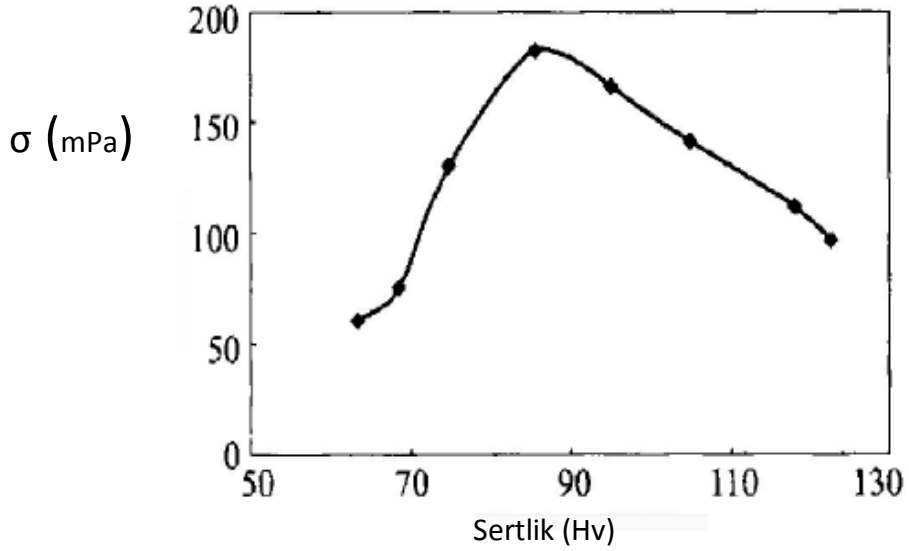
2.9.6.5 İş Parçası Yüzey Özellikleri

— Sertlik; İş parçasının yüksek sertlikte olması demek, ince taneli bir yapıya sahip olması ve şekil değiştirme kabiliyetinin az olması demektir.

Bu durum da işlem kalitesi açısından bazı riskler doğurabilir. Kaynak nüfuziyet hataları (malzemelerin birbirine tutunamaması), ultrasonik kitin özelliklerinin malzemeleri birleştirmek için yetersiz kalması, makine parametrelerinin (frekans, genlik, basınç) yetersizliği gibi durumlarla karşılaşılabılır. Ayrıca birleştirme için daha yüksek enerji yoğunluğuna ihtiyaç duyulur.

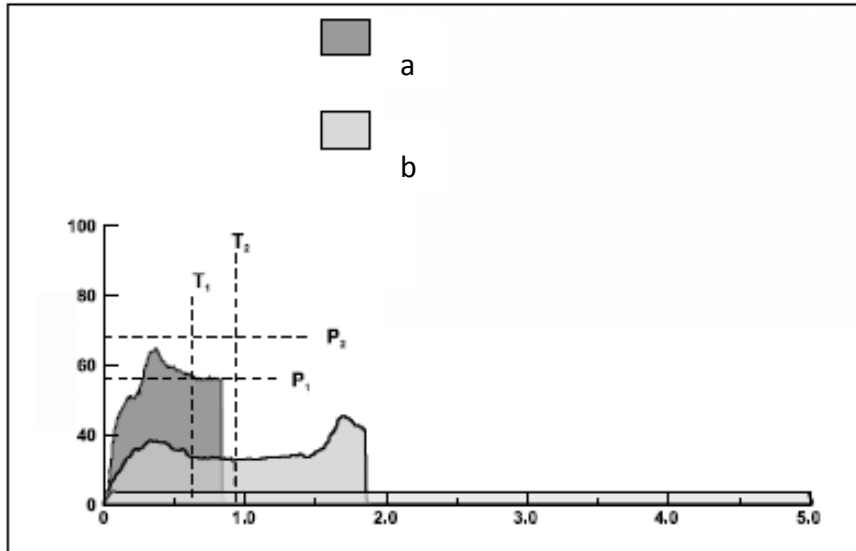
Birbirinden farklı geometrilerde aynı ya da farklı malzemelerin birleştirilmesi durumunda dikkat edilmesi gereken nokta ise parçaların sertliklerinin birbirinden çok farklı olmaması gerekliliğidir[26].

Literatürde ve pratik uygulamalarda görülen örneklerde, bakır, alüminyum gibi ultrasonik kaynak edilebilirliği iyi olan metal ve alaşımlarında sıklıkla tercih edilen sertlik aralığı 80–100 Hv aralığındadır. Şekil 2.57’te gerilme dayanımı ile sertlik arasındaki ilişki görülmektedir [26].



Şekil 2. 57 Sertlik ve kaynak bölgesinin gerilme dayanımı arasındaki ilişki [9]

— Temizlik; Daha önce izah edildiği gibi hafif metal malzemelerin üzerinde yağ, oksit ve diğer kontamine malzemeler bulunmaktadır. Bakır ve alüminyum gibi malzemeler oksijen afinitelerinin yüksek olmasından dolayı çok kısa zamanda yüzey oksiti oluştururlar. Kaynak işlemi sonrasında bu maddeler özellikle oksitler malzeme dokusu içerisine dağılırlar. Kontamine malzemelerin oranının yükselmesi kaynak uygulama esnasında özellikle güç ve enerji parametrelerinin yüksek tutulmasını gerektirir. Birleştirme için gerekli olan difüzyon ancak bu şekilde sağlanabilmektedir.



Şekil 2. 58 Kaynak işleminde yüzey temizliğinin güç – zaman dengesine etkisi [9]

Şekil 2.58 grafiğinde a ve b örneklerindeki durum aşağıdaki tanımlamalar ile izah edilebilir.

Temiz yüzeyli parçalarda gücün tepe noktasına (Peak Power) dağılımı ve süresi kısa kaynak verimi daha iyi. (Eğri altında kalan alan 1000j)

Kirli yüzeyli parçalarda gücün tepe noktasına (Peak Power) dağılımı ve süresi uzun kaynak verimi daha kötü. (Eğri altında kalan alan 1000j)

Otomasyon ya da sürekli dikiş uygulamalarında, temizleme işlemi operasyon zincirinin bir halkasıdır. Tek kanallı sürekli dikiş kaynağı uygulamalarında temizleme fırçası horn ile birlikte hareket eder ve aynı kit üzerine monte edilmiştir. Temizlik kitinin ayrı bir tezgâh olarak düzenlendiği sistemler de mevcuttur.

— Pürüzlülük: *Ultrasonik* kaynak öncesinde yüzeyin pürüzlendirilmesi bağlantının daha kaliteli olmasını sağlayacaktır. İlk plastik şekil değişimi pürüzlü yüzeyler üzerinden başlayarak iç kısımlara doğru ilerler. Horn üzerinde girinti çıkıntılarının bulunması ya da sürekli ultrasonik dikiş kaynaklarında yapılan kaynak öncesi temizleme operasyonunda, temizleme tezgâhının görevlerinden bir tanesi aynı zamanda yüzeyi de bir miktar pürüzlendirmektir. Yüzey pürüzlendirme yeter miktarda olduğu takdirde kaynak dayanımında artış, işlem süresinde kısalma ve düşük genlik ile çalışma gibi artılar gözlenmektedir.

2.10 Kaynak Parçalarının Hazırlanmasında Genel Dizayn Esasları

Diğer yöntemlerde olduğu gibi ultrasonik birleştirme tekniğinin de efektif kaynak yapılabilmesi için ön şartlardan birisi doğru kaynak parçası tasarımı yapmaktır. Kaynak parçası tasarımı türlerini ve bunları etkileyen faktörleri bilmek tasarımcıya daha nitelikli ürünler hazırlamasında ayrıca daha doğru yöntemlere yönelmesinde yardımcı olur. Ultrasonik kaynak yönteminin avantajlarından faydalanmak için doğru malzeme seçimi, doğru konstrüksiyon tercihi gibi seçimler detaylı incelemeler neticesinde ortaya çıkmaktadır [5].

Kastedilen değişkenler içerisinde en önemlileri aşağıdaki şekilde listeleyebiliriz [4].

- Kaynak parçalarının temas yüzeylerinin tasarımı
- Enerji gereksinimi ve buna uygun güç jeneratörü seçimi
- Metal malzemelerin cinsi ve yapısı

- Kaynak edilecek parçaların boyutları ve geometrisi
- Birleştirme yüzeylerinin çalışma şartlarına uygunluğu ve temizliği
- Kaynak parçalarının birleştirme yüzeyinden, ultrasonik kite olan mesafe
- Kaynak parçası, horn ve örsün doğru şekilde seçilmesi ve düzenlenmesi. Yani iş parçası ve ultrasonik kitin birbiriyle uyumu.
- Seçilen malzemelerin kaynak kabiliyetlerinin göz önüne alınması
- Ultrasonik kaynak özelliğini azaltan etkenlerden biri olan aşırı yumuşak malzemelerin, horn ve örs zarar verebileceğinin düşünülmesi
- Uygun horn tasarımı. Doğru malzeme ve geometrinin seçilmesi
- Uygun örs tasarımı
- Parçaların birleştirilmesi için gereken enerjinin, malzemeleri birleştirebilecek boyutta olması
- Parçanın yapısal bağ durumu ve hangi yüklere karşı mukavemet gösterebileceği
- Şayet gerekiyorsa sızdırmazlık özelliklerinin göz önüne alınması
- Malzemenin ekonomik ve kolay yoldan temin edilebilmesi
- Bitmiş ürünün kaynak çapağı ve estetik açıdan fiziki görünümü

Metal malzeme seçimi yaparken, farklı malzemelerin farklı kaynak özelliğine sahip oldukları unutulmamalıdır. Seçim ve tasarım kaynak yapılabilirlik konusunda en kritik faktörlerdendir. İş parçaları üzerinde imalat yöntemleri ile alakalı olan kusurlar bulunmamalıdır. Bunlar hem kaynak güvenliğini hem de konstrüksiyon ile ilgili özellikler için sıkıntı verebilecek durumlardır. Güneş kolektörlerinin kaynağında konstrüksiyon açısından yaşanabilecek tehditler detayları ile incelenecektir.

Kaynak yapılacak parçaların yüzeyleri arasındaki temas alanı, plastik şekil değiştirmeyi başlatmak ve tamamlamak için gerekli süreyi, enerjiyi azaltmak ve konsantrasyonu amacıyla küçük olmalıdır. Rijit ve sert parçalarda kaynak enerjisi, baskı kuvveti ve kaynak süresi daha yüksek olabilir.

Ultrasonik enerji keskin iç köşelerde malzemenin erimesine veya gerilme çatlmasına neden olan gerilme yığılmasına sebep olabilmektedir. Bunları önlemek için eğer birleştirme geçmeli şekilde tasarlanmışsa bütün köşe ve kenarlar yuvarlatılmalıdır. Enerji geçiş güzergâhındaki kıvrımlar, eğilimli yüzeyler ve açıklıklar mekanik titreşimlerin kaynak bölgesine iletimini azaltır veya tamamen önler. Parça tasarımı kaynak bölgesine üniform enerji dağılımını etkileyebileceğinden, enerji dağılımının homojenliği bu şekilde sağlanacaktır.

Parça tasarımında sık karşılaşılan hatalardan olan dirsek, payanda veya çivi şeklindeki çıkıntılı bölgeler kaynak süresince mekanik titreşim ve baskının da etkisiyle kırılabilir.

Kaynak yüzeylerinin horn yüzeyine paralel olması durumunda kaliteli kaynak yapılabilir, kaynak yüzeyi aynı düzlemde değil ise kaynak yüzeyinden horna olan mesafe farklılaştıkça kaynak kalitesi düşer.

Kaynak edilecek parçalar proses tamamlanıncaya kadar birbirine göre hareket etmeden durmalıdır. İnce folyoların kaynağında ideal mesafe 0,2mm dolaylarındadır.



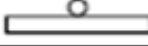



Ultrasonik kaynak parça tasarımının en kritik yönü kaynak tasarımı yani kaynak yapılacak parçaların karşılaşılan yüzeylerinin şeklidir. Kaynak tasarımı malzeme cinsi, parça geometrisi, makine ile işlenme ve kalıplanma kabiliyetleri ve estetik görünümü dikkate alınarak belirlenmektedir. İş parçası et kalınlıkları düşük ise doğru parametre optimizasyonu yapılmadığı takdirde kaynak süresince iç ve dış kuvvetler sebebiyle parçalarda ağır deformasyon oluşabilir.

Birleştirilecek iki parça da (alt ve üst iş parçaları) dış kuvvetleri dengeleyebilecek yapısal bütünlüğe ve rijitliğe sahip olmalıdır. Bu nedenle özellikle alt parçanın geometrisine uygun örs kullanılmalı, üst parçanın da kaynak düzlemine sabitlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.55' de bahsettiğimiz duruma uygun olarak seçilen kanallı örs ve piston sistemi görülmektedir [4], [5].

2.10.1 Metallerde En Sık Görülen Bağlantı Şekilleri

Metallerde en sık kullanılan bağlantı formları Çizelge 2.4' de gösterildiği şekildedir [31].

Çizelge 2. 4 Metallerde sıklıkla kullanılan bağlantı şekilleri [31]

Bağlantı Tipi	Açıklama
	İnce tellerin birbirleri ile kaynağı
	Tel ve plakadan oluşan köprüler
	Boru - plaka kaynakları
	Alın birleştirmeler
	T profil- levha bindirmeleri
	T parça boru birleştirmeleri

2.11 Ultrasonik Kaynak Kusurları

Ultrasonik kaynak yönteminde meydana gelen kaynak hataları parametreler ile ilgilidir. Parametreler ve etkileri 2.9' da detaylı olarak açıklanmıştır.

Kusurların önlenmesi için tüm parametreler kararlı deneme yanılma uygulamaları neticesinde optimize edilerek uygulamaya geçilmelidir. Kaynak kusurları kaynak tertibatı ile alakalı olduğu gibi, tasarım, malzeme ve operatör kaynaklı da olabilir.

Bu konu ile ilgili detaylı bilgiler 4. bölüm içerisinde güneş enerji sistemlerinde ultrasonik kaynak işlemleri konusunda verilecektir.

2.12 Ultrasonik Kaynak Avantaj ve Dezavantajları

Ultrasonik kaynak yönteminin geleneksel yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları aşağıda listelenmiştir.

—Avantajları

- Kaynak öncesi yüzey hazırlama işlemi ergitme kaynak usullerindeki kadar zahmetli değildir.
- Birbirinden farklı ergime derecesinde olan metallerin birleştirilmesine uygundur.
- Klasik yöntemlerde yaşanan pek çok problem ultrasonik kaynak yönteminde yoktur. İlave metal, gaz, elektrot gibi malzemeler kullanılmadığından bunların neden olabileceği kusurlardan uzaktır.
- Kaynak sonrası ek işleme gerek duyulmaz. Temiz bir dış görünüm elde edilir.
- İşlem sıcaklıkları ergime sıcaklığının çok altındadır. ITAB oluşmaz
- ITAB olmadığından dolayı yüzeyde kimyasal bir bozunma söz konusu değildir. Metaller esas özelliklerini yitirmez.
- Kaynak sonrasında ısı etkisiyle boyutsal distorsiyon meydana gelmez. Bu nedenle boyut hassasiyeti ve korunumu yöntemin önemli avantajlarından. Sünme görülmez.
- Gerek otomasyona uygunluğu gerek klasik yöntemlerdeki gibi ekstradan zaman kayıpları yaşanmadığından (soğuma, yüzey temizleme v.b) hızlı ve efektif bir yöntemdir.
- Otomasyona çok uygun bir yöntemdir, işlem standartizasyonu, kontrolü klasik kaynak yöntemlerine göre daha kolaydır.
- Bu yöntemle çok ince kesitli malzemeler ve teller problemsiz olarak birleştirilebilir.
- Yöntem seramik, cam, termoplastik, gibi kalıplanması ve birleştirilmesi zor olan malzemelerin kaynağını mümkün kılan bir birleştirme şeklidir.
- İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından klasik kaynak yöntemlerinden çok daha üstündür. Ultrasonik kaynak yönteminde ışın, duman, gaz gibi etkilerin hiç birisi yoktur.
- Kaynak makinelerinin çalıştırılma şekli basit olduğundan orta kalifikasyonda bir operatör dahi standarda yakın bir kaynak ortaya çıkartabilir ve makineyi kısa

zamanda tanıyarak yeterliliğini artırabilir. Özellikle yüksek hızlı sistemler için özel olarak dizayn edilmiş otomasyon uygulamalarda operatör inisiyatifi minimuma indirilmiştir [30].

— Dezavantajları

- Katı hal kaynak yöntemlerinin tümünde olduğu gibi ultrasonik kaynak yönteminde de ilk yatırım ve servis maliyetleri yüksektir.
- Hızlı ve seri üretim gereksinimi olan durumlarda tercih edilmelidir. Diğer alternatif yöntemlerle birleştirme olanağı olan dönemsel projelerde ultrasonik kaynak tercih edilmesi yatırım, amortisman süreleri göz önüne alındığında rekabet dezavantajı sağlayabilir.
- Malzeme kalınlığı ve geometri açısından klasik kaynak yöntemlerinden daha sınırlı bir birleştirme tekniğidir. Malzemeler için minimum et kalınlığı 0,1mm, verimli kaynak yapılabilecek maksimum et kalınlığı ise hafif metallerde (Al, Cu, Mg v.b) 2-3 mm, çelik gibi sert metallerde ise maksimum 1 mm dir.
- Dayanım değerleri hiçbir zaman klasik kaynak yöntemlerindeki değerlere ulaşamaz.
- Ultrasonik kaynak yönteminde birleştirme basınç altında olduğundan dolayı ekipmanlarda yorulma ve hasarlanma eğilimi vardır. Bu durumda ekipmanların periyodik olarak kontrolü ve önleyici bakım faaliyetlerinin kesinlikle yapılması gerekir.
- Yanlış dizayn neticesinde, basınç kaynak yöntemi olduğundan horn ve örs gibi malzemelerin iş parçasına kaynaması gibi durumlarla karşılaşılabilir.
- Standartlara geçmiş bir yöntem olmadığından laser kaynağında olduğu gibi bu kaynak yönteminde de parametrelerin optimizasyonu çok önemli olup, ciddiye alınması gereken bir deneme yanılma yöntemi ile kesinleştirilmelidir [30].

2.13 Ultrasonik Kaynağın Tercih Edildiği Sektörler

Ultrasonik kaynak yöntemi yaygınlaşmaya başladığı 1972 yılından günümüze kadar pek çok sektörde tercihen kullanılmaya başlamıştır.

Ultrasonik kaynak yöntemi uygulamalarının kullanıldığı sektörleri aşağıdaki gibi listeleyebiliriz.

- Enerji sektörü, ısıtma- soğutma (Bakır -Alüminyum saç metal panellerin birleştirilmesi, güneş panellerinde boruların saçlara kaynağı)
- Uzay ve havacılık sektörü (Cern büyük hadron çarpıştırıcısı ve NASA yöntemin önemli referansları olarak kabul edilir)
- Otomotiv(elektriksel donanımlar, aydınlatma düzenekleri v.b)
- Elektrik- elektronik sektörü
- Medikal sektörü
- Ambalaj sektörü
- Oyuncak üretimi
- Kozmetik
- Genel tekstil

Bilindiği gibi ultrasonik kaynak yöntemi metal haricinde termoplastikler, tekstil ürünleri, cam ve seramik gibi pek çok komponentin kaynağına olanak sağlamaktadır.

Çalışmamızda özellikle enerji sektöründe, metallerde uygulanan ultrasonik kaynağın kullanımı incelenecek olup bu süreç içerisinde ele alınacak güneş kolektörleri ile ilgili olarak yenilenebilir enerji kaynakları, kolektörlerin yapısı ve imalat metotlarına da değinilecektir.

.

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Genel Bakış

Günümüz dünyasında enerji ve enerji kaynakları hususu önemini günden güne artırmakta, yapılan araştırmalar neticesindeki bulgular tüm dikkatleri yenilenebilir enerji kaynakları üzerine odaklamaktadır. Özellikle Avrupa ülkelerinde elde edilmesi, depolama teknolojisi ve ekonomiklik açısından hem bireysel hem de kurumsal kullanımlarda çok fazla tercih edilen yenilenebilir kaynaklar 2000’li yılların ilk yarısından itibaren ülkemiz gündeminde de kendine yer bulmuştur. Bu talep ve araştırma artışının kök nedenlerinden bir diğeri ise petrol ve kömür rezervlerinin endişe verici şekilde azalması, yakın gelecekte karşılaşılabilecek potansiyel bir enerji krizidir.

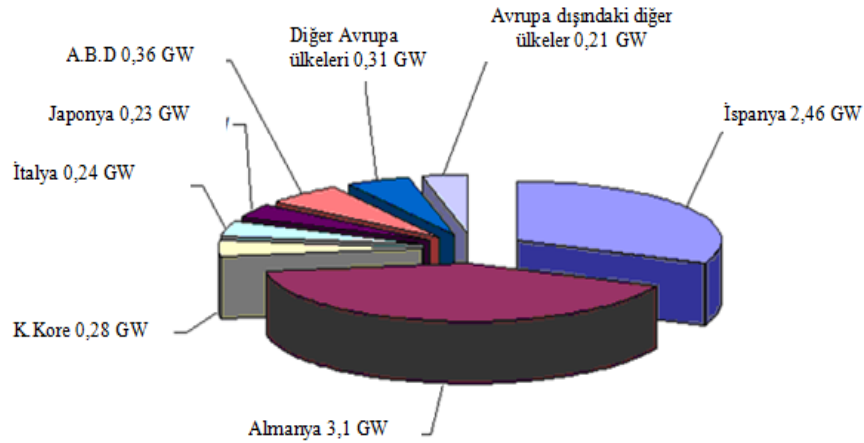
Yenilenebilir kaynakların en önemli avantajı tükenmez olması, konvansiyonel yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için yüksek boyutta bir tehdit oluşturmamasıdır. Alternatif enerji kaynaklarını, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, bio enerji, jeotermal enerji, hidro enerji ve gelgitlerden elde edilen okyanus enerjisi olarak gruplandırabiliriz.

Türkiye 'deki enerji profili gözden geçirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi açıkça görülmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük düzeydedir (%1 ve altında) ve bu enerji türleri ile yeterince ilgilenilmemektedir. Özellikle, güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımı, Türkiye 'nin enerji bütçesine ciddi katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir biçimde yararlanılması için gereken strateji, plan ve politikaların önemi giderek artmakta ve önemli boyutlara ulaşmaktadır.

Ayrıca bu mevzuat ile ilgili olarak yasal düzenleme ve teşvik sürecinin başlatılması için hazırlıklar yapılmaktadır. Ülke genelinde yıllık ortalama güneş enerjisi 1315 kWh/m² oranındadır. Buna göre Türkiye'nin tüm yüzeyine gelen enerji miktarı 1025·1012 kWh olmaktadır. Bu miktar Türkiye'nin 1996 yılında ürettiği toplam elektrik enerjisinin yaklaşık 11000 katına denk gelmektedir.

Dünya genelinde ise güneş enerjisi, ısı ve elektrik enerjisi dönüşümünde çok tercih edilen bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde güneş enerjisini etkin şekilde kullanan ülkelerin yıllık kazanımlarının grafiği görülmektedir.

Bu oranlarda Almanya da dâhil olmak üzere güneş kaynaklı enerji üretiminin çok büyük oranda katkısı mevcuttur.



Şekil 3. 1 Ülkeler bazında yıllık yenilenebilir enerji üretim miktarları [33]

Ülkemizde güneş enerjisi gerek doğrudan sıcak su elde edilmesi gerek ısıtma sistemlerine destek amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Son dönemde ise gerekli yasal düzenlemelerin de hazırlanmaya başlaması dikkatleri güneş pililerine çevirmiş ve araştırmaların odak noktası haline getirmiştir.

Bu süreç içerisinde geliştirilen yeni imalat yöntemleri ve alternatif malzemeler enerjinin maksimum ölçekte emilimini sağlayacak düzeye erişmiş ayrıca depolama ya da kullanım alanlarının kapsamını genişletmiştir. Bundan sonraki başlığımızda güneş kolektörlerinin imalat yöntemleri özet olarak izah edilecektir.

3.2 Güneş Kolektörleri ve Diğer Güneş Enerji Sistemleri

Güneş sahip olduğu yoğun ışınım potansiyeli ve ısı enerjisi ile uygun ekipmanlar dizayn edildiği takdirde tasvir edilemez bir enerji kaynağıdır. Güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin bir kısmı güneş enerjisini ışık ya da ısı enerjisi şeklinde direkt olarak kullanırken, diğer teknolojiler güneş enerjisinden elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır. Bunun sonucunda günümüzde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir kısmı direkt veya dolaylı yoldan güneşten sağlanmaktadır. Güneş ışınları aynı zamanda rüzgâr santralleri ve biomass tipi uygulamalar içinde hammadde niteliğindedir [33].

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesindeki en önemli etkenleri diğer enerji kaynaklarındaki rezervlerin hızla azalması ve olumsuz çevresel etkilerin günden güne artmasıdır.

Güneşin doğrudan enerji kaynağı olarak kullanıldığı sistemlerde kullanım amacı ısıtma-soğutma ve elektrik enerjisi üretimine yöneliktir. Bu tip sistemlerin yaygınlaşmasıyla, önümüzdeki ciddi tehditlerden biri olan sera gazı salınımı ve emisyon oluşumu minimize edilecektir.

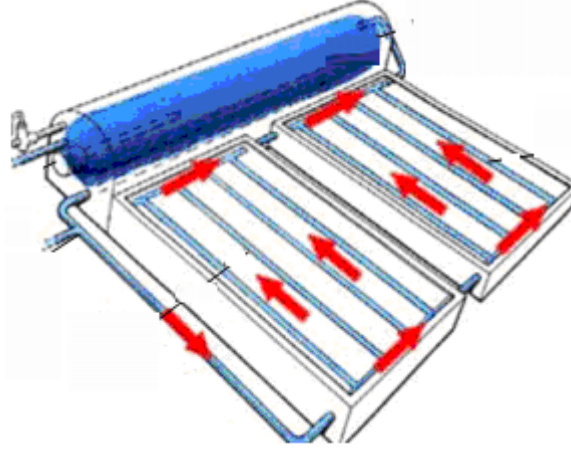
Güneş enerji sistemlerini, güneş kolektörleri, güneş santralleri, fotovoltelik modüller olarak gruplandırabiliriz. Ülkemizde en çok tercih edilen kullanım alanı ise su ısıtma sistemlerinde güneş kolektörü kullanımınıdır. Güneş enerji sistemlerini aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz.

Tez çalışması içerisinde birinci planda ele alınacak olan ve ultrasonik kaynak yöntemlerini üzerinde inceleyeceğimiz sistemler güneş kolektörü sistemleridir.

Düzlemsel yapıda olan bu sistemler, güneş enerjisini bir kısmını absorbe ederek bu enerjiyi ısı olarak kolektör içerisinde sıvıya iletmektedirler. Saydam örtü, soğurucu yüzey, akışkan taşıyan borular, ısı yalıtımı malzemeleri, contalar ve kolektör kasasından oluşmaktadır. Ayrıca son yıllarda tercih edilen vakum tüplü güneş kolektörlerinde ise tüpler içerisinde ısı iletkenliği yüksek olan gaz kullanılmaktadır. Isıl etki ile tüp ucundaki probun ısınması ve ısınıp depo içerisindeki suya aktarmasıyla sistem tamamlanmış olur.

