

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**FARKLI KALINLIKLIL YAPI ÇELİKLERİNDE AĞIZ
GEOMETRİSİNİN KAYNAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

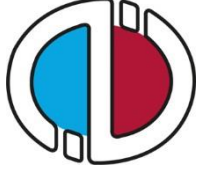
**Mustafa CAN
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

**İkinci Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

BİLECİK, 2018

Ref.No:10193622



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**FARKLI KALINLIKLI YAPI ÇELİKLERİNDE AĞIZ
GEOMETRİSİNİN KAYNAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Mustafa CAN
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

**İkinci Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

BİLECİK, 2018



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**THE EFFECT OF WELDING GROOVE GEOMETRY ON
PROPERTIES OF DIFFERENT THICKNESS
STRUCTURAL STEELS**

**Mustafa CAN
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Associate Prof. Dr. Cenk KARAKURT**

**Second Thesis Advisor
Assistant Professor Dr. Kıvanç TAŞKIN**

BILECIK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 10/05/2018 tarih ve 27 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/05/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mustafa CAN'ın "Farklı Kalınlıklı Yapı Çeliklerinde Ağız Geometrisinin Kaynak Özelliklerine Etkisi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ÜYE

(İKİNCİ TEZ DANIŞMANI): Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

ÜYE : Doç. Dr. Erhan AYAS

ÜYE : Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Aylin ÖZODABAŞ

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, çok değerli hocam Doç. Dr. Cenk KARAKURT'a öncelikle teŐekkürlerimi borç bilirim. Deneylerimin yapılması ve yorumlanmasında desteğini benden esirgemeyen kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç Taşkın'a çok teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarımın büyük bölümünde yanımda olan ve her türlü fedakarlığı gösteren kıymetli arkadaŐım Malzeme Mühendisi İlkey SEMERCİ'ye ve Metek Yapı alıŐma arkadaşlarıma teŐekkürlerimi sunarım.

Son olarak fakat öncelikle belirtmem gerektiğine inandığım; benim yetişmemde ellerinden gelenin fazlasını yapan ve emeklerini esirgemeyen kıymetli anneme, babama ve kardeŐlerime tüm kalbi teŐekkürlerimi, saygılarımı ve sevgilerimi sunuyorum. Yüksek Lisans eğitimim süresince sabrını, güvenini ve desteğini hep arkamda hissettiğim değerli eŐime ayrıca teşekkür ediyorum. Bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Mustafa CAN

ÖZET

Yapı sektöründe önemi günden güne artan çelik konstrüksiyonlar, mimari bakışın ön planda olduğu günümüzde tasarımcılara alternatif çözümler sunmaktadır. Çok kolay eriyip şekillendirilebilen yapısı, başka bir boyut alabilen çok rahat kullanım avantajları ile çelik kullanımı yapılarımızın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Diğer yapı malzemelerine oranla çok daha çevreci ve doğal afetlere karşı korunaklı bir yapıya sahiptir.

Bir yapı çeliği olan S700MC'nin birleştirilmesinde en yaygın şekilde kullanılan yöntem kaynaktır. Kaynak yöntem ve parametrelerinin mekanik özellikleri önemli şekilde etkilemesinden dolayı S700MC çeliğinin birleştirilmesinde kullanılacak en uygun parametrelerin belirlenmesi önemli bir konudur. Bu çalışmada kaynak ağız geometrisi parametresi değiştirilerek kaynak metalinin çekme dayanımı, akma dayanımı ve kırılma tokluğu gibi mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca detaylı içyapı incelemesi yapılarak sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada 12 mm ve 20 mm'lik levhalar üzerinde üç farklı kaynak ağız açısı (44°, 52°, 60°) ve V, X ve Y tipi kaynak ağız geometrisi seçilmiştir. Kaynak yöntemi olarak MIG kaynağı kullanılmıştır. Kaynaklarda, ağız geometrisinin etkisini daha belirgin görebilmek için ana metalden daha düşük dayanımlı kaynak teli kullanılarak kırılmanın kaynak bölgesinden olması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen verilere göre X tipi kaynak ağızına sahip numunelerde en iyi kaynak davranışının elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: MIG kaynağı; Mekanik özellikler; Kaynak ağızı; Isı girdisi; İç yapı

ABSTRACT

Today, steel construction that is increasingly important in the building sector, is offering alternative solutions to designers since the architectural view is in the foreground. The use of steel has become indispensable thanks to the structure that can be easily melted and shaped and very convenient operating advantages that can take on another dimension. Compared to other building materials, it is much more environmentally friendly and has a sheltered structure against natural disasters.

The most widely used method of joining a building steel the S700MC, is welding. Since welding methods and parameters significantly affect the mechanical properties, it is important to determine the most suitable parameters to be used in assembling the S700MC steel. In this study, the effect of the welding bent geometry on mechanical properties such as tensile strength, yield strength and fracture toughness of weld metal investigated. Also, do an internal structure examination. In the study, three different welding bent angles (44°, 52°, 60°) and V, X and Y type welding bent geometry were used. MIG welding is used as welding method. In the welds, a lower strength welded wire than the base steel was used to see the effect of the bent geometry more clearly and fracture occurred in the weld. According to the results obtained from the experimental study, it was found that the best welding behavior was obtained in samples with X type weld bent.

Keywords: MIG welding; Mechanical properties; Welding groove; Heat input; Microstructure

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. KAYNAKLI BİRLEŞİM TEKNİĞİ	7
3.1. Endüstriyel Kaynak Çeşitleri.....	8
3.1.1. Örtülü elektrik ark kaynağı	9
3.1.2. Toz altı kaynağı	10
3.1.3. Gazaltı kaynağı.....	10
3.1.3.1. Kaynak torcları	12
3.1.3.2. Torc bağlantı paketi	13
3.1.3.3. Tel sürme tertibatı	13
3.1.3.4. Kumanda tertibatı	14
3.1.3.5. MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri	14
3.1.3.6. Koruyucu gaz tüpleri	15
3.2. Kaynak Parametreleri	15
3.2.1. Kaynak parametrelerinin seçimi.....	15
3.2.2. Kaynak işlemi sırasında değiştirilemeyen parametreler.....	16
3.2.2.1. Kaynak teli	16
3.2.2.2. Koruyucu gaz türü	18
3.2.2.3. Kaynak ağzı	21
3.2.3. Birinci derecede ayarlanabilir parametreler	24
3.2.3.1. Kaynak akım şiddeti	24
3.2.3.2. Kaynak gerilimi	25
3.2.3.3. Kaynak hızı	26
3.2.4. İkinci derecede ayarlanabilir parametreler	27
3.2.4.1. Torc açısı	27
3.2.4.2. Serbest tel uzunluğu	28
3.3. Kaynak Muayene Yöntemleri	29
3.3.1. Tahribatsız muayene yöntemleri	29
3.3.1.1. Radyografi muayene yöntemi	29
3.3.1.2. Ultrasonik muayene yöntemi	29
3.3.1.3. Manyetik muayene yöntemi	30
3.3.1.4. Penetrant sıvı muayene yöntemi	30
3.3.1.5. Gözle muayene yöntemi	31
3.3.2. Tahribatlı muayene yöntemleri	31

3.3.2.1. Çekme deneyi	31
3.3.2.2. Eğilme deneyi	32
3.3.2.3. Çentik darbe deneyi	33
3.3.2.4. Sertlik deneyi	36
4. MALZEME ve YÖNTEM.....	37
4.1. Malzeme	37
4.2. Yöntem	39
4.2.1. Kaynak ağız hazırlıkları	39
4.2.2. Ön ısıtma kontrolü.....	43
4.2.3. Kaynaklı birleştirme işlemi	43
4.2.4. Kaynaklı birleşimin ultrasonik muayenesi	48
4.2.5. Deney için numune hazırlığı	49
4.2.5.1. Çekme deneyi numuneleri	50
4.2.5.2. Charpy darbe deneyi numuneleri	52
4.2.5.3. Vickers sertlik deneyi numuneleri	54
4.2.5.4. İçyapı inceleme numuneleri	55
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	57
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları	57
5.1.1. Çekme deneyi sonuçlarının AISC 360-10 ile karşılaştırılması	63
5.1.2. Gerilme-uzama grafikleri ile tokluk değerlerinin bulunması	64
5.1.3. Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerindeki davranışın incelenmesi	67
5.2. Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları	77
5.3. Vickers Sertlik Deneyi Sonuçları	82
5.4. İçyapı İnceleme Sonuçları	88
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1: Özsüz şekilde kullanılan gazaltı kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri.....	18
Çizelge 3.2: Kaynak ağız tipleri.....	23
Çizelge 4.1: S700MC çeliğinin ve SG2 kaynak telinin kimyasal bileşimleri	38
Çizelge 4.2: S700MC çeliğinin ve SG2 kaynak telinin mekanik özellikleri	39
Çizelge 4.3: Alın kaynağı için karbon eşdeğerine göre uygulanması gereken öntav sıcaklığı.....	43
Çizelge 4.4: Kaynak Parametreleri.	44
Çizelge 4.5: Deney numunelerinde uygulanan kaynak paso sayıları	45
Çizelge 5.1: Deney numunelerindeki ısı girdileri.....	57
Çizelge 5.2: 12 mm kalınlıktaki numunelerde çekme deneyi sonuçları	58
Çizelge 5.3: 20 mm kalınlıktaki numunelerde çekme deneyi sonuçları	61
Çizelge 5.4: Çekme deney grafiklerinden elde edilen tokluk değerleri.....	65
Çizelge 5.5: 12 mm kalınlıktaki numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	77
Çizelge 5.6: 20 mm kalınlıktaki numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları	80
Çizelge 5.7: 12 mm kalınlıktaki numunelerin sertlik deneyi sonuçları	83
Çizelge 5.8: 20 mm kalınlıktaki numunelerin sertlik deneyi sonuçları	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: Isı tesiri altındaki bölge (ITAB).....	7
Şekil 3.2: Kaynak cinslerine göre sınıflandırma	8
Şekil 3.3: Örtülü elektrot kaynağı.....	9
Şekil 3.4: Toz altı ark kaynağı yapılışı	10
Şekil 3.5: Gaz altı ark kaynağı şematik gösterimi	11
Şekil 3.6: Gaz altı ark kaynağı yapılışı	12
Şekil 3.7: Kaynak torc yapısı ve ark bölgesi.....	13
Şekil 3.8: Kaynak teli ve tel sürme tertibatı	14
Şekil 3.9: Kaynak parametreleri şematik gösterimi	16
Şekil 3.10: Kaynak teli çapı ile akım şiddeti arasındaki ilişki.....	17
Şekil 3.11: Gaz altı kaynak teli	18
Şekil 3.12: Koruyucu gaz karışımının nüfuziyete etkisi.....	20
Şekil 3.13: Kaynakta duman oluşumu.....	21
Şekil 3.14: Akım şiddeti ile nüfuziyet arasındaki ilişki.....	24
Şekil 3.15: Kaynak gerilimi ile nüfuziyet ilişkisi.....	26
Şekil 3.16: Kaynak hızı ile nüfuziyet ilişkisi.....	26
Şekil 3.17: Kaynak yönü ve torc açısının nüfuziyete etkisi.....	28
Şekil 3.18: Serbest tel uzunluğu ile nüfuziyet arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.19: Ultrasonik muayene yapılışı.....	29

Şekil 3.20:	Manyetik muayene yapılışı.....	30
Şekil 3.21:	Sıvı penetrant muayene yapılışı.....	30
Şekil 3.22:	Örnek çekme numunesi.....	32
Şekil 3.23:	Gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	32
Şekil 3.24:	Eğme deneyi yapılışı.....	33
Şekil 3.25:	Charpy darbe deneyi prensibi.....	34
Şekil 3.26:	Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi.....	36
Şekil 4.1:	12 mm ve 20 mm S700MC sac malzemeleri.....	38
Şekil 4.2:	20 mm ve 12 mm numunelerin kaynak öncesi ölçüleri.....	39
Şekil 4.3:	12 mm ve 20 mm deney numunelerinde V ağız geometrisini şematik gösterimi.....	40
Şekil 4.4:	V kaynak ağızı açılmış numune görseli.....	40
Şekil 4.5:	12 mm ve 20 mm deney numunelerinde Y ağız geometrisini şematik gösterimi.....	41
Şekil 4.6:	Y kaynak ağızı açılmış numune görseli.....	41
Şekil 4.7:	12 mm ve 20 mm deney numunelerinde X ağız geometrisini şematik gösterimi	42
Şekil 4.8:	X kaynak ağızı açılmış numune görseli.....	43
Şekil 4.9:	TS EN ISO 9016 standardına göre örnek paso sıralaması.....	44
Şekil 4.10:	Kök paso görseli.....	45
Şekil 4.11:	Kök paso uygulaması.....	46
Şekil 4.12:	Paso sonrası cüruf temizliği yapılmış numune.....	46

Şekil 4.13:	Dolgu pasosu yapılmış numune.....	46
Şekil 4.14:	Dolgu pasosu yapılmış numune-2.....	47
Şekil 4.15:	Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygulaması ve kontrolü.....	47
Şekil 4.16:	Ultrasonik muayene yapılışı-1.....	48
Şekil 4.17:	Ultrasonik muayene yapılışı-2.....	49
Şekil 4.18:	Ultrasonik muayene cihazı ekran görüntüsü.....	49
Şekil 4.19:	Kaynaklı malzemeden çıkarılan numuneler.....	50
Şekil 4.20:	Çekme numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.....	50
Şekil 4.21:	TS EN ISO 4136 standartlarına göre yassı çekme numunesi.....	51
Şekil 4.22:	Çekme deneyi sırasında kesit daralması.....	51
Şekil 4.23:	Çekme deney cihazı.....	52
Şekil 4.24:	Çentik darbe numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.....	52
Şekil 4.25:	Charpy numune ölçüleri.....	53
Şekil 4.26:	Çentik darbe deney cihazı.....	53
Şekil 4.27:	Charpy numunesi çentik kontrolü	54
Şekil 4.28:	Charpy numunesi soğutma makinası.....	54
Şekil 4.29:	Vickers sertlik numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.....	55
Şekil 4.30:	Vickers sertlik deney cihazı.....	55
Şekil 4.31:	Numune zımparalama işlemi.....	56

Şekil 5.1:	Deney öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde kırılma davranışı....	58
Şekil 5.2:	Ana malzeme gerilme-uzama grafiği.....	58
Şekil 5.3:	12 mm V tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.....	59
Şekil 5.4:	12 mm Y tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.....	59
Şekil 5.5:	12 mm X tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.....	60
Şekil 5.6:	20 mm V tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.....	61
Şekil 5.7:	20 mm Y tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği	62
Şekil 5.8:	20 mm X tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.....	62
Şekil 5.9:	Çekme deneyinde tokluk tespiti.....	65
Şekil 5.10:	12 mm V tipi numunelerde tokluk değerleri.....	66
Şekil 5.11:	12 mm Y tipi numunelerde tokluk değerleri.....	66
Şekil 5.12:	12 mm X tipi numunelerde tokluk değerleri.....	66
Şekil 5.13:	20 mm V tipi numunelerde tokluk değerleri.....	66
Şekil 5.14:	20 mm Y tipi numunelerde tokluk değerleri.....	67
Şekil 5.15:	20 mm X tipi numunelerde tokluk değerleri.....	67
Şekil 5.16:	12-V-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	68
Şekil 5.17:	12-V-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	68
Şekil 5.18:	12-V-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	69
Şekil 5.19:	12-Y-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	69
Şekil 5.20:	12-Y-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	70
Şekil 5.21:	12-Y-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	70