3.2.1 Güneş Kolektörü Çalışma Sistemi

Isıtma sistemleri için tercih edilen güneş kolektörlerinde amaç, güneşten soğurma şeklinde ısı elde edilerek tutulması, sonrasında da bu ısının sırasıyla boru düzenekleri ve taşıyıcı akışkan vasıtasıyla doğrudan kullanılması ya da sisteme bağlanmış depo içerisindeki kullanım suyuna aktarılmasının sağlanmasıdır. Bireysel kullanım sistemlerinin yanı sıra, otellerde ve spor salonlarında karşılaştığımız gibi çoklu kullanım sistemleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri tabii dolaşimli sistemler, pompalı sistemler, açık ve kapalı sistemler şeklinde ayrılarak incelenebilir. Çalışmamızda detayları açıklanacak olan kapalı devre çalışan sistemlerdir [33].



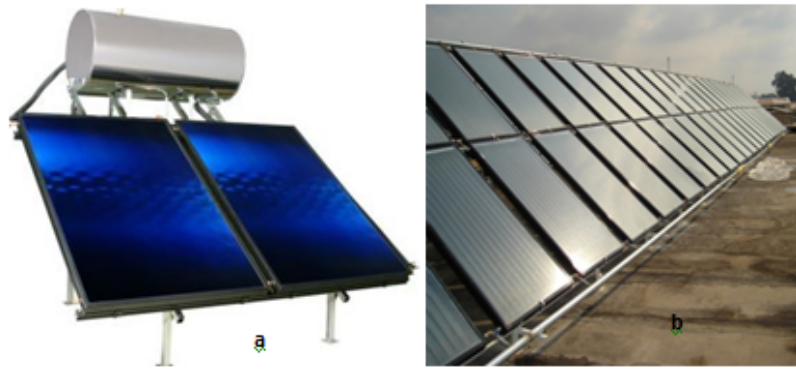
Şekil 3. 2 Güneş kolektörü sistemi (depo ve soğurucu) üzerinde su devinimi

a) Kapalı Sistemler; Kullanım suyu ile ısıtma suyunun farklı olduğu sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan su bir eşanjör vasıtasıyla ısısını kullanım suyuna aktarır. Donma, kireçlenme ve korozyona karşı çözüm olarak kullanılırlar. Maliyeti açık sistemlere göre daha yüksek verimleri ise eşanjör nedeniyle daha düşüktür.

Şekil 3.2'de kapalı sistemde, 1 noktası sistemin dolum noktasıdır. Buradan sisteme verilen su 3 ve 4 güzergâhını izler bu sırada soğurucunun tuttuğu ısı enerjisini transfer ederek ısınır. Bu noktadaki geçiş soğurucu ile 5 ile gösterilen bakır boruların arasındaki ultrasonik kaynak ve temas noktaları üzerinden olur. Daha sonra ısınmış su 6 girişiyle deponun ikinci katmanına giriş yapar. 7 numara ile gösterilen iç depoda ise soğuk olan şebeke suyu bulunmaktadır. 2 numaralı dış katman ile 7 numaralı iç depo arasında devinim yapan sıcak su 7 numaralı korozyona dayanıklı depo içerisindeki şebeke suyunu ısıtarak devinimini tamamlar [49], [50].

Bireysel kullanımda sıcak su için çift katmanlı depo, çoklu kullanımda ise iki serpantinli büyük hacimli akümülyasyon tankları kullanılmaktadır. Büyük tesis ve otel işletmelerinde sıcak su eldesi için, havuz ısıtması için ya da mevcut kazanlı ısıtma sistemine destek amacıyla bu tip uygulamalara sıklıkla rastlanmaktadır.

Gerek çift katmanlı depo gerek büyük hacimli su tankları korozyona dayanım ve hijyeni muhafaza etmek için titanyum takviyeli emaye ile kaplanmaktadır. Bunun yanı sıra paslanmaz depo kullanımı da tercih edilebilmektedir. Sıklıkla kullanılan galvanizleme metodu özellikle CE uyumsuzluğu nedeniyle yerini diğer koruma şekillerine bırakmıştır.



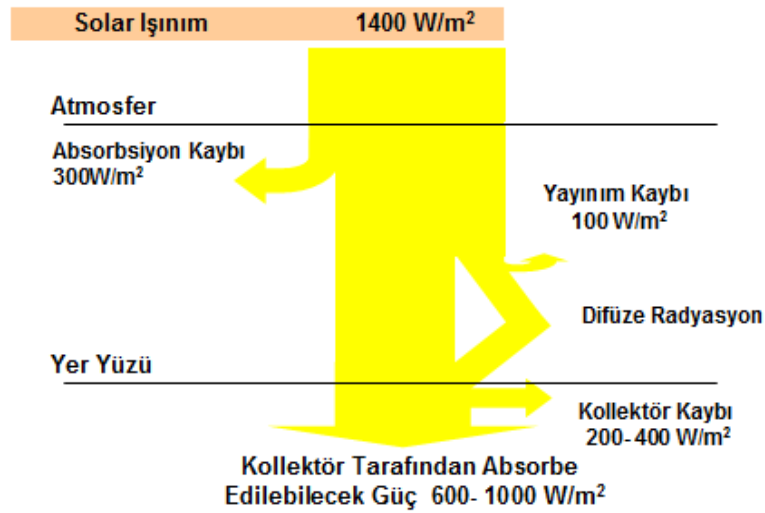
Şekil 3. 3 Kapalı sistem uygulaması; a) Bireysel, b) Kompleks uygulama

b) Açık Sistemler: Açık sistemler kullanım suyu ile kolektörlerde dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti düşüktür. Suyu kireçsizdir ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılır.

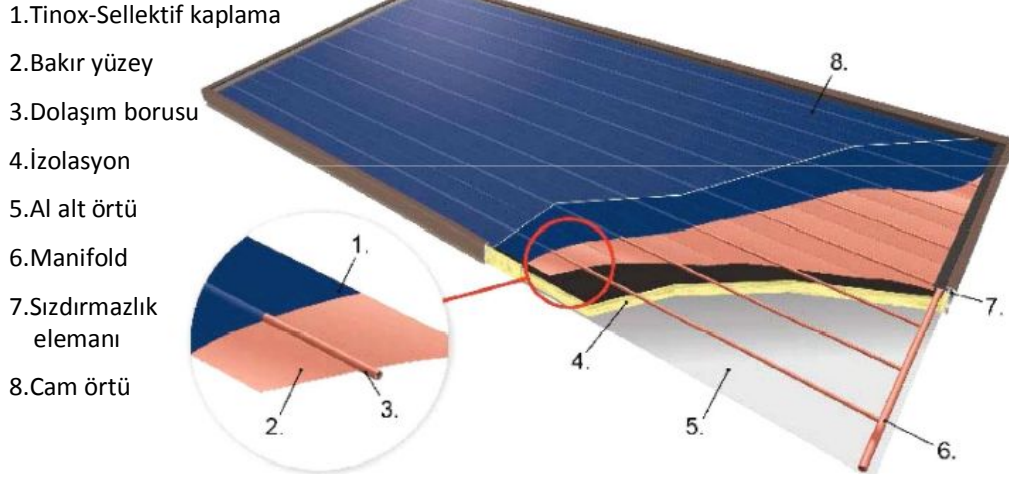
c) Tabii dolaşımli sistemler; Tabii dolaşımli sistemler ısı transfer akışkanının kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi özelliğine dayanmaktadır. Bu tür sistemlerde depo kolektörün üst seviyesinden en az 30 cm yukarıda olması gerekmektedir. Deponun alt seviyesinden alınan soğuk (ağır) su kolektörlerde ısınarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur. Tabii dolaşımli sistemler daha çok küçük miktarda su ihtiyaçları için uygulanır. Deponun yukarıda bulunması zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde uygulanamaz. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için pompalı sistemlere göre biraz daha ucuzdur [50].

b) Pompalı sistemler; Isı transfer akışkanının sistemde pompa ile dolaştırıldığı sistemlerdir. Deponun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde su

hatlarındaki direncin artması sonucu tabii dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulmasının zorluğu nedeniyle pompa kullanma zorunluluğu doğmuştur. Pompalı sistemler otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışırlar. Depo tabanına ve kolektör çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatın sensörleri; kolektörlerdeki suyun depodaki sudan 10°C daha sıcak olması durumunda pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3 °C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle işletilmesi tabii dolaşımli sistemlere göre daha zordur. Güneş kolektörlerinde çalışma esnasında güneş ışınlarının bir kısmı cam örtüden yansır, bir kısmı da cam örtüden içeriye salınır. Burada cam örtü olarak farklı dayanım ve yansıtma özelliklerine sahip camlar kullanılır ve kolektörün doğrudan güneş tarafına bakan yüzünü kaplar. Gelen ışınların soğurucu yüzeye ulaşması (absorber) ile yutucu yüzeyin imalat ve kaplama özelliğine göre değişik oranlarda absorbe edilir. Absorbe edilen enerji, dolaşım ve bunların içerisinde kapalı devre olarak dolaşan taşıyıcı akışkan yardımı ile depoya gönderilir. Çevrim esnasındaki kayıplar ve elde edilen güç miktarı Şekil 3.4' te şematize edilmiştir.



Şekil 3. 4 Kollektör çalışması esnasında yüzeydeki kayıplar ve toplam net güç [33]
Güneş kolektörlerinin çalışma sistemi içerisinde fonksiyonel özelliklere haiz temel bileşenleri Şekil 3.5 'te görülmektedir.



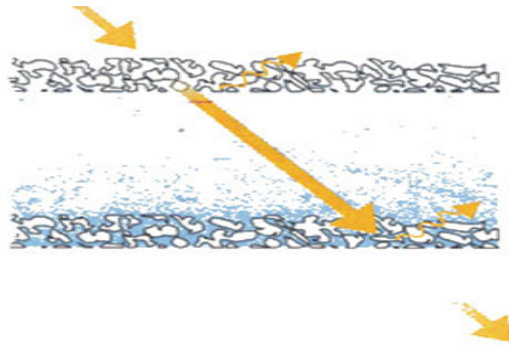
Şekil 3. 5 Güneş kolektörü temel bileşenleri [33]

3.2.2 Güneş Kolektörü Bileşenleri

Şekil 3.5’de görülen güneş kolektörü bileşenleri ve depolama tankları ile ilgili bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

3.2.2.1 Cam Örtü

Cam örtünün birincil görevi soğurucu yüzeyi dış etkilerden korumak ve ısı kaybını önlemektir. Genellikle camdan oluşan bu yüzey, yeterli miktarda geçirgen olup güneş ışınlarını gereğinden fazla kırarak enerji kaybına neden olmayacak kristalize yapıda olmalıdır. Demiroksit oranı düşük olan camlar ısı geçirgenlik olarak oldukça verimlidir. Temperlenmiş halde bulunan bu camlar, darbe, ısı şok ve yağmur etkilerine karşı dayanıklıdır. Şekil 3.6’ da kullanılan cam örtünün tane yapısı ve geçirgenlik durumu görülmektedir [33], [50].



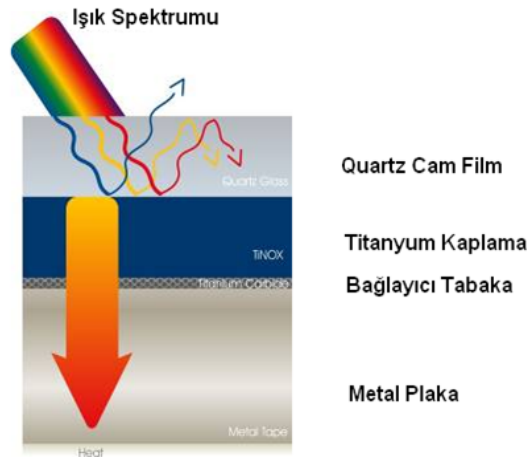
Şekil 3. 6 Güneş kolektörü cam örtü [33]

3.2.2.2 Soğurucu (Absorber)

Soğurucular farklı üretim şekilleriyle imal edilmektedir. Önceleri bakır ya da alüminyum plakaların siyaha boyanmasıyla elde edilen soğurucular, gelişen sektör ve verim faktörünün ön plana çıkmasıyla çeşitli metal buhar kaplama yöntemleriyle imal edilmeye başlanmıştır. Bölüm 4’ te tekrar incelemeye alacağımız güneş enerji sistemlerinde ultrasonik kaynak yöntemi konusunda da göreceğimiz gibi kaynak soğurucu ve bakır boru seti (harp) arasında uygulanmaktadır.

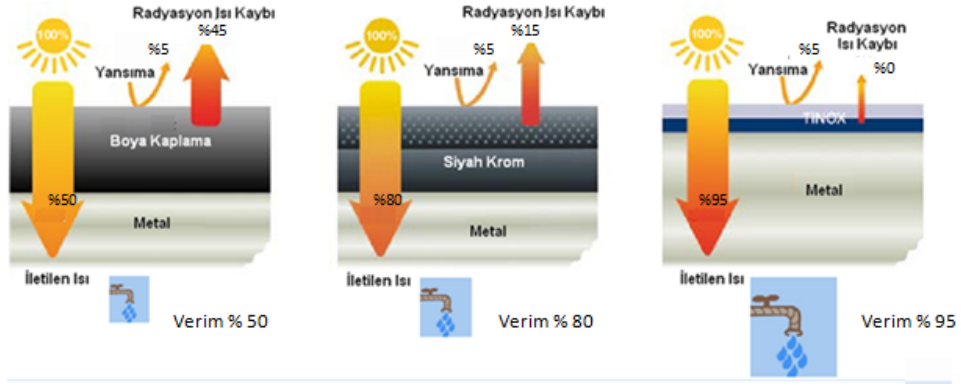
Soğurucu yüzeyleri güneşten gelen ışığın içerisindeki değişik renkleri tam olarak absorbe eder. Bu sırada yansıyan ışınımın büyük bir kısmı yansımaya önleyici tabaka tarafından soğurucuya geri gönderilir. Titanyum kaplanarak (sellektif kaplama) imal edilen soğurucular sadece mavi rengin çok küçük bir kısmını yansıtır. Bu nedenle plaka kaplaması ışığa tutulduğunda mavi olarak görünür.

Soğurulmuş ısı özel bir bağlayıcı tabaka ile metale aktarılır. Sellektif yüzeyin verimi Almanya’da bulunan ‘ Fraunhofer - Instituts für Solare Energiesysteme - Güneş Enerjisi Teknolojileri Enstitüsünde’ test edilerek belgelendirilmiştir.



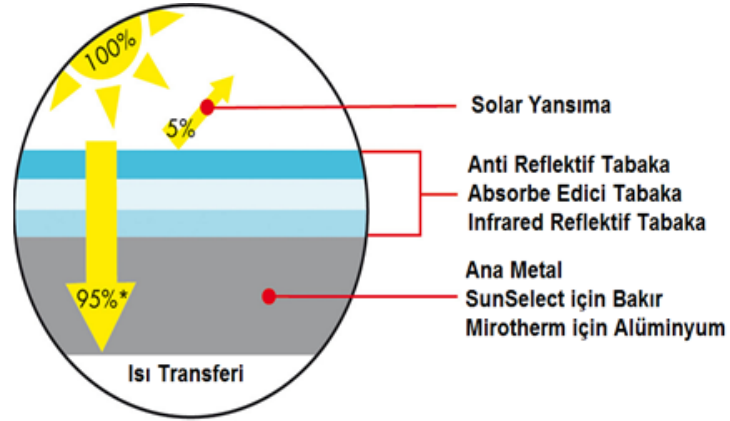
Şekil 3. 7 Soğurucu yüzey yapısı [51],

Girişte de bahsi olunduğu gibi siyah boya kaplamalı ya da krom kaplamalı eski nesil soğuruculardan farklı olarak sellektif kaplamalı soğurucularda güneşten gelen radyasyon ısı maksimum verimde soğurulur ve enerji maksimum verimlilikte plakaya dolayısıyla akışkana aktarılır.



Şekil 3. 8 Farklı soğurucu tiplerinin verim kıyaslaması [33]

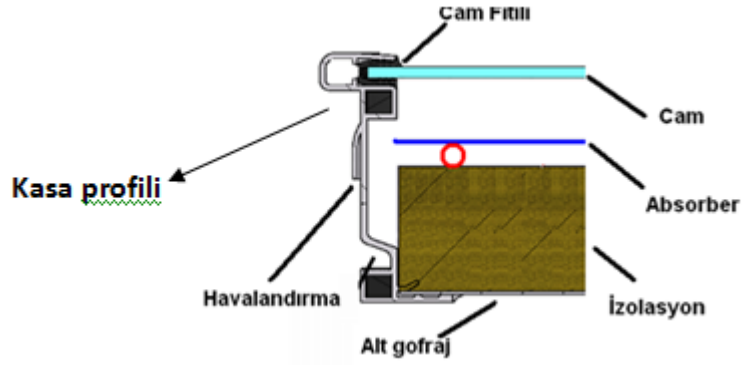
%95 soğurma verimi elde edilen sistemde metal buharı yöntemi ile 3 katmanlı kaplama uygulaması bulunmaktadır. Sunselect ve Mirotherm adı verilen bu soğurucular gerek fotovoltaik modüller gerek kolektörlerde en sık tercih edilen soğurucu tipleridir. Radyasyon kayıpları ortadan kaldırılmış genel soğurma verimleri bu nedenle artış göstermiştir. Yüzeyler üzerine form verilerek güneş temas yüzeyinin artırıldığı uygulamalar da mevcuttur.



Şekil 3. 9 Mirotherm ve Sunselect soğurucuların ışınım tutma döngüsü [33]

3.2.2.3 Kasa Profili

Korozyona karşı dirençli ve fiziksel etkilere dayanıklı olmalıdır. Plastik ya da çelik profil şeklindeki uygulamalara da rastlanmaktadır. Montaj edilen tüm kolektör bileşenlerinin desteklenmesi, taşınması ve bağlantı en önemli görevlerindedir. Kasa, yalıtkanın ıslanmasını önleyecek biçimde dizayn edilmelidir. Özellikle kolektör giriş ve çıkışlarında kasanın tam sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Kasanın her yanı 100 kg/m² (981 Pa=N/m²) basınca dayanıklı olmalıdır (TSE-3680).

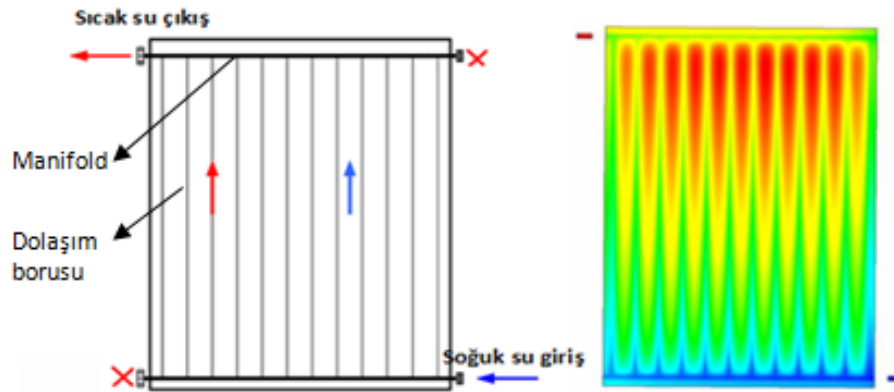


Şekil 3. 10 Kasa profili [33]

3.2.2.4 Kollektör Harp Sistemi (Dolaşım Boruları)

Bakır ya da alüminyumdan oluşan taşıyıcı akışkanın içerisinde gezdiği kapalı devre dolaşım sistemidir. Soğurucu ile borular yapıştırma, kaynak ya da mekanik olarak (geçmeli) şekillerde birleştirilir. Son dönemde harp sisteminden farklı olarak olarak meander tip ve önceki dönemlerde buz dolabı evaporatörlerinde kullanılan roll bond sisteminin tercih edildiği uygulamalarda rastlanmaya başlanmıştır.

Kaynak yöntemleri içerisinde en sık kullanılan yöntem inceleme konumuz olan ultrasonik kaynak yöntemidir. Bunun dışında laser kaynak uygulamaları, geçmeli bağlantı şeklinde kaynaklı birleştirmeler, yapıştırma ve tig kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kullanılmaktadır. Harp sistemi her zaman dikdörtgenel şekilde değildir, soğurucuyu helisel şekilde kat eden dolaşım borusu sistemleri de bulunmaktadır. Güneş kolektörü imalatı bölümünde harp – manifold birleştirmelerine değinilecektir. Bakır boru- manifold bağlantılarında kullanılan birleştirme yöntemi oksij ya da oksii asetilen kaynağı uygulamalarıdır [33].

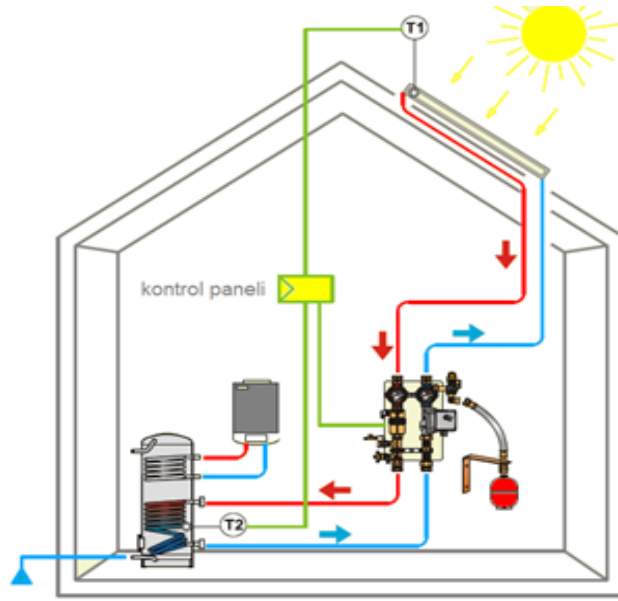


Şekil 3. 11 Kollektör harp ve çalışma esnasındaki ısı yüklenme durumu [33]

Sisteme alınan su ile bu harp sistemi arasında oluşan ısı transferi ile ısınır ve kapalı devre sistem olarak depoya aktarılır.

3.2.2.5 Kollektör Deposu –Su Tankı

Bireysel kullanım için su deposu olarak silindirik basınçlı kap kategorisine giren çoğunlukla gaz altı kaynağı ile birleştirilmiş 316 kalite paslanmaz ya da St 37 çelikten çift katmanlı depolar en çok tercih edilen depo tipleridir. Çoklu kullanımda ise kolektörler çift serpantinli bir boylere bağlıdır ve dolaşım borularında gezinen ısınmış su resistans görevi gören serpantinlerin içerisinden geçerek boyler içerisindeki kullanım suyunu ısıtır.



Şekil 3. 12 Boyler- Güneş kolektörü tesisat gösterimi [50],

Şekil 3.12’de çift serpantinli boyler- güneş kolektörü sistemi örnek olarak verilmiştir. Resimde a ile gösterilen parça kazan, termosifon ya da duvar tipi kazan (kombi) olabilir.

3.2.2.6 Kollektör İzolasyonu ve Alüminyum Örtü

İzolasyon malzemesi olarak cam yünü veya kaya yünü kullanılmaktadır. Kullanım esnasında yağışmayı tam anlamıyla kesmek için kaya yünü kullanımı daha uygundur.

En yüksek verimin alındığı kolektör örnekleri göz önüne alınarak optimize edildiğinde yalıtım malzemesinin özellikleri, 45 kg/m³ yoğunluk, 0,035 W/mK ısıl iletkenlik, 40 mm kalınlıktadır. Soğurucu plaka sıcaklığı, kolektörün boş kalması durumunda 150 °C’a

kadar ısınması nedeniyle kullanılacak olan yalıtım malzemesinin sıcak yalıtım malzemesi olması gerekmektedir.

Alüminyum alt örtü kolektörü arka taraftan sararak uçlardan profile monte edilir. Sisteme arka cepheden rijitlik ve sızdırmazlık sağlar. Soğurucu- boru seti ile alüminyum alt örtü arasına yalıtım malzemesi yerleştirilerek ısı kaybı minimuma indirilmektedir.

3.2.3 Kolektör Enerji Dengesi ve Çalışma Veriminin Hesaplanması

Kolektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yine saydam örtüde yutulur ve geri kalan kısmı absorban plakaya (yutucu yüzeye) ulaşır. Soğurucu plakaya gelen enerjinin, bir kısmı ısı taşıyıcı akışkana geçerken bir kısmı soğurucu plakada depolanır, geri kalan kısmı ışınım, taşınım, ve iletimle çevreye gider [50]. Qk: Işınım taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı

Qd: Depolanan enerji

Qf: Akışkana geçen enerji olmak üzere, düzlemsel kolektörler için enerji dengesi aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$I.A.(\tau\alpha)=Q_f+Q_k+Q_d \quad (3.1)$$

Burada $(\tau\alpha)$ kolektör yutma- geçirme çarpımı, I kolektör üzerine gelen güneş enerjisi ve A faydalı yüzey alanı olmak üzere $I.A.(\tau.\alpha)$ çarpımı absorban plaka üzerine gelen güneş enerjisini verir.

Kolektör verimi ise ısı taşıyıcı akışkanda toplanan güneş enerjisinin, kolektöre gelen güneş enerjisine oranıdır. Kolektör giriş suyu sıcaklığı arttıkça verim düşme eğiliminde olacağından genel bir verim yerine anlık verimden yani verim eğrisinden bahsetmek daha doğru olacaktır. Kolektör verimi ısı taşıyıcı akışkanın giriş, çıkış sıcaklıkları ve debi değerlerinin sağlıklı ölçülebildiği durumlarda ve en önemlisi çevre sıcaklığının sabit olduğu durumlarda aşağıdaki şekilde verilir. Burada K kolektör ısı kayıp katsayısıdır.

$$\eta=(\tau \times \alpha)-K \times (T_{ort}-T_{\text{çev}}) / I \quad (3.2)$$

Düzlemsel kolektörlerde çevreye olan ısı kaybı kolektörlerin üst alt ve yan yüzeylerinden olmaktadır [33], [50]. .

$$K= K\ddot{u}st + Kalt + Kyan \quad (3.3)$$

Kolektörlerde soğurucu ile akışkan arasındaki ısı transferinde kaynak noktaları çok önemlidir. Bu yüzden deneysel çalışmadaki optimum parametrelerimiz E.İ.E (Elektrik işleri etüd idaresi) tarafından yapılan verim testlerinde alınan neticelere göre seçilmiştir.

3.2.4 Diğer Güneş Enerji Sistemleri

3.2.4.1 Güneş Santralleri

Günümüzde termik santrallerde fosil kaynaklı yakıtlar kullanılarak büyük kazanlardaki su ısıtılmakta ve oluşan buharın da jeneratöre bağlı türbinleri çevirmesi ile elektrik enerjisi elde edilmektedir. Temel olarak 3 çeşit olan bu santraller, parabolik yüzeyle santraller (eğimli aynalardan oluşan santraller), tabak şekilli sistemler (çok büyük merkezi bir çukur aynadan oluşan santrallerdir), güç kuleleri (aynalardan oluşan ve merkezi bir kuleye ışınların odaklanması sağlanan sistemler)dir. Diğer ülkelerde enerji üretiminde çok tercih edilen güneş santrallerinin kullanımına ülkemizde henüz geçilmemiştir.

3.2.4.2 Pasif Güneş Enerji Sistemleri

Mekân ısıtmasında kullanılmaktadır, ülkemizde kullanımı yoktur. Özellikle güneşlenme oranı yüksek olan ülkelerde evlerin dış cephe ve çatılarında kullanılan pasif sistemler ile güneş ışını soğurulmakta ve mekâna ısı olarak fayda sağlamaktadır.

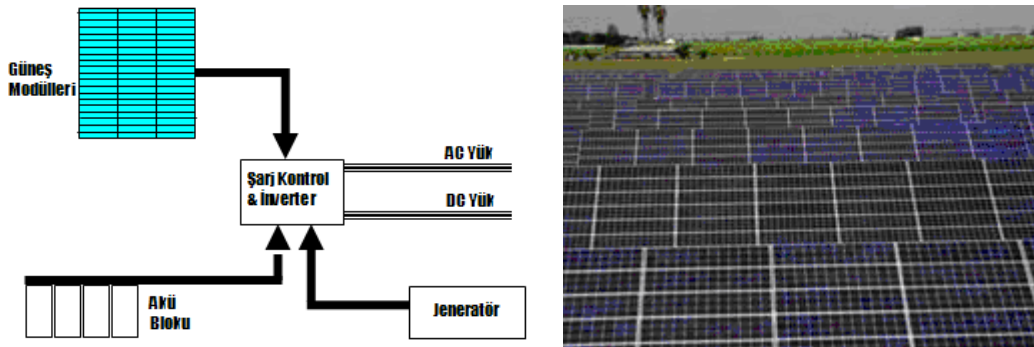
3.2.4.3 Fotovoltaik Modüller (PV)

Güneş ışınlarının enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan fotovoltaik modüller ilk olarak 1960'lı yıllardan itibaren uzay teknolojisinde uydularda kullanılmaya başlanmış ve daha sonraki yıllarda pek çok alanda tercih edilmiştir. Hesap makineleri, yat- karavan gibi ulaşım araçları, uydular- vericiler, petrol ve doğalgaz hatlarında korozyona karşı koruma, mekân ve sokak aydınlatması v.b alanlar fotovoltaik modüllerin başlıca kullanım alanlarıdır. Güneş modüllerinin yapı taşı silikondur ve silikonun bazı kimyasal işlemlerden geçirilerek hücreler elde edilmektedir. Bu

hücrelerin yaklaşık olarak 40 tanesinin bir araya getirilmesi ile de güneş modülleri oluşturulmaktadır ve bu modüller de genelde diziler halinde (Arrays of solar modules) bağlanarak bazı diğer elektronik aletlerle birlikte bir PV sistemini oluştururlar.

Modüller genelde güneşe bakacak şekilde yerleştirilmekle birlikte bazı uygulamalarda güneşi takip eden elektronik bir izleme sistemi ile portatif olarak da kullanılmakta ve güneş enerjisinden her zaman en yüksek verimin alınması sağlanmaktadır. Yüzlerce modülden oluşan daha büyük PV sistemleri de endüstri amaçlı ve küçük yerleşim birimlerinin temel elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse, son olarak 2000 Sydney Olimpiyatlarının yapılacağı olimpiyat kompleksinde sporcuların kalacağı 15000 kişilik olimpiyat köyünün elektrik enerji ihtiyacı tamamen PV sistemler tarafından sağlanmıştır.

Şekil 3.13' te bir jeneratör ile bağlanmış olan hibrid bir fotovoltaik sistem görülmektedir. Bu sisteme jeneratör yerine bir rüzgâr türbini veya başka herhangi bir enerji kaynağı da bağlanabilir [50].



Şekil 3. 13 Fotovoltaik modül ve güneş pili

Ülkemizde lokal olarak kullanılmaya başlanan güneş pilleri bazı şehirlerimizde sokak aydınlatmalarına kuple edilmiş haldedir.

Fotovoltaik sistemlerde önemli bir diğer konuda günden güne geliştirilmekte olan sistem verimliliğidir. Yüksek soğurma oranları sağlayacak absorber veya fotovoltaik hücre oluşturulması araştırma çalışmalarına yön veren konulardan bir tanesidir. Ülkemizde bireysel kullanımı henüz yaygınlaşmamış olan güneş pilleri ile ilgili olarak yapılacak yasal düzenlemeler ile birlikte bu sahada gelişme olacağı ön görülmektedir.

3.3 Güneş Kolektörü İmalat Prosesi

Bu başlık altında kapalı sistem şeklinde çalışan, soğurucu- bakır boru birleştirmelerinin kaynaklı olarak yapıldığı kolektör sistemlerinin imalatına değinilecektir.

3.3.1 Dolaşım Sistemi Boruları ve Manifoldların Hazırlanması

Dolaşım boruları bakır veya alüminyum filmaşinden boy kesilerek hazırlanmaktadır. Yeni nesil üretim sistemlerinde bu operasyon PLC kumandalı otomatik tezgâhlarla seri üretime uygun hızlarla gerçekleştirilmektedir. Manifoldlar ise yine dolaşım boruları ile aynı malzemedan olup üzerlerinde patlatma yöntemiyle açılmış delikler vardır. Bu deliklerin içerisine dolaşım boruları yerleştirilir.

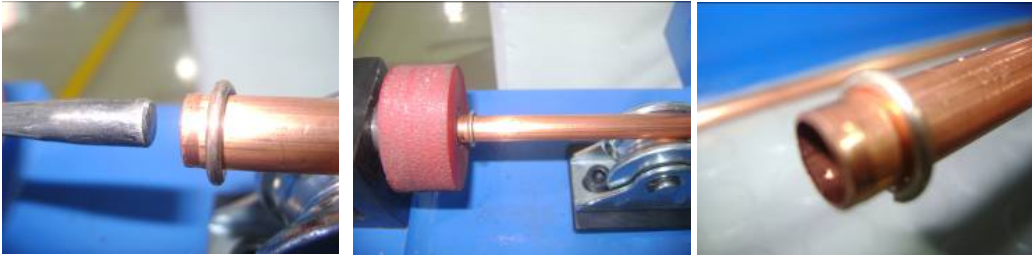


Şekil 3. 14 Filmaşin boy kesim istasyonu, manifold patlatma ve büküm istasyonu

3.3.2 Harp'ın Kaynak ile Birleştirilmesi Operasyonu ve Sızdırmazlık Testi

İçinde taşıyıcı akışkanın bulunduğu harp sistemi daha önce de bahsettiğimiz gibi boru ve manifold setinden oluşmaktadır. Bu istasyonda boruların, manifold içerisine yerleştirilmesi ve gümüş ilavesiyle kaynatılması gerçekleştirilmektedir. Isı kaynağı oksijen ve LPG alevidir. Kontrol edilmesi gereken en önemli özellik, komponentlerin birbirleriyle uygun şekilde temas etmesi ve gümüş halkanın kaynak bölgesine doğru şekilde yerleştirilmesidir. Mutlak sızdırmazlık gerektiren bir noktadır.

Manifold ve taşıyıcı boru sistemi 10 bar çalışma basıncına dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. İlgili ürün standartında kaynaklı birleştirmelerin dayanım testi için yeter şart en az 20 dakika sürede çalışma basıncının 1,5 katı basınç altında ürünün hasar görmemesidir. Bu değerde işletme basıncı 10 bar olarak beyan edilen bir sistemde 15 bar test basıncına işaret eder. Bu nedenle en kritik olan istasyonlardan bir tanesidir. Bu noktadaki sonuçlar günlük kontrol formlarıyla takip edilmekte olup sonuçlar aylık olarak analiz edilmektedir. Operasyonlarda herhangi bir hata ile karşılaşırsa ivedi şekilde aksiyon alınarak problem ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 3. 15 Dolaşım borusu uç şişirme ve gümüş halka montajı



Şekil 3. 16 Otomatik kumandalı harp kaynak operasyonu



Şekil 3. 17 Harp (Manifold ve boru seti) test operasyonu

3.3.3 Soğurucu Kesme Operasyonu

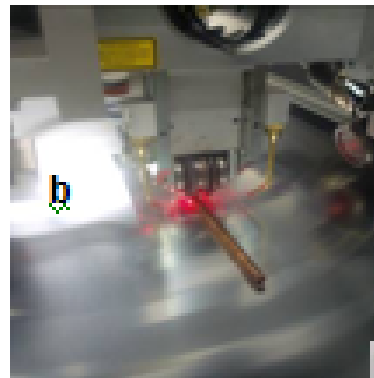
Bu noktada tinox kaplanmış soğurucu ruloları otomatik ölçülendirme mekanizmasıyla uygun ebatlara getirilmektedir. Kesme işlemi disk şeklinde dönen bıçak ile yapılır.



Şekil 3. 18 Soğurucu kesim istasyonu

3.3.4 Soğurucu –Harp Sistemi Birleştirme Operasyonu

Soğurucu – dolaşım sistemi birleştirme işleminde yeni nesil kaynak yöntemlerinin yanı sıra, klasik kaynak uygulamaları ve yapıştırma tekniği de kullanılabilir. Seri üretimlerde en çok tercih edilen birleştirme tekniği bölüm 4 içerisinde detaylı olarak incelenecek olan ultrasonik kaynak yöntemidir. Bunun yanı sıra son dönemde sürat ve birleştirme kalitesinin daha ön planda olduğu lazer kaynak uygulamaları da kullanıma alınmaya başlamıştır. Gerek ultrasonik gerek lazer ile birleştirme yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bakır boru seti ile soğurucunun birbirine tam olarak temas etmesidir. Aksi halde soğurucudan bakır boruya ısı transferi ön görüldüğü şekilde gerçekleştirilemeyeceğinden kapalı devre devinim yapan su ısınamayacak ve kolektör çalışma veriminde düşüş gözlenecektir.



Şekil 3. 19 Birleştirmeler şekilleri a) ultrasonik kaynak b) lazer kaynak

3.3.5 Kasa Profillerin Kesilmesi ve Delme Operasyonu

Kasa profilleri için en çok tercih edilen malzeme doğal şartlara uygunluğundan dolayı alüminyumdur. Alüminyum profiller, profil kesme testerelerinde teknik dökümanlara uygun olarak kesilir ve soğuk şekil verme (punch) işlemiyle hava tahliye boşaltmaları manifoldun takılacağı açıklıklar oluşturulur.



Şekil 3. 20 Alüminyum profil boy kesim ve punch istasyonu

3.3.6 Kollektör Montaj Operasyonu

Bu aşamada kaynak işlemi ile birleştirilmiş soğurucu –bakır dolaşım borusu seti, alüminyum kasa profilleri, cam örtü, alüminyum alt örtü ve sızdırmazlık elemanlarının montajının yapıldığı operasyondur. Bu aşamada tüm komponentler bir araya getirilerek imalat işlemi tamamlanır ve final kalite kalite kontrol aşamasına geçilir. (Şekil 3.21)



Şekil 3. 21 Güneş kolektörü montaj operasyonları

Şekil 3.21’de sırasıyla a)Alüminyum alt örtünün montajı, b) yalıtım malzemesi, c) bakır soğurucu ve dolaşım borusu setinin montajı, d) cam örtü montajı, e) alüminyum şase

f) bağlantı ve sızdırmazlık elemanları montajı operasyonları gösterilmiştir.

3.3.7 Güneş Kolektörü Deposu ve Boyler

Güneş kolektörlerinde ısıtılan taşıyıcı akışkanın ısısını kullanım suyuna aktarmak için kullanılan sistemin devamı şeklindeki ekipmanlardır.

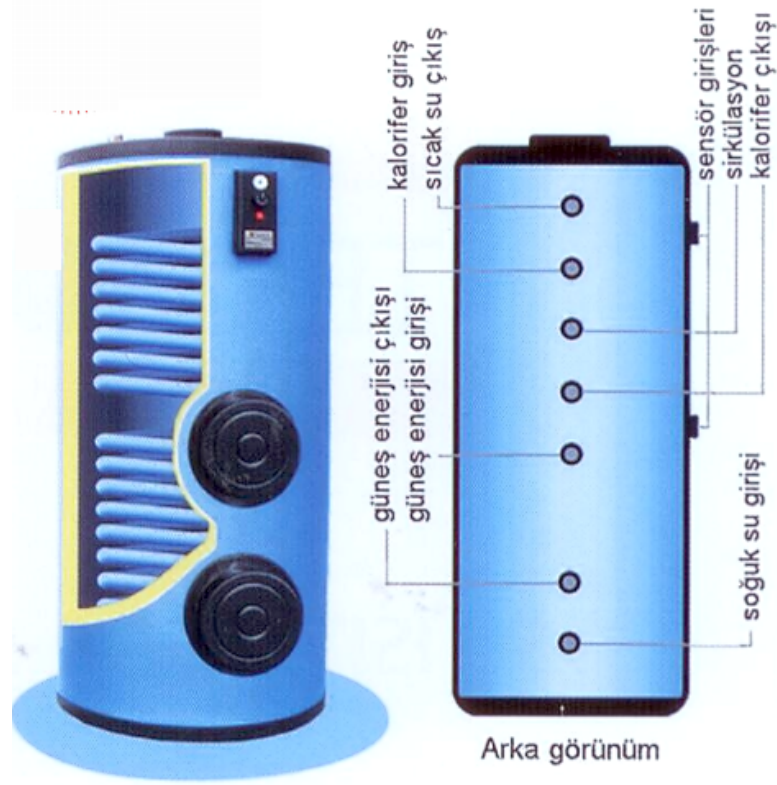
Bireysel kullanımda (2-3 kolektör takımı) çift katmanlı depo şeklindeki uygulamalar tercih edilirken, büyük tesislerde kullanılan sistemlerde, yüksek adette (250-300 adet) seri şekilde bağlanarak ısı kapasitesi artırılmış kolektörler için 4000 lt ebatlarında boylerler kullanılır. Depolar silindirik basınçlı kap kategorisindedir ve ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilir. Şekil 3.22’de operasyon sıralamaları verilmiştir.



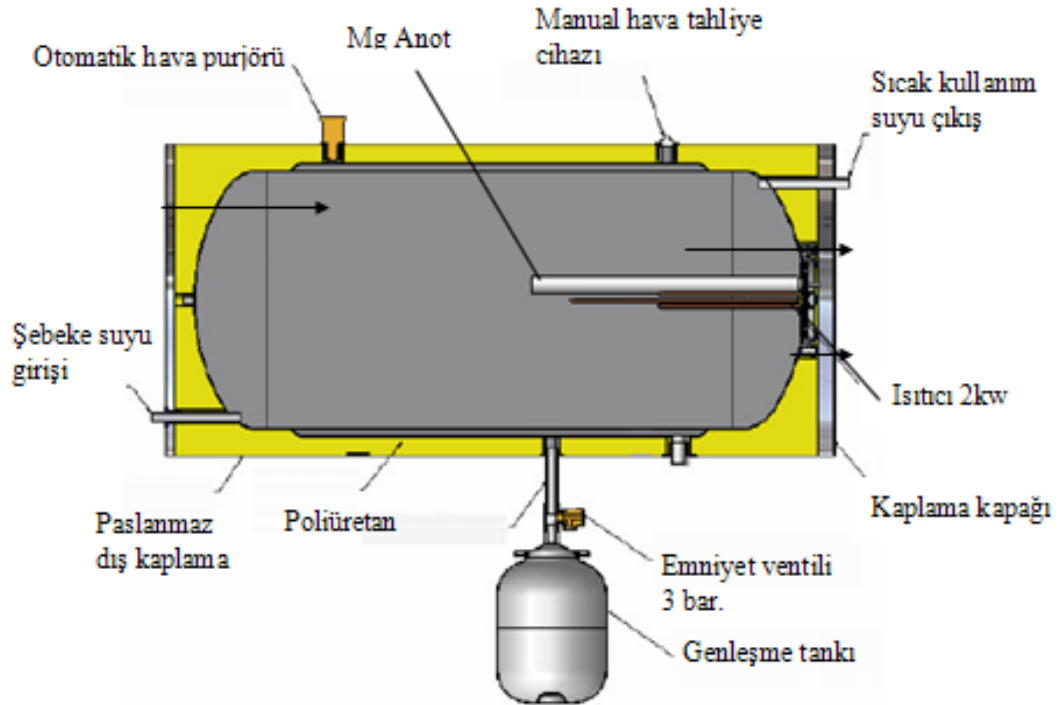
Şekil 3. 22 Klasik kaynak yöntemleriyle depolama tankı imalatı;

Şekil 3.22’de sırasıyla, a) silindirik büküm, b) boy kaynak, c) serpantin test, d) bombe gövde montaj, e) bombe- gövde çevre kaynak, f) hidrostatik basınç testi operasyonları gösterilmiştir. Boylerler ile güneş kolektörleri depoları arasındaki fark daha önce de açıkladığımız gibi güneş kolektörü depolarının maksimum 300 lt depolama kapasitelerinin olmasıdır. Boylerler ile 4000 lt kapasiteye kadar depolama yapılabilir. Farklı bağlantı şekilleriyle bu kapasitenin çok üzerlerine de çıkılabilmektedir. Ayrıca çift serpantinli boylerlere şekil 3.22’de görüldüğü gibi kalorifer tesisatına ek olarak güneş kolektörü kapalı devre sistemi de bağlanarak sistem üzerinde hibrit uygulamalar da yapılabilir. Depoların kullanım suyu ile temas eden bölgeleri 900°C sıcaklık altında

emaye kaplanmaktadır. Böylelikle depolar hijyenik olur ve korozyona karşı direnç kazanır.



Şekil 3. 23 Boyler kesiti [33]



Şekil 3. 24 Çift cidarlı güneş kolektörü deposu kesiti [33]

Emayeleme dışında tanklara genelde magnezyum anod kullanılarak korozyona karşı korunma sağlanmaktadır. Depoların ısı yalıtımı ise 800 lt kapasiteye kadar poliüretan kalıplama ile yüksek kapasitelerde ise dış kaplama ile birlikte sarılan yalıtım malzemeleri ile sağlanmaktadır.

Güneş kolektörlerinde verimi etkileyen en önemli etkenlerden bir tanesi, çalışma esnasında meydana gelebilecek yoğuşma problemidir. Yoğuşmanın meydana gelmesine neden olan farklı etkenler vardır. Bunları şu şekilde gruplayabiliriz;

- **Doğal çalışma şartları;** Aşırı nemli hava şartları, gece gündüz arasındaki yüksek sıcaklık farkları kolektör camı üzerinde buhar birikmesine neden olacaktır. Bunu önlemek için alüminyum kolektör şasesi üzerine boşaltma delikleri açılmalıdır. Diğer yandan kış şartlarında dolaşım halindeki taşıyıcı akışkanın donması kolektör dolaşım borularının çatlamasına ve su sızıntısına neden olur. Bu nedenle taşıyıcı sıvıya antifriz ya da sıfırın altında sıcaklıklarda çalışabilen, ısı transfer özellikleri uygun olan özel sıvılar eklenebilir.
- **Hatalı malzeme seçimi;** Sızdırmazlık elemanlarının ısı dayanımının düşük olması çalışma şartlarında işlevlerini yitirmesine neden olacaktır. Bazı cam yünü izolasyon uygulamalarında, yüksek sıcaklık altında cam yünü içerisinden gaz çıkışı görülmekte bu da yoğuşmaya neden olmaktadır. Cam yünü yerine taş yünü kullanılmasıyla bu durumun önüne geçilmektedir.

Güneş kolektörü dolaşım sistemlerinde de normal tesisatlarda olduğu gibi tesisat suyunun sürekli yenilenmesi hat içerisinde korozyon meydana gelmesine neden olur. Bu nedenle sistemin kullanım ömrünün artırılması için sürekli tesisat suyu yenilemesi yapılmamalıdır.

Soğurucu ve dolaşım borusu malzemesinin seçiminde, elemanların galvanik cetveldeki konumlarına dikkat edilmelidir. Aksi halde sistemde galvanik korozyon yaşanma riski çok yüksektir. Bu yüzden dolaşım borusu seti ile soğurucu aynı malzemedен seçilmelidir.

GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ULTRASONİK KAYNAK UYGULAMASI ve PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

4.1 Güneş Kolektörlerinde Ultrasonik Kaynak Uygulaması

Ultrasonik kaynaklı birleştirme ile ilgili uygulama esasları, uygulama şekilleri, donanım ile ilgili detay bilgiler ve kaynak parametreleri 'Bölüm 2' içerisinde kapsamlı olarak izah edilmiştir. Bu bölümde güneş kolektörlerinde özellikli bir uygulama olan boru-plaka birleştirmeleri incelenecek olup uygulama esasları, makine tipleri ve operasyon kalitesi esaslarına değinilecektir.

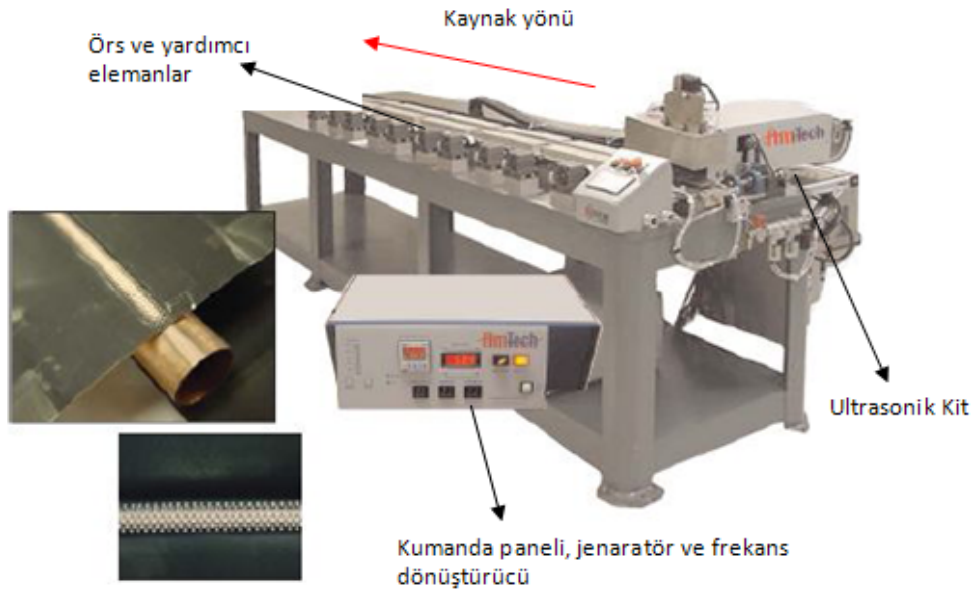
Ultrasonik kaynak güneş kolektörlerinde harp adını verdiğimiz manifold- dolaşım borusu seti ile soğurucu arasında uygulanır. Yüksek verim ve hızlara erişebilen sistemlerin geliştirilmesinden sonra tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir.

Güneş kolektörleri üzerinde yapılan birleştirme operasyonları bölüm 2.6 içerisinde detaylı olarak incelediğimiz ultrasonik kaynak türlerinden sürekli dikiş kaynağı uygulaması ile gerçekleştirilmektedir.

Dünyadaki ultrasonik kaynak ekipmanı üreticileri, lazer kaynağının ultrasonik kaynağa rakip olmaya başlamasıyla birlikte, özellikle otomasyon hızlarının yüksek olduğu ve aynı anda birkaç uygulamayı yapabilecek sistemler geliştirmişlerdir. Ultrasonik kaynak üreticileri içerisinde en önemlileri gerek teknoloji kullanımları gerek pazar paylaşımları açısından Branson, Emerson, Amtech ve Sonobond firmalarıdır.

Bu uygulamada ultrasonik kit iş parçası üzerinde boy eksenine paralel olarak hareket eder. Horn çalışma detaylarını açıkladığımız gibi dönme ve ilerleme hareketi yaparak baskı kuvvetini titreşim ile birlikte iş parçası üzerine aktarır. Titreşim doğrultusu parça eksenine paraleldir. Böylelikle iş parçaları bakır boru seti (harp) ve selektif kaplı soğurucu malzemedir. Görüldüğü üzere ultrasonik kaynak yöntem avantajlarında da değinildiği gibi birbirinden farklı geometrilerdeki parçaların kaynağı problemsiz olarak gerçekleştirilmektedir. Güneş kolektörlerinde ultrasonik kaynak uygulaması aşağıda açıklandığı gibi 2 şekilde gerçekleştirilir. Uygulamaların ikisinde de birleştirme mantığı aynı olup kolektörün diğer imalat süreçlerindeki proses dizilimi farklıdır.

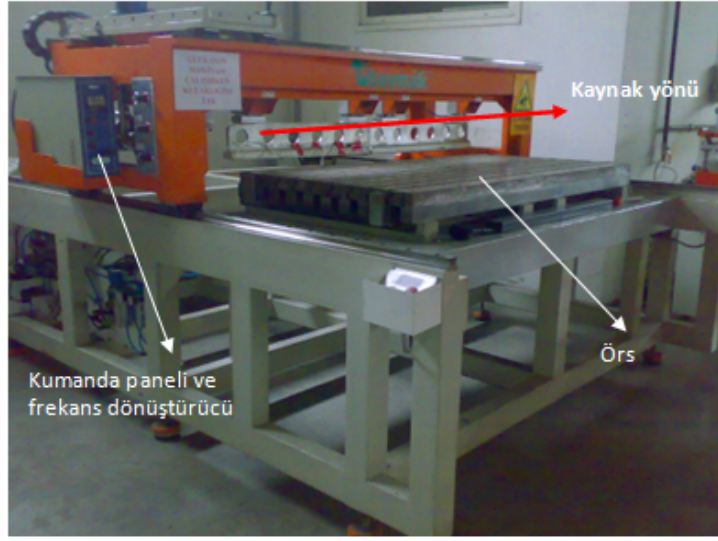
- Bakır boru ve soğurucunun tekil olarak kaynatılması; Bu uygulamada şerit şeklinde kesilen absorber tek bir boruya kaynatılır. Genel olarak 10 adet boru-soğurucu seti ayrı ayrı kaynatıldıktan sonra manifold birleştirmesi yapılır ve kolektör sistemi elde edilmiş olur. Deneysel çalışmamız için hazırlanan numuneler bu tip bir makine kullanılarak kaynatılmıştır. Şekil 4.1’ de bu tip bir kaynak makinesi görülmektedir.



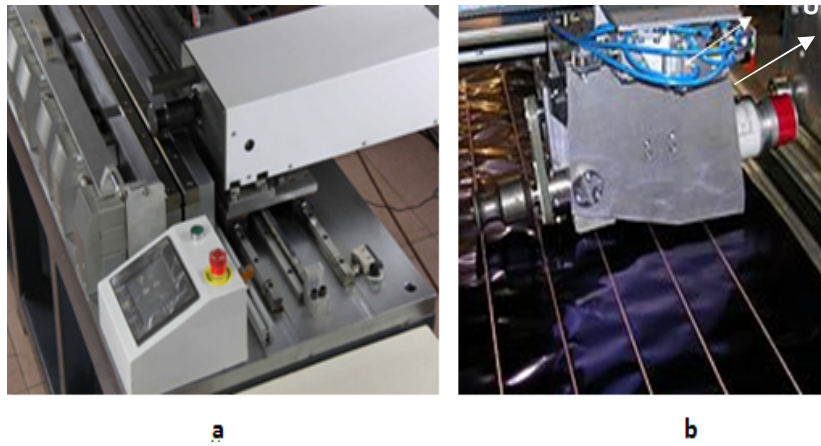
Şekil 4. 1 Bakır boru ve soğurucu tek bant kaynak makinesi

- Harp (Dolaşım borusu –manifold seti) ile soğurucunun tek bir operasyon ile kaynatılması; Önceden gümüş kaynağı ile birleştirilen harp test işlemini geçtikten sonra kaynak makinesi örsü üzerine yerleştirilir. Soğurucu ise harp seti üzerine konularak örs üzerinde sabitleme yapılır.