Şekil 5.22:	12-X-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	71
Şekil 5.23:	12-X-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	71
Şekil 5.24:	12-X-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	72
Şekil 5.25:	20-V-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	72
Şekil 5.26:	20-V-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	73
Şekil 5.27:	20-V-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	73
Şekil 5.28:	20-Y-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	74
Şekil 5.29:	20-Y-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	74
Şekil 5.30:	20-Y-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	75
Şekil 5.31:	20-X-44 numunesinde kırılma yüzeyi.....	75
Şekil 5.32:	20-X-52 numunesinde kırılma yüzeyi.....	76
Şekil 5.33:	20-X-60 numunesinde kırılma yüzeyi.....	76
Şekil 5.34:	Charpy deney öncesi ve sonrası numuneler.....	77
Şekil 5.35:	12 mm V tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	78
Şekil 5.36:	12 mm Y tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	78
Şekil 5.37:	12 mm X tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	79
Şekil 5.38:	20 mm V tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	80
Şekil 5.39:	20 mm Y tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	81
Şekil 5.40:	20 mm X tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.....	81
Şekil 5.41:	Vickers sertlik numuneleri.....	83
Şekil 5.42:	Vickers deneyi yapılan bölge kodları.....	83

Şekil 5.43:	12 mm V tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	84
Şekil 5.44:	12 mm Y tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	84
Şekil 5.45:	12 mm X tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	85
Şekil 5.46:	20 mm V tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	86
Şekil 5.47:	20 mm Y tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	87
Şekil 5.48:	20 mm X tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.....	87
Şekil 5.49:	20-V-60 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (100x).....	88
Şekil 5.50:	20-V-60 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (100x).....	89
Şekil 5.51:	20-V-60 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (100x).....	89
Şekil 5.52:	20-Y-60 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (100x).....	89
Şekil 5.53:	20-Y-60 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (100x).....	90
Şekil 5.54:	20-Y-60 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (100x).....	90
Şekil 5.55:	12-Y-44 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (100x).....	90
Şekil 5.56:	12-Y-44 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (100x).....	91
Şekil 5.57:	12-Y-44 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (100x).....	91
Şekil 5.58:	20-V-60 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (200x).....	91
Şekil 5.59:	20-V-60 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (200x).....	92
Şekil 5.60:	20-V-60 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (200x).....	92
Şekil 5.61:	20-Y-60 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (200x).....	92
Şekil 5.62:	20-Y-60 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (200x).....	93
Şekil 5.63:	20-Y-60 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (200x).....	93

Şekil 5.64:	12-Y-44 tipi numunesindeki ITAB içyapısı (200x).....	93
Şekil 5.65:	12-Y-44 tipi numunesindeki geçiş bölgesi içyapısı (200x).....	94
Şekil 5.66:	12-Y-44 tipi numunesindeki kaynak bölgesi içyapısı (200x).....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
K	: Kelvin
Q	: Maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (KWh)
(λ)	: Isı iletim katsayısı
m ²	: Metrekare
d	: Yapı bileşeninin kalınlığı (m)
A	: Isının iletim doğrultusuna dik geçen yüzey alanı (m ²)
Z	: Isının iletim süresi (s)
T ₁	: Soğuk yüzeyin sıcaklığı (°C veya K)
T ₂	: Sıcak yüzeyin sıcaklığı (°C veya K)
MPa	: Megapaskal

Kısaltmalar	Açıklama
HAZ	: Heat Affected Zone
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
HB	: Brinell Sertlik Deneyi
HV	: Vickers Sertlik Deneyi
HR	: Rockwell Sertlik Deneyi

1. GİRİŞ

Çelik; dikiş iğnesinden uzay araçlarına kadar kullanılabilen ve hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan demir alaşımı metaldir. Kullandığımız aletlerden taktığımız saate, araç motorlarından oyun parklarına, bilgisayarlardan cep telefonlarına, tencerelerden spor aletlerine kadar sayamayacağımız üründe kullanılan çelik, belki de insanlık tarihinde en çok ihtiyaç duyduğumuz metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Kabiliyetleri sebebiyle her alanda kullanılabilir veya istenen özellikler kazandırılabilir. Paslanmazlığı ve yüksek dayanıklılığı sebebiyle demirden ayrılır (Eskier, 2017).

Demir ve çelik 5000 yıldır kullanılmakla beraber, iki yüzyıl öncesine kadar yalnızca silah ve eşya yapımında yer almışlardır. Ancak 18. yüzyılda İngiltere’de ham demir üretiminin başlaması ile birlikte demir yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Demir kullanarak inşa edilen ilk yapılar köprülerdir (Özhendekçi, 2012).

İnsanoğlu yaklaşık 3500 yıl kadar önce, iki metal parçasını sıcak veya soğuk halde çekiçleyerek kaynak edip birleştirmeyi gerçekleştirmiştir. Demirci kaynağının M.Ö. 1400 yıllarında Ön Asya’da yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Roma çağında metal işçiliği çok gelişmiştir; bu çağa ait pek çok eser üzerinde de bu tür birleştirmeler görmek mümkündür. Bütün endüstrileşmiş ülkelerde demircinin çekici ile yaptığı kaynak hemen hemen tarihe karışmıştır. Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları 19. Yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır (Anık, 1991).

Dünyamızdaki rekabetçi piyasa, firmaları her geçen gün daha kaliteli ve ekonomik çözümler üretmeye zorlamaktadır. Bu durum yapı sektörü için de geçerlidir. İnşaat sektörünün en önemli yapı elemanı olan çelik, sorunlara alternatif çözümler geliştirmek isteyen mühendislerin vazgeçilmezi konumundadır. Çelik yapı inşaatında kullanılan birleştirme vasıtaları arasında perçin, bulon ve kaynak bulunmaktadır. Günümüzde üretiminin kolaylığı ve hızlı yapılabilmesi nedenleriyle kaynaklı birleşimler en yaygın kullanılan birleşim tipidir ve kaynak işleminin çoğu imalat sektöründe rakibi yoktur denebilir.

Çelik konstrüksiyon işlerinde kullanımı çok yaygın olan kaynak tekniği, kalite açısından birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri de kaynak yapılacak bölgedeki malzemenin geometrisi yani kaynak ağzıdır. Daha çok küt

kaynaklı birleştirmelerde gerekli olan kaynak ağızı, kaynaktan beklenen nüfuziyet oranına bağlı olarak köşe kaynaklarında da kullanılabilir. Kaynak ağızları birçok farklı tip ve açıda olabilir. Her farklı duruma göre en uygun kaynak parametrelerini bulmak, deneylerde kullanılan tahribatlı ve tahribatsız testlerin değerlendirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Kaynak tekniğinde hızlılık, ekonomiklik, güvenli ve düzgün bir bağlantı, en başta aranan özelliklerdir. Bu özelliklerin eksikliği, kaynağın zamanında yapılamaması, kaynağın hatalı olması ve kaynak maliyetinin yüksek olması gibi olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır (Kurşun, 1988). Kaynak ağızı geometrisinin ve boyutlarının seçimi ile kaynak işleminin uygulanması kolaylaşır, ek malzemenin daha iyi nüfuz etmesi sağlanır, kaynak sırasında kaynak malzemesinin soğuması kontrol edilir, kaynak sonrası artık iç gerilmelerin etkisi azaltılabilir ve kaynak maliyeti düşürülebilir (Özden, 2003). Kaynak ağızı hazırlamada en önemli nokta, gereken dayanımda en iyi kalitede kaynak dikişinin elde edilmesini en ekonomik şekilde sağlamaktır (Anık, 1991).

Kaynak ağız tasarımını belirlemede en önemli faktör, birleşimden beklenen dayanımdır. Yüksek dayanımın gerekli olduğu veya dinamik zorlamaların etkin olduğu hallerde parça tüm kesiti boyunca kaynatılmalı ve dikiş tam bir kenetlenmeye sahip olmalıdır. Uygun olmayan bir tasarım ve kötü hazırlanmış kaynak ağızları, hatalı dikişlerin ortaya çıkmasına neden olur (Kayakök, 2009). Uygun bir şekilde tasarlanmış ve yapılmış kaynaklı birleşimlerde mekanik zorlamalar altında hasarın kaynaktan oluşmaması beklenir. Yapılan bu çalışmada yüksek dayanımlı S700 MC tipi çelikte daha düşük dayanımlı kaynak metali kullanılarak dış mekanik zorlamalar altında farklı kaynak ağız yapısı ve açısının kaynak bölgesi davranışına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı çelik yapılar yönetmeliğine (AISC 360-10, 2016) göre karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Metallerin kaynaklı birleşimlerinde, kaynak işlemi sırasında değiştirilemeyen parametrelerin işin başında doğru tayin edilmesi, başarılı bir kaynak dikişi için son derece önemlidir. En uygun başlangıç parametrelerini seçebilmek için ise birçok deneysel çalışma yapıp elde edilen sonuçların literatürdeki benzer çalışmalar ile birlikte değerlendirilip sonuçlar çıkarılması gerekmektedir. Konu ile ilgili literatürdeki benzer çalışmalarda;

Akın (2015), S700MC tipi çelikler ile ilgili yaptığı yüksek lisans çalışmasında, gazaltı kaynak parametrelerinin kaynak dayanımına etkilerini incelemiştir. Araştırmada numuneler MIG kaynak yöntemi ile SG2 ilave metali kullanılarak Y tipi kaynak ağzı ve 60° lik açı ile birleştirilmiştir. Kaynak dayanımı açısından en iyi sonuçlar 40 cm/dk kaynak hızında elde edilmiştir. Ayrıca kaynak akımı ve geriliminin artması ile kaynak dikiş yüksekliğinin de genel olarak arttığı belirtilmiştir.

Eski (2002), S700MC tipi çelikler ile ilgili yaptığı doktora çalışmasında, ısı girdisinin soğuk şekillendirilmiş yüksek dayanımlı S700MC çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Araştırmada numuneler MIG kaynak yöntemi ile SG2 teli kullanılarak V tipi kaynak ağzı ve 40° açı ile birleştirilmiş ve kaynaklı parçalar üzerinde yapılan tahribatlı testler sonucunda ısı girdisinin mekanik özellikleri düşürdüğü gözlemlenmiştir. S700MC borlu çeliğin HAZ (Heat Affected Zone) bölgesinde borkarbür çökmesinin soğuk şekil değiştirme ve kaynak ısı girdisine bağlı olarak arttığı ve bu durumun darbe tokluğunu büyük oranda azalttığı belirtilmiştir.

İpek (2010), yüksek dayanımlı zırh çelikleri ile ilgili yaptığı yüksek lisans çalışmasında, kaynak ağız açısının ve tipinin mekanik özelliklere etkisini araştırmıştır. Araştırmada, numuneler X ve V geometrisinde ve 48°, 54° ve 60° açılarında MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Çekme dayanımında en iyi sonuçları V geometride 54° açığa sahip numuneler vermiştir. Basma yükleri altında en iyi dayanım değerleri X geometride 48° ve eğilme yükleri altında en iyi dayanım değerleri V geometride 48° açığa sahip numunelerde sağlanmıştır. V tipi kaynak ağzına sahip numuneler çekme kuvvetlerine maruz bırakıldıklarında X tipi geometriye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Evcı, vd., (2017), yüksek dayanımlı çelikler ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, kaynak ağız geometrisinin mekanik özelliklere ve iç yapıya etkisini araştırmışlardır. Araştırmada kaynak ağız tipi V olarak ve açıları 30°, 36°, 42°, 48°, 54°, 60° seçilmiştir. En iyi mekanik özellikler 48° açı verilen numunelerde gözlemlenmiştir. İy yapı incelemelerinde, taneler arası uzaklığın daha fazla olduğu ve dentritik yapının daha büyük görüldüğü numunelerde dayanımın düştüğü belirtilmiştir.

Güven (1993), yaptığı doktora çalışmasında, kaynak ağız formunun Isı Tesiri Altındaki Bölgeye (ITAB) etkisini bilgisayar benzetimiyle araştırmıştır. Oluşturulan kaynak ağzının hacmi arttıkça ITAB büyümektedir. Elektrot sarfiyatı, harcanan enerji ve zaman düşünüldüğünde ekonomik öncelik sırasına göre kaynak ağız formları K-X-Y ve V şeklinde sıralanmıştır. Kaynak edilecek malzeme kalınlığı arttıkça tercih edilmesi gereken kaynak ağız tipi sıralaması K-X-Y ve V olarak önerilmiştir.

Erden (2012), yaptığı yüksek lisans çalışmasında, V, X ve U tipi kaynak ağız formlarında farklı kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Uygulanan tek pasolu kaynaklarda, yüksek kaynak hızı ve yüksek amperli yapılan kaynaklarda, düşük amper ve düşük kaynak hızında yapılan kaynaklara göre darbe direncinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Amper ile kaynak hızı arasında doğru orantı olduğu sonucuna varılmıştır.

Şık (2007), yaptığı bir çalışmada, yapı çeliğini V kaynak ağzı biçiminde, değişik gaz karışım oranlarında MIG-MAG kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini incelemiştir. MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan gaz karışımlarının malzemenin dayanımını etkilediği vurgulanmıştır. En iyi kaynak dikişi O₂ ilavesi yapılan karışımlarda görülmüş ve mekanik özelliklerin iyileştirilebilmesi için argon ağırlıklı karışım gazlarının kullanılması gerektiğini belirtilmiştir. Argon gazına katılan CO₂ ve O₂ arkin kararlılığını arttırmakta ve daha düzgün bir kaynak dikişi verdiği sonucuna varılmıştır.

Şık (2007), diğer bir çalışmasında, üç farklı gaz karışımında MIG-MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen V tipi ağız profiline sahip kaynak bağlantılarının çekme dayanım özelliklerini incelemiştir. Koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynaklar sonucunda, çekme dayanımının, akma dayanımının ve % uzama oranlarının değişmesi kaynak atmosferinin bir sonucu olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada MIG-MAG

kaynak yönteminin kullanılması halinde $88\text{Ar} + 10\text{CO}_2$ gaz karışımının en yüksek çekme dayanımını veren V tipi kaynak bağlantısı olduğu sonucuna varılmıştır.

Li, vd., (2005), Al(AI7075-T6) levhaları, tek V ağız ve TIG kaynağı kullanarak birleştirmişlerdir. 0° , 25° , 50° , 75° ve 90° açılarında V ağız alın kaynak bağlantısı tasarımlarının, Al levhanın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kaynak bağlantısı tasarımının bağlantı dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğuna değinmişlerdir.

Cheng, vd., (2005), üç çeşit Al alaşımına tek V ağız açılarak Tungsten Inert Gas (TIG) kaynağı uygulamışlar ve değişik V uygulama açılarında oluşan açılal çarpımları incelemişlerdir. V uygulama açısının kaynak açılal çarpılmasını etkilediğini ve V uygulama açısı 60° olduğu zaman açılal çarpılmanın azaldığını belirtmişlerdir.

Lakshminarayanan, vd., (2007), 90° ve 60° V alın kaynak geometrileri kullanarak Al(AA6061) alaşımını Tungsten Inert Gas (TIG) ve Metal Inert Gas (MIG) kaynağı ile birleştirmişler ve kaynak işlemlerinin Al alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. MIG kaynak bağlantılarının dayanımının, TIG kaynak bağlantılarına göre düşük olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, MIG kaynağının yapılması esnasında çok yüksek miktarda ısı girişi olduğunu ve bu durumun dayanımı olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

Benzer bir malzeme ile yapılan bir çalışmada dövme alüminyum levhaları MIG ve TIG metotları ile birleştirilmiştir (Taban, vd., 2005). Mekanik özellikleri saptamak için kaynaklı bağlantılara çekme ve eğilme deneyleri uygulamışlardır. TIG kaynaklı bağlantıların dayanımlarının, MIG kaynak bağlantılarına göre yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Bunun sebebini TIG kaynağındaki ısı girdisinin düşük olmasına bağlamışlardır.

Gök, vd., (2007), tarafından yapılan bir çalışmada, aynı kalınlıkta alın kaynağı ile birleştirilmiş çelik levhaların üç farklı kaynak geçiş formunda sonlu elemanlar yazılımı ile iki boyutlu statik analizleri gerçekleştirilmiş ve üç farklı kaynak geçişi için gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı geçiş bölgelerine sahip kaynaklı levhaların geçiş bölgelerinde meydana gelen X ve Y yönlerindeki gerilmeler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, genel olarak kaynak geçiş bölgelerinin başlangıcında maksimum gerilmeler meydana gelmiş ve kaynak boyunca bu gerilmelerde azalma olduğu görülmüştür. İlk kaynak noktasından başlayarak farklı geçiş formları ile gerilme

değerlerinin düştüğü ve belirli bir kaynak uzunluğundan sonra gerilme değerlerinin aynı kaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kritik bölgeden uzaklaştıkça farklı geçiş formları ve uzunlukları için gerilme değerlerinde önemli değişimler gözlemlenmemiştir. Üç farklı kaynak geçiş formunun analiz sonuçlarına göre X yönünde meydana gelen maksimum gerilme değerinin yani maksimum kritik bölgenin, dışbükey geçiş bölgesinde en yüksek olduğu görülmüştür. Y yönünde meydana gelen maksimum gerilme düz geçiş bölgesinde gözlemlenmiştir ve levhaların uç bölgelerinde minimum gerilmeler elde edilmiştir.

Jiang, vd., (2005), tarafından yapılan bir çalışmada X geometrisinde, çok pasolu kaynak işleminin analizini yapmak için ANSYS programında üç boyutlu ısıl-mekanik sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Büyük deformasyonlar, malzeme kalıntıları, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri, ısı kaynağı gibi kaynakla bağlantılı lineer olmayan durumlar dikkate alınmıştır. Üç boyutlu ısıl-mekanik modele, kaynak dolgu metali eklenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, üç boyutlu sonlu eleman modeli için hiçbir geometrik basitleştirmeye ihtiyaç olmadığı ve artık gerilmeyi belirlemek için bu modelin karmaşık geometrilerde kaynak edilmiş parçalara uygulanabileceği görülmüştür.

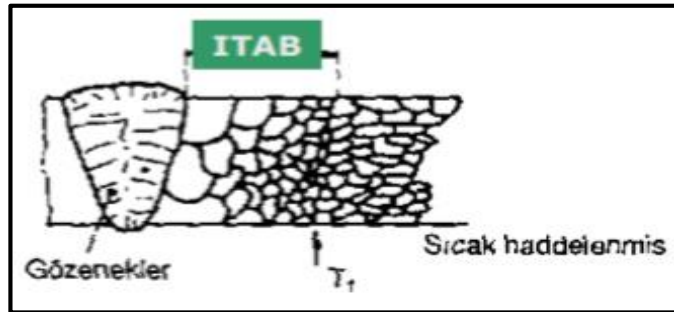
3. KAYNAKLI BİRLEŞİM TEKNİĞİ

Kaynak, uygulanacağı malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak ele alınır. Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden uygulayarak ve aynı cinsten veya erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye metal kaynağı adı verilir (Oğuz, 1989). İki veya daha fazla parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, birleştirmede kullanılan bu metale ilave metal adı verilir.

Kaynaklı birleşim yönteminde, iş parçalarının kaynaklanacak bölgeleri eritilerek buraya ilave dolgu metali eklenir, daha sonra ek yeri soğutulur sertleşmesi sağlanmış olur. Metal kaynağında genellikle kaynak yapılacak bölge elektrik arkı ile eritilir. Yüksek ısı girişi oluşan bu bölgeler özellikle kaynak dikişine yakın bölgelerde metallerin tane yapısında değişime neden olabilmektedir.

Kaynak uygulaması yapılan malzemelerde, kaynağın termal etkisinden dolayı üç farklı yapıda bölge oluşmaktadır. Bunlar; kaynak bölgesi, ITAB ve ana metal bölgesidir (David, vd., 2003). Kaynak metalindeki içyapı gelişimi, erimiş kaynak metalinin katılma davranışına bağlıdır (David, 1997).

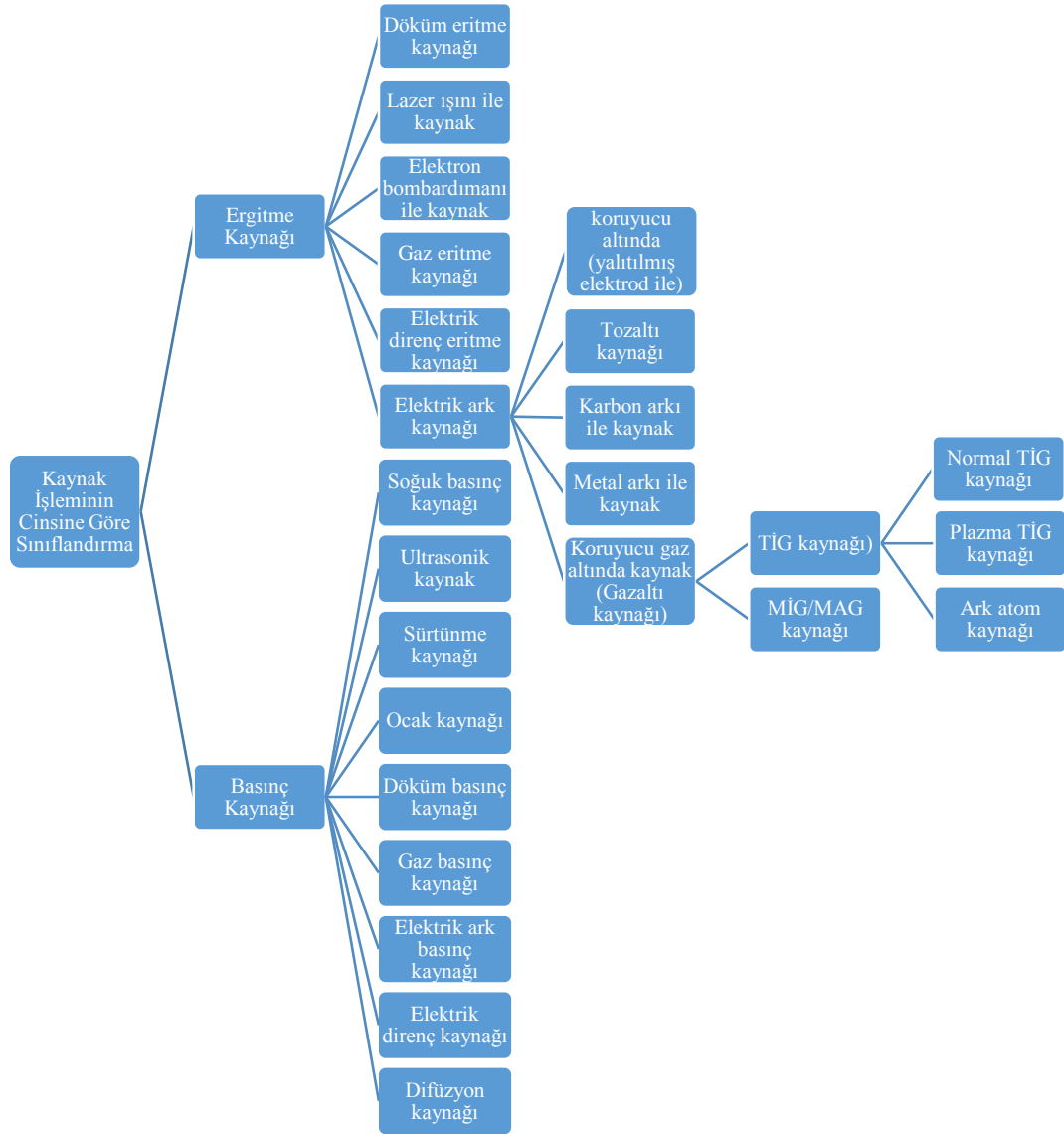
Kaynak uygulaması sırasında, kaynak banyosunun bulunduğu bölge ile kaynaklanan esas metalin arasındaki ITAB da sıcaklık farkından dolayı soğuma sırasında (yaklaşık 1500 - 1100°C arasında) tane irileşmesi meydana gelmektedir (Lindgren, 2006). Yüksek ısıdan dolayı ana metalin tane yapısındaki değişim Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) (Akın, 2015).

3.1 Endüstriyel Kaynak Çeşitleri

Kaynak teknolojisini cinslerine göre sınıflandırmak mümkündür (Şekil 3.2). Bu sınıflandırma temel olarak kaynağın cinsine ve birleştirilecek malzemenin cinsine bağlıdır denilebilir (Aslanlar, 2009). Endüstride kullanım alanı bulan kaynaklar, metal kaynağı ve plastik kaynağı şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Metallerin kaynaklı birleşimlerinde yaygın olarak elektrik ark kaynağı, plazma kaynağı, sürtünme kaynağı, gaz ergitme kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Kaynak cinslerine göre sınıflandırma (Akın, 2015).

Bu çalışmada, elektrik ark kaynağı yöntemlerinden MIG-MAG gazaltı kaynak yöntemi kullanılmıştır. Elektrik ark kaynağında erime, direkt olarak bir elektrik arkının bölgesel tesiri ile oluşur. Arkı oluşturmak için, kaynak elektrotu ve ana malzeme arasında bir güç kaynağı kullanılır (Ericson, 2003). Elektrik ark kaynağı metodunda doğru akım veya alternatif akım çeşitlerinin her ikisi de kullanılabilir. Elektrik ark kaynağında kaynak için gerekli ısı, elektrik arkı tarafından oluşturulmaktadır (Anık, 1969). Kaynak dikişini yapabilmek için gerekli ilave metalin birleşime katılma şekli ve kaynak banyosunun bulunduğu havanın olumsuz etkilerinden korunma biçimine göre birçok ark kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Ülkemizdeki yapı sektöründe en yaygın şekilde kullanılan üç kaynak metodu; örtülü elektrik ark kaynağı, toz altı kaynağı ve gazaltı kaynak yöntemleridir.

3.1.1 Örtülü elektrik ark kaynağı

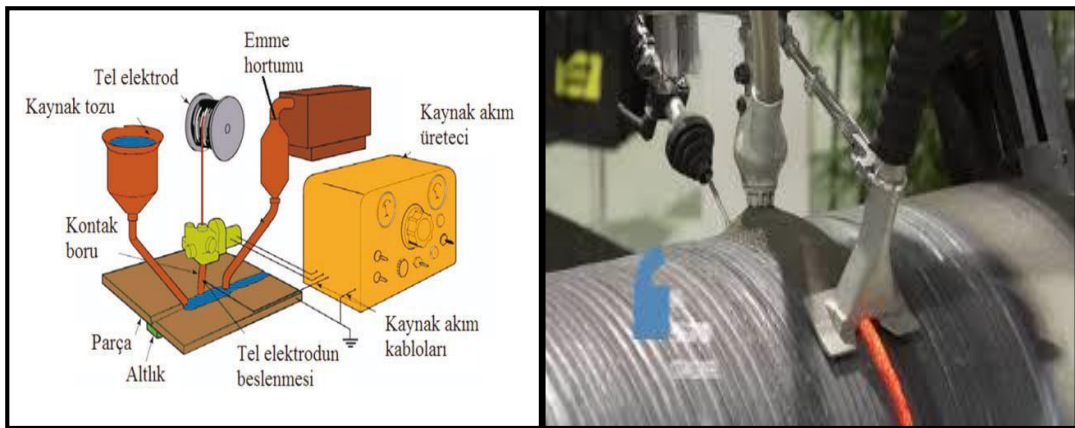
Örtülü elektrot kullanılarak yapılan ark kaynağında ark, iş parçası ile elektrot arasında oluşur ve bu sayede eriyen elektrot kaynak metali haline geçer. Ark ile birlikte elektrotu saran örtü de ısıdan dolayı erir ve bu esnada örtünün yanmasından dolayı açığa çıkan gaz, kaynak banyosunu atmosferin zararlı etkilerinden korur. Ergime sırasında oluşan cüruf, kaynak metalini örterek korunmasına yardımcı olur. Elektrotun örtü maddesine katılan alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırmak ve istenilen mekanik özelliklerde kaynaklı bağlantı elde etmek de mümkün olmaktadır. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesinin gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Örtülü elektrik ark kaynağı.

3.1.2 Toz altı kaynağı

Ülkemizde ilk kullanımı 1960'lı yıllara dayanan toz altı kaynak yöntemi ilk olarak 1933 yılında ABD'nde kullanılmaya başlanmıştır (Külahlı, 1985). Toz altı ark kaynak yönteminde, bir makaradan çekilen kaynak teli, tel sürme mekanizmasından ve bir memeden geçerek kaynak bölgesine iletilir. Kaynak yapılabilmesi için gereken akımı memeden alan tel ile ana metal arasında oluşturulan ark, farklı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren bir toz karışımı tarafından kaynak bölgesine dökülür ve kaynak banyosunun atmosferin olumsuz etkilerinden korunması sağlanır. Arkın sürekli olarak toz altında gerçekleşmesi nedeniyle bu yöntem tozaltı kaynağı adı verilmiştir. Kaynak bölgesine dökülen tozun bir bölümü ark sıcaklığında eriyerek cüruf halinde kaynak metalinin üzerine örter ve bu sayede kaynak banyosu hem atmosfer etkilerinden korunur hem de kaynak metalinin alaşımlanması sağlanır (Tülbentçi, 1988). Şekil 3.4'te toz altı kaynağı şematik çizimi ve uygulaması gösterilmiştir.