- Böylelikle tek bir operasyon ile süratli bir şekilde kolektör soğurucu kitin ultrasonik kaynak işlemi tamamlanmış olur. (Şekil 4.2)



Şekil 4. 2 Harp ve soğurucu kaynağı otomasyon sistemi



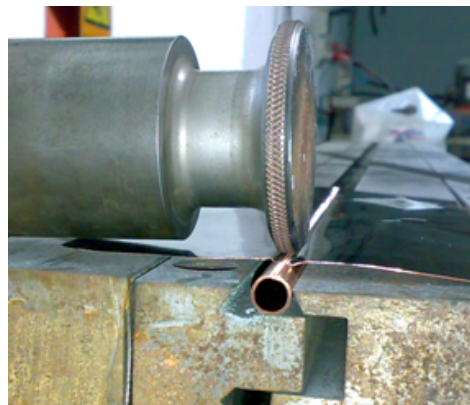
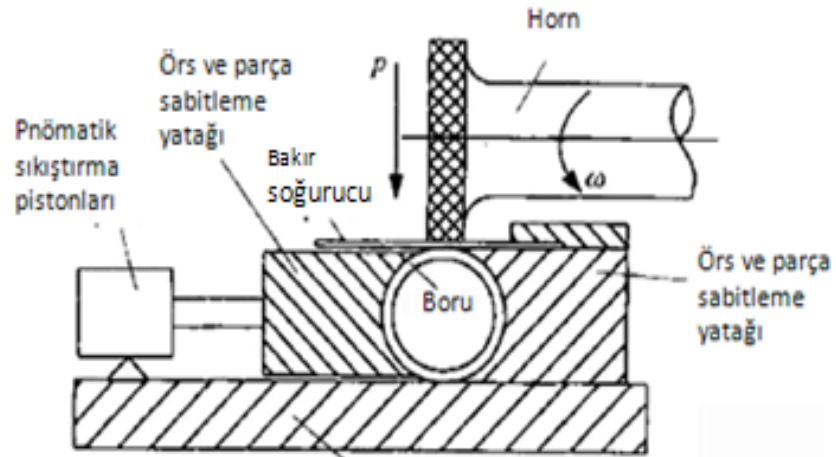
Şekil 4. 3 a)Bant plaka ve boru kaynak makinesi, b) Çoklu sistem

4.1.1 Güneş Kolektörlerinde Ultrasonik Kaynak Uygulama Esasları

Ultrasonik kaynak yöntemi ile ilgili bölüm 2 içerisinde verdiğimiz detaylı bilgileri hatırlayacak olursak, birleştirmelerde bu yöntemin tercih edilme nedenleri içerisinde en önemlisi güvenlik, verim, enerji kazanımı ve otomasyona uygunluk olarak sıralayabiliriz.

Güneş kolektörlerinde yapılan uygulamalarda Al-Al, Cu-Cu ve Al-Cu uygulamalarında en yüksek birleştirme verimlerine erişilmiştir. Al-Cu birleştirmeleri iki elementin galvanik cetveldeki konumlarından dolayı uygulamalarda tercih edilmemektedir.

Şekil 4.4' te ultrasonik kaynak işleminin konfigürasyonu görülmektedir. Horn kendi ekseninde ω açısal hızı ile dönerek ilerlemektedir.



Horn titreşim yönü

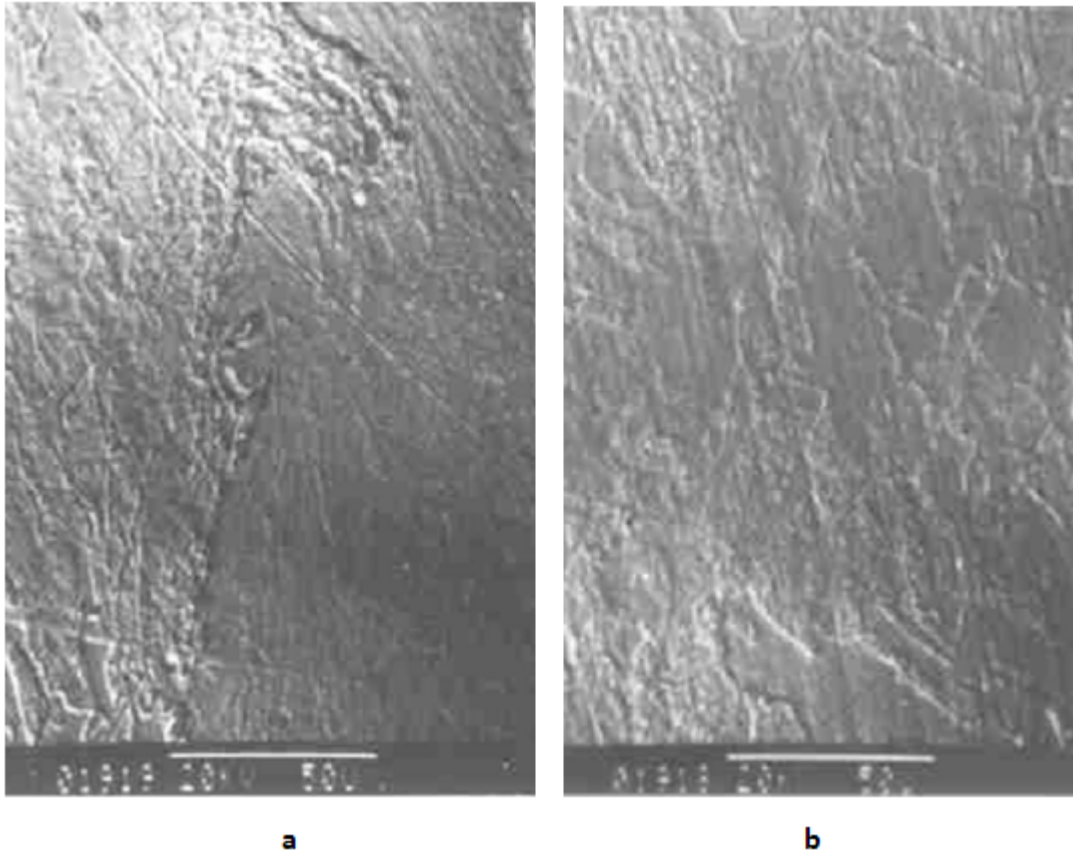


Horn baskı kuvveti

Şekil 4. 4 Güneş kolektörü ultrasonik kaynak uygulaması

Tercih edilen malzemelerde et kalınlığı bakır soğurucu için 0,20 mm, bakır boru için ise \varnothing 10 mm olup et kalınlığı 1 mm'dir.

Şekil 4.5 kaynak sonrasında dikiş üzerinin ve kaynak dikişine yakın olan bölgenin mikro yapı fotoğrafını göstermektedir.



Şekil 4. 5 a) Kaynak ara yüzü, b) kaynak dikiş kenarı mikro yapı görüntüsü [26]

Kaynak dikişinin olduğu bölgede ciddi oranda bir plastik deformasyon oluşmuş, titreşim ve baskı kuvvetinin etkisiyle bakır boru ile soğurucu birbiri içerisine metalurjik ya da kimyasal dönüşüm olmaksızın difüze olmuştur. Birleştirmeyi iki aşamada analiz edebiliriz.

- Atomların kendi aralarında bağ kurarak nüfuziyetin sağlanması;
- Difüzyonun etkisiyle kaynak ara yüzeyinde atomlar arası kilitlenme (Şekil4.5-a)

Kaynak ara yüzündeki moleküler blokaj kaynağın daha mukavemetli olmasını sağlamakta ve dolayısıyla birleştirme işlemini daha verimli kılmaktadır [39]. Ultrasonik kaynakta daha önce açıklandığı gibi hiçbir ilave malzeme kullanmadan sadece titreşim ve baskı kuvveti etkisiyle metaller arası bağ kurulur. Ultrasonik kaynak işlemi prosesi aşağıda adım adım açıklanmıştır [26] .

4.1.1.1 Kaynak Öncesi Hazırlık

Bu aşamada boru ve soğurucu yüzeylerinin kaynak için uygun olup olmadığı görsel olarak veya basit donanımlarla ölçüsel olarak kontrol edilir. Borular üzerinde herhangi bir çatlak ya da deformasyon olmamalıdır, benzer şekilde soğurucu malzemesi üzerinde de et kalınlığının homojen olduğu kanaatine varılmalıdır. Kaynak öncesi ve sonrasında üst düzey hazırlık ya da son işleme olmadığından bu aşamalarda izleme süresi çok kısadır.

Kaynak öncesinde yapılacak en önemli işlem, borular üzerinde yapılacak yüzey temizleme işlemidir. Bu işlem de horn gibi dönme ve ilerleme hareketi yapan çelik tel fırça ile yapılmaktadır. İşlem detayları ve operasyon fotoğrafları Şekil 2.47 ve Şekil 2.48'de gösterilmiştir.

4.1.1.2 Malzemelerin Tezgâh Üzerine Yerleştirilmesi

Şekil 4,4' te görüldüğü gibi öncelikli olarak taşıyıcı bakır boru örs içerisine yerleştirilir. Daha sonra pnömatik pistonların yardımıyla örs kanalları kapatılır ve boru kaynak için sabit konuma getirilmektedir. İkinci olarak soğurucu plaka boru üzerine yerleştirilmeli ve titreşimin etkisiyle savrulmanın önlenmesi için pistonlar yardımıyla düşey ekseninde sabitlenmelidir. Böylelikle iş parçalarının kaynak makinesine bağlanması tamamlanmış olacaktır.

4.1.1.3 Ultrasonik Kaynak Parametrelerinin Ayarlanması

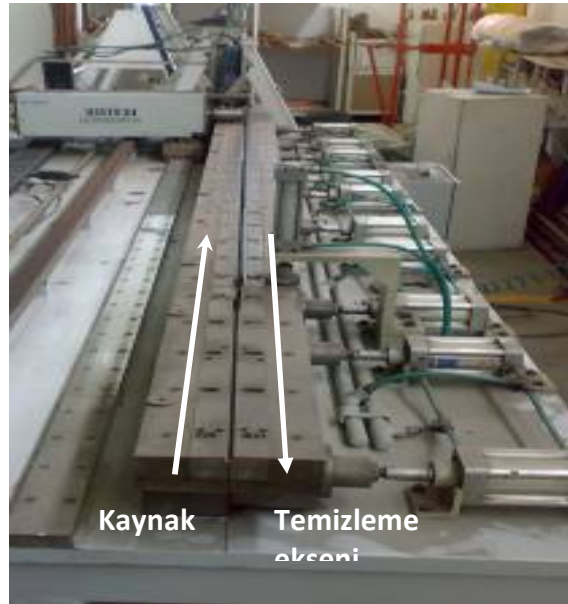
Güneş enerji sistemlerinde kaynak parametreleri kontrol panosu üzerindeki röleler vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Kontrol panosu üzerinde değiştirilebilen parametreler, genlik, kaynak hızı ve horn baskı kuvvetidir. Ayrıca horn yüzey durumu da kaynak kalitesini ve verimini doğrudan etkileyebilecek bir faktördür.

4.1.1.4 Ultrasonik Kaynak İşlemine Başlama

Tüm bağlantıların uygun şekilde yapıldığı kontrol edildikten ve parametreler ayarlandıktan sonra kaynak işlemine başlanabilir. Yönlendirme kumanda paneli üzerindeki Start- Stop butonlarıyla kontrol edilmektedir.

Aynı eksenlerdeki ilk ters turda temizleme operasyonu yapan fırça, kit başlangıç konumuna geldiğinde kaynak işleminde malzemeye sürmemesi için yukarıya kaldırılır. Ters turdan kastedilen durum kaynak ekseninin tam tersi yöndür.

Ultrasonik kitin ilk tahriki kaynak doğrultusunun tam ters yönünde ve temizleme maksatlıdır. Bu işlem tamamlandıktan sonra fırça yukarıya kalkarak horn alt seviyeye iner ve kaynak işlemine başlanır.



Şekil 4. 6 Ultrasonik kaynak makinesi temizleme ve kaynak hareket eksenleri

4.1.1.5 Kaynak Sonrası Malzemelerin Alınması ve İnceleme

Kaynak işlemi bittikten sonra kumanda panelinde durdurma butonuna basılarak, örs üzerindeki tutma çenelerine ve bakır plakayı sabitlemek için dikey yönde uygulanan baskı kuvveti ortadan kaldırılarak pistonlar serbest konuma getirilir. Sonrasında iş parçası dikkatli bir şekilde örs üzerinden alınmalıdır, bu sırada özellikle soğurucu yüzeyinin zedelenmemesi için özenli hareket edilmesi gerekmektedir. Aksi halde tinoks kaplamanın zedelenmesi soğurma özelliğinin düşmesine neden olacaktır.

Lazer kaynak işleminin ultrasonik kaynak işlemine göre en önemli avantajı bu noktadadır. Lazerde uygulama, kaplanmış soğurucu yüzeyinin tersinden yani boru tarafından yapılırken ultrasonik kaynak işlemi soğurucunun üst tarafından gerçekleştirilir. Bu nedenle lazer uygulamalarında ultrasonik kaynakta normal olarak değerlendirilen ve kaynak dikişi boyunca uzanan birleştirme yüzeyleri dahi görülmez.

4.1.2 Malzeme Seçimi

Güneş kolektörlerinde taşıyıcı boru-manifold seti ile soğurucu kaynağında malzemelerin performansları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Ultrasonik kaynakta kaynak edilebilirlik özellikleri malzeme seçimi ve tasarım aşamalarında çizelge 2.2'deki bilgilere dikkat edilmelidir. Spesifik tasarımlarda kaynak edilebilirlik özelliklerinin yanı sıra malzemelerin çalışacakları ortam şartları ve bu şartlarda göstereceği kondüsyon çok önemlidir [5]. Örneğin ısı transferinin önemli olduğu şartlarda, ısı transfer kabiliyeti düşük olan malzemelerin seçilip kullanılması uygun olmayacaktır. Bu nedenle malzeme seçiminde kaynak edilebilirliğin yanında çalışma şartlarına uyum da çok önemlidir [45].

Güneş kolektörlerinde en sık tercih edilen malzeme tipleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi gerek ısı transfer özellikleri gerek ultrasonik kaynak edilebilirliklerinden dolayı alüminyum ve bakır alaşımları sıklıkla tercih edilen malzemelerdir. Buradaki en önemli sakınca birbirleri ile eş yapılan alüminyum ve bakır plaka-boru setlerinin çalışma şartlarının içerisinde de bulunan nemin de etkisiyle galvanik korozyona uğramasıdır.

Çizelge 4. 1 Güneş kolektörlerinde en sık kullanılan malzeme çiftleri [5]

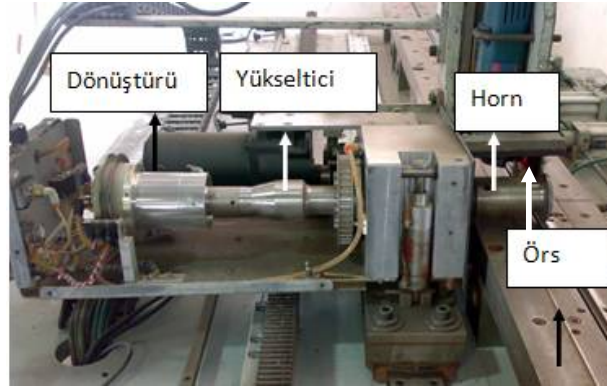
Malzeme Çifti	Ultrasonik Kaynak Tipi	Boru İdeal Çap- Et Kalınlığı (mm)	Plaka Et Kalınlığı (mm)	Risk	Sonuç
Al soğurucu- Al boru	Sürekli dikiş	Çap Ø 8-12, et kalınlığı 0,3-0,8	0,20-0,45	-----	Uygun
Cu soğurucu- Cu boru	Sürekli dikiş	Çap Ø 8-10 et kalınlığı 0,16-0,2	0,16-0,25	-----	Uygun
Al soğurucu- Cu boru	Sürekli dikiş	Çap Ø8-10, et kalınlığı 0,3-0,8	0,20-0,45	Galvanik korozyon	Önerilmemektedir
Cu soğurucu- Al boru	Sürekli dikiş	Çap Ø8-12, et kalınlığı 0,16-0,2	0,16-0,25	Galvanik korozyon	Önerilmemektedir

Ülkemizde TSE tarafından önerilmeyen ve ürün belgesi verilmeyen Alüminyum-Bakır birleştirmeleri Avrupa ülkelerinde sıklıkla uygulanmaktadır. Cu-Al uygulamaları SPF Tarafından onaylanarak ürün solar key mark belgesi verilmektedir.

4.2 Ultrasonik Kaynak Makinesi (Sürekli Dikiş Kaynağı)

Şekil 4.2 ve 4.3'te görüldüğü gibi uygulamalarda iki tip ultrasonik kaynak makinesi kullanılır. Çalışma prensipleri aynı olmakla birlikte, üretim içerisinde diğer proses sıralamaları farklıdır. Sürekli dikiş kaynak makinelerinin prensipleri, noktasal

uygulamalarla aynı olmakla birlikte tek fark hornun kendi ekseninde ω açısal hızı ile dönerek örs üzerinde ilerleme hareketi yapmasıdır. Böylelikle horn titreşim ve baskı kuvvetini uzun olan örs boyunca iletir ve uzun iş parçalarının kaynak işlemini gerçekleştirir.



Şekil 4. 7 Sürekli dikiş kaynak makinelerinde ultrasonik kit

Tüm ultrasonik kaynak uygulamalarında olduğu gibi sürekli dikiş kaynağında da operasyon ultrasonik kit tarafından gerçekleştirilir. Ultrasonik kit hatırlanacağı gibi dönüştürücü, yükseltici ve horn gibi özel malzeme ve özel üretim yöntemleri ile imal edilmiş komponentlerden oluşmaktadır [5].

Sürekli dikiş kaynak makinesi üzerindeki ekipmanları tekrar listeleyebiliriz,

- Entegre Güç Kaynağı (Jeneratör) , Frekans Dönüştürücü
- Örs- Çene (Anvil)
- Dönüştürücü (Converter - Transducer)
- Yükseltici (Booster)
- Horn (Sonotrode / Boynuz)

Bölüm 2.4' te bu komponentlerin görevleri ve çalışma prensipleri ile ilgili detaylı bilgilere değinilmiştir.

4.3 Güneş Kolektörleri İçin En Önemli Kaynak Parametreleri

Bölüm 2.9' da ultrasonik kaynak için en önemli operasyon parametreleri detaylarıyla açıklanmıştır. Metal esaslı malzemeler için bu değişkenlerin etkileri tüm ultrasonik kaynak uygulamalarında aynıdır. Aşağıda bu parametrelere tekrar değinilmiştir.

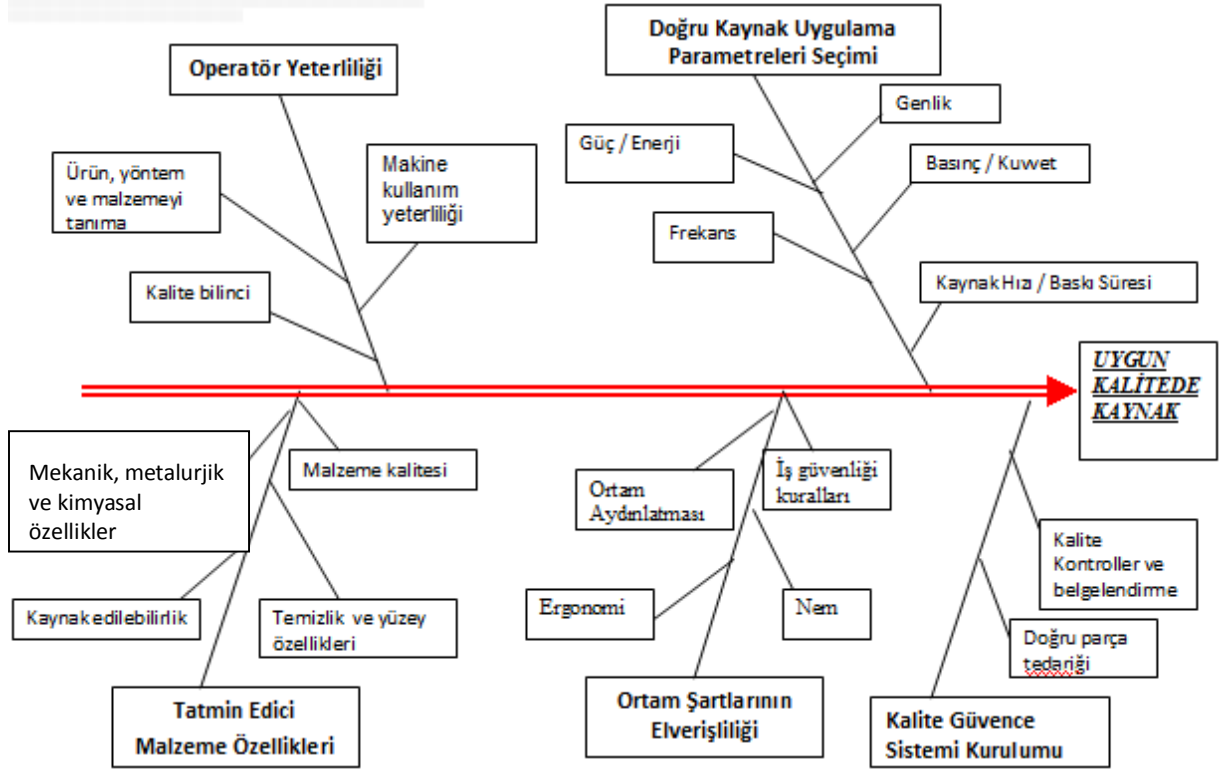
- Genlik (Amplitude)
- Frekans,
- Basınç
- Kaynak Hızı ve Baskı Süresi
- Malzeme Özellikleri
- Metalurjik ve Mekanik Özellikler
- Kimyasal Özellikler
- Kaynak edilebilirlik ve Malzemelerin Birbirleri ile uyumu
- Parça Geometrisi
- Yüzey Özellikleri

Çalışmamız içerisinde öncelikli olarak etkilerini inceleyeceğimiz kaynak parametreleri

- Genlik
- Kaynak hızı
- Basınç olacaktır.

Bölüm 5 içerisinde açıklanacak deneysel çalışmada genlik, kaynak hızı ve uygulama basıncı parametrelerinden iki tanesi optimum uygulama değerinde sabit tutulacak, diğer üçüncü parametre ise skalanın en düşük değerinden maksimum değere kadar artırılarak denemeler yapılacaktır.

Kaliteli bir ultrasonik kaynak dikişi elde edebilmek için makine parametrelerinin optimizasyonu ile birlikte şekil 4.8’ de görülen sebep- sonuç diyagramındaki verilerinde dikkate alınması gerekmektedir [23], [26] ve [48].



Şekil 4. 8 Kaynak kalitesine etki eden parametreler sebep sonuç diyagramı [5]

4.3.1 Kaynak Parametrelerinin Ultrasonik Kaynak Kalitesine Etkisi

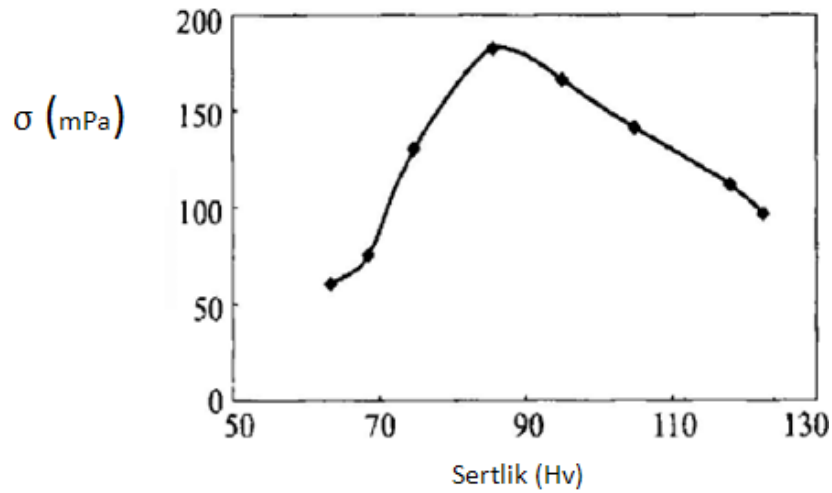
Genlik, uygulama basıncı ve kaynak hızını esas alarak yapılacaktır. Fakat sertlik kaynak kalitesi ve güvenliği için önemli bir enstürman olduğundan bu parametre ayrı olarak irdelenecek ve hatırlatıcı bilgilere yer verilecektir.

4.3.1.1 Soğurucu-Boru Setinin Kaynağında Sertliğin Kaliteye Etkisi

Literatürde malzemelerin sertliği ile ilgili çok kapsamlı araştırmalar bulunmamakla birlikte çalışmamızda 2.7.2 ve 2.9'da açıkladığımız gibi sertlik kaynak işleminin kalitesi ve verimliliği için önemli enstürmanlardan bir tanesidir.

Güneş kolektörlerinde 0,5 mm et kalınlığındaki bakır boru ile 0,20 mm et kalınlığındaki bakır soğurucunun kaynağını göz önüne alalım. Kaynağın verimli olabilmesi ve beklenen özellikleri karşılması için bakır soğurucu sertliğinin bakır boru sertliğinden biraz daha düşük olması gerekir. Uygulamada baskı kuvveti ve titreşim bakır soğurucudan bakır boruya iletilmektedir ve bu nedenle öncelikli plastik deformasyon bakır soğurucu üzerinde meydana gelir [14], [26].

Literatür incelemelerinde bakır soğurucu için ideal sertlik değeri yani maksimum çekme dayanımının olduğu nokta 85–90 HV olarak sunulmuştur. Deneysel çalışmamızda incelemeye tabi tutacağımız numunelerde soğurucu sertliği 95 HV, bakır dolaşım borusu sertliği ise 110 HV dolaylarındadır. Bu sistemlerde normal çalışma koşullarında herhangi bir değişken –dinamik bir yükleme durumu söz konusu olmadığından hatalı kullanım dışındaki durumlarda (hatalı kullanımdan kastedilen kış şartlarında sistem içerisine antifriz eklenmemesi gibi) herhangi bir dayanım hatası ile karşılaşılmamaktadır. Bakır boru ile bakır soğurucu arasındaki sertlik farkı makul ve kaynağın uygulanabileceği değerlerde olmalıdır. Bu farkın çok üst düzeyde olması da tabiatıyla kaynak işleminin başarısız olmasına neden olacaktır.



Şekil 4. 9 Bakır absorber için sertlik- çekme gerilmesi ilişkisi [26]

4.3.1.2 Soğurucu-Boru Setinin Kaynağında Titreşim Frekansı(f) ve Genlik(A)

İnce kesitli malzemeler için kullanılan sürekli dikiş kaynağı makinelerindeki uygulamalarda, frekans değerinin artışı ile genlik değerinde bir miktar azalma gözlenir. Bu tip makineler frekansın manuel olarak ayarlanabileceği düzeneğe sahip olan makinelerdir.

Buna karşılık uygulama genliğinin ise kontrollü şekilde azalması (kaynak kalitesi açısından bu yeter miktarda olmalıdır) ince kesitli malzemelere daha az stres verilmesini ve yorulma nedeniyle hasar oluşma riskini azaltır. Bu durum daha çok alüminyum ve ince kesitli paslanmaz çeliklerin uygulamalarında karşımıza çıkabilmektedir.

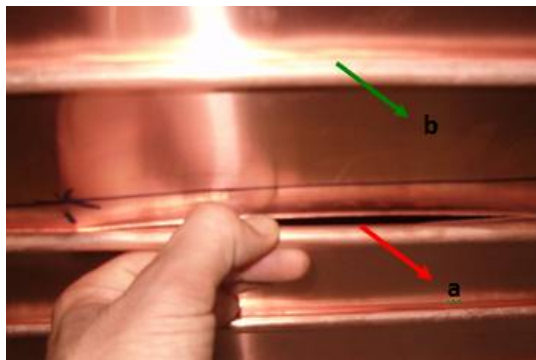
Güneş kolektörlerindeki uygulamalarda tam tersi durumu göz önüne alırsak uygulamada genliğin yüksek, frekansın ise daha düşük olması durumunda, bakır malzemesinin düşük akma dayanımı ve kolay şekillendirilebilirliğinden dolayı kaynak kalitesi değişmeyecektir. Güneş kolektörlerinde iş parçalarının et kalınlıkları 0,2 mm dolaylarında olduğu için daha yüksek genlik değerinde çalışmak kaynak kalitesi ve nüfuziyet açısından daha çok tercih edilmektedir. Otomatik kontrollü makinelerin seçiminde, makinenin kapasitesinin tayini bakımından kaynak edilecek malzeme özelliklerinin göz önünde bulundurulması şarttır [26].

İdeal uygulama değerlerini frekans için 20 kHz, genlik için ise 20–28 mikrometre olarak tanımlayabiliriz.

4.3.1.3 Ultrasonik Kaynak Uygulama Basıncı (P)

Kaynak uygulama basıncının olması gerekenden daha düşük seçildiği durumlarda bakır boru ve bakır soğurucu arasında yeterli nüfuziyet sağlanamayacaktır. Meydana gelecek yetersiz nüfuziyet karşılığında kaynak çekme gerilmesi düşük olacaktır.

Güneş kolektörlerinin çalışma şartlarında bu bölge herhangi bir dinamik yüke maruz kalmasa da bakır soğurucu ve bakır boru arasında tam olarak birleşmemiş olan kısımların varlığı soğurucu – bakır boru arasındaki ısı transferin miktarını düşürecektir. Bu durum doğrudan kolektör ısı kapasitesini ve çalışma verimini etkiler. Şekil 4.10'da bu durum gösterilmiştir [5].

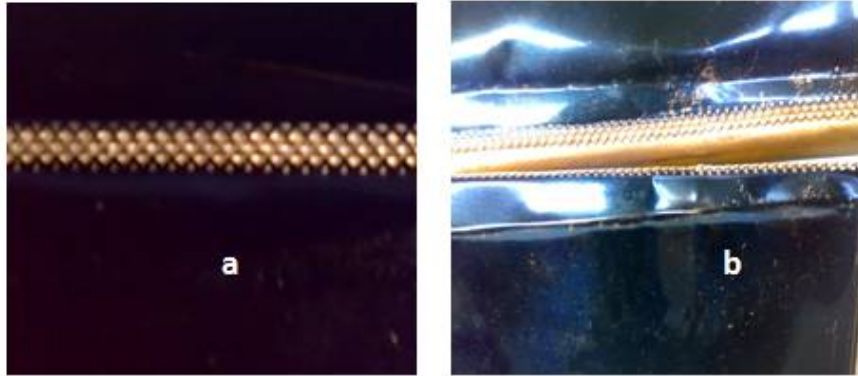


Şekil 4. 10 Bakır soğurucu ve bakır boru arasındaki kaynaklı birleştirme problemi

a) uygun olan birleştirme b) kaynaklı birleştirme problemi (nüfuziyet problemi)

Uygulama basıncının gereğinden yüksek seçildiği durumlarda ise yüksek basınç ve titreşimdeki horn hareketi kaynak edilecek malzemelerin yırtılmalarına neden olur.

Yapılan optimizasyon çalışmaları ve verim testleri sonuçları neticesinde ideal şartlarda horn basınç değeri 2 Bar olarak seçilmiştir.



Şekil 4. 11 a)Kaynak dikişi görüntüsü, b)Yüksek basınç ve dikiş bölgesi hasarı

4.3.1.4 Ultrasonik Kaynak Hızı

Endüstriyel anlamda verimliliğin ve seriliğin göstergelerinden en önemlisi kaynak operasyon hızıdır. Kaynak hızının bir değere kadar artması doğal olarak üretim hızını ve hat verimliliğini artıracaktır. Fakat kaynak hızının olması gerekenden yüksek seçilmesi, dikiş üzerinde kalite problemlerine neden olur. Bunların en önemlisi ultrasonik kitin çok hızlı hareket etmesi nedeniyle titreşim ve baskı kuvvetlerinin iş parçası yüzeyine etkin şekilde aktarılamaması neticesinde ortaya çıkan yetersiz difüzyon dolayısıyla nüfuziyet problemi. Bu nedenle kaynak hızı optimum düzeyde seçilmelidir [5].



Şekil 4. 12 Ultrasonik kitin yüksek hızla hareketi sonucu birleştirme problemleri

Bölüm 5'te deneysel uygulamalarda bu parametrelerin dikiş kalitesine etkileri oransal olarak irdelenecektir.

4.4 Güneş Kolektörlerinde Uygulama Hatalarının Olası Sebepleri

Güneş kolektörlerinde ultrasonik kaynak işleminde, yanlış parametre seçimi, ultrasonik kit üzerindeki problemler v.b sonrasında sıklıkla ilk temas noktası olan bakır soğurucu üzerinde hasar meydana gelir. En sık karşılaşılan uygulama hatalarının sebepleri ve düzeltici çalışma için öneriler aşağıdaki gibidir [5].

4.4.1 Örs Üzerinde Boru Tutma Kalıplarının Ayarsızlığı

Örs üzerinde borunun yerleştirildiği yataklar iki parçalıdır. Bu durum şekil 44'te görülmektedir. Örs kanalları pnömatik pistonlar vasıtasıyla açılma ve kapanma hareketi yapar. Kaynak esnasında bu yataklar kapalı olup borunun hareket alanını kısıtlamaktadır. Tariflenen bu mekanizmada meydana gelebilecek bir arıza horn baskı dengesini bozarak hataya sebebiyet verebilir. Bu hatanın çözülmesi bazı durumlarda uzun süreli sistem durmalarına neden olur ve verimliliği etkiler.

Çözüm için, bakım faaliyetlerinin belirli bir disiplin içerisinde uygulanması, koruyucu ve önleyici bakım faaliyetlerinde aksama olmaması gerekmektedir. Ayrıca makine operatörleri günlük tezgâh düzenini kontrol etmelidir [5].

4.4.2 Horn Dış Formlarında Bozulma ve Kullanım Ömrünün Dolması

Horn malzemesi baskı yüzeyleri karo şeklinde form verilerek hazırlanmıştır. Bu formlar hem titreşimin verimli şekilde transferini hem de hornun özellikle bakır soğurucuya tam olarak kenetlenmesini sağlar. Böylelikle bakır soğurucu ile bakır boru tam olarak temas ederek nüfuziyet probleminin önüne geçilmiş olur. Horn malzemesinin öngörülen malzemeler dışında seçilmesi, uygun olmayan malzemelerin kaynak edilmeye çalışılması ve periyodik olarak kontrol edilmeksizin kullanım ömrünün aşılması gibi nedenler açıklanan tutunma formlarının deforme olmasına neden olur. Unutulmaması gereken bir nokta ise horn ile iş parçası bir takım şeklinde çalışır ve kaliteli bir birleştirme için malzemelerin birbirlerine uygun seçilmesi gerekir.

Çözüm için, göz önünde bulundurulacak noktalar, uygun horn malzemesi seçimi, günlük olarak numune hazırlayarak iş parçası üzerinde kaynak kalitesinin ve horn

yüzeyinin görsel olarak kontrol edilmesi, standart dışına çıkılarak farklı malzemelerin kaynak edilmemesi ve planlı olarak yapılan bakım faaliyetlerinin uygulanmasıdır [5].

4.4.3 Kaynak Hızının Gereğinden Fazla Yüksek veya Düşük Olması

Açıklandığı gibi kaynak hızı seçimi kaynak kalitesi açısından çok önemlidir. Hızın gereğinden düşük olması hornun iş parçası üzerinde çok ağır hareketine neden olur. Dolayısıyla birim yüzeye uygulanacak baskı kuvveti artırılacak ve malzeme hasar görmüş olacaktır. Yüksek olması durumunda ise kaynak nüfuziyeti sağlanamadan eksik birleştirme elde edilecektir.

Çözüm için, ciddiye bir deneme yanılma süzgecinden geçilerek hız parametresi kullanılacak iş parçasına uygun olarak seçilmelidir [5].

4.4.4 Kaynak Basıncının Gereğinden Fazla Yüksek veya Düşük Olması

Basınç- hız dengesinin sağlanmasına ait örneklerden bir tanesi de bu maddedir. Bahsedilen durumda bir önceki maddede olduğu gibi horn iş parçası yüzeyine gereğinden fazla baskı yapacak ve bakır soğurucunun hatta bakır borunun hasar görmesine neden olacaktır. Basıncın düşük olması ise, doğal olarak baskının azalmasına ve eksik nüfuziyet problemi ile karşılaşılmasına neden olacaktır. Ayrıca basıncın kaynak sırasında sürekli olarak değişkenlik göstermesi de kararsız bir kaynak dikişi oluşmasına neden olacaktır.

Çözüm için, ciddiye bir optimizasyon sürecinden geçilerek ideal uygulama basıncına karar verilmelidir. Bunun dışında ekipman ile ilgili olan olumsuzluklara karşılık cihaz ve tesisat şartlandırıcı manometreleri düzenli olarak izlenerek operasyon basıncı kontrol edilmelidir. Bu faaliyetin temeli de önleyici ve koruyucu bakım uygulanmasına dayanmaktadır [5].

4.4.5 Kaynak Başlangıç Bölgesinde Nüfuziyet Problemi

İş parçasının örs üzerine hatalı konumlandırıldığı durumlarda ya da özellikle boru üzerinde önceki operasyonlarda oluşmuş olan eğilme problemi neticesinde meydana gelebilir.

Kaynağın başladığı noktada horn iş parçası ile olması gerektiği gibi temas kuramadığından birleştirme istendiği şekilde gerçekleşemez.

Çözüm için, bakır boru örs üzerine yerleştirilmeden önce yüzeysel deformasyona karşı görsel olarak kontrol edilmelidir. Ayrıca örs ya da horn üzerinde meydana gelebilecek bir form bozukluğuna karşı ekipmanlar sistematik şekilde kontrol edilmelidir [5].

4.4.6 Bakır Borunun Örs Üzerine Doğru Şekilde Bağlanmaması

Tamamıyla operatör kaynaklı bir hata nedenidir. Operatörlerin eğitim ya da beceri noksanlığı neticesinde meydana gelir. Yöntem otomasyon ağırlıklı yürütülen bir sistem olsada malzeme yüklemeleri operatörler tarafından yapılmaktadır.

Çözüm için, operatörler için ürün ve kalite eğitimleri tertiplenerek, istasyonlar izlemeye tabi tutulmalıdır. Bu aslında o nokta ile ilgili olarak yapılacak bir proses iyileştirme çalışmasıdır [5].

4.4.7 İş Parçalarının Yüzeylerinin Temiz Olmaması

Bölüm 2 ve Bölüm 3 içerisinde sıklıkla değinilen bir konudur. Özellikle yağ ve diğer kontamine malzemelerin yüzey üzerinde birikmesi hem sistemde kaynak için harcanan enerji gereksinimini yükseltir hem de birleştirme için daha fazla baskı gerekeceği için iş parçasını hasarlandığı gibi ultrasonik kaynak kiti üzerindeki elemanlarında ömrünü kısaltır.

Çözüm için, şekil 2.43 ve şekil 2.44 te verilen temizleme işlemleri eksiksiz olarak gerçekleştirilmeli, ayrıca kaynak edilecek iş parçalarının saklama ve depolama koşullarına özen gösterilmelidir [5].

4.5 En Sık Karşılaşılan Ultrasonik Kaynak Kusurları

Aşağıda açıklanacak olan kaynak hatalarının önlenmesi için, seri üretimde bölüm 4.4'de verilen maddeler dikkate alınmalı, kontrol ve planlamalar bu şekilde hayata geçirilmelidir. Gerekli açıklamalar ve çözüm çalışmaları açıklanmış olduğundan bu

bölümde kusur ve oluşma nedeni yazılacaktır. Başlıca kaynak kusurlarını aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz [5].

4.5.1 Kaynak Esnasında Bakır Soğurucunun Kesilmesi

Problemin görsel olarak tarifi şekil 4.13'te verilmiştir. Bu problemin ortaya çıkma nedenleri;

- Örs üzerinde boru tutma kalıplarının ayarsızlığı
- Horn diş formlarında bozunma ve kullanım ömrünün dolması
- Kaynak basıncının gereğinden yüksek olması
- Kaynak hızının gereğinden düşük olmasıdır.



Şekil 4. 13 Kaynak esnasında bakır soğurucunun kesilmesi problemi

4.5.2 Kaynak Başlangıç Noktasında Nüfuziyet Problemi

Problemin görsel olarak tarifi şekil 4.14'te verilmiştir. Bu problemin ortaya çıkma nedenleri;

- Örs üzerinde boru tutma kalıplarının ayarsızlığı
- Bakır borunun örs üzerine doğru şekilde oturtulmaması
- Horn üzerinde kaynak basıncının değişkenlik göstermesi.
- Kaynak hızının gereğinden düşük olmasıdır.



Şekil 4. 14 Kaynak başlangıcında nüfuziyet problemi

4.5.3 Kaynak Hattı Boyunca Soğurucu Üzerinde Deformasyon ve Kırılma

Problemin görsel olarak tarifi şekil 4.15'te verilmiştir. Bu problemin ortaya çıkma nedenleri;

- Örs üzerinde boru tutma kalıplarının ayarsızlığı
- Kaynak basıncının değişkenlik göstermesi
- İş parçası yüzeylerinin yeterince temizlenmemesi
- Kaynak basıncının değişkenlik göstermesi, ani yükselme-alçalma
- Bakır borunun örs üzerine doğru şekilde oturtulmamasıdır.
- Horn dış formlarında bozunma ve kullanım ömrünün dolması
- Kaynak hızının değişkenlik göstermesidir



Şekil 4. 15 Kaynak hattı boyunca soğurucu üzerinde meydana gelen kırılma

4.6 Güneş Kolektörlerinde Uygulanan Diğer Birleştirme Teknikleri

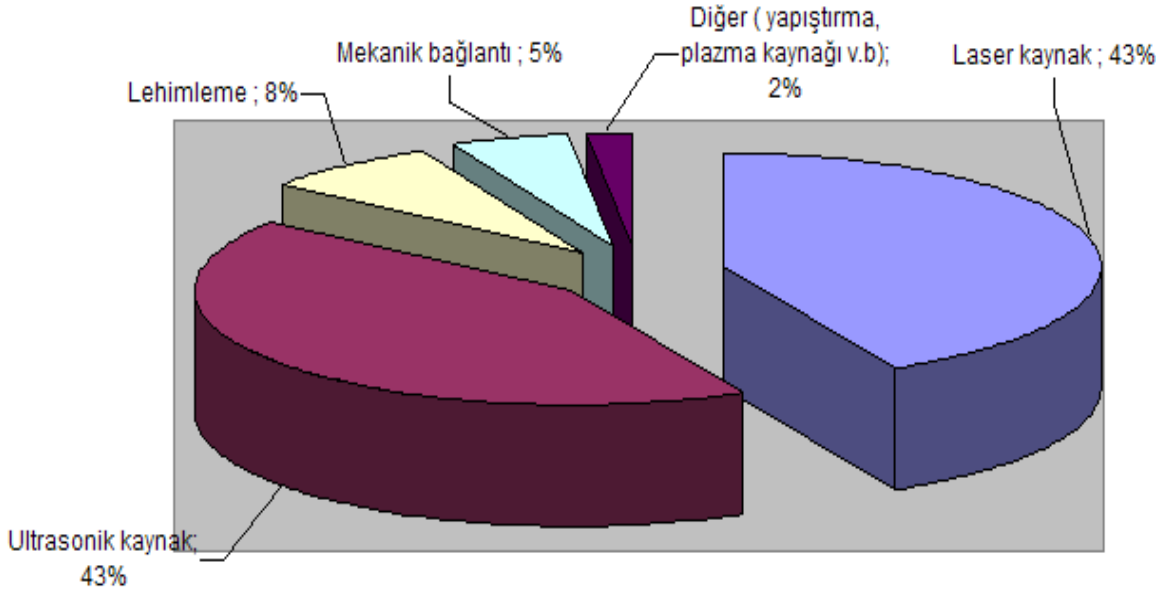
Güneş kolektörlerinde bakır boru ile soğurucu arasında, soğurucuya bakır borunun şekline uygun form verilmesi ve boru setinin bu formlar üzerine monte edilmesiyle uygulanan sıkı geçmeli birleştirme tekniğide uygulanmaktadır. Fakat bu yöntem basit üretim metodu kategorisine girer. Boru ile soğurucu arasında temas olması gerektiği gibi sağlanamadığından verim ile ilgili problemler ile karşılaşılmaktadır. Genelde lokal ve küçük üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Üretim maliyetleri ve kalite ultrasonik, laser ya da klasik yöntemler ile yapılan birleştirmelere göre çok düşüktür.

Birleştirme yöntemleri arasında ultrasonik kaynağın en önemli rakiplerinden bir tanesi laser kaynak uygulamasıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte pek çok alanda bilfiil kullanılmaya başlanan, laser katı hal kaynağı konusunda da önemli sonuçlar vermektedir.

Birleştirme yöntemlerindeki tercih edilme oranını Şekil 4.16'da 2010 yılına ait bir analizin grafiği üzerinden gösterebiliriz.

4.6.1 Güneş Kolektörlerinde Laser Kaynak Uygulaması

Güneş kolektörü imalatında günden güne gelişmekte olan laser teknolojisi ile yüksek hızlarda ve verimlilikte üretim yapılabilmektedir. Güneş kolektörlerinde kullanılan LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) tipi, ince kesitli malzemeler ile çalışıldığından dolayı katı hal laseridir.



Şekil 4. 16 Güneş kolektörlerinde en sık tercih edilen birleştirme tipleri [53]

Laserin temeli atom veya molekül enerji düzeyleri arasındaki elektron geçişleri ile oluşan ışık fotonlarına dayanır. Bir atomun iki enerji düzeyi E_2 ve E_3 olsun ve $E_3 > E_2$ farzedelim. Minimum enerji ilkesine göre atom veya moleküller düşük enerji seviyesinde olmak istediklerinden E_3 seviyesindeki elektron kendiliğinden E_2 seviyesine inecektir. Ama bu sırada enerjisi $E_3 - E_2 = h\nu$ olan bir foton salar. Burada ν fotonun frekansıdır. Eğer elektron bu salınımı kendiliğinden yaparsa salınan fotonun yönü tamamen rasgeledir. Ancak eğer E_3 düzeyinde ki foton $E_3 - E_2$ enerjisindeki başka bir fotonla etkileşerek E_2 düzeyine inerse bu şekilde salınan fotonun yönü ve fazı geçişe etki eden fotonla aynı olacaktır. Bu ikinci geçiş biçimine **uyarılmış salınım** (stimulated emission) denir ve laserin çalışmasının ana ilkesidir.

Ultrasonik kaynak makinesi ile laser kaynak makinesini kıyaslayacak olursak ilk dikkat çeken farklılık üretim hızıdır. Ultrasonik kaynak makinesinde maksimum 12 m/dk hıza erişilebilirken, laser kaynak makinesinde bu hız 25 m/dk değerlerine çıkmaktadır. Bunun dışında Cu/Cu; Cu/Al, Al/Al, Çelik/Çelik birleştirme uygulamalarında ultrasonik kaynakta olduğu gibi çok etkili uygulama neticelerine erişilmektedir [10], [53].

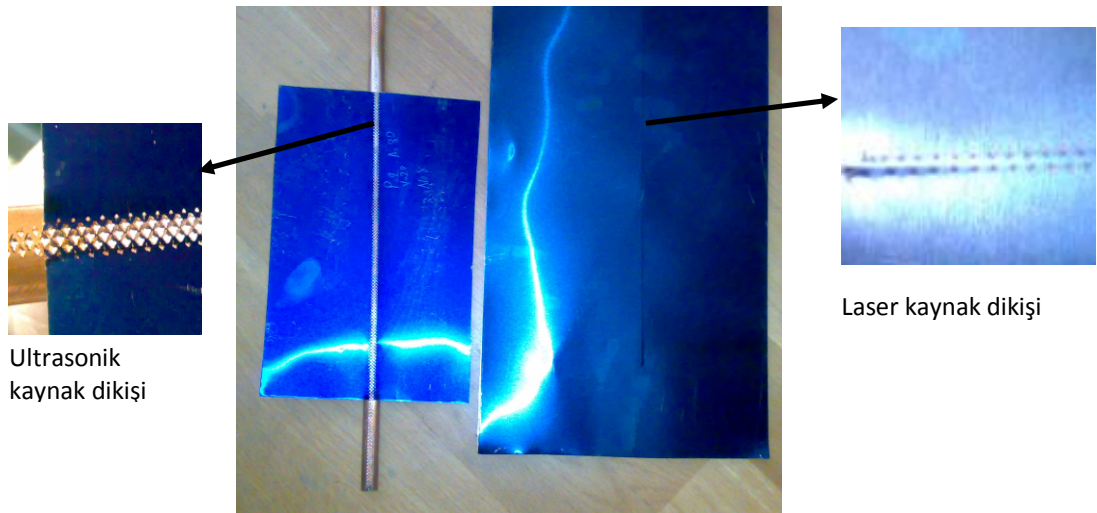
Ultrasonik kaynak ile kıyaslandığında bir diğer farklılık ise, ultrasonik kaynakta ergime olmazken, laser kaynağında ışının odaklanması etkisiyle moleküler mertebede ergime meydana gelir. Fakat bu ergime malzemenin mikroyapısal özelliklerinin değişmesine ve hızlı ısınma soğuma reaksiyonlarında neden olmayacak olmayacak mertebededir.

Kaynatılmış numunelerde kaynatılmış yüzeyin arkasını kontrol ettiğimizde laser uygulamasının soğurucunun üzerindeki tinox kaplamayı (sellektif yüzey) zedelediği görülmektedir.

Çalışmalarımızı yürüttüğümüz Baymak –Bdr Thermea üretim hatlarında, Amtech ve Baysonic firmasına ait iki adet ultrasonik kaynak makinesi, 1 adet Trumph ve Lasertech firmasına ait katı hal laser kaynak makinesi bulunmaktadır. Firma 2009–2010 dönemi itibarıyla güneş enerji sistemlerinde katı hal laseri uygulamalarını kullanıma almıştır.

Uygulamada kullandığımız Laser tertibatına değinecek olursak,

Buradan çıkan sonuç güneş kolektörlerinde laser kaynak uygulamalarıyla birleştirilen soğurucuların ultrasonik kaynak ile birleştirilen soğuruculardan daha fazla emiş yüzeyine sahip olduğudur.



Şekil 4. 17 Ultrasonik ve laser kaynak dikişleri

Ultrasonik kaynak uygulanan güneş kolektörü soğurucularında, kaynak işlemi soğurucudan boruya doğru olduğundan yani horn ile ilk temas eden nokta soğurucu olduğundan dolayı her bir dolaşım borusu için yaklaşık 5 mm kaplamalı yüzey alanı kaybedilmektedir. Laser kaynak uygulamasında işlem ters yönden yani bakır borudan soğurucu yönüne olan atımlarla gerçekleştirilmektedir.

Laser kaynak makinesinde sürekli dalga modunda noktasal ve sürekli dikiş kaynağı uygulamaları yapılabilmektedir. Darbeli güç atım uygulamasıyla milisaniyenin altında kaynak sürelerine erişilerek ince malzemelerin sürekli dikiş kaynakları yapılabilir.

Günden güne gelişen laser kaynak ekipmanlarının kaynak parametreleri kontrol paneli üzerinden bilgisayar destekli olarak atanabilmektedir. Darbe süresi 0,2ms, maksimum atım gücü ise 10 kw, darbe enerjisi 120j olarak sınırlandırılmış bir makine ile güneş kolektörü imalatında bakır-bakır, bakır-alüminyum, alüminyum-alüminyum malzemelerin kaynakları 0,16 -0,40 mm et kalınlığına kadar gerçekleştirilebilir. Laser darbelerinin frekansı, darbe enerjisi ve makinenin ürettiği güç miktarı ile sınırlıdır.

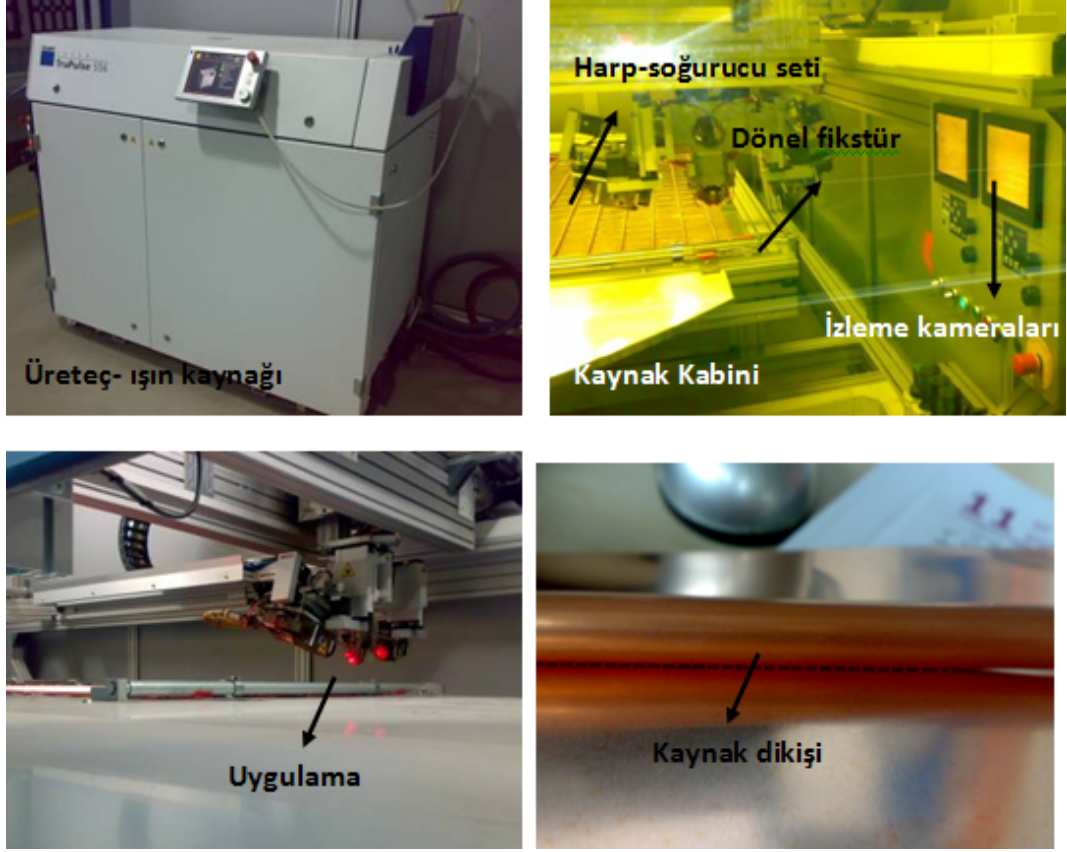
Laser kaynak makinesi başlıca ışın kaynağı, güç kaynağı, soğutucu ve kaynak tablası-fikstürlerinden oluşur. Yeni sistem makinelerde kaynak uygulama aparatına yerleştirilen kameralar ile laser atımları kameradan izlenerek kalitesi denetlenmektedir. Şekil 4.18'de durum gösterilmiştir.

Genel olarak makinenin sürekli dalga boyunda ya da darbeli moda çalışması uygulanacak kaynak tipi ve komponent gereksinimine göre belirlenir. Gerek sürekli gerekse darbeli laser uygulaması ile kaynak yapılabilir.