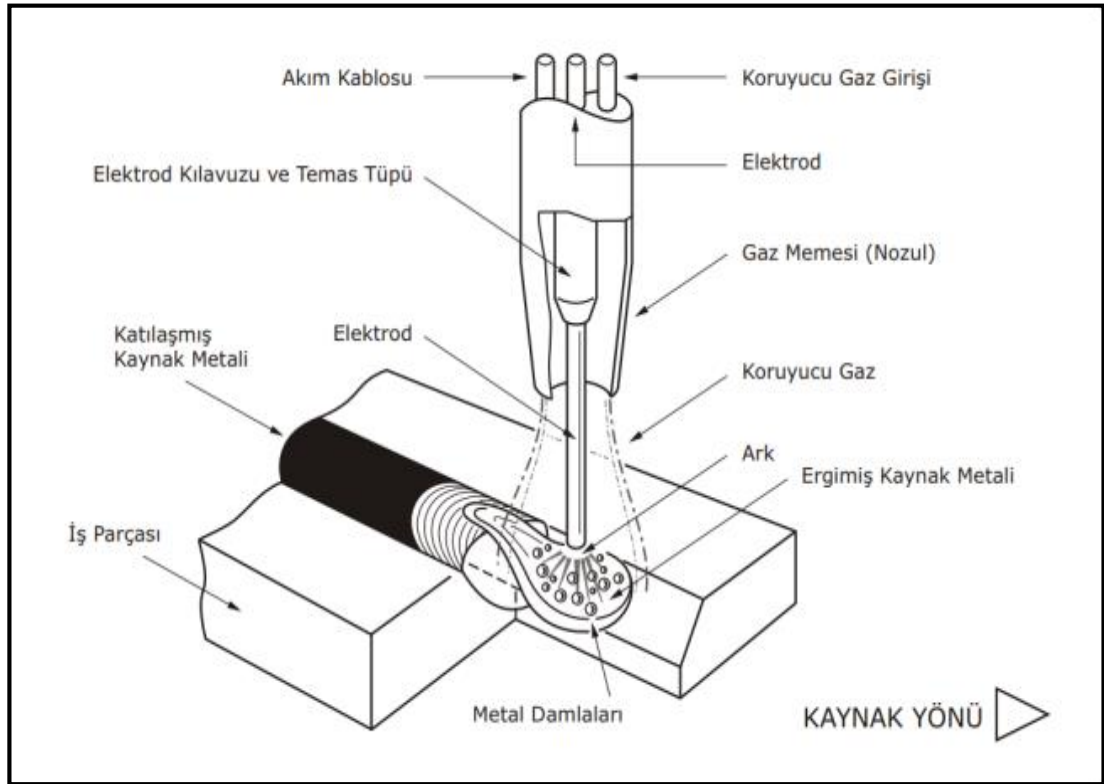
Şekil 3.4. Toz altı ark kaynağı yapılışı.

3.1.3 Gazaltı ark kaynağı

Metal koruyucu gaz altı kaynak tekniği; koruyucu bir gaz atmosferi altında, kaynaklanan malzeme ile sürülen tel arasında arkın oluşumu esasına dayanan birleştirme şeklidir. Kaynak yöntemi koruyucu gazın davranışına göre ikiye ayrılır. Asal gaz ile koruma yapıldığında MIG, aktif gaz ile koruma yapıldığında MAG olarak isimlendirilir. Her iki gazla yapılan kaynak yönteminde aynı ekipman kullanılmaktadır. Yalnız karbondioksit korumalı kaynak yönteminde tüp çıkışına bir ısıtıcı ilave edilir.

Şekil 3.5'de gazaltı kaynak yönteminin prensip şeması ve Şekil 3.6'da da uygulaması gösterilmektedir. Sonsuz elektrot bir tel iletme mekanizması yardımıyla

tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu nispeten kısadır; böylece ince elektrota yüksek akım şiddeti ($> 100 \text{ A/mm}^2$) uygulanabilir. Akım şiddetinin yüksekliği; metal transfer formunu, nüfuziyet profilini ve kaynak hızını olumlu yönde etkiler (Ekici, 2009). Kaynak makinesinin kutuplarından biri elektrota diğeri de parçaya bağlanır; böylece ark, örtülü elektrik ark kaynak yönteminde olduğu gibi eriyen elektrot ile parça arasında yanar. Elektrot aynı anda hem enerji taşıyıcı ve hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz, elektrotun paralel eksenli olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkilerinden korur. Gazaltı kaynak yöntemi, yüksek dayanımlı çelik levhalarının birleştirilmesinde savunma sanayisi tarafından çok yaygın şekilde kullanılan bir uygulamadır.



Şekil 3.5. Gaz altı ark kaynağı şematik gösterimi (Asarkaya, 2006).



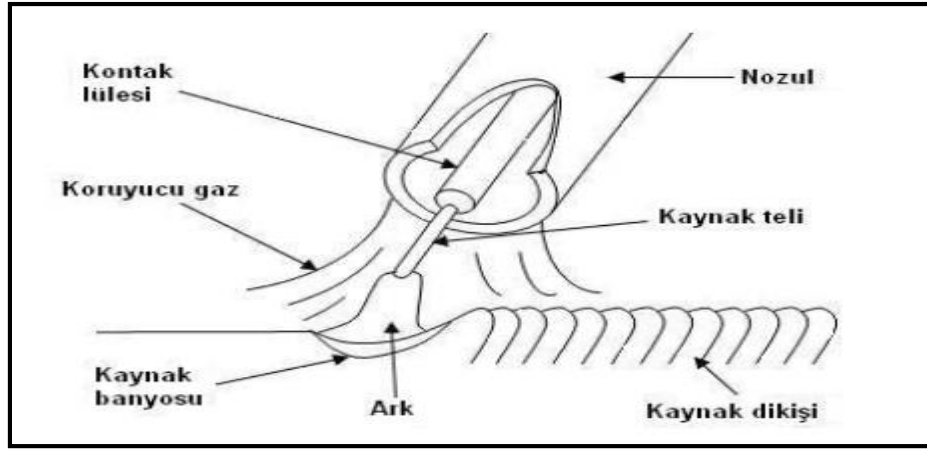
Şekil 3.6. Gaz altı ark kaynağı yapılışı.

Bir gazaltı kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- Kaynak tabancası veya diğer adıyla kaynak torcu.
- Tel şeklindeki elektrot ve korumasını, kaynak ve şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada barındıran metal spiral takviyeli hortum; torc bağlantı paketi.
- Tel halindeki elektrotun hareketini sağlayan mekanizma.
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici.
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

3.1.3.1 Kaynak torcları

MIG-MAG kaynağında tel elektrota akımın gönderilmesi ve ark bölgesine koruyucu gazın yönlendirilmesi torc vasıtasıyla gerçekleşir. Arkın yakınında bulunması nedeni ile özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan mümkün olduğunca daha az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde torclar geliştirilmişse de günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, oksii-asetilen üflecine benzeyen bir biçimde bükülmüş olan türüdür. Tel elektrotun spiral içinde itilerek ilerletilmesi çok zor olan alışılmadık için tabanca şeklinde ve üzerinde tel ilerletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı bulunduran torclar da üretilmektedir. Torc mekanizması şematik gösterimi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Kaynak torc yapısı ve ark bölgesi (Akın, 2015).

3.1.3.2 Torc bağlantı paketi

Torc, kaynak makinasına, içinde tel elektrot kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli kalın hortum ile bağlanmıştır ve bu hortuma torc bağlantı paketi adı verilmektedir. Kullanılan tel elektrotun kimyasal bileşimine göre çeşitli türde kılavuzlar kullanılır ve bazı yörelerde bu kılavuzlara spiral adı da verilir. Kılavuz, tel iletme mekanizmasından kontrol lülesine kadar tel elektrotun sevk edilmesi görevini üstlenir. Alüminyum ve alaşımları, Cr-Ni paslanmaz çelikler için plastik hortum, alaşımsız ve alaşımlı çelik elektrotlar için ise çelik spiral şeklinde imal edilmiş kılavuzlar kullanılır. Kullanılan kılavuz hortumun çapı, elektrot çapına uygun olarak seçilir. Uygulamada genellikle her kılavuz ile ancak iki birbirine yakın çaptaki teller kullanılabilir.

3.1.3.3 Tel sürme tertibatı

Tel elektrot sürme veya bir diğer adıyla iletme tertibatı, teli makaradan sağıp, önceden belirlenmiş bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır (Şekil 3.8). Çalışma sistemlerine göre çekme, itme gibi farklı adlandırmalar olsa da prensip olarak birbirlerine benzerler. Hız ayarı, gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. Farklı yöntemleri bulunsa da günümüzde en çok bu sistem kullanılır.



Şekil 3.8. Kaynak teli ve tel sürme tertibatı.

3.1.3.4 Kumanda tertibatı

Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra makinenin ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır hale getirilince, kaynağa başlamak için yarı otomatik MIG-MAG makinelerinde torç üzerinde bulunan düğmeye basmak yeterlidir. Bu anda, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluşuktan çok az bir süre sonra da tel ilerletme aksamı aktif hale gelir. Kaynağa son verilmesi durumunda ise bu sıralamanın tersi durum meydana gelir. Büyük güçteki makinelerde ayrıca soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da kumanda aksamı tarafından gerçekleştirilmektedir.

3.1.3.5 MIG - MAG kaynağı akım üreteçleri

MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir. Sabit gerilimli diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda doğru da değildir. Zira böyle bir üreteçte elektrot iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti aşırı yükselecektir ve bu da elektrot ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olacaktır. Bu açıdan bu tür akım üreteçlerinde her 100 amper için en fazla 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir. Bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ilâ 5 Volt arasındadır.

MIG kaynak yönteminde başarılı bir kaynak dikişi elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin en önemlileri akım şiddeti ve gerilimidir.

Sabit gerilimli veya diğerk adıyla yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız ayarlanabilir. Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG kaynak üreteçlerinde tel ilerletme düğmesinden ayarlanır.

MIG-MAG kaynağı akım üreteçlerinde içten ayar olarak adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde ark gerilimi tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti otomatik olarak ayarlanır. Tel sabit hızda sürülür. Kaynak esnasında herhangi bir sebepten ötürü ark boyu uzarsa, akım şiddeti büyük oranda düşüş gösterir.

3.1.3.6 Koruyucu gaz tüpleri

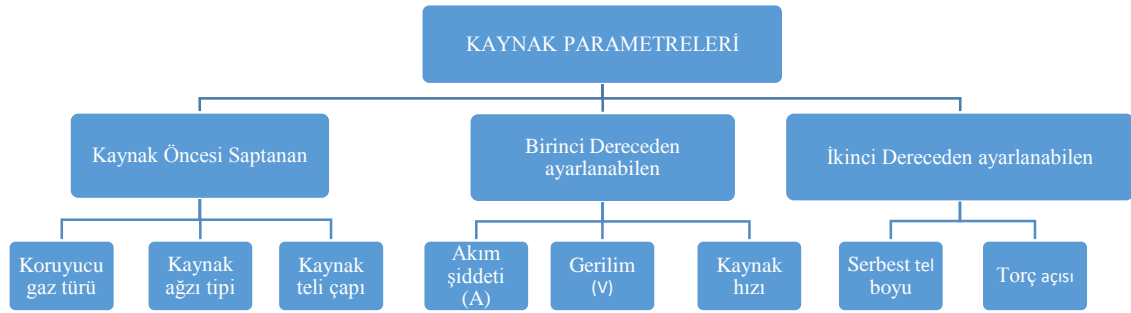
MIG-MAG kaynağının ayırt edici özelliği olan koruyucu gazları depolamak amacıyla kullanılır. Tüpün üzerinde bulunan ventiller ve akış ölçer de debi ayarlamak ve tüpte bulunan gaz hacmini ölçme görevinde kullanılmaktadırlar. Akışın sağlandığı hortumların uzunluklarına göre makine ile arasındaki mesafe ayarlanabilir.

3.2 Kaynak Parametreleri

3.2.1 Kaynak parametrelerinin seçimi

Kaynak parametrelerinin seçimi hatasız bir dikiş için oldukça önemlidir. Kaynak parametreleri, kaynatılacak metalin cinsi, kalınlığı, kaynak ağız geometrisi gibi etkenler dikkate alınarak seçilir. Kaynaklı birleşimlerde akım şiddeti, gerilim, tel besleme hızı, kaynak hızı ve koruyucu gaz gibi kaynak işlemi parametreleri, kaynaklı birleşimin içyapısını ve mekanik özelliklerini belirler (Quintino, vd., 2013). Parametrelerin seçilmesi noktasında faydalanılabilecek birçok kaynak mevcuttur.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan, birinci derecede ayarlanabilen ve ikinci derecede ayarlanabilen parametreler olmak üzere üç gruba ayrılır ve Şekil 3.9'da genel şeması gösterilmiştir (Tülbentçi, 1993).



Şekil 3.9. Kaynak parametreleri şematik gösterimi.

Kaynak öncesi belirlenen ve daha sonra değiştirilemeyen parametreler, kaynağı yapılacak malzemenin türü ve kalınlığı, elektrotun bağlandığı kutup, kaynaktan beklenen dayanım ve kaynak pozisyonuna göre tespit edilen tel cinsi, tel çapı ve koruyucu gazın türü gibi parametrelerden oluşmaktadır.

Birinci derecede ayarlanabilir parametrelerden kaynak akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynağın hızı, MIG-MAG kaynağında kaynak dikişinin biçim, boyutlarını ve arkın stabilitesini etkiler.

Kaynakta İkinci derecede ayarlanabilir parametreler, birinci derecede ayarlanabilir parametrelerden dolayı olarak etkilenen ve kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerden oluşmaktadır. Torç açısı ve serbest tel uzunluğu MIG-MAG kaynağında bu parametrelere örnek gösterilebilir (Tülbentçi, 1993).

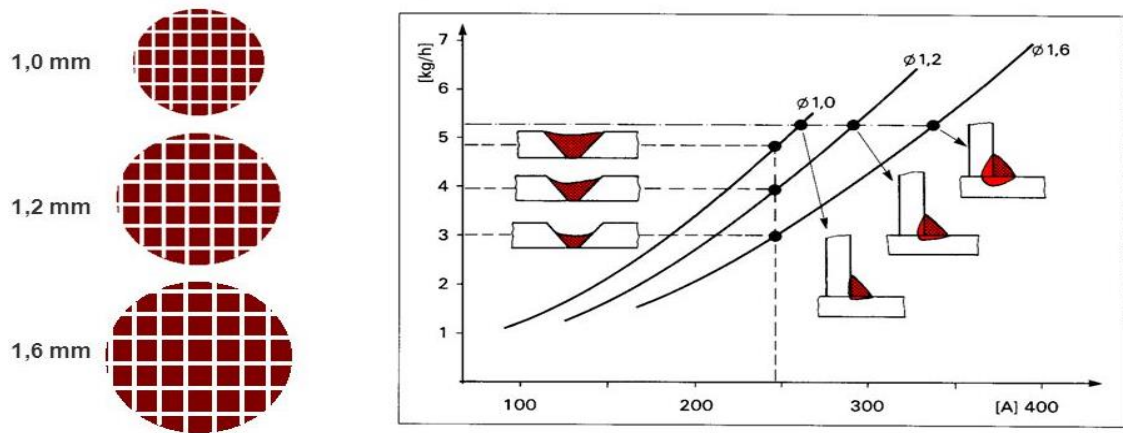
3.2.2 Kaynak işlemi sırasında değiştirilemeyen parametreler

3.2.2.1 Kaynak teli

MIG-MAG kaynağında kaynak teli, hem ilave metal görevi görür hem de arkı oluşturur. Her çeşit kaynak teli için çapa bağlı olarak belirlenecek bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrotlar küçük çaplı elektrotlara göre daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler için daha yüksek ergime potansiyeline sahiptirler ve buna bağlı olarak daha derin nüfuziyetli kaynak dikişleri oluştururlar. Ergime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur ve akım şiddeti arttıkça daha yüksek erime gücü elde edilir. Akımın şiddeti, ergime gücü ve tel çapı arası ilişkiler Şekil 3.10'da verilmiştir. Dikiş nüfuziyeti de akım şiddeti ile ilişkilidir ve aynı akım şiddetinde, küçük çaplı elektrot ile daha derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilir. Büyük çaplı elektrot

kullanımında ise kaynak dikişi küçük çaplı elektrottaki duruma göre daha geniş olacaktır (Nadzam, 2000).

Kullanılacak kaynak elektrot çapının seçilmesinde, ana metal kalınlığı, nüfuziyet derecesi, erime gücü, istenen kaynak dikiş profili, kaynak pozisyonu ve elektrot maliyeti dikkate alınır. Küçük çaplı elektrotlar ağırlık baz alındığında daha pahalıdır fakat her farklı uygulama için kaynak maliyetini minimuma indiren bir elektrot çapı bulmak mümkündür (Tülbentçi, 1990).



Şekil 3.10. Kaynak teli çapı ile akım şiddeti arasındaki ilişki.

Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan elektrotlar $\varnothing 0.6$; $\varnothing 0.8$; $\varnothing 1.0$; $\varnothing 1.2$ ve $\varnothing 1.6$ mm çaplarındadırlar ve bakır ile kaplanarak Şekil 3.11'de olduğu gibi bobin şeklinde makaraya sarılırlar. Bu bobinler makinarya takılır ve tel sürme mekanizması ile kullanılırlar. Kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çelik kaynaklarında kullanılmak üzere masif elektrotların dışında, özlü elektrot olarak belirtilen elektrotlar da geliştirilmiştir. Özsüz şekilde kullanılan tel elektrotlar kimyasal bileşimlerine göre SG1, SG2 ve SG3 olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Çizelge 3.1'de az alaşımlı ve alaşımsız çelik kaynaklarında kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri gösterilmiştir (TS EN ISO 14341/D1, 2017).



Şekil 3.11. Gaz altı kaynak teli.

Çizelge 3.1. Özsüz şekilde kullanılan gazaltı kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri (TS EN ISO 14341/D1, 2017).

Simge	Kod	Kimyasal Bileşim						Standartlar içinde safsızlık
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
SG 1	1.511 2	0,07- 0,12	0,5- 0,7	1,0-1,3	0,002 5	0,002 5	0,30	Cr 0,15 V 0,05
SG 2	1.512 5	0,07- 0,14	0,7- 1,0	1,3-1,6	0,002 5	0,002 5	0,30	Al 0,02
SG 3	1.513 0	0,07- 0,14	0,8- 1,2	1,6-1,9	0,002 5	0,030	0,30	Mo 0,15

Elektrot tercihi yapılırken, kaynak sonrası ortaya çıkan kaynak dolgu metalinin bileşimi istenen mekanik özellikleri karşılamalıdır. Tel tercihi yaparken dikkat edilmesi gerekenler, ana metalin mekanik özellikleri, ana metalin kimyasal bileşimi, koruyucu gaz türü, ana metal kalınlığı ve çalışma ortamıdır.

3.2.2.2 Koruyucu gaz türü

Gazaltı kaynağında kullanılan gazların kaynak dikiş kalitesine etkisi oldukça fazladır. Her farklı gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş şekli ve nüfuziyeti birbirlerinden farklı sonuçlar ortaya çıkarır. MIG kaynağında soygaz kullanılır (helyum, argon, veya karışım gazları). MAG kaynağında ise aktif gaz (CO₂ veya

karışım gazları) kullanılır. Koruyucu gaz türünün ayrıca kaynak sırasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki aktarım şekline ve elde edilen birleşimin mekanik özelliklerine etkisi vardır (Pellerin, vd., 2005). Koruyucu gazın türü ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısıyla da elektrottan ergime sonumu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkiler. Bu da kaynak işleminin yapılabirliğine, verimine ve kalitesine etki eder (Lyttle, 2000).

Koruyucu gazlardan olan argon ve helyum gibi asal gazların tedarikinin zor ve pahalı olması sebebiyle bu gazlara göre daha kolay temin edilen ve nispeten daha ucuz olan CO₂ gazının koruyucu gaz olarak kullanımı daha ekonomik bir çözüm olduğu için kullanımı artmıştır. CO₂ gazı özellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ekonomi, iyi nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Koruyucu gazın doğrudan etki ettiği kaynak parametrelerini şöyle sıralayabiliriz:

- Kaynak banyosunu atmosfer etkilerinden koruma
- Arkın kararlılığı
- Metal transfer formu
- Nüfuziyet ve kaynak dikiş geometrisi
- Isı girdisi
- Kaynak hızı
- Kaynak metalinin kimyasal bileşimi
- Duman oluşumu
- Kaynak metalinin mekanik özellikleridir.

Doğru ve iyi gazın kullanılması kaynak kalitesine pozitif etki eder, kaynak imalatının maliyetini düşürür (Kahraman, vd., 2008).

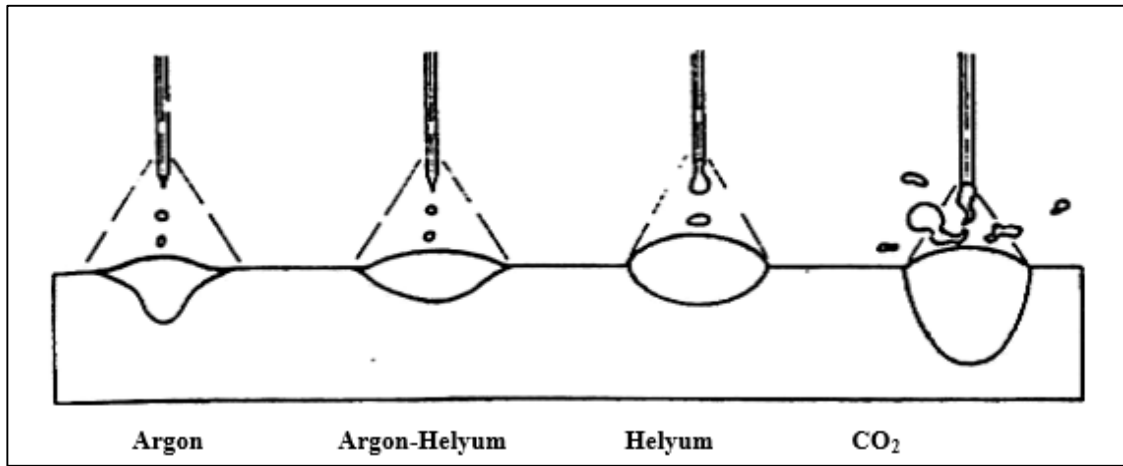
Kaynak banyosunu atmosfer etkilerinden koruma; kaynak banyosunu atmosferin zararlı etkilerinden koruyabilmek için kullanılan koruyucu gazın operasyondaki yeri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Koruyucu gaz, sıvı haldeki kaynak banyosu ile onun çevresindeki atmosfer arasındaki oluşumu istenmeyen reaksiyonların önüne geçer.

Arkın kararlılığı; MIG-MAG kaynağında arkın kararlılığı büyük ölçüde metal aktarımının geçiş şekli ile kontrol edilir. Bu durum da koruyucu gazın kimyasal bileşimine bağlıdır. Koruyucu gaz bileşimi, aktarımdaki ark davranışını ve yüzey

gerilimlerini etkiler. Östenitik çelik malzemelerin kaynağında $Ar + O_2$ ve $Ar + CO_2$ karışımları ile düzgün bir püskürtme aktarımı elde edilmiş olur. Koruyucu gaz olarak CO_2 kullanıldığında ise sadece damla aktarımı oluşumu gözlenir.

Metal transfer formu; kaynak esnasında kaynak telinden kaynak banyosuna transfer edilen metalin davranışı olarak tanımlanabilir. Metal transferinin şekli büyük ölçüde koruyucu gaz içeriğine ve diğer kaynak parametrelerine bağlıdır.

Nüfuziyet ve Kaynak dikiş geometrisi; bir kaynak dikişinin kalitesini belirlemek için nüfuziyetine, ıslatma oranına ve kaynak dikişinin görüntüsüne bakılabilir. Kaynak dikişi üzerinde koruyucu gazın etkisi oldukça fazla olup mekanik özelliklerin yanında kaynak geometrisini de direkt olarak etkiler. Saf argon atmosferi altında kaynak dikişinin şekli şarap kadehine benzer bir nüfuziyettir ve karbondioksit atmosferinde ise yüksek derecede nüfuziyetin yanında fazla oranda şişkin bir dikiş elde edilir. Bunun sebebi karbondioksit arkının düzensizliğidir. Farklı gaz ve karışımları neticesinde oluşan kaynak profilleri Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Koruyucu gaz karışımının nüfuziyete etkisi (Tülbentçi, 1990).

Isı girdisi; belirli bir uzunluktaki kaynağı yapabilmek için gereken ısıya denir. Isı girdisinin düşük olması, kaynağı yapabilmek için gereken enerjinin az olduğu anlamına gelmektedir. Koruyucu gaz, ısı girdisi ile doğrudan ilişkilidir; her gazın termal iletkenliği farklı olduğundan kullanılan koruyucu gaza göre aktarılan ısı da değişmektedir (Oğuz, 1985).

Kaynak ilerleme hızı; birim zamanda yapılan kaynak mesafesidir. Kaynak işlemlerinde tüm parametreler sabit tutulduğunda, en yüksek nüfuziyet orta ilerleme hızında elde edilir. Koruyucu gazın ısıl iletkenliği de kaynak hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Kaynak metalinin kimyasal bileşimi; alaşım elemanlarının telden kaynak banyosuna maksimum kapasite ile aktarılması, koruyucu gazın oksitleme gücüne bağlıdır. Oksitleme potansiyeli düzenlenmiş gazlar ile yapılan kaynak işlemlerinde oksit kalıntılarının içyapıya aktarım miktarının en düşük oranlarda olduğu gözlenmiştir. Mekanik özellikler; gazaltı kaynağında gazın oksitleme durumuna göre bir miktar alaşım elementi kaybı olur. Bu kayıplar, temel bileşenler olan Mn ve Si gibi elementler olduğundan kaynak telinde bu elementlerin yüksek derecede olması gerekir. Koruyucu gazın kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi, gözeneklilik ve oksitlenme şeklinde ortaya çıkmaktadır (Doğan, 2007).

Duman oluşumu (Şekil 3.13); kaynak işlemi esnasında, çalışma alanında arkın dolayısı ile oluşan duman ve gazlar meydana gelir. Arkın çıkan bu gazlar ozon gazının oluşmasına sebep olur. Ozon gazı ise göz ve burun gibi organlarda yanma tipinde sağlık problemleri oluşturur.



Şekil 3.13. Kaynakta duman oluşumu.

3.2.2.3 Kaynak ağızı

Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağında, kaynak ağız şeklinin tercihinde kaynaklı parçanın şekli, kaynatılan malzemenin cinsi ile ilgili metalürjik hususlar ve konudaki

standartlar göz önünde bulundurulur. Kaynak dikişindeki dolgu malzemesi ve oluk geometrisi, kaynak direncini belirleyen kaynak parametreleridir (İpek, 2010).

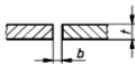
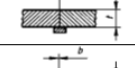
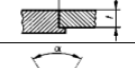

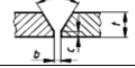
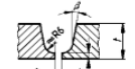
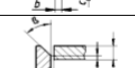
Kaynak ağız hazırlamada en önemli konu, istenen dayanımda en kaliteli kaynak dikişinin sağlanmasını en ekonomik şekilde gerçekleştirmektir. Kaynaklı bağlantının gerek kalitesini ve gerekse de maliyetini çok ciddi şekilde etkilediği için ağız tasarımı kaynak teknolojisinde çok önemli bir yere sahiptir. Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağında kaynak ağız tasarımında bu özelliğin de göz önünde bulundurulması son derece önemlidir. Bu bakımdan en önemli konulardan biri kaynak yaparken kaynakçının en doğru pozisyona erişebilmesi ve torcunu rahat bir şekilde hareket ettirebilmesidir. Bu konuda başka önemli bir husus da gaz lülesi ile dikiş kökü arasındaki uzaklıktır. Kök kısmına lülenin yeterince yaklaşamaması, nüfuziyetin kalitesini düşürebilir ve kaynak banyosunun gaz tarafından yeterince korunamamasına neden olabilir.

Kaynak ağız tasarımını etkileyen en önemli faktör, birleşimden istenen dayanımdır. Bu değer kaynak ağızında nüfuziyetin miktarını belirler. Yüksek dayanımın istendiği veya dinamik zorlamaların aktif olduğu hallerde metal tüm kesiti boyunca kaynatılmak ve dikiş tam bir nüfuziyete sahip olmak durumundadır. Buna karşın statik zorlanmalar halinde ancak kaynak dikişinden istenen dayanımın gerektirdiği kadar bir kesit kaynatılır ve buna benzer durumlarda tam nüfuziyet aranmaz. Kaynaklı birleşimde, kaynaklanan bölgenin tümünün veya bir bölümünün kaynatılması, ağız formunu, kök aralığını ve kök yüksekliğini etkiler. Kesitin ancak bir bölümünün kaynatılmasının istendiği durumlarda, kök açıklığına ihtiyaç yoktur ve yüksek bir kök alını da bırakılabilir. Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağında diğer açık ark metotlarına (örtülü elektrot, TIG) göre daha düşük çaplı bir elektrot kullanılması nedeni ise arkın daha yoğun olmasıdır. Aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha fazladır. Bu açıdan diğer metotlara göre daha yüksek bir kök alını ve daha dar bir kök aralığı kullanılır. Doğal olarak bu durum düşük akım şiddetlerinin uygulandığı kısa devre ark metodu için geçerli değildir.

Elektrot çapının diğer kaynak yöntemlerine göre daha ince tutulması, kaynak ağız açılarının da daha dar kullanılabilmesine olanak sağlar. Kaynak ağız şekil seçimini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de kaynak yapılacak pozisyonudur. Örneğin oluk (taban) pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha

geniş ağız açısına ihtiyaç vardır. Dik ve tavan kaynak pozisyonlarında akım şiddeti minimumda kullanıldığından kök aralığı daha büyük ve kökte alın yüksekliği daha az olmak durumundadır. Ayrıca korniş pozisyonundaki kaynaklarda, asimetrik V kaynak ağzı banyonun akmasına engel olduğundan simetrik V ağzı tercih edilir. Kaynak ağzı tasarımında en önemli etkenlerden bir tanesi de kaynatılacak parçaların kalınlığıdır.

Çizelge 3.2. Kaynak ağız tipleri (TS EN 1090-2, 2012).