- Sürekli dalga modunda; Laser orta seviyedeki kondüsyonunda sürekli olarak pompalanır ve kaynak ortamına aktarılır.
- Darbeli mod uygulamasında; Operasyon seri şekildeki kısa laser darbeleri ile gerçekleştirilir.

Malzeme işleme için en önemli kaynak parametreleri;

- Güç
- Süre
- Uygulama frekansdır.



Şekil 4. 18 Laser kaynak ekipmanları ve uygulama

Güneş kolektörlerinde uygulamalarda 0,20 mm et kalınlığındaki bakır soğurucu ve 10 mm çapındaki dolaşım borularından oluşan harp seti için ideal güç değeri 9500 Kw- kaynak hızı 22,5 m/dk, sellektif yüzeyli alüminyum soğurucu ve alüminyum dolaşım borusu seti için ise güç 6500 kW –kaynak hızı 18 m/dk olarak alınmaktadır [53].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle deneysel çalışmalarımda kullandığım kaynak makinası ve özelliklerine ek olarak numune hazırlama ve test işlemleri incelenmiştir.

5.1 Ultrasonik Kaynak Makinesi Amtech Ultraseam 20 D

Numuneler çalışma frekansı 20kHz olan, genlik ve kaynak hızı değeri kontrol panosu üzerinden ayarlanabilen Amtech Ultraseam 20 D kaynak makinesi ile hazırlanmıştır. Üretici firma beyan bilgilerine göre kaynak makinesinin gücü 3000 W, maksimum kaynak hızı 12 m/dk, maksimum genlik üretim kapasitesi 40 micrometredir.

Amtech Ultrasonic, Branson Ultrasonic ve Emerson Ultrasonic firmalarının ortak markası olup, ultrasonik kaynak donanımları konusunda Dünyanın önde gelen üreticilerindendir.

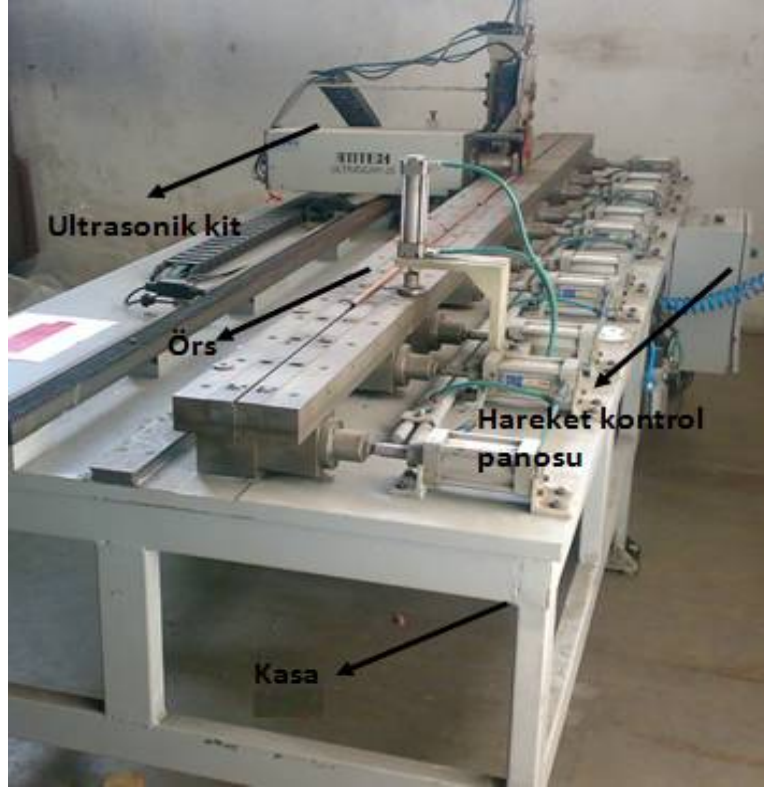
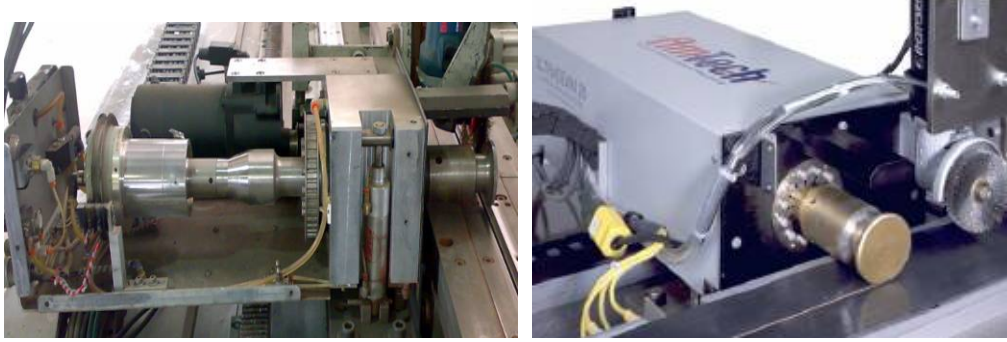
Makinenin teknik özellikleri ve kullanım detayları Amtech Europe ofisinde görevli olan yöneticiler Victor Montenegro, José Rodrigues'in destekleriyle tedarik edilmiştir.

Deney numunelerinin hazırlandığı kaynak makinesi tekil kullanım için dizayn edilmiş olup, uygulamada ön görülen ölçülerde hazırlanan bakır soğurucu ile tek bir bakır borunun kaynağı yapılmıştır.

Makineyi aşağıdaki gibi üç bölümde inceleyebiliriz.

- Ultrasonik kit; kuplaj setinin olduğu kaynağın gerçekleştirildiği, dönüştürücü, yükseltici ve horn takımından oluşan bölümdür. Elektrik enerjisinin, mekanik enerjiye dönüşümü ve parçaya transferi ultrasonik kit tarafından gerçekleştirilir.

- Kasa ve Örs; iş parçalarının bağlandığı örsü ve piston gibi yardımcı elemanların (pistonlar) yanı sıra güç jeneratörü / frekans dönüştürücü ve kumanda panelini taşıyan kısımdır.
- Güç ünitesi, frekans dönüştürücü; Kasa üzerine monte edilmiş şekildedir. Denemelerde kullandığımız marka ve modele ait güç ünitesi 3 kW kapasitesindedir. Makinenin rijitliğini sağlayarak operasyonun boyutsal olarak hataya sebebiyet vermesini engeller.



Şekil 5. 1 Amtech ultrseam 20D kaynak makinesi

Makinenin teknik özelliklerini tablo şeklinde verebiliriz.

Çizelge 5. 1 Amtech Ultraseal 20 D teknik özellikleri

Amtech Ultrasonic 20 D	
Maksimum Motor Hızı	12 m/dk
Frekans	20kHz
Maksimum Basınç	7 Bar
Güç	3kW
Basınçlandırma Sistemi	Pnömatik
Sürücü Sistemi	Dişli
Yükseklik	227 mm
Genişlik	362 mm
Boy	743 mm

5.2 Numunenelerin Hazırlanması

Numuneler tinox kaplı bakır soğurucu plaka ve bakır borunun birbirine ultrasonik metotla kaynak edilmesiyle hazırlanmıştır.

DeneySEL çalışmanın gerçekleştirildiği Baymak-BDR Thermea üretim hatlarında üretilen güneş kolektörleri TS EN 12975 standardının gereklerine göre imal edilmekte olup TS EN 12975-2 nolu güneş enerjisi kolektörleri deney metotları standardına göre yapılan TSE ve EİE testleri neticesinde verim yeterliliği göstermiştir. Ayrıca Avrupa da güneş enerji sistemleri ile ilgi olarak 3. taraf denetim kuruluşu SPF (Solartechnic Prüfung Forschung) tarafından yapılan testlerde 'Solar Key Mark' belgesi almaya hak kazanmıştır.

Kaynak kalitesine etkileri incelenecek olan parametreler genlik, hız ve frekanstır. Numunelerin hazırlanma sürecinde bu üç önemli parametreden iki tanesi elde ettiğimiz en yüksek verim değerliğine göre (seri üretim değeri olarak kabul edebiliriz) sabit tutulacak diğeri değişken özellik gösterecektir. 0,2 mm et kalınlığı olan tinox kaplamalı bakır soğurucu ve Ø10 mm et kalınlığı 0,5 mm olan bakır borunun spektral yapısı çizelge 5.2' de verilmiştir.

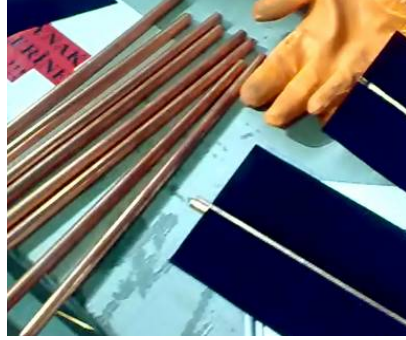
Çizelge 5.2 Bakır soğurucu ve bakır boruya ait özellikler

Parça	Standart	Yüzey	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Sertlik (Hv)
Boru	DIN EN 12499, DIN EN 1057	Yarı Sert, Parlak	10	0,5	110
Soğurucu	DIN EN 13599, DIN 5033	Yarı Sert, Parlak	-----	0,2	95

Parça	%Cu	%P	%Pb	%Sn	%Zn
Boru	99,96	0,022	-----	-----	-----
Soğurucu	99,44	0,015	0,032	0,029	0,039

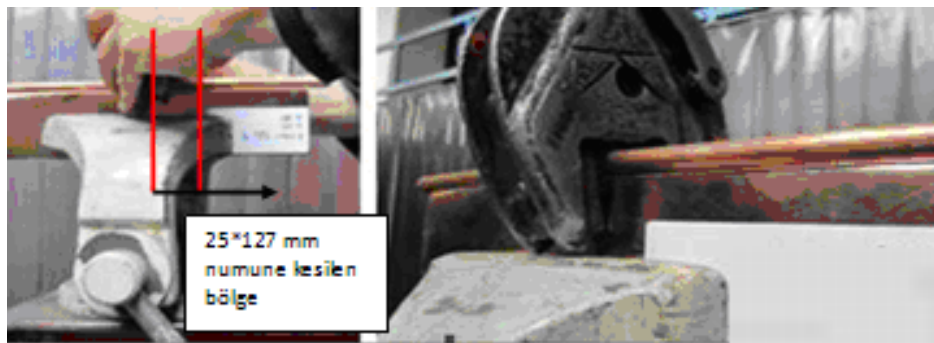
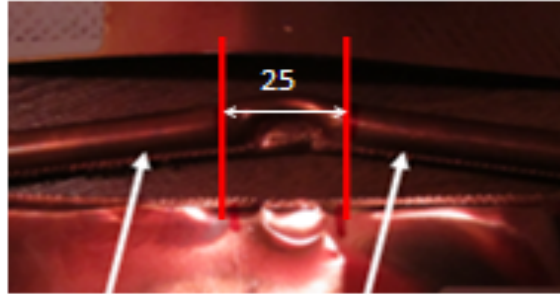
Numunelerin hazırlanması adımları aşağıdaki gibidir;

- Bakır absorber en ve boy ölçülerine karar verilmesi; bu aşamada ultrasonik kaynak makinesinin örs genişliği dikkate alınmış ve buna uygun olacak şekilde en ölçüsünün 120 mm olmasına karar verilmiştir. Boy ölçüsü ise kaynağın kararlılığının sağlanması ve kaliteli kaynak dikişi elde edilebilmesi için 270 mm olarak seçilmiştir. (Şekil 5.2)



Şekil 5. 2 Boru kesim ve numune hazırlama

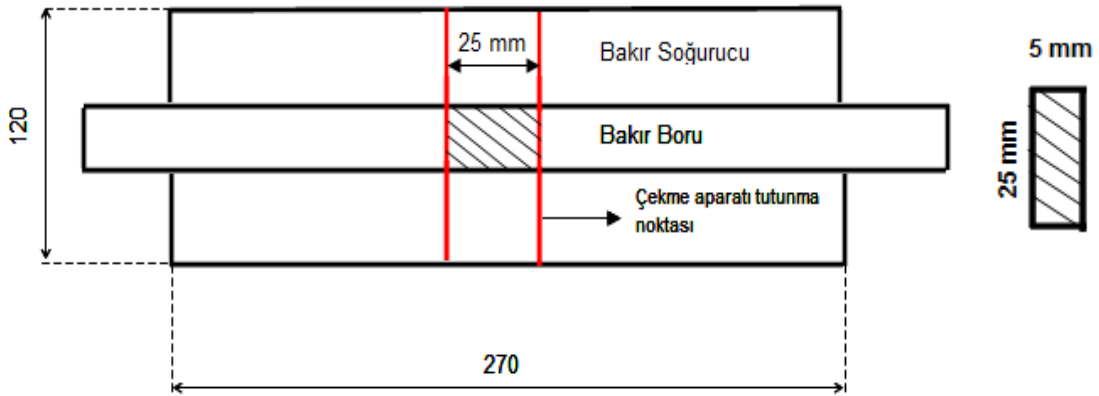
- 120 *270 mm ebatlarındaki numunelerden 10 adedi ön çekme testine alınmış ve hasarın en yoğun olduğu bölgenin çekme çenesinin tutunduğu bölüm olduğu görülmüştür. (Şekil 5.3)



Şekil 5. 3 Numunelerin ön incelemesi için uygulanan dayanım testi

Bu tespit neticesinde dayanım testine alınacak numune parçaların çekme aparatının tutunduğu bölge olan şekil 5.3 ve 5.4'te kırmızı çizgi ile gösterilmiş olan 25 mm

genişliğindeki alandan kesilmesine karar verilmiştir. Çekme testine alınacak olan numune ebatları şu durumda 25 x 120 mm ebatlarında olacaktır. Soğurucu- boru birleşim noktasında görünen ultrasonik kaynak genişliği ise 5 mm olarak ölçülmüştür. Bu durumda çekmeye maruz bırakılacak kaynak kesit alanı 5 x 25 mm ebatlarında olacaktır.



Şekil 5. 4 Çekme testi numuneleri ve gerilmeye maruz kalan kesit alanı

- Her bir deneme kategorisinde parametrelerden iki tanesi sabit tutulmuş üçüncü parametre değiştirilerek uygulama yapılmıştır.
- Uygulama hız ve genlik değerleri ultrasonik kaynak makinesi kontrol panosunda birimsiz olarak kademelendirilmiştir. Teknik kılavuzdan alınan değerlerle bu kademelerin birimlere dönüşümleri yapılmış ve çizelge 5.3' de listelenmiştir.

Çizelge 5. 3 Amtech ultrasonic 20 D gösterge çizelgesi dönüşüm tablosu

Hız	Kademeler	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	m/sn	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
Genlik	Kademeler	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	µm	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40
Basınç	Kademeler (Bar)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

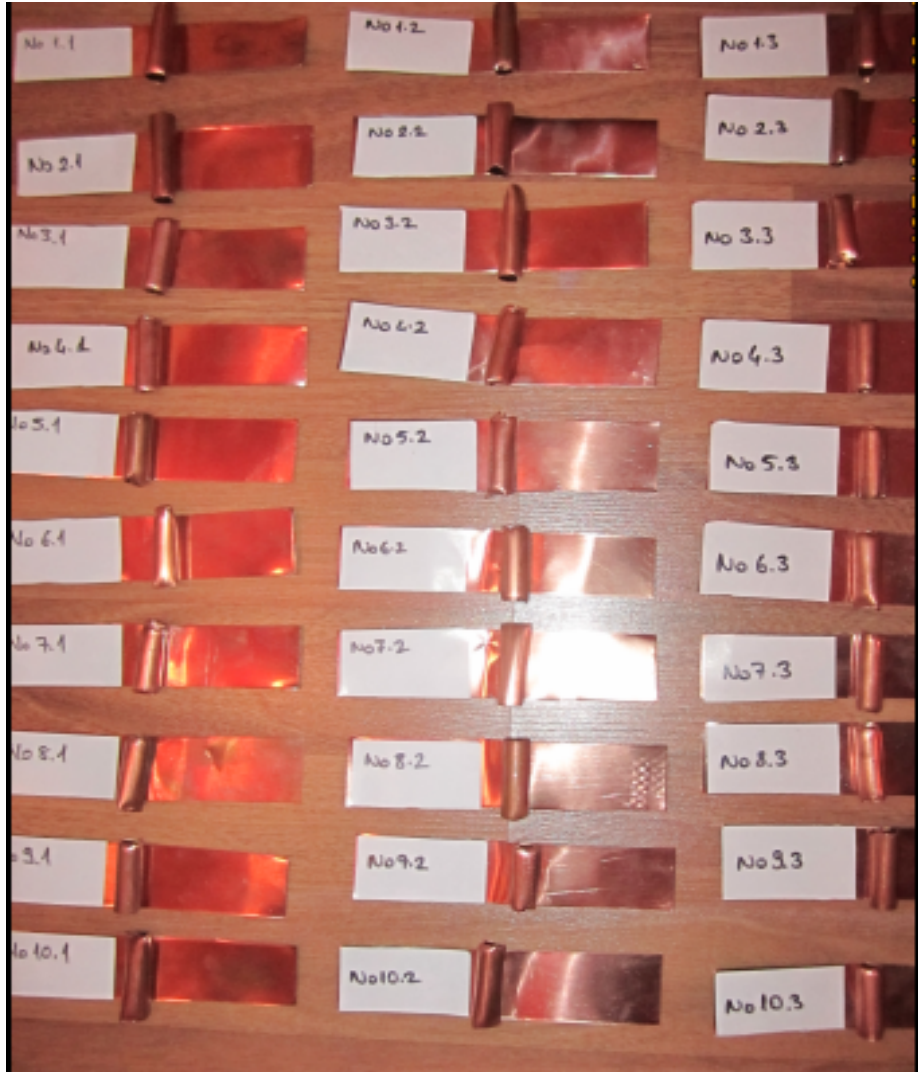
- Kaynak öncesinde boruların yüzeyleri kaynağa uygun hale getirmek için çelik tel fırça ile temizleme yapılmıştır. Şekil 5.5' de temizleme, soğurucu kesim ve kaynak operasyonları görülmektedir.



Şekil 5. 5 Kaynak öncesi boruların temizlenmesi, kaynak işlemi

- Cihaz üzerinde genlik ve hız skalaları 0-100 kademe arasında, basınç ise 0-10 bar aralığındadır. Genlik ve hız 10-100 kademe arasında 10'ar kademe, basınç ise 1 -10 bar arasında 1'er kademe artırılarak uygulanmış ve her bir değer için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Aynı parametre değerinde yapılan 3 farklı numune No-1, No1.1, No 1,2 olarak kodlanmıştır.

Toplam 90 adet numune hazırlanmıştır.

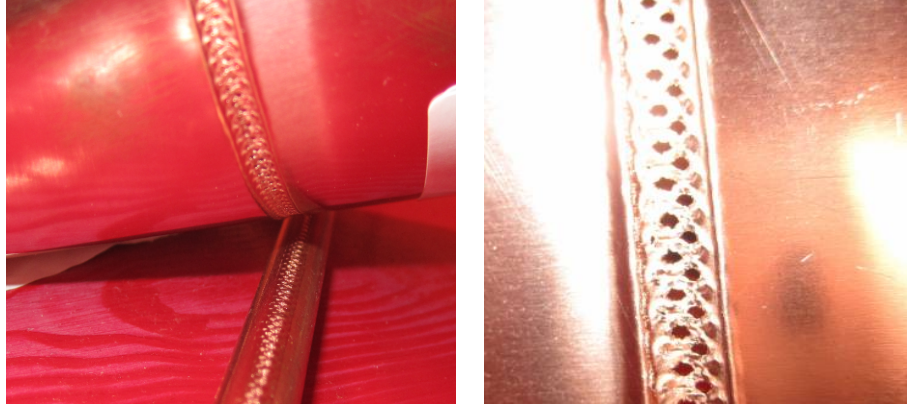


Şekil 5. 6 No 1- No 10 arası test numuneleri



Şekil 5. 7 No 11- No 20 ve No 21-No 30 arası test numuneleri

- Numuneler hazırlandıktan sonra görsel incelemeye tabi tutulmuş ve fotoğraflanmıştır. Görsel incelemede yeterlilik gösteremeyen numuneler bertaraf edilerek yerine aynı parametrelerde farklı numuneler yapılmıştır.



Şekil 5. 8 Numune görsel inceleme- nüfuziyet hatası

5.3 Test İşlemi

Mevcut olan kaynak yöntem standartları katı hal kaynakları ile ilgili detaylı test verileri içermemektedir. Bu nedenle parametrelerin etkisi hazırlanan numunelerin birbirleri ile kıyaslanması neticesinde incelenmiştir.

Ultrasonik kaynak yöntemi ile hazırlanan bakır boru - bakır soğurucu numunelerinde parametrelerin kaliteye etkisinin en iyi analiz edileceği yöntem görsel inceleme ve sonrasında yapılacak mekanik test uygulamalarıdır. Hassas termometre ile laboratuvar şartlarında 30 dakika süre ile 150 ° C ortamda soğurucudan boruya doğru sıcaklık transfer ölçümleri, ohm metre ile yapılan elektriksel iletkenlik ve sertlik kontrollerinde elde edilen veriler ile dairesel boru ile düzlem plaka arasında yapılan bu uygulama için çalışmamızı destekleyecek net veriler elde edilmemiştir.

5.3.1 Görsel Muayene

Kaynaklı numuneler göz ile muayene edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kontroller yüzeysel olarak yapılmış olup liste ve yorumlar çizelge 5.4, çizelge 5.5 ve çizelge 5.6'da verilmiştir. Yüzey makro fotoğrafları Nikon D 3100 fotoğraf makinesi ile elde edilmiştir.

Çizelge 5. 4 Değişken genlik durumunda hazırlanan numuneler için görsel muayene
(Sabit parametreler; P=2bar, V=0,04 m/sn)

Numuneler	A(µm)	Fotoğraf	Nüfuziyet Durumu	Görsel İnceleme	Uygunsuzluk Nedeni
No1	4		Yetersiz	Uygun Değil	Düşük genlik nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No1.1	4				
No1.2	4				
No2	8		Yetersiz	Uygun Değil	Düşük genlik nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No2.1	8				
No2.2	8				
No3	12		Yetersiz	Uygun Değil	Düşük genlik nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No3.1	12				
No3.2	12				
No4	16		Orta	Uygun	-----
No4.1	16				
No4.2	16				
No5	20		Orta	Uygun	-----
No5.1	20				
No5.2	20				
No6	24		İyi	Uygun	-----
No6.1	24				
No6.2	24				
No7	28		Çok iyi	Uygun	-----
No7.1	28				
No7.2	28				
No8	32		Çok iyi	Uygun	-----
No8.1	32				
No8.2	32				
No9	36		Çok iyi	Uygun	-----
No9.1	36				
No9.2	36				
No10	40		İyi	Uygun	-----
No10.1	40				
No10.2	40				

Görsel inceleme manual şekilde el ile basit kuvvet yüklemeleri ve göz ile muayene şeklinde gerçekleştirilmiştir. Görsel tespitler ve olumsuzluğa neden olan durumlar 'uygunsuzluk nedeni' sütununda açıklanmıştır.

Kaynak numuneleri içerisinde nüfuziyet kalitesi çok düşük olan örnekler el ile yapılan basit yüklemelerde dahi birbirinden ayrılmaktadır. Bu durum şekil 5.8' de örnek fotoğraf ile sunulmuştur.

Çizelge 5. 5 Değişken hız değerlerinde hazırlanan numuneler için görsel muayene
(Sabit parametreler; P=2bar, A= 28 μ)

Numuneler	V(m/sn)	Fotoğraf	Nüfuziyet Durumu	Görsel İnceleme	Uygunsuzluk Nedeni
No11	0,02		Çok iyi	Uygun	-----
No11.1	0,02				
No11.2	0,02				
No12	0,04		Çok iyi	Uygun	-----
No12.1	0,04				
No12.2	0,04				
No13	0,06		Çok iyi	Uygun	-----
No13.1	0,06				
No13.2	0,06				
No14	0,08		İyi	Uygun	-----
No14.1	0,08				
No14.2	0,08				
No15	0,10		Orta	Uygun	-----
No15.1	0,10				
No15.2	0,10				
No16	0,12		Orta	Uygun	-----
No16.1	0,12				
No16.2	0,12				
No17	0,14		Yetersiz	Uygun Değil	Yüksek kaynak hızı nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No17.1	0,14				
No17.2	0,14				
No18	0,16		Yetersiz	Uygun Değil	Yüksek kaynak hızı nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No18.1	0,16				
No18.2	0,16				
No19	0,18		Yetersiz	Uygun Değil	Yüksek kaynak hızı nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No19.1	0,18				
No19.2	0,18				
No20	0,20		Yetersiz	Uygun Değil	Yüksek kaynak hızı nedeniyle soğurucu-boru arasında yetersiz nüfuziyet.
No20.1	0,20				
No20.2	0,20				

Çizelge 5.5' de görüldüğü gibi kaynak hızındaki artış belirli bir değerin üzerine eriştiği andan itibaren numune parçalar üzerinde bıraktığı etki görsel muayeneler neticesinde dahi tespit edilebilmektedir.

Kaynak hızının artması, horn açılal hızının artması ile eşdeğerdir. Bu durum birim zamanda iş parçası yüzeyine uygulanan basınç ve titreşim miktarının azalmasına ve parçalar arasında yetersiz nüfuziyet problemine neden olacaktır.

Çizelge 5. 6 Değişken basınç değerlerinde hazırlanan numuneler için görsel muayene
(Sabit parametreler; V=0,04 m/sn, A= 28 µ)

Numuneler	P(bar)	Fotoğraf	Nüfuziyet Durumu	Görsel İnceleme	Uygunsuzluk Nedeni
No21	1		İyi	Uygun	-----
No21.1	1				
No21.2	1				
No22	2		Çok iyi	Uygun	-----
No22.1	2				
No22.2	2				
No23	3		Orta	Uygun	-----
No23.1	3				
No23.2	3				
No24	4		Orta	Uygun	-----
No24.1	4				
No24.2	4				
No25	5		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucuda zedelenme başlamıştır.
No25.1	5				
No25.2	5				
No26	6		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucunun hasar alması
No26.1	6				
No26.2	6				
No27	7		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucunun hasar alması
No27.1	7				
No27.2	7				
No28	8		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucunun hasar alması
No28.1	8				
No28.2	8				
No29	9		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucunun hasar alması
No29.1	9				
No29.2	9				
No30	10		Aşırı	Uygun Değil	Yüksek horn baskısı nedeniyle aşırı nüfuziyet ve soğurucunun hasar alması
No30.1	10				
No30.2	10				

Güneş kolektörlerinde bakır ve alüminyum gibi elemanlar kullanıldığından dolayı ultrasonik kaynak işlemi esnasında çok yüksek basınç değerlerine gerek duyulmamaktadır. Aksine şekil değiştirme kabiliyeti iyi olan bu malzemelerin kaynağında basınç değerinin artırılması çizelge 5.6'da görülen hatalara yani soğurucunun kesilmesine bakır borunun ise dairesellik formunun bozulmasına sebebiyet vermektedir.

5.3.2 Mekanik Test Uygulaması

Mekanik test uygulamasında hazırlanan numunelerin tümü özdeş şartlarda sabitleyici bir mengeneye bağlanmış ve eksenlerine düşey yönde uygulanan bir kuvvet ile çekilerek boru ve soğurucunun birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Kuvvet değeri kilogram cinsinden dinamometre üzerindeki maksimum yükleme değeri ölçülerek kayıt hesaplanmıştır.