Ref. No.	Weld			Edge form				Recommended welding process (as in ISO 4063) ⁵⁾	Notes	
	Material thickness t	Designation	Symbol (acc. to ISO 2553:1992-10)	Section	Angle α, β	Dimensions Gap b, Root face thickness c	Groove face height h			
1.2.1	≤ 4	Square preparation			-	$b \approx t$	-	-	3 111 141	-
1.2.2	$3 < t \leq 8$					$6 \leq b \leq 8$			13	
	$\approx t$					141				
	≤ 1					52				
1.2.3	≤ 100	Square preparation with backing	-		-	$30^a)$	-	-	51 72 ^{a)}	-
1.2.4		Square preparation with centering lip	-							
1.3	$3 \leq t \leq 10$	Single-V preparation	∨		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	-	3 111 13 141	With backing strip where applicable
	$8 < t \leq 12$				$6^\circ \leq \alpha \leq 8^\circ$	-			52	
1.5	$5 \leq t \leq 40$	Single-V preparation with broad root face	Y		$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$	-	111 13 141	-
1.8	> 12	Single-U preparation	∩		$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	≤ 4	≤ 3	-	111 13 141	-
a) -	\leq	Single-bevel preparation	∇		$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	-	-	-

MIG-MAG yönteminde iki taraftan kaynak yapmanın mümkün olduğu hallerde, uygun kök aralığı bırakmak ve akım şiddetini üst sınırlarda seçmek şartı ile 10 mm kalınlığındaki parçalar dahi küt alın ağız (özel bir kaynak ağzı açmadan) ile kaynatılabilirler. Kalın parçalar için V, X ve Y ağızları kullanılır, parça kalınlığının daha da artması hazırlanması oldukça zor olan U kaynak ağzını daha ekonomik hale getirebilir zira kalın parça kullanılması halinde (>25 mm) daha az kaynak metali gerektirmesinden ötürü U ağzı daha ekonomik olabilmektedir. En çok kullanılan kaynak ağız tiplerinin V, Y ve X tipi ağızlar olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.2’de TS EN 1090-2 (2012)’e göre uygulanması gereken kaynak ağız geometrileri verilmiştir. Kaynak ağız tasarımını etkileyen başka önemli bir husus da kaynatılan malzemenin cinsidir. Örneğin alüminyumun ısıl iletkenliği çok yüksek ve erime sıcaklığı düşüktür, buna karşın paslanmaz çeliklerin ısıl iletkenliği daha düşüktür. Bu açıdan alüminyum halinde küt alın ağız ile kaynatılabilecek en büyük parça kalınlığı paslanmaz çelikten

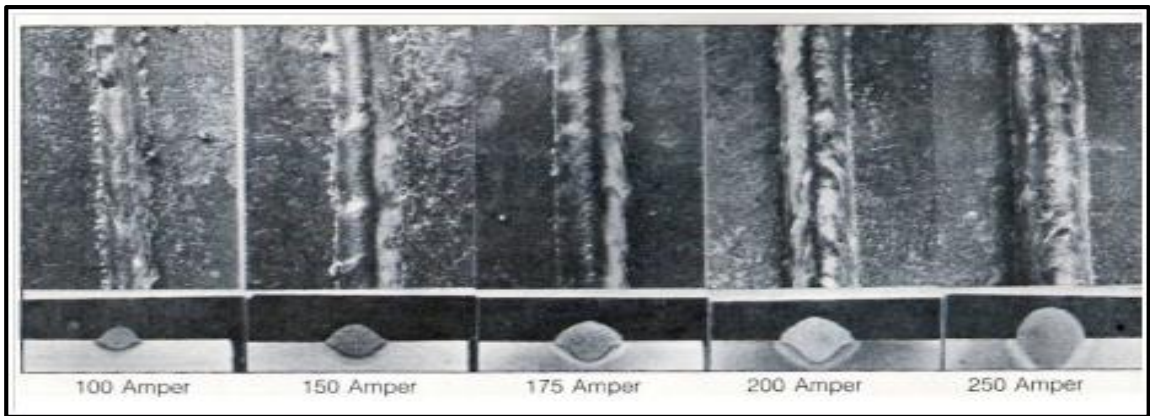
daha küçük olacaktır zira ısı kaynak bölgesini hızla terk etmekte ve kaynak banyosunun derinleşmesine imkan vermektedir (Ertürk, 1987).

3.2.3 Birinci derecede ayarlanabilir parametreler

3.2.3.1 Kaynak akım şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş şekil ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer tüm parametrelerden daha fazladır. Yatay karakteristikli olan MIG-MAG kaynak makinelerinde kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraber tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır ve tel sürme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar.

Kaynak akım şiddeti arttıkça erime gücü de artar, bu olay açık bir biçimde Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Erime gücü akımın karesi ile orantılı olduğundan diyagramdaki eğrilerin alt kısmında eğimler azdır, yukarı doğru ise dikleşmektedirler ve bu durum akım şiddetinin artması ile erimenin daha şiddetli bir şekilde arttığının göstergesidir. Bu durum, serbest tel uzunluğunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direncinden ortaya çıkan ısıya da bağlanmaktadır. Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman, artan akım şiddeti ile kaynak dikişinin eninin, yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının arttığı görülür (Tülbentçi, 1993).



Şekil 3.14. Akım şiddeti ile nüfuziyet arasındaki ilişki (Tülbentçi, 1990).

Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete sebep olduğundan dolayı delinmeler meydana gelebilir; çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrot metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olacaktır.

3.2.3.2 Kaynak gerilimi (Ark boyu)

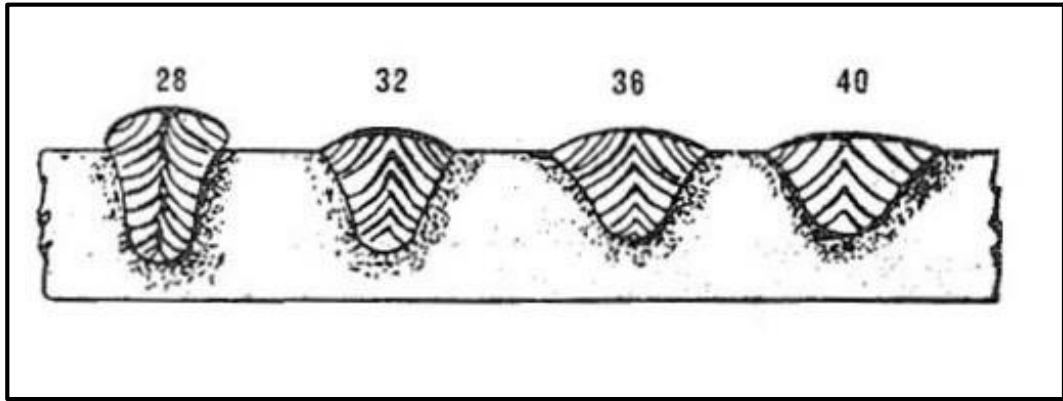
Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrot ucu ile kaynatılan parça arasındaki uzaklık ile doğrudan ilişkilidir.

Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar tuşlarından kademeli olarak veya bazı tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanır. Zira bu tür akım üreteçlerinde, her ark gerilim değeri için makine tarafından sabit olarak belirlenen bir ark boyu vardır; sabit akım karakteristikli makinelerde (örtülü elektrot ile ark kaynağı, TIG) ise ark boyunu kaynakçının ayarlaması gerekmektedir.

Yapılacak bir kaynak için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve ana metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak belirlenir. Her durumda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması durumuna göre daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşuluyla ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır.

Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalma yönünde eğilim gösterir (Şekil 3.15). Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda bağlantı kurabilmek için uygulanır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına ve aşırı derecede küçük ark gerilimi ise porozitenin oluşmasına neden olur.

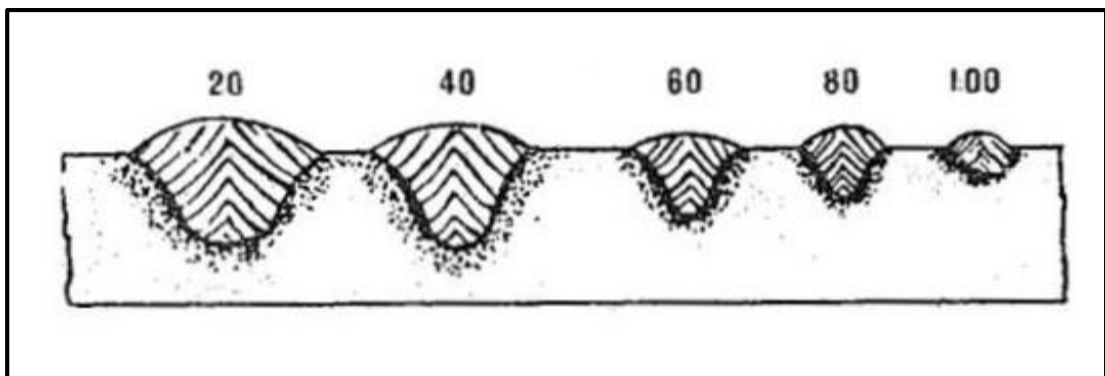
Uygun seçilmiş bir çalışma noktası, arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder. Bir MIG-MAG kaynak akım üreticinde sabit gerilim karakteristik ayar imkânı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının saptanması da o derece de kolay olur. Genel olarak Standard akım üreteçlerinde 3 kaba ayar ve 5 adet ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar (Tülbentçi, 1990).



Şekil 3.15. Kaynak gerilimi (V) ile nüfuziyet ilişkisi (Tülbentçi,1993).

3.2.3.3 Kaynak hızı

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı tarafından, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanmaktadır. Kaynak hızı, birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanmaktadır. En derin nüfuziyet, kaynak hızının optimum değerinde sağlanır (Şekil 3.16) ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise doğal olarak nüfuziyet azalır. Kaynak işlemi yavaş yapıldığında, birim zamanda belirli bir bölgede kaynak metali miktarı artacaktır ve bu da kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Aşırı akışkan hale gelen sıvı haldeki metal, kaynak ağzı içerisinde arkın kaynak yönünde önüne doğru akar ve bu durumda nüfuziyet azalır. Sonuç olarak geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Son derece yavaş şekilde yapılan kaynak, çok fazla kaynak metalinin yığılmasına ve nüfuziyetin yetersizliği sebebi ile ağız etrafında kalan bölge oluşmasına neden olur.



Şekil 3.16. Kaynak hızı (cm/dk) ile nüfuziyet ilişkisi (Tülbentçi,1993).

Hızın artması belirli bir bölgeye verilen ısının düşmesine ve dolayısıyla da esas metaldeki erimenin azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak hızının

aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağzını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarına benzeyen izlerin oluşmasına neden olur (Tülbentçi, 1990). Kaynak işlemlerinde tüm parametreler sabitlendiğinde, maksimum nüfuziyet orta ilerleme hızıyla yapılan kaynaklı birleşimlerde sağlanır (Ekici, 2009).

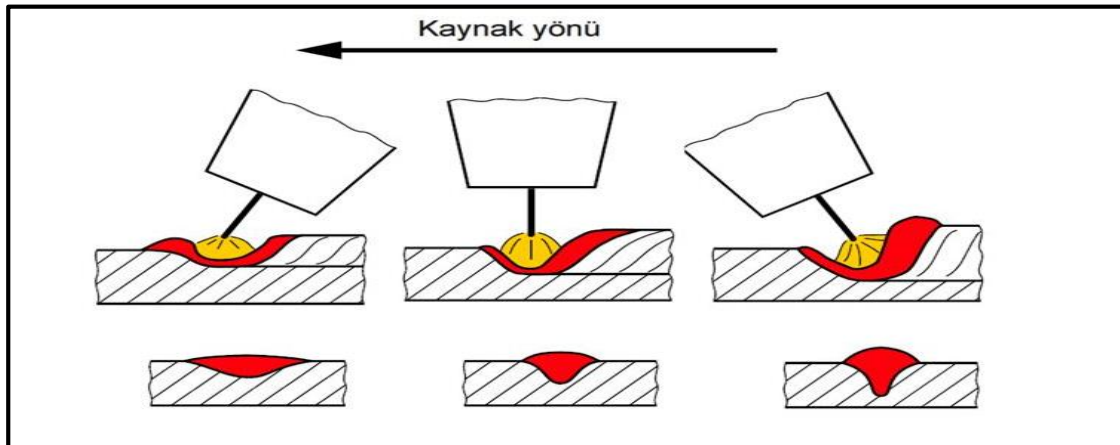
3.2.4 İkinci derecede ayarlanabilir parametreler

3.2.4.1 Torc açısı

MIG / MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, elektrotun kaynak bölgesine aktarılması ve koruyucu gazın kaynak bölgesine yönlendirilmesi torcun görevidir.

Kaynak elektrotu ve torcun iş parçasına göre konumu ve hareketi, kaynak dikişinin şeklini etkileyen önemli parametrelerden biridir. MIG / MAG kaynağında sola ve sağa kaynak metodu kullanılabilir. Torcun kaynak yapılan iş parçasına 90° dik olarak tutulması halinde sağ ve sol kaynak arasında sonuç bakımından bir fark görülmez. Fakat kaynak torcu 30° kadar bir hareket açısı ile tutulduğunda, sağ ve sola kaynak nüfuziyetlerinde ciddi farklar görülür (Şekil 3.17). Hareket açısı 30°'nin üzerine çıkmadığı sürece bu açı, kaynak arkının kaynakçı tarafından kontrolüne destek olur. Bu açıda kaynakçı kaynak bölgesini rahatlıkla görebildiği için, daha kaliteli kaynak dikişi oluşunda etkisi büyüktür. Buna karşılık bu açı değerinin üzerine çıkıldığında nüfuziyet azalır ve dikiş incelik. Sola kaynak genellikle alüminyum parçaların kaynağında kullanılırken sağa kaynak daha çok çeliklerin kaynağında uygulanır. Çeliklerin kaynağında sağ tarafa 25° eğim verilerek yüksek nüfuziyet elde edilebilir (Uzun, 2008).

Torc eğiminin artması koruyucu gaz akımının şeklini etkilediğinden dolayı, koruyucu gazın koruma etkinliği azalır. Derin bir nüfuziyetin sağlanması gereken kalın kaynak dikişleri, torca kaynak yönünde en fazla 30° bir meyil vererek elde edilir. Bu durum özellikle tam otomatik MIG-MAG kaynak yönteminde uygulanır.

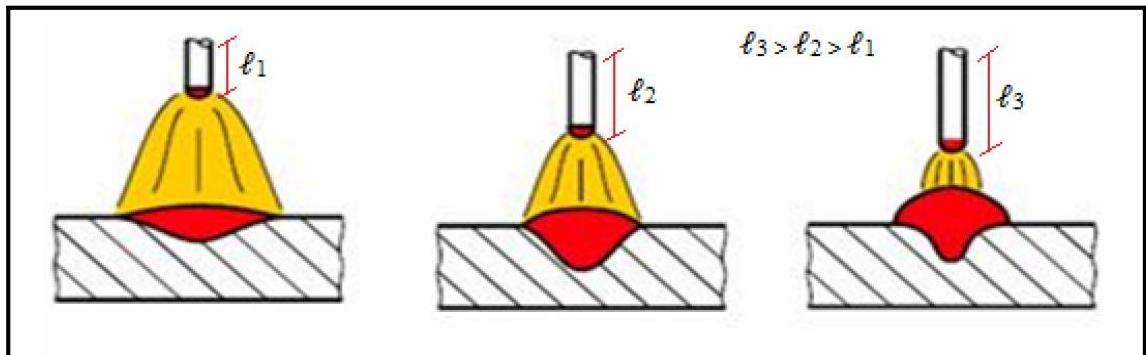


Şekil 3.17. Kaynak yönü ve torc açısının nüfuziyete etkisi.

3.2.4.2 Serbest tel uzunluğu

Elektrot serbest tel uzunluğu, torc içindeki akım memesinin en uç noktası ile tel elektrotun uç kısmı arasındaki mesafe olarak ifade edilir. Bu uzunluğun artması sonucu elektrotun elektrik direnci artar ve elektrotun ön ısınması olarak ifade edilen sıcaklığı artar. Bu durumda elektrotun uç noktasını eritebilmek için gereken akım şiddeti azalacaktır.

Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur. Bu ilişki Şekil 3.18’te açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinden uzak bir mesafeden eriyen kaynak metali, aşağıya soğuyarak düşer ve bu bölgede yığılmaya neden olur. Bu durumda nüfuziyet azalır. Serbest tel uzunluğu (l_i) azaldıkça akım şiddeti yükselir, ark gerilimi ve nüfuziyet artar. Sıçrama bu durumda az olur, fakat kontak borusunda aşırı ısınmaya neden olur (Tülbentçi, 1990).