Kullanılan teçhizatı aşağıda izah edilmiştir.

- Dijital Dinamometre; 20000 N kapasitesindedir, ölçümlene kontrolü sertifika ve cihaz üzerindeki kalibre etiketinden yapılmıştır.



Şekil 5. 9 Dijital dinamometre ve kalibrasyon etiketi

- Sabitleme çenesi (Mengene) , çekme aparatı, test sehпасı; Sehpa üzerine monte edilmiş olan sabitleme çenesi mekanik test esnasında numuneyi sabitlemek amacıyla kullanılmıştır.

Dinamometre ucuna takılan çekme aparatı, vinçten alınan kuvveti doğrudan iş parçasına aktarır ve numunenin düşey ekseninde çekilmesine yardımcı olur. Çekme aparatının bakır boru ile temas eden kesiti 25 mm uzunluğundadır.



Şekil 5. 10 Sabitleme çenesi, test sehpası ve çekme aparatı

- Kreyn; Denemelerde düşey eksendeki çekme kuvveti 1000 kg kaldırma kapasiteli kreyn tarafından sağlanmıştır. (Şekil 5.11)



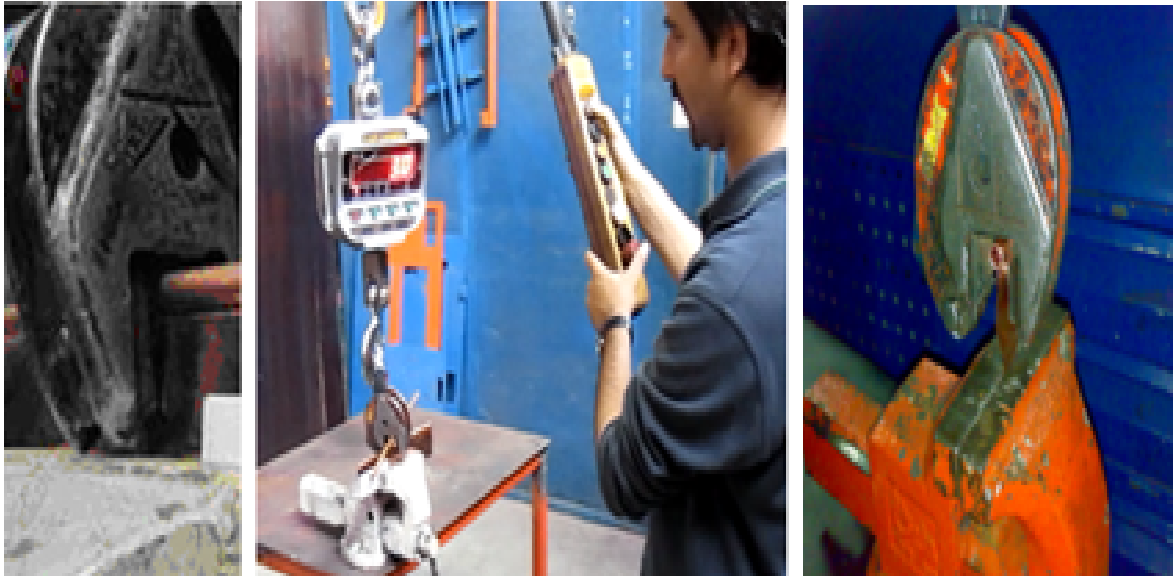
Şekil 5. 11 Çekme kuvvetini üreten kreyn ve test düzeneğinin genel görünümü

Numuneler standart çekme numunesi şeklinde olmadığından dolayı mevcut test düzeneğine adapte edebilmek için tüm parçalara soğurucu yönüne doğru büküm verilmiştir. Çekme aparatı kaynak yüzeyine dik olarak kuvvet uygulayarak bağlı olduğu

kesit alanını kopmaya zorlamaktadır. 25 x 270 mm olarak ana numuneler üzerinden kesilen parçaların çekme dayanımı bu kesit üzerinden hesaplanacaktır. Hesaplama için referans alınacak kesit alanı bu çekme aparatının birebir temas ettiği alan ve buradaki kaynak genişliği göz önüne alınarak tüm numunelerde aynı kabullerle hesaplanmıştır. (Şekil 5.4).

Numune üzerine bağlanan çekme aparatının parçayı tutan dış genişliği 25 mm, numune parçanın kaynak genişliği ise 5 mm'dir. (Hazırlanan tüm numunelerin kaynak genişlikleri kalibrasyonu yapılmış çelik cetvel ile ölçülmüştür. Kaynak esnasında tüm parametreler için horn ile parça temas alanı eşittir.

Çok yüksek kaynak basıncı nedeniyle soğurucunun kesilerek boru üzerine sıvanması durumu kaynak genişliğini değiştirebilmektedir. Hesaplamamızda yüksek uygulama basıncı nedeniyle görsel kontrolde uygunsuz olarak değerlendirilen numunelerin çekme testine alınmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 5. 12 Test aparatlarına bağlanmış deney numunesi

Sağlıklı bir kıyaslama yapabilmek için çekme aparatı bakır boruyu sağ ve soldan tam ortalayacak şekilde bağlanmıştır. Böylelikle yükleme yapılacak alanın kaynağın en istikrarlı olduğu bölge olmasına özen gösterilmiştir. Kuvvet etkisini inceleyeceğimiz numune parça üzerindeki kesit alanı şu durumda 5 x 25 mm ebatlarında dikdörtgensel bir alan olacak ve bu bölgeye etki eden çekme gerilmesinin hesabı yapılmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan formül;

σ (N/mm²) : Çekme gerilmesi

F(N) : Dinamometreden okunan çekme kuvveti değeri

Lk (mm): Kaynak genişliği

Lt (mm):Çekme etkisine maruz kalan kaynak uzunluğu (Çekme aparatı çene genişliği ölçüsüdür)

S(mm²): Kaynaklı yüzey kesit alanı

Çekmeye maruz kalan kaynak kesit alanı;

$$S(\text{mm}^2) = Lk \times Lt \quad (5.2)$$

Çekme gerilmesinin hesabı;

$$\sigma \text{ (N/mm}^2\text{)} = F(\text{N}) / S(\text{mm}^2) \quad (5.3)$$

Mekanik testler bu esaslar doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup numunelerin test sonuçları çizelge 5.7, çizelge 5.8 ve çizelge 5.9'da numune kodları ile birlikte detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgelerde geçen F(N) çekme kuvveti (5.1) eşitliği ile dinamometrede okunan ağırlık değeri ile yerçekimi ivmesinin çarpılması neticesinde hesaplanmış ve kullanılmıştır.

Hazırlanan numune setlerinden bir adedini örnek olarak seçip yukarıdaki formülleri uygulayabiliriz.

Örnek; No 1 serisindeki aynı parametreler ile hazırlanmış 3 adet örnekten birisini seçilebilir.

Numunenin çekme testlerinde,

Çekme kuvveti F = 297,4 N

Lk= 5 mm

Lt=25 mm

Çekmeye maruz kalan kesit alanı S = Lk x Lt = 5 x 25 = 125 mm²

Çekme gerilmesi $\sigma = F / S = 297,4 / 125 = 2,38 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanır.

DENEYSEL ÇALIŞMA NETİCELERİNİN İRDELENMESİ

6.1 Değerlendirmeye İlgili Bilgiler

Çalışmanın test aşamaları ve değerlendirme süreci içerisinde incelemeye tabi tutulan 3'lü gruplar halinde hazırlanmış toplam 90 adet numunenin görsel muayenesi (el ve göz ile kontrol) ve mekanik incelemesi gerçekleştirilmiştir.

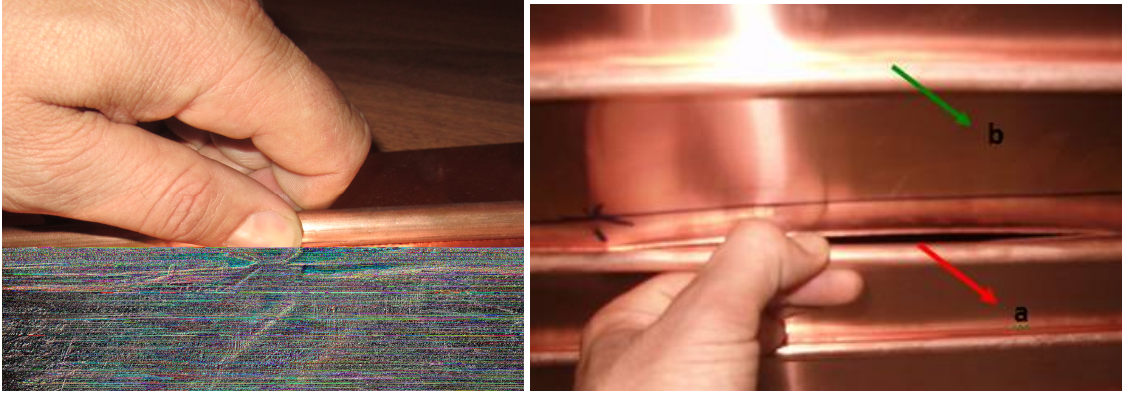
Numunelerin tümünde kullanılan boru setleri Sarkuysan firmasından tedarik edilmiş olan aynı filmaşın demetinden, soğurucular ise Alanod firmasından tedarik edilen sunselect –selektif yüzey rulosundan kesilmiştir. Böylelikle tedarikçi firmaların proseslerinden ötürü meydana gelebilecek sapmalar minimuma indirilmiş ve aynı partide tedarik edilen hammaddeler kullanılmıştır.

Görsel ve mekanik incelemelerde kullanılan tüm ekipmanların kalibrasyon sertifikaları incelenmiş, böylelikle ölçüm yeterliliği sağlamayan cihazların kullanılmasının önüne geçilmiştir.

Modern imalat yöntemlerinden ultrasonik kaynağın yanı sıra yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde önemli bir paya sahip olan güneş kolektörlerini de kapsayan bu çalışmada elde edilen sonuçlar numunelerin birbirleri ile kıyaslanması ile değerlendirilmiş, tablolar ve ilgili grafikler ile sonuçlar desteklenmiştir.

6.2 Görsel Muayene (Göz ve El ile Kontrol)

İmalat proseslerinde en sık yapılan kontroller görsel incelemelerdir. Çizelge 5.4, çizelge 5.6 ve çizelge 5.7’de listelenen tespitlerin tümü göz ve el ile kontrol neticesinde elde edilmiş sonuçlardır. El ile yapılan muayene kaynak noktasına düşey yönde el ile uygulanan çekme kuvvetinden ibarettir. Bu uygulamada ciddi bir parametre seçim hatası ya da kaynak makinesi ile ilgili herhangi bir problem varsa aşırı derecede zayıf olan kaynak dikişi bakır soğurucudan kolaylıkla ayrılabilir. El ile kontrol için kabul kriteri o bölgede kaynak süreksizliğinin olmaması yani soğurucu ile bakır boru arasındaki temasın korunmasıdır.



Şekil 6. 1 El ile kontrol tekniği; a) yetersiz nüfuziyet b) uygun kaynak dikişi

6.2.1 Kaynak Genliğindeki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi

Çizelge 5.4’de görüldüğü gibi genlik değerinin çok düşük olduğu durumlarda No-1, No2 ve No3 numune setlerindeki göz ve el ile kontrolde kolaylıkla tespit edilebilen yetersiz nüfuziyet hatası ile karşılaşmıştır. Bu denemelerde genlik değerleri sırasıyla 4, 8 ve 12 μm ’dir.

Genlik değerinin 20 μm ’nin üzerine çıkmasıyla kaynak dikişi kararlı özellik göstermeye başlamış ve en iyi görsel tespitler 28, 32 ve 36 μm noktalarında sağlanmıştır. Maksimum kapasite olan 40 μm ’de ise görsel kalite iyi olmasına rağmen bir önceki kademedeki kararlılığa sahip değildir.

6.2.2 Kaynak Hızındaki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi

Kaynak hızının kontrolsüz şekilde artırılması, horn ile iş parçası arasındaki temas süresini doğal olarak titreşimin iletim süresini azaltacağından ağırlıklı olarak nüfuziyet problemine neden olmaktadır.

Bu durum görsel tespitlerde ve el ile kontrolde kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Çizelge 5.5'de görüldüğü gibi en iyi sonuçlar hızın 0.02, 0.04 ve 0.06 m/sn değerlerinde elde edilmiştir. Kaynak uygulama hızının 0,14m/sn ve üzerinde çıktığı hallerde kaynak dikisinde nüfuziyet problemleri gözlenebilmektedir. Malzemeler arasında ayrılma olmadığı için bu tip numuneler mekanik teste tabi tutulmuş ve ölçüm alınabilmektedir.

6.2.3 Kaynak Basıncındaki Artışının Numuneler Üzerindeki Görsel Etkisi

Çizelge 5.6'da net olarak görüldüğü gibi 2 bar uygulama basıncında en iyi görsel inceleme sonuçlarına ulaşılmıştır. Basıncın kademeli olarak artırılması süreci gerçekleştirilmiş ve 5 bar basınç altında soğurucuda hasar meydana gelmeye başladığı tespit edilmiştir. 6 bar ve üzerindeki değerlerde ise yüksek basınçtan dolayı aşırı nüfuziyet oluşmuş ve soğurucu hasar almıştır. Bu nedenle bu tip numunelere mekanik test uygulanamamıştır. Ayrıca bu numunelerde gerek bakır plakada yırtılma ve aşırı sıvanma, boruda ise aşırı horn baskısından dolayı ezilme problemi ile karşılaşmıştır.

6.3 Mekanik Test Uygulaması

Giriş bilgilendirme bölümünde açıklandığı gibi mekanik test değerlendirmesinin uygulama şekli ve kabul kriterleri standartlar ile prosedürize edilmemiştir. Sonuçlar tablolar ile kayda alınmış olup değerlendirmeler karşılaştırma metoduyla yapılmıştır. Detaylar aşağıda açıklanmıştır.

6.3.1 Kaynak Genliğindeki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi

Kaynak uygulama genliğinin değişken, kaynak uygulama basıncı ve kaynak uygulama hızının sabit olduğu durumda numuneler üzerinde yapılan hesaplamalar Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de tablolarla açıklanmıştır.

P= 2bar, V=0,04 m/sn değerlerinde sabit tutulmuş, A ise 4 µm–40 µm arasında kademeli olarak artırılmıştır.

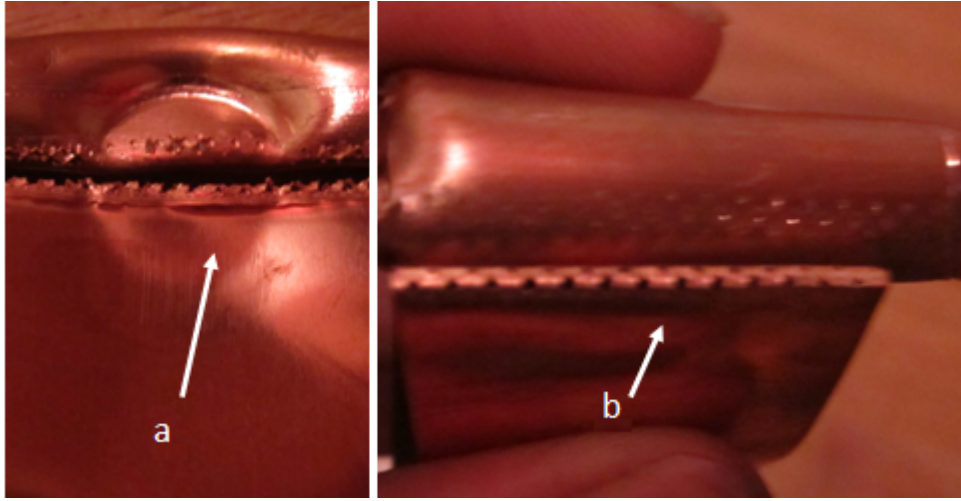
Çizelge 6. 1 Kaynak uygulama genliğinin değişken olduğu durumda No 1-No 10 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri

Numuneler	Çekme Kuvveti F(N)
No 1	297,24
No 1.1	170,69
No 1.2	233,48
No 1 serisi	
No 2	287,43
No 2.1	236,42
No 2.2	245,25
No 2 serisi	
No 3	534,65
No 3.1	355,12
No 3.2	424,77
No 3 serisi	
No 4	619,99
No 4.1	514,04
No 4.2	566,04
No 4 serisi	
No 5	864,26
No 5.1	586,64
No 5.2	629,80
No 5 serisi	
No 6	689,64
No 6.1	851,51
No 6.2	608,22
No 6 serisi	
No 7	1251,76
No 7.1	1249,79
No 7.2	1316,50
No 7 serisi	
No 8	1200,74
No 8.1	1336,12
No 8.2	1184,07
No 8 serisi	
No 9	1232,14
No 9.1	1150,71
No 9.2	1257,64
No 9 serisi	
No 10	1305,71
No 10.1	1177,20
No 10.2	1150,71
No 10 serisi	

Çizelge 6. 2 Kaynak uygulama genliğinin değişken olduğu durumda No 1-No 10 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri

Numuneler	A(μm)	F(N)	S(mm^2)	$\sigma(\text{N}/\text{mm}^2)$
No1	4	297,24	125	2,38
No1.1	4	170,69	125	1,37
No1.2	4	233,48	125	1,87
No 1 serisi için ortalama gerilme				1,87
No2	8	287,43	125	2,30
No2.1	8	236,42	125	1,89
No2.2	8	245,25	125	1,96
No 2 serisi için ortalama gerilme				2,05
No3	12	534,65	125	4,28
No3.1	12	355,12	125	2,84
No3.2	12	424,77	125	3,40
No 3 serisi için ortalama gerilme				3,51
No4	16	619,99	125	4,96
No4.1	16	514,04	125	4,11
No4.2	16	566,04	125	4,53
No 4 serisi için ortalama gerilme				4,53
No5	20	864,26	125	6,91
No5.1	20	586,64	125	4,69
No5.2	20	629,80	125	5,04
No 5 serisi için ortalama gerilme				5,55
No6	24	689,64	125	5,52
No6.1	24	851,51	125	6,81
No6.2	24	608,22	125	4,87
No 6 serisi için ortalama gerilme				5,73
No7	28	1251,76	125	10,01
No7.1	28	1249,79	125	10,00
No7.2	28	1316,50	125	10,53
No 7 serisi için ortalama gerilme				10,18
No8	32	1200,74	125	9,61
No8.1	32	1336,12	125	10,69
No8.2	32	1184,07	125	9,47
No 8 serisi için ortalama gerilme				9,92
No9	36	1232,14	125	9,86
No9.1	36	1150,71	125	9,21
No9.2	36	1257,64	125	10,06
No 9 serisi için ortalama gerilme				9,71
No10	40	1305,71	125	10,45
No10.1	40	1177,20	125	9,42
No10.2	40	1150,71	125	9,21
No 10 serisi için ortalama gerilme				9,69

Titreşim genliği ultrasonik kit içerisinde yükseltici tarafından ayarlanan ve horn tarafından titreşim ile birlikte iş parçasına iletilen bir parametredir. Malzemeden malzemeye farklılık göstermektedir. Genlik için sınırlayıcı olan faktör makine kapasitesi diğer bir deyimle kullanılan yükselticinin tipidir. Bu parametrenin etkileri ve ölçüm metotları ile ilgili olarak daha önceki konularda detaylı bilgilendirme yapılmıştır. Şekil 6.2'de b parçası çok ufak bir çekme kuvveti altında kopmuştur, a'da ise boru üzerindeki çekme izinden ve tutunma yüzeylerinden anlaşılacağı gibi kaynak dayanımı daha yüksektir.



Şekil 6. 2 a) Kaynak uygulama genliğinin a) maksimum, b) minimum değerleri

6.3.2 Kaynak Hızındaki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi

Kaynak uygulama hızının değişken, kaynak uygulama basıncı ve kaynak uygulama genliğinin sabit olduğu durumda numuneler üzerinde yapılan hesaplamalar Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te tablolarla açıklanmıştır. $P= 2\text{bar}$, $A=28 \mu\text{m}$ değerlerinde sabit tutulmuş, V ise $0,02 \text{ m/sn} - 0,2 \text{ m/sn}$ arasında kademeli olarak artırılmıştır. Hızın kontrolsüz şekilde artırılması horn ile parçası arasındaki temas süresini azaltacağından dolayı kuvvetin ve titreşimin tam olarak iletilmesini engeller. Çizelge 6.3 ve 6.4'te hız değerindeki artışın kaynak dikişine etkisi görülmektedir. Hız değerinin $0,02 - 0,04 \text{ m/sn}$ olduğu durumda en iyi kaynak şartları sağlanmaktadır. Diğer yandan hızın diğer parametrelerden bağımsız olarak ani şekilde düşürülmesi baskı ve temas süresini azaltacağından malzemenin aşırı yüklenme etkisiyle hasar görmesine neden olacaktır.

Çizelge 6. 3 Kaynak uygulama hızının değişken olduğu durumda No 11 - No 20 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri

Numuneler	Çekme Kuvveti F(N)
No11	1224,29
No11.1	1198,78
No11.2	1264,51
No 11 serisi	
No12	1131,09
No12.1	1233,12
No12.2	1235,08
No 12 serisi	
No13	1031,03
No13.1	961,38
No13.2	936,86
No 13 serisi	
No14	619,01
No14.1	484,61
No14.2	560,15
No 14 serisi	
No15	519,93
No15.1	506,20
No15.2	531,70
No 15 serisi	
No16	313,92
No16.1	287,43
No16.2	271,74
No 16 serisi	
No17	276,64
No17.1	296,26
No17.2	271,74
No 17 serisi	
No18	268,79
No18.1	274,68
No18.2	209,93
No 18 serisi	
No19	248,19
No19.1	217,78
No19.2	176,58
No 19 serisi	
No20	191,30
No20.1	150,09
No20.2	168,73
No 20 serisi	

Çizelge 6. 4 Kaynak uygulama hızının değişken olduğu durumda No 11-No 20 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri

Numuneler	V(m/sn)	F(N)	S(mm ²)	σ (N/mm ²)
No11	0,02	1224,29	125	9,79
No11.1	0,02	1198,78	125	9,59
No11.2	0,02	1264,51	125	10,12
No 11 için ortalama gerilme				9,83
No12	0,04	1131,09	125	9,05
No12.1	0,04	1233,12	125	9,86
No12.2	0,04	1235,08	125	9,88
No 12 için ortalama gerilme				9,60
No13	0,06	1031,03	125	8,25
No13.1	0,06	961,38	125	7,69
No13.2	0,06	936,86	125	7,49
No 13 için ortalama gerilme				7,81
No14	0,08	619,01	125	4,95
No14.1	0,08	484,61	125	3,88
No14.2	0,08	560,15	125	4,48
No 14 için ortalama gerilme				4,44
No15	0,10	519,93	125	4,16
No15.1	0,10	506,20	125	4,05
No15.2	0,10	531,70	125	4,25
No 15 için ortalama gerilme				4,15
No16	0,12	313,92	125	2,51
No16.1	0,12	287,43	125	2,30
No16.2	0,12	271,74	125	2,17
No 16 için ortalama gerilme				2,33
No17	0,14	276,64	125	2,21
No17.1	0,14	296,26	125	2,37
No17.2	0,14	271,74	125	2,17
No 17 için ortalama gerilme				2,25
No18	0,16	268,79	125	2,15
No18.1	0,16	274,68	125	2,20
No18.2	0,16	209,93	125	1,68
No 18 için ortalama gerilme				2,01
No19	0,18	248,19	125	1,99
No19.1	0,18	217,78	125	1,74
No19.2	0,18	176,58	125	1,41
No 19 için ortalama gerilme				1,71
No20	0,20	191,30	125	1,53
No20.1	0,20	150,09	125	1,20
No20.2	0,20	168,73	125	1,35
No 20 için ortalama gerilme				1,36

6.3.3 Kaynak Basıncındaki Değişimin Mekanik Özelliklere Etkisi

Kaynak uygulama basıncının değişken, kaynak uygulama hızı ve kaynak uygulama genliğinin sabit olduğu durumda numuneler üzerinde yapılan hesaplamalar Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da tablolarla açıklanmıştır. $A=28 \mu\text{m}$, $V=0,04 \text{ m/sn}$ değerlerinde sabit tutulmuş, P ise 1 bar ile 10 bar arasında kademeli olarak artırılmıştır.