Şekil 3.18. Serbest tel uzunluğu ile nüfuziyet arasındaki ilişki.

3.3 Kaynak Muayene Yöntemleri

3.3.1 Tahribatsız muayene yöntemleri

Tahribatsız muayene; malzemelerin fiziki yapısını ve kullanılabilirliğini bozmadan içyapısında ve yüzeyinde bulunan süreksizliklerin tespit edilmesi olarak tanımlanabilir. Tahribatsız muayene yöntemleri ile malzemelerde üretim aşamasında veya kullanım sırasında oluşabilecek kusurların tespiti yapılabilir. Tahribatsız muayene yaparken, kontrol edilecek malzemeden numune almaya gerek yoktur.

3.3.1.1 Radyografi muayene yöntemi

X ışını veya GAMA ışını kullanılması ile malzemenin içindeki kusurların bulunmasında kullanılan ve endüstride bir çok farklı alana hitap eden tekniktir. Bina konstrüksiyonları, türbinler, termoelektrik santraller ve daha birçok alanda kullanılan kontrol yöntemidir.

3.3.1.2 Ultrasonik muayene yöntemi

Özel ekipmanlar ve probalar yardımı ile elektrik akımının yüksek frekansta ses dalgalarına çevrilmesi, ses dalgalarının daha sonra tekrar elektrik impulslarına dönüştürülmesi prensibiyle çalışan ve malzemelerde noktasal veya sürekli hataların tespitinde kullanılan kontrol metodudur. Kullanım alanı sonsuzdur (Tuncer, 2001). Şekil 3.19'da çelik boru profilin ek kaynağında gerçekleştirilen örnek bir ultrasonik muayene gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Ultrasonik muayene yapılışı.

3.3.1.3 Manyetik muayene yöntemi

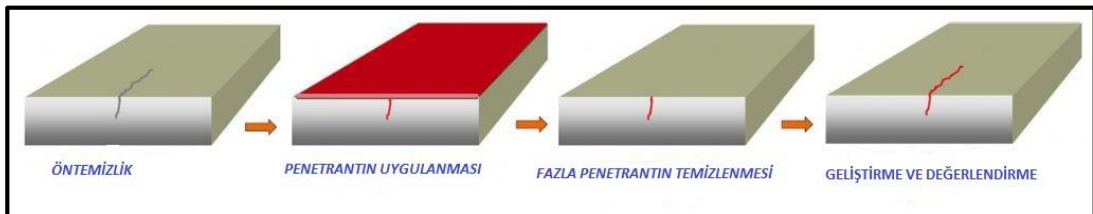
Elektrik enerjisinin manyetik alan enerjisine dönüştürülmesi ile yüzeydeki ve yüzeye yakın bölgelerdeki hataların tespitinde kullanılan kontrol metodudur. Özellikle kaynaklı imalatlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları; boru, profil, tank, basınçlı kap, kazan ve askeri amaçlı silahlardır (Tuncer, 2001). Şekil 3.20’de köşe kaynağı üzerinde gerçekleştirilen manyetik muayene gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Manyetik muayene yapıışı.

3.3.1.4 Penetrant sıvı muayene yöntemi

Malzemedeki yüzey çatlakları veya süreksizliklerin tespiti için kullanılmaktadır. Bu kontrol metodunda penetrant sıvı parça üzerine püskürtülür. Yüzeyde kalan sıvı temizlenir ve sonra yüzeye geliştirici uygulanarak yüzeye açık olan çatlak ve hataların içindeki sıvı yüzeye çekilir. Sıvı genellikle parlak renkli veya floresan parçacıklar içerdiğinden mor ötesi ışığın altında süreksizlikler kolaylıkla tespit edilebilir. Şekil 3.21’de deneyin uygulamasına ait bir örnek verilmiştir. Penetrasyon testi genel anlamda kaynaklı veya seri üretim yapılan parçalarda yüzey çatlakları kontrolü için yapılmaktadır (Tuncer, 2001).



Şekil 3.21. Sıvı penetrant muayene yapıışı.

3.3.1.5 Gözle muayene yöntemi

Görsel kontrol, yüzey kalitesinin uygunluğunu tespit etmek için uygulanır. Kaynak şişkinliği, yanma olukları, kaynak dikiş konumu ve yüzeydeki oyuk ve ark izlerinin kontrolü görsel kontrol şeklinde yapılır. Bu kontrolü imalatın teknik resimdeki ölçülerin kontrolü ile ayrı tutmak gerekir. Kontrol için nesnel bir standart bulunmadığından kontrolü yapan kişinin tecrübesi kontrol uygunluğunda ana faktör olmaktadır.

Kaynak profilinin değerlendirilmesi ve kaynak dikişinin görünümünün değerlendirilmesi ölçüsel olmayan terimlerle belirtilen standartlara göre yapılır. Bu sınırlama, değişebilen standartların uygulanabilirliğine izin verirken, görsel kontrolün pratikteki avantajı bu sınırlamalardan çok daha önem kazanmaktadır. Görsel kontrolde, kontrolü yapan kişinin kaynak yüzeyindeki olumsuzlukları yazılı olarak raporlaması gerekmektedir (Anık, vd., 1993).

3.3.2 Tahribatlı muayene yöntemleri

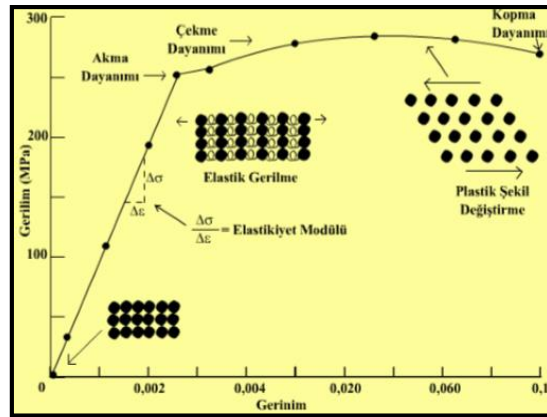
Tahribatlı muayene yöntemleri; malzemelerin mekanik özellikleri ve içyapısı hakkında bilgi edinebilmek için malzemelerden standartlara uygun ölçülerde numuneler çıkartarak test yapılması işlemidir.

3.3.2.1 Çekme deneyi

Çekme deneyi, bir numunenin kopana dek tek ekseninde çekme kuvvetlerine maruz bırakıldığı temel bir malzeme bilimi testidir. Testten elde edilen sonuçlar herhangi bir uygulama için malzeme seçimi, kalite kontrol ve malzemenin diğer kuvvetler altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır. Bu test yoluyla direkt elde edilen bilgiler; maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmadır. Bu verilerden de malzemenin Young katsayısı, Poisson oranı, akma dayanımı ve pekleşme gibi karakteristikleri elde edilir. Metallerde çekme deneyi yapılacak numuneler genelde Şekil 3.22'de görüldüğü gibi papyon şeklinde kesilirler. Deney sırasında, standart numuneye devamlı artan bir çekme kuvveti uygulandığından, aynı esnada numunenin uzaması kaydedilir ve bir gerilme-birim şekil değiştirme diyagramında gösterilir (Black, vd., 2007). Örnek bir gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3.23.'te verilmiştir.



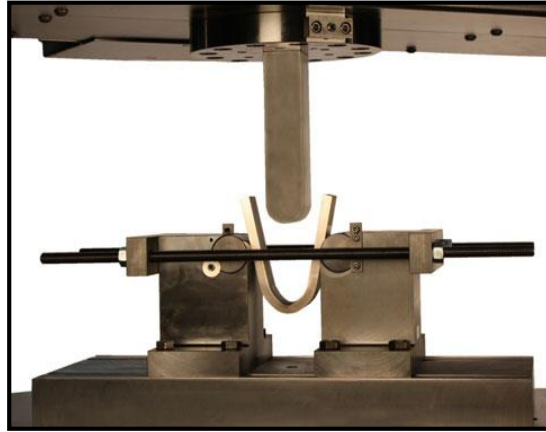
Şekil 3.22. Örnek çekme numunesi.



Şekil 3.23. Gerilme-şekil değiştirme grafiği (Erdoğan, 1997).

3.3.2.2 Eğilme deneyi

Malzemenin eğme zorlanmalarına karşı gösterdiği davranış olarak tanımlanır. İki mesnet üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen veya yuvarlak kesitli deney numunesinin ortasına bir kuvvet uygulandığında oluşan şekil değişimine eğilme denir. Eğme deneyi malzemenin dayanımı hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır. Şekil 3.24'te örnek bir eğme deneyi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Eğme deneyi yapılışı.

3.3.2.3 Çentik darbe deneyi

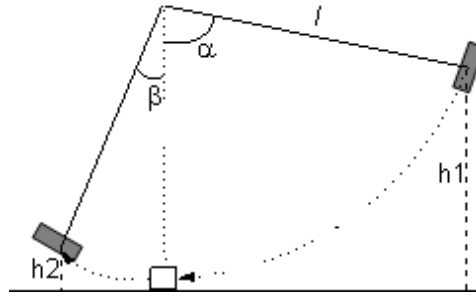
Çentik darbe deneyinin ana amacı, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir.

Çentikli bir numune zorlandığında, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekiyor. Numune, plastik biçim değiştirmeğe fırsat bulamadan bu durum meydana gelirse, genel tabirle buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir.

Çentik Darbe Deneyi esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik biçim değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45° farklı bir kayma gerilimi baş gösterir. Kayma gerilimi, kayma dayanımını (kritik kayma gerilimi) aştığında, elastik (esnek) özellik sona erer ve plastik biçim değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik biçim değiştirme, daha sonra da kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir ve kırılma yüzeyi girintili çıkıntılı bir görünüştendir.

Çentikli darbe deneyleri genel olarak iki türde yapılmaktadır;

- Charpy darbe deneyi
- İzod darbe deneyi



Şekil 3.25. Charpy darbe deneyi prensibi.

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarının tayin doğru tayin edilmesi gerekir. Gereken enerji miktarının tayin edilmesi ile bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe dayanımı) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, sarkaç tipi cihazlardan faydalanılarak sonuca varılır. Şekil 3.25’de deneyin prensibi gösterilmektedir. Ağırlığı G olan sarkaç, h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ($G \times h_1$) olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi yönde h_2 yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h_2$) değerine eşittir.

Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji Eşitlik (3.1) yardımıyla gösterilir.

$$\text{Kırılma enerjisi} = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (3.1)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h_2 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α = Düşme açısı (derece),

β = Yükseliş açısı (derece),

Darbe direnci (kg-m) veya (kg-m/cm²) cinsinden ifade edilmektedir.

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin, en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur.

Malzemelerin tokluk değerleri sıcaklık ile de değişime uğramaktadır. Malzemelerin tokluğu sıcaklık azaldıkça düşer. Darbe testinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklığı belirlenir. Geçiş sıcaklığı, malzemenin sünek kırılma davranışından gevrek kırılma davranışına geçtiği sıcaklık olarak bilinir. Bu genellikle %50 sünek kırılma ve %50 gevrek kırılmanın olduğu sıcaklık değeridir (Özakın, 2010).

Bir malzemede geçiş sıcaklığının düşük olması istenir çünkü malzeme son ürün olarak çok soğuk ortamlarda da kullanılabilir. Malzeme oda sıcaklığında yüksek tokluk gösterse dahi geçiş sıcaklığının altında kırılma riski ciddi şekilde artacaktır. Bu sebeple tasarım mühendisleri bu durumu göz önünde bulundurarak geçiş sıcaklığı düşük olan malzeme seçimi yapmaya özen gösterirler (Black, vd., 2007).

Akma dayanımı azalırsa plastik deformasyon bölgesi büyür, çünkü plastik deformasyon daha kolay olur. Plastik deformasyon bölgesi küçülürse, tokluk azalır ve malzemede deformasyondan ziyade çatlama özelliği görülür (Kayalı, vd., 1988).

Charpy testi, kaynaklı birleşimlerin güvenilirliğini ve kaynaklı malzemelerin yetersiz özelliklerini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir darbe testidir (Schlagradl, vd., 2013). Darbe testleri ve gerilme testlerinin sonuçları, kaynak dayanımının azami enerji soğurma kabiliyetini ve en yüksek kaynak direncini sağlayacak optimum oluk açısını belirlemek için kaynak metalindeki içyapı gelişimi ile birlikte değerlendirilir (Evcı, vd. 2017).

3.3.2.4 Sertlik deneyi

Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı direnç gösterebilme kabiliyetidir. Sertlik ölçümü, malzemeye bilinen bir miktardaki bir yük ile başka bir malzeme tarafından yük uygulanması, bastırılması ile ölçülebilir. Malzemelerin plastik deformasyona karşı koyabilme direnci akma dayanımı ile ilgili olduğundan, böyle bir kuvvet uygulanmasıyla sertlik göreceli olarak belirlenebilir. Metallerde temel sertlik ölçme yöntemleri;

- Brinell sertlik deneyi (*HB*)
- Vickers sertlik deneyi (*HV*)
- Rockwell sertlik deneyi (*HR*)

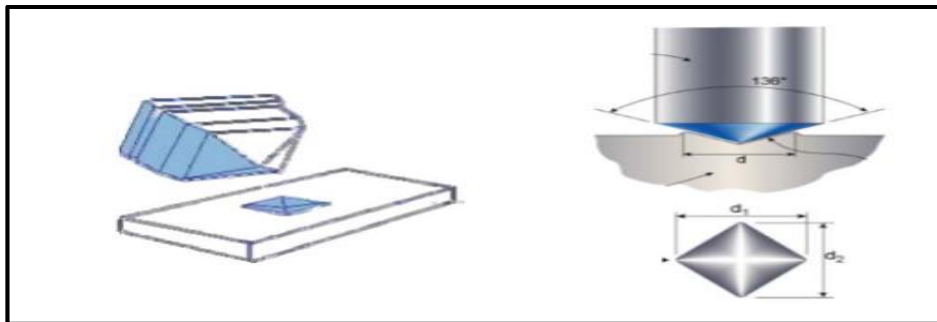
Vickers sertlik deneyi genellikle brinell yöntemine göre daha sert malzemelerde uygulanır. Malzeme daha sert olunca deneyde kullanılan ucun şekil değişimi de önem kazanır ve bu nedenle daha farklı metotlar kullanmak gerekebilir. Vickers yönteminde sertliği ölçülmek istenen metalin yüzeyine batıcı uç olarak kare kesitli ve tepe açısı 136° olan elmas piramit bir uç kullanılmaktadır (Özakın, 2010). Şekil 3.26'da görüldüğü gibi batıcı ucun malzeme üzerinde bıraktığı iz yardımıyla sertlik değeri ölçülmektedir.

Piramidin metal yüzeyinde bıraktığı izin köşegeni (d), her iki köşegen uzunluğunun milimetrenin $1/1000$ 'i hassasiyetli mikroskopla ölçülerek ve ortalamasının alınması ile tespit edilir. Vickers sertliği (*VSD*) Eşitlik (3.2) deki bağıntı ile hesaplanır;

$$\text{Vickers sertlik (HV)} = \frac{1,8544 F}{d^2} \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.2)$$

F : uygulanan kuvvet

d_1 ve d_2 : köşegen uzunlukları



Şekil 3.26. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi (Özakın, 2010).