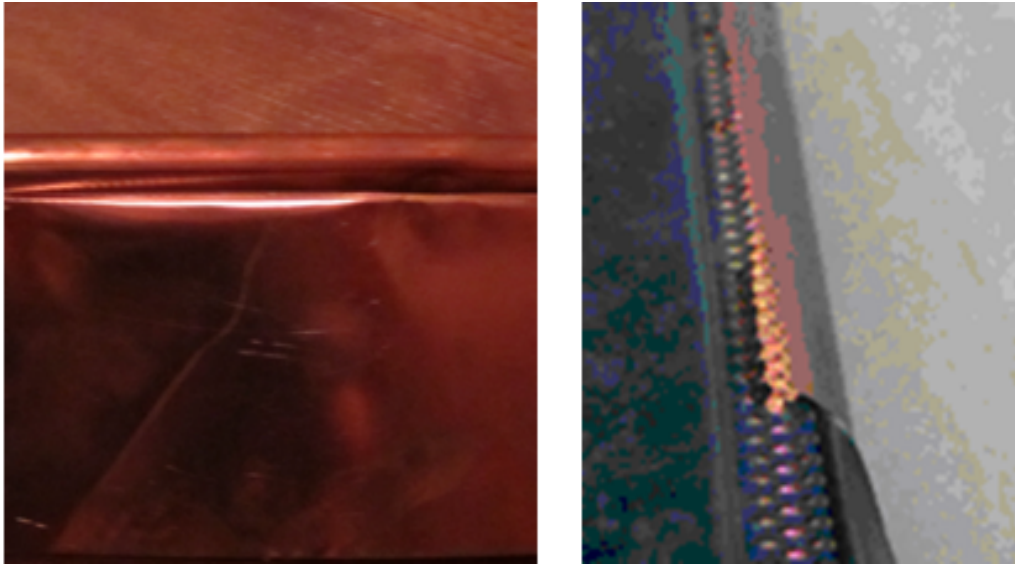
Çizelge 6. 5 Kaynak uygulama basıncının değişken olduğu durumda No 21 - No 30 numune setleri için hesaplanan maksimum çekme kuvveti değerleri

Mekanik Test Numune Kodları	Çekme Kuvveti F(N)
No21	1211,54
No21.1	1216,44
No21.2	1188,97
No 21 serisi	
No22	1257,64
No22.1	1226,25
No22.2	1268,43
No 22 serisi	
No23	1286,09
No23.1	1226,25
No23.2	1283,15
No 23 serisi	
No24	966,29
No24.1	929,01
No24.2	958,44
No 24 serisi	
No25	877,01
No25.1	865,24
No25.2	895,65
No 25 serisi	
No26	0,00
No26.1	0,00
No26.2	0,00
No 26 serisi	
No27	0,00
No27.1	0,00
No27.2	0,00
No 27 serisi	
No28	0,00
No28.1	0,00
No28.2	0,00
No 28 serisi	
No29	0,00
No29.1	0,00
No29.2	0,00
No 29 serisi	
No30	0,00
No30.1	0,00
No30.2	0,00
No 30 serisi	

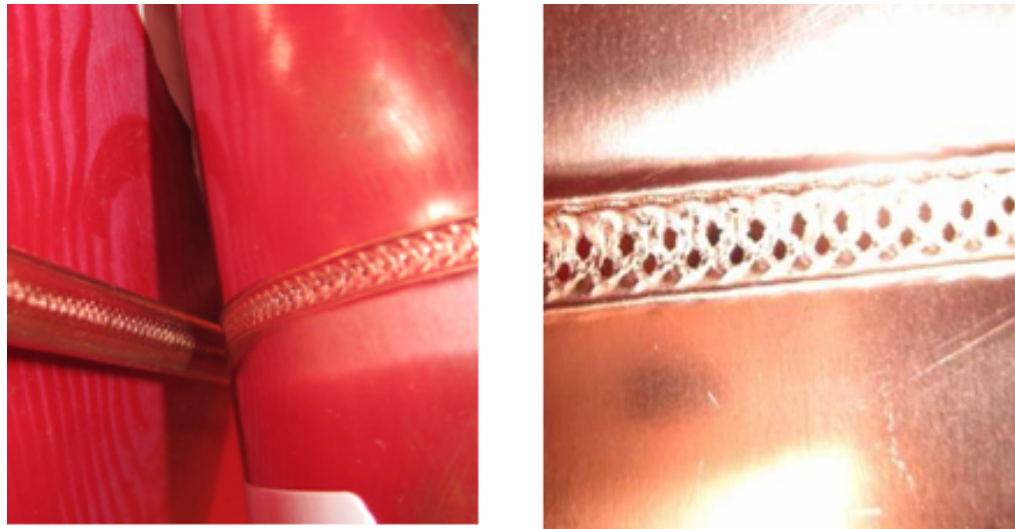
Çizelge 6. 6 Kaynak uygulama basıncının değişken olduğu durumda No 21 - No 30 numune setleri için hesaplanan dayanım değerleri

Numuneler	P(bar)	F(N)	S(mm ²)	σ (N/mm ²)
No21	1	1211,54	125	9,69
No21.1	1	1216,44	125	9,73
No21.2	1	1188,97	125	9,51
No 21 serisi için ortalama gerilme				9,65
No22	2	1257,64	125	10,06
No22.1	2	1226,25	125	9,81
No22.2	2	1268,43	125	10,15
No 22 serisi için ortalama gerilme				10,01
No23	3	1286,09	125	10,29
No23.1	3	1226,25	125	9,81
No23.2	3	1283,15	125	10,27
No 23 serisi için ortalama gerilme				10,12
No24	4	966,29	125	7,73
No24.1	4	929,01	125	7,43
No24.2	4	958,44	125	7,67
No 24 serisi için ortalama gerilme				7,61
No25	5	877,01	125	7,02
No25.1	5	865,24	125	6,92
No25.2	5	895,65	125	7,17
No 25 serisi için ortalama gerilme				7,03
No26	6	Numunelerde hasar olduğundan ölçüm alınamamıştır.		
No26.1	6			
No26.2	6			
No 26 serisi için ortalama gerilme				0,00
No27	7	Numunelerde hasar olduğundan ölçüm alınamamıştır.		
No27.1	7			
No27.2	7			
No 27 serisi için ortalama gerilme				0,00
No28	8	Numunelerde hasar olduğundan ölçüm alınamamıştır.		
No28.1	8			
No28.2	8			
No 28 için ortalama gerilme				0,00
No29	9	Numunelerde hasar olduğundan ölçüm alınamamıştır.		
No29.1	9			
No29.2	9			
No 29 serisi için ortalama gerilme				0,00
No30	10	Numunelerde hasar olduğundan ölçüm alınamamıştır.		
No30.1	10			
No30.2	10			
No 30 serisi için ortalama gerilme				0,00

Basınç ultrasonik kaynak yönteminin temel ögesidir. Basıncıdaki düşüş diğer parametrelerden bağımsız olarak nüfuziyet ve dikiş kalitesine olumsuz etki eder. Bu tip numuneler proses aşamaları içerisinde yapılan görsel kontrolleri dahi geçememektedir. Basıncın aşırı artırılması durumunda ise görsel incelemeler ve kaynak kusurlarının tanımlanması bölümünde de açıkladığımız gibi boru ve soğurucu üzerinde kesilmeler, deformasyon ve soğurucunun boru üzerine yığılması gibi problemler ile karşılaşmaktadır. Şekil 6.3 ve şekil 6.4 'te basınç ve hız parametresine bağlı olarak meydana gelmiş uygulama hatalarına ait örnekler görülmektedir.



Şekil 6. 3 Yüksek basınç nedeniyle iş parçasında kırılma ve yırtılma

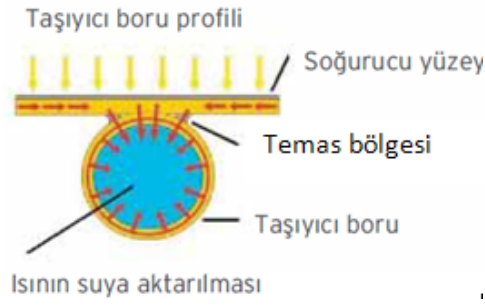


Şekil 6. 4 Yüksek kaynak hızına bağlı olarak oluşan nüfuziyet problemi

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ultrasonik kaynak son yıllarda geliştirilmiş yeni nesil kaynak yöntemlerinden olup spesifik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle klasik kaynak yöntemlerinin yeterlilik kontrollerinde kullandığımız standartlar ve benzer referans dökümanlar ultrasonik kaynak yöntemini kapsamamaktadır. Diğer bir deyimle kaynak kalitesi bu amaç için düzenlenmiş belirli bir standart olmadığı için ancak kıyaslama yoluyla kontrol edilebilmektedir.

Güneş kolektörlerindeki ultrasonik kaynak uygulaması birbirinden farklı geometride ve farklı et kalınlıklarında iki malzemenin birleştirilmesi şeklindedir. Bugün TSE ve Avrupa'nın en önde gelen güneş enerjisi kuruluşlarından SPF dahil olmak üzere tüm onaylı kuruluşlar (3.taraf denetim ve belgelendirme firmaları) kolektörlerin testlerinde kaynak kalitesini görsel inceleme ve el ile kontrol dışında kontrol edememekte ancak büyük kolektör sistemlerine verim testi, ısı şok testi şeklindeki uygulamalarla kolektör belgelendirme çalışmalarını yürütmektedirler. Kapalı sistem çalışma prensibine sahip bir güneş kolektörünün çalışması esnasında incelemeye tabi tuttuğumuz bakır dolaşım boruları içerisinden geçen taşıyıcı akışkanın yarattığı sistem basıncı kolektör yapısını tehdit edecek boyutta olmadığından dolayı kaynak bölgesi değişken dinamik yük etkisine maruz kalmamaktadır. Sistem basıncı bireysel kullanımda 3 bar, daha büyük tesisler için yüksek adette seri bağlanan kolektör setleri için ise maksimum 10 bar olarak tertiplenmiştir.



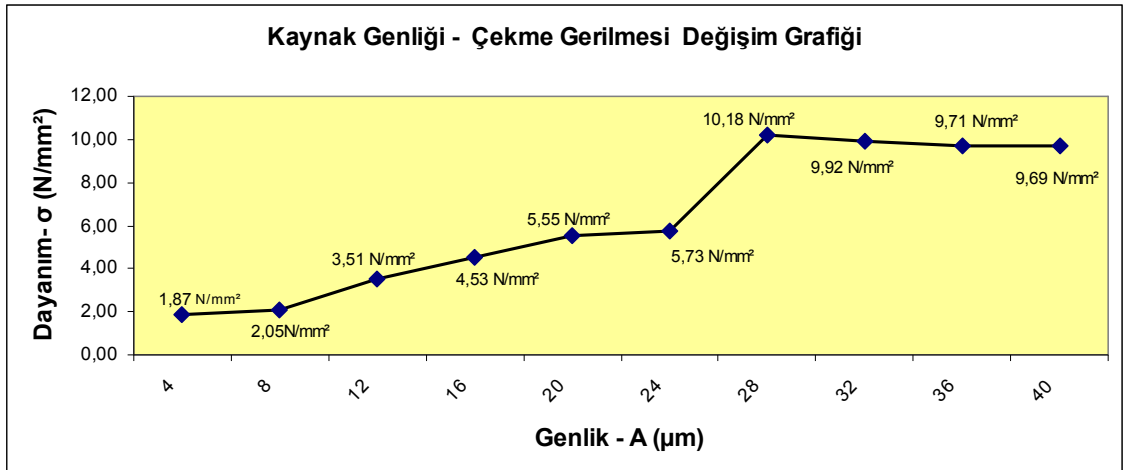
Şekil 7. 1 Soğurucudan –Bakır boruya ısı transferi

Numunelerin hazırlanmasında sabit tuttuğumuz değişkenler bu verim testlerinde en yüksek verimlilik değerlerini sağlayan parametreler olup seri üretim şartlarında optimize edilmiştir.

Bölüm 6 içerisinde detaylı olarak izah ettiğimiz gibi çalışma içerisindeki numunelerin kontrolü için farklı denemeler yapılmış fakat en net sonuçlar görsel incelemeler ve mekanik test neticesinde elde edilmiştir. Deneyler hazırlanan tüm numune setleri için aynı şartlarda gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları hassasiyetle kayda alınmıştır.

- **Kaynak uygulama genliği**

Şekil 7.1’de kaynak uygulama genliğinin test numunesinin dayanım özelliklerine etkisi grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 7. 2 Kaynak genliğindeki artışın dayanım özelliklerine etkisi

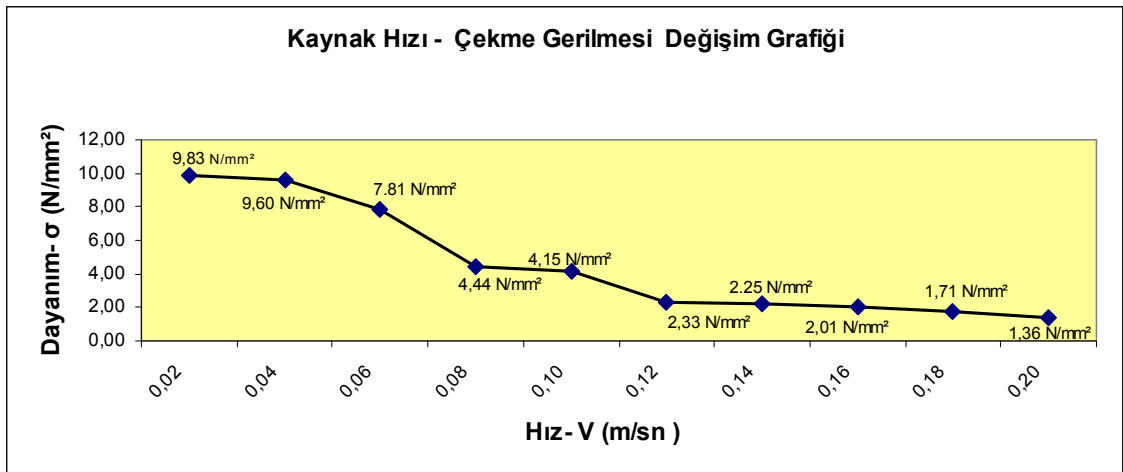
Verilerden net olarak anlaşılacağı gibi kaynak genliğinin düşük olması kaynak dikiş kalitesi açısından risk yaratmakta ve nüfuziyet problemlerine neden olmaktadır. Bu durum doğrudan güneş kolektörünün çalışma verimini etkileyecek diğer bir deyimle

bakır soğurucu ile bakır borunun arasında meydana gelecek ısı transferini engelleyecek ya da süresini uzatacaktır.

Grafik üzerindeki ilk üç değerde kaynak nüfuziyet problemi görsel olarak net bir şekilde tespit edilebilmiştir. Kaynak uygulama genliğinin 16 ve 20 μm yükseltildiği noktalardaki ölçümlerden de anlaşılacağı gibi bu bölgede kaynak orta sınıf kalite olarak kategorize edilebilir. Genliğin 28 μm yükseltildiği 7.noktadaki dayanım değeri grafik üzerindeki maksimum değerdir ve bu kademedeki sonraki değerliklerde kaynak kalitesinde görsel bir uygunsuzluk tespit edilmemekle birlikte dayanım değerinde düşme gözlenmektedir.

- **Kaynak uygulama hızı**

Şekil 7.3’de ise kaynak uygulama hızının test numunesinin dayanım özelliklerine etkisi grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 7. 3 Kaynak hızındaki artışın dayanım özelliklerine etkisi

Hızın en düşük değerinde olduğu 0,02 m/sn kaynak dayanımı için en iyi değer alındığı noktadır. Bu değerden sonra grafikten de okunduğu gibi dayanım özellikleri düşme eğilimine girmektedir. Test numunelerinin hazırlanması esnasında seri üretim uygulamalarında kullandığımız 0,04 m/sn hız değerindeki dayanım değerleri ortaya çıkarılmış fakat çalışma ihtiyacını karşıladığı için herhangi bir optimizasyona gerek duyulmamıştır.

Bunun yanı sıra zaman sınırlamalı ve yüksek adetli bir seri üretim şartında yani gerçek bir uygulamada, kaynak hızını 0,06 m/sn hız değerine çıkartılabileceği, bu yolla verimin

artırılabilceği tespiti bu tez çalışmasının önemli bir katma değeri olarak Baymak-BDR Thermea retim parametreleri kayıtlarına alınmıştır.

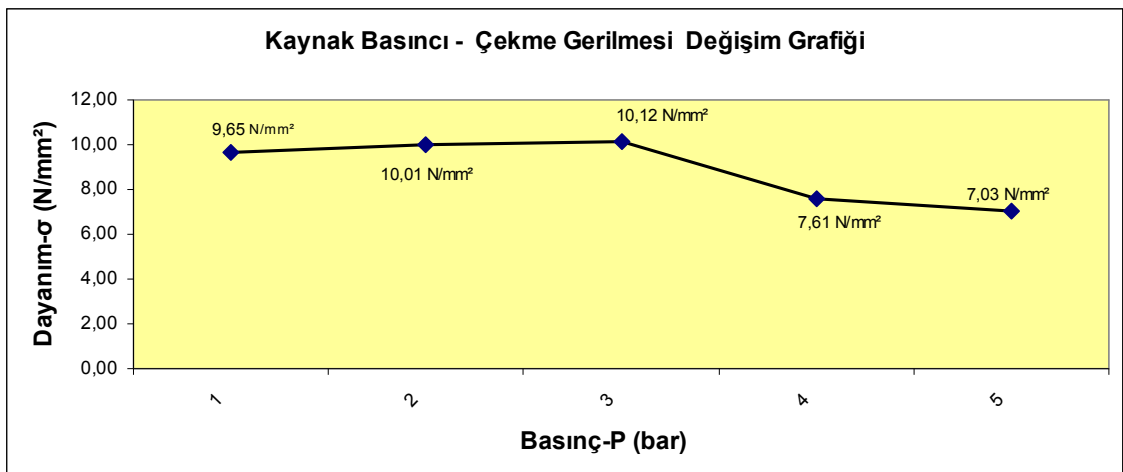
Yüksek hız ile yapılan uygulamalarda özellikle 0,12-0,20 m/sn değerlerinde dayanım değerleri 3 N/mm²'nin altına düşmüş yani çok küçük yüklemelerde hasar alınabilecek noktaya ulaşmıştır. Bu noktalardaki en önemli problem yetersiz nüfuziyet ya da boru-plaka temas noktalarında lokal olarak kaynak edilmemiş bölgelerin oluşmasıdır. Problemin oluşmasının ana sebebi ise yüksek hız nedeniyle horn'un yeteri kadar genlik, basınç ve titreşimi iş parçası yüzeyine iletememesidir.

- **Kaynak uygulama basıncı**

şekil 7.3 kaynak uygulama hızının test numunesinin dayanım özelliklerine etkisini göstermektedir. Basıncı ultrasonik kaynak işleminin prensibini oluşturan en temel parametrelerdendir. Bu nedenle seri üretim şartlarında operasyona başlamadan önce basınç göstergeleri kesinlikle kontrol edilmelidir.

Deneyssel çalışmada, seri üretim şartlarında da kullanılan şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan hafif bakır malzemeler ile çalışılmıştır. Kesitleri ince olan bu malzemelerin birleştirilmesi işleminde yüksek basınç uygulaması iş parçalarının hasar almasına neden olacaktır.

şekil 7.4'de üzerinde inceleme yapıldığında basıncın ilk iki kademedeki artış indisinde olduğu daha sonra aynı derecede düşüş eğilimine geçtiği net olarak görülmektedir.



şekil 7. 4 Kaynak basıncındaki artışın dayanım özelliklerine etkisi

Yapılan araştırma ve deneysel incelemelerin neticesinde ultrasonik kaynak yönteminde kullanım parametrelerinin operasyon ve dolayısıyla ürün kalitesine etkileri ortaya konulmuştur. Üretim sistemleri içerisinde imalat metodunun seçimi tasarım süreçleri içerisinde ele alınıp etraflıca incelenmesi gereken bir konudur.

Çalışmamızda da detayları ile işlendiği gibi ultrasonik kaynak yöntemi için de üretilecek ürün tipi, kullanılacak donanım ve malzeme seçimi gibi hususlar doğrudan operasyon verimini etkileyecek bileşenlerdir.

Bilindiği gibi ultrasonik kaynak yöntemi bir katı hal prosesidir. Yöntemin en önemli avantajlarından olan bu durum malzeme yapısının korunumu, işlem hızı ve yüksek uygulama verimi nedeniyle özellikle enerji sektöründe çok tercih edilen bir birleştirme tekniği haline gelmiştir.

Çalışma prensibi, ısının hızlı şekilde transfer edilmesi üzerine kurulu olan güneş enerji sistemlerindeki uygulamalarda alüminyum ve bakır gibi kolay şekillendirilebilir hafif metal malzemelerin birleştirme operasyonu ultrasonik kaynak ile en etkin şekilde gerçekleştirilmektedir.

Operasyon sırasında uygulama basıncının çok üst seviyelere çıkartılması, uygulama hızının kontrolsüz şekilde artırılması veya genliğin çok alt seviyelerde seçilerek kullanılan malzemenin ihtiyacına cevap verememesi şeklinde karşımıza çıkan problemlerin her biri kaynak dikiş kalitesini etkilemektedir. Çalışmanın gelişme bölümünde detaylı olarak açıklanan diğer parametrelerinde kaynak dikiş kalitesine etkisi ihmal edilemeyecek boyuttadır.

Ele aldığımız sistemde iş parçalarının birleştirme kalitesi güneş kolektörünün çalışma verimine etki eden önemli bir unsurdur. Bu nedenle özellikle uygulama genliği, uygulama basıncı ve uygulama hızı parametreleri ve diğer etken parametreler ile birlikte ele alınıp hassas bir optimizasyon sürecinden geçirilerek tatbik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Anık, S., (1991). “Kaynak Tekniği El Kitabı-Yöntemler ve Donanımlar”, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim ve Muayene Enstitüsü Yayınları., İstanbul.
- [2] Welding Journal, June 1994 on the 75th anniversary of AWS., “ A pictorial history of welding as seen through the pages of the Welding Journal”., http://www.aws.org/about/time_by.html, 14.10.2010
- [3] Sengul, O., (2006). “Kaynak Teknolojisi Eğitim Dökümanı”, Baymak-Bdr Thermea Eğitim Bildirisi, İstanbul
- [4] Karahasanoğlu, C ve Erkul, M., (2001). “Plastiklerin Ultrasonik Kaynağı ve Kaynakta Dizayn Esasları” , Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Yayın No: E/2001/277., İstanbul.
- [5] Sengul, O., (2005). “Güneş Kolektörleri İmalatı ve Ultrasonik Kaynak Uygulaması”, Baymak-Bdr Thermea Proses Eğitim Notları, İstanbul.
- [6] Anık, S ve Vural, M., (1993). ‘Özel Kaynak Yöntemleri-Sürtünme, Soğuk Basınç ve Difüzyon Kaynağı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları., İstanbul.
- [7] Vural, M., (1996). “Ultrasonik Kaynak Yöntemi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Ders Notları, İstanbul.
- [8] ASM committee, ASM Handbook Volume.6., (1993). Welding, Brazing and Soldering. ASM International
- [9] Amtech (American Technology Inc) Pres.,(1998).Ultrasonic 20-D User Manual., Danbury.
- [10] Branson., Amtech.,(2007). Ultrasonic Metal Welding.,Danbury.
- [11] Yazıcı, E.Y., Alp, İ ve Celep, O., (2004). “ Piezoelektrik Teknoloji ve Piezo-Malzemeler” ,2003. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13–14 Mayıs 2004, İzmir.
- [12] Hetrick,T., Baer.J, R., Zhu, W., Ward.M, S ve Wilkosz.E, D., (2009). “Ultrasonic Metal Welding Process Robustness in Aluminum Automotive Body Construction Applications”, Welding Journal. Vol.88, 148–158.

- [13] Ultrasonik Kaynak Yöntem Uygulamaları , www.belgeler.com , 04.01 2011
- [14] Elangovan, S., Prakasan, K ve Jaiganesh, V, (2010). " Optimization of Ultrasonic Welding Parameters for Copper to Copper Joints Using Design of Experiments", Coimbatore- India.
- [15] Ultrasonic Welding Tools, <http://www.sonic-tool.com>, 02.01.2011
- [16] Design and Engineering Handbook, <http://www.eastman.com>, 05.01 2011
- [17] Ay, İ ve Sakin, R.,(2005). "Ultrasonik Kaynak" ., Pagev Plastik Dergisi, 94-108, Kasım-Aralık 2005, İstanbul.
- [18] Miheclik, J, (1997). "A Methodology for Process Improvement Applied to Ultrasonic Welding", Doctoral Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- [19] Design of Ultrasonic Equipments, <http://www.krell-engineering.com>, 14.12.2010
- [20] Jacquemod, A., Tock, J.Ph., Balaguer, J.M., Laurent, F ve Vaudaux, L., (2006). "Qualification and Start of Production of the Ultrasonic Welding Machines for the LHC Interconnections" Presented at the 19. International Conference on Magnet Technology (MT19) 18–23 September 2005, Cern Lab. Switzerland.
- [21] Vries, E., (2004). "Mechanics and Mechanisms of Ultrasonic Metal Welding", Doctoral Thesis, Ohio State University, Ohio.
- [22] Types of Ultrasonic Welds., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/types-of-ultrasonic-welds.htm>, 14.10.2010
- [23] Ultrasonic Welding Variables., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/ultrasonic-welding-variables.htm>, 14.10.2010
- [24] Devine, J., Walsh, J., Baer, R ve Jahn, R., (2006). "Ultrasonic Metal Welding of Al Sheet", Sonobond Ultrasonic, Branson and Ford Motor Company Pres, Advanced Technology Program, Dearborn.
- [25] Devine, J., Walsh, J., Ward, S., Jahn, R ve Reatherford, L.,(2007). "Implementation of Ultrasonic Metal Welding", Sonobond Ultrasonic, Branson and Ford Motor Company Pres, Advanced Technology Program, Dearborn
- [26] Yong , T., Zherrping, W., Yarjun, L ve Shurdao, L., (2003). "Ultrasonic Seam Welding Technologies of Copper Plate and Tube for Collecting Solar Energy", Institute of Mechanical Engineering South China University, Vol 13, 402-406 ., Guangzhou.
- [27] Steckmann, H.,(2004), "Ultrasonic Metal Welding", www.ultrasonics.de, 11.10.2010.

- [28] Ultrasonic Weld Metallurgy., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/metallurgy-of-ultrasonic-welds.htm>, 14.11.2010
- [29] Sonobond Ultrasonic.,(2008). " Ultrasonic Metal Welding"., Pennsylvania-USA
- [30] Advantages and Disadvantages of Ultrasonic Welding., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/advantages-and-disadvantages-of-ultrasonic-welding.htm>. 04. 02.2011
- [31] Krüger, U ve Lehr, S., (1994). "Friction, Explosive and Ultrasonic Welding Processes of Aluminium", European Aluminium Association Press.,
- [32] Kong, C. Y., Soar,R.C. ve Dickens,P.M., (2003). "An Investigation of the Control Parameters for Aluminium 3003 under Ultrasonic Consolidation", Rapid Manufacturing Research Group Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, Loughborough.
- [33] Baymak- BDR Thermea., (2008)."Güneş Kolektörü Ürün Eğitim Dökümanları", İstanbul.
- [34] Kong, C. Y., Soar,R.C ve Dickens,P.M., (2003). "Optimum process parameters for ultrasonic consolidation of 3003 aluminium", Journal of Materials Processing Technology, 146 (2004) 181–187, Loughborough.
- [35] Vries, E. ve Graff, K., (2002). "The Ultrasonic Weld Mechanism State of the Technology", The Ohio State University Welding Engineering Press. New York.
- [36] Ultrasonic Welding Systems., <http://www.amtechultrasonic.com/> . 03. 09.2005
- [37] Graff,K ve Bloss,M., "Understanding Ultrasonic Welding"., http://www.thefabricator.com/article_welding ., 30.09.2010
- [38] Tsujino, J., Ueoka, T., Kashino, K ve Sugahara, F., (2000). "Transverse and torsional complex vibration systems for ultrasonic seam welding of metal plates", Tsujino. J et al. / Ultrasonics 38 (2000) 67–71, Yokohama.
- [39] Dومانidis, C ve Gao, Y., (2004). "Mechanical Modelling of Ultrasonic Welding", Welding Journal,140–146 S, Nicosia.
- [40] Matsuoka, S ve Imai, H., (2009). "Direct welding of different metals used ultrasonic vibration", Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 954–960 ,Osaka.
- [41] Harthoorn. L. J., (1978). "Ultrasonic Metal Welding", Eindhoven.
- [42] Weiss, W., (2003). "Solar Collectors", AEE - Institute for Sustainable Technologies., Gleisdorf
- [43] Alleman, M., Devine, J ve Weber, A., Sonobond Ultrasonic Articles., (2008) http://www.sonobondultrasonic.com/articles_type.asp?ATid=3, 27.12.2010
- [44] Alleman, M., Devine, J ve Weber, A., Sonobond Ultrasonic Articles., (2008) http://www.sonobondultrasonic.com/articles_type.asp?ATid=4, 27.12.2010

- [45] Welding Various Dissimilar Metals Combinations., <http://www.welding-technology-machines.info/welding-of-dissimilar-metals/metallurgical-problems-in-dissimilar-metal-welding.htm>, 04.11.2010
- [46] Ultrasonic Welding., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/ultrasonic-welding.htm> , 23.01.2011
- [47] Ultrasonic Welding Equipment ., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/ultrasonic-welding-equipment.htm> , 23.01.2011
- [48] Applications of Ultrasonic Welding., <http://www.welding-technology-machines.info/solid-state-welding-processes/applications-of-ultrasonic-welding.htm>., 4 Şubat 2010
- [49] Ultrasonic Welding for the Solar Thermal and Photovoltaics Industry., http://www.sut.biz/en/schunk01.c.30321.de/all_productarticle, 05.04.2011
- [50] Güneş Enerjisi ve Teknolojileri., <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes.html>,15.05.2011
- [51] Solar Absorbers., www.alanod.com., 12.03.2011
- [52] Ultrasonic Bonding Equipment., <http://www.sonobondultrasonic.com>
- [53] Laser Welding Applications., <http://www.trumpf-laser.com> , <http://www.sunlaser.ch/> , 07.03.2011

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Okan ŞENGÜL
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.02.1979 – İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sengul.okan@gmail.com, okansengul@ymail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2001-2002
Lise	FM	Fatih Davut Paşa Lisesi	1992-1995

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2004-	Baymak- BDR-Thermea	Kalite Güvence Şefi
2002-2004	Önaysan Met.San.Tic.Ltd.Şti	Kalite Güv.Mdr.Yrd.