4. MALZEME ve YÖNTEM

İnşaat mühendisliği uygulamalarında genel olarak kullanılan St 37-44-52 (DIN EN 10025-2, 2011) tipi yapı çelikleri bazı özel uygulamalarda yetersiz gelebilmekte ve daha doğru çözümler için yüksek dayanımlı yapı çeliği kullanımı gerekebilmektedir. Bu tip yapı çeliklerinin kaynaklı birleşimleri, düşük dayanımlı çeliklerinkine göre bazı farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada farklı kalınlıklardaki yüksek dayanımlı yapı çeliklerinin küt kaynaklı birleşimlerinde değişen kaynak parametrelerinin mekanik davranışa etkisi araştırılmıştır. Ağız geometrisinin mekanik özelliklere etkisini daha belirgin görebilmek adına ana metalden daha düşük dayanımlı kaynak teli kullanılarak kırılmanın kaynak bölgesinden gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

4.1 Malzeme

Yüksek dayanımlı çelikler, zırhlı araç yapımında ve mühendislik yapılarında yüksek dayanım, yüksek tokluk ve iyi kaynaklanabilirlik nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır (Huang, 2016). Ayrıca bu çelikler, araç emniyetini arttırmak için daha yüksek mekanik özelliklere sahip araç tasarlamak amacıyla da kullanılmaktadır (Weber, vd., 2010).

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler karbon çeliklerine göre daha iyi mekanik özelliklere ve daha iyi korozyon direncine sahip alaşımlı çelik türüdür. High Strength Low Alloy (HSLA) çeliklerinin kimyasal bileşimleri sade karbonlu bir çelik ile benzer durumdadır. Fakat sadece karbon alaşımı içeren çeliğe kıyasla mekanik özellikleri çok daha üstündür. Bu çeliklerde şekillendirilebilirliği ve kaynaklanabilirliği sağlamak için alaşım oranı düşük tutulmuştur. HSLA çelikleri %0,05 - % 0,25 arasında bir C içeriğine sahiptir. % 2'den az olmak üzere bakır, nikel, niyobyum, azot, vanadyum, krom, molibden, titanyum, kalsiyum gibi diğer alaşım element oranına sahiptir. Bakır, titanyum, vanadyum ve niyobyum içyapı içerisinde ince çökelti oluşturarak dayanım artırmak amacıyla eklenir. İnce çökelti oluşturarak mikro alaşımlı çelikler oluşturulmuş olur. Mikro alaşımlı çeliklerde tane boyutları neredeyse yarıya düşmekte ve bu sayede toklukta bir kayıp olmaksızın dayanım oranında güçlü bir değişim söz konusudur. Eğer mikro alaşım oluşumunu sağlayan alaşım elementleri de

kullanılmıyor ise Termo-mekanik haddeleme yöntemi ile ince taneli çelikler elde edilebilmektedir.

Termo-mekanik haddeleme; malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla mekanik işlem ile ısı işlemin kontrollü bir şekilde bir arada uygulandığı işlemlerdir. Bu işlemlerle, geleneksel ısı işlem ve mekanik işlerin ayrı ayrı uygulamasıyla elde edildiği durumdan daha üstün içyapı ve mekanik özellikler sağlanmaktadır. HSLA çeliklerinde istenilen yüksek tokluk ve süneklik özellikleri, ancak tane boyutunu çok küçültmeyle elde edilmektedir. Bu işlemin de tek yolu Termo-mekanik haddeleme işlemidir.



Şekil 4.1. 12 ve 20 mm S700MC tipi sac malzemeleri.

Çalışmada kullanılan yüksek dayanımlı yapı çeliği olan S700MC malzemesi (Şekil 4.1), soğuk şekillendirme için yapılmış, sıcak haddelenmiş yapısal bir çeliktir. Çelik sac levhalar, üreticisi SSAB firmasının Türkiye tedarikçisi Sezgin Sac firmasından temin edilmiştir. Bu çelik ülkemizde özellikle kaldırma aparatları ve makineleri yapımında yaygın olarak kullanılan bir üründür. Deneylede 12 ve 20 mm kalınlığına sahip S700MC levhalar kullanılmıştır. Ağız geometrisinin farklı kalınlıktaki çelik levhalardaki kaynak performansına etkilerini karşılaştırabilmek adına bu kalınlıklar seçilmiştir. Kaynaklı birleşimde kullanılan yüksek dayanımlı çeliğin kimyasal bileşimi ve kaynak metal kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. S700 MC çeliği (Ssab, 2018) ve SG2 kaynak (Gedik, 2018) bileşimi.

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti
S700 MC	0.12	0.21	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
SG2	0,08	0,85	1,45	-	-	-	-	-	-

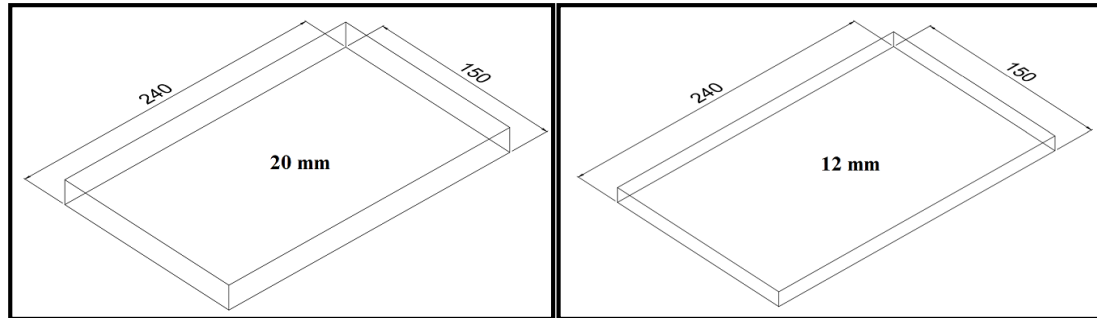
Kaynak metal olarak Gedik Kaynak firmasından tedarik edilen alaşımsız GEKA SG2 gaz altı kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak metaline ve kullanılan çeliğe ait mekanik özellikler Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. S700 MC Çeliği ve SG2 kaynak teli mekanik özellikleri (Ssab, 2018), (Geka, 2018).

Malzeme	Akma dayanımı R_{eH} (MPa)	Çekme dayanımı R_m (MPa)
S700 MC	700	750-950
SG2	420	500-640

4.2 Yöntem

Deneylerde kullanılacak malzemeler ilk olarak Şekil 4.2'deki ölçülerde (150 mm x 240 mm) kesilmiştir. Ölçüler, numuneler üzerinde yapılacak tahribatlı deneyler için yeterli sayıda test parçası çıkarılabilmesi adına bu boyutlarda seçilmiştir. Kaynakla birleştirilecek numunelerin son ölçülerinin yaklaşık 300 mm x 240 mm olması istenmiştir.

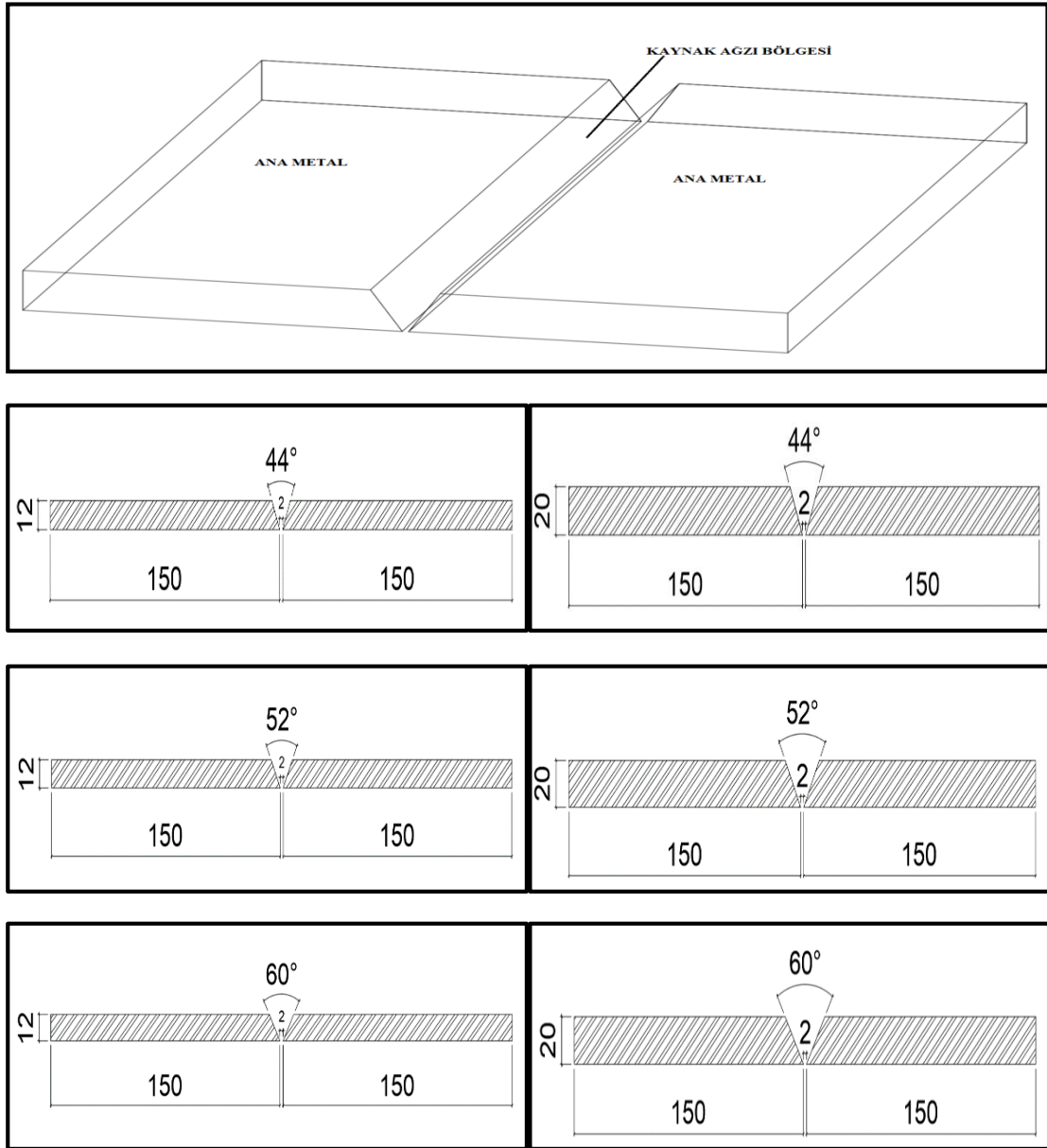


Şekil 4.2. 20 ve 12 mm deney numunelerinin kaynak öncesi ölçüleri.

4.2.1 Kaynak ağız hazırlıkları

Kaynak ağız açma işlemleri, standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN ISO 9692-1 (2014)). Kaynak ağızları, mekanik taşlama yöntemi ile açılmıştır. Ağız açıları belirlenirken, literatürdeki çalışmalardan faydalanılmış olup (İpek, 2010 ; Evcı, vd., 2017), parça kalınlıklarına göre en iyi sonuçları verebilecek açılar seçilmeye çalışılmıştır. Kaynak ağız tipleri V, Y ve X olarak ve ağız açıları 44°, 52°, ve 60° olarak TS EN 1090-2 standartlarına uygun seçilmiştir. Numunelere ait kaynak ağız geometrilerinin şematik gösterimleri Şekil 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.

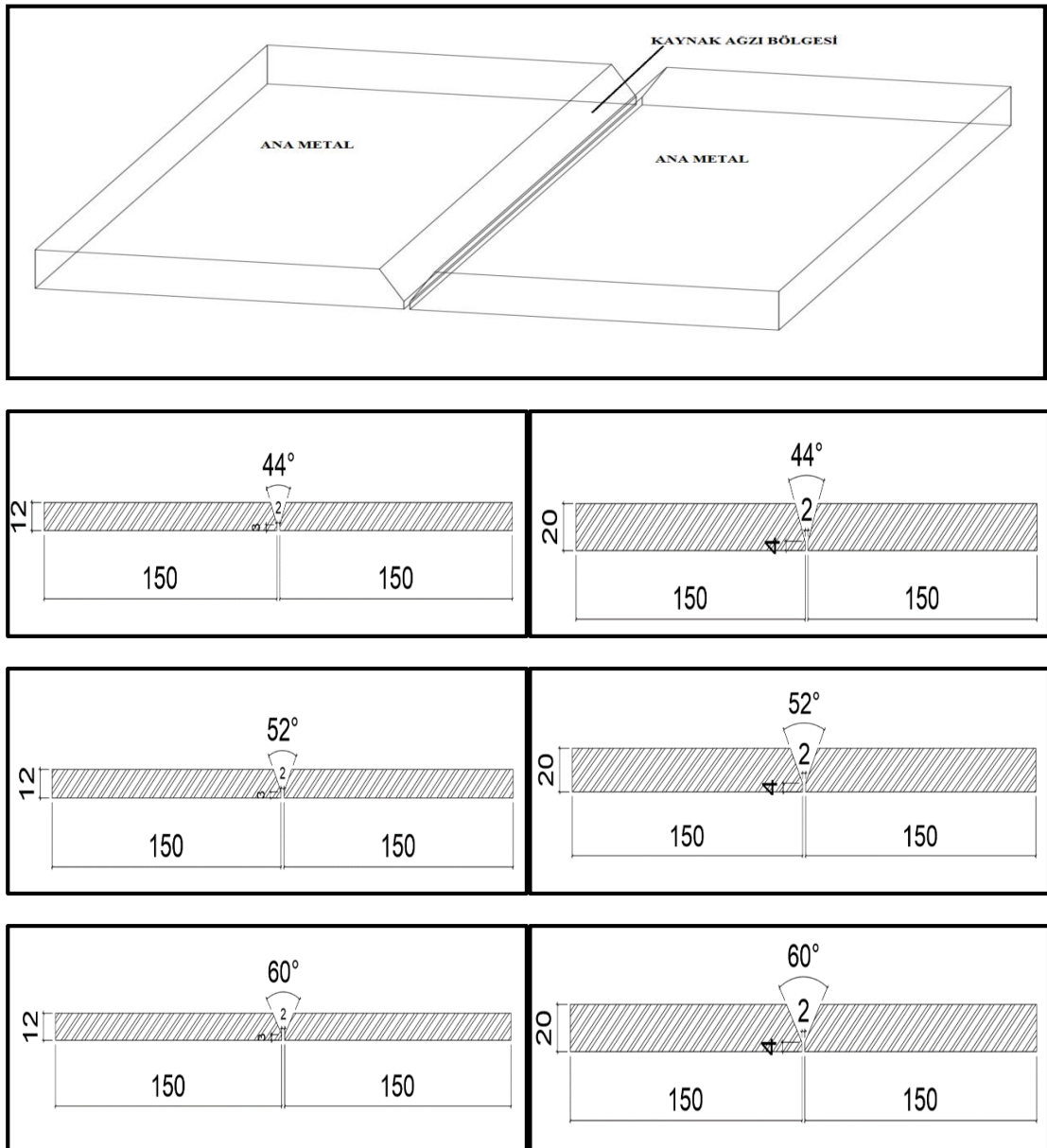
Atölyede hazırlanan kaynak ağzlarına ait görseller Şekil 4.4, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. 12 mm ve 20 mm deney numunelerinde V ağız geometrisi şematik gösterimi.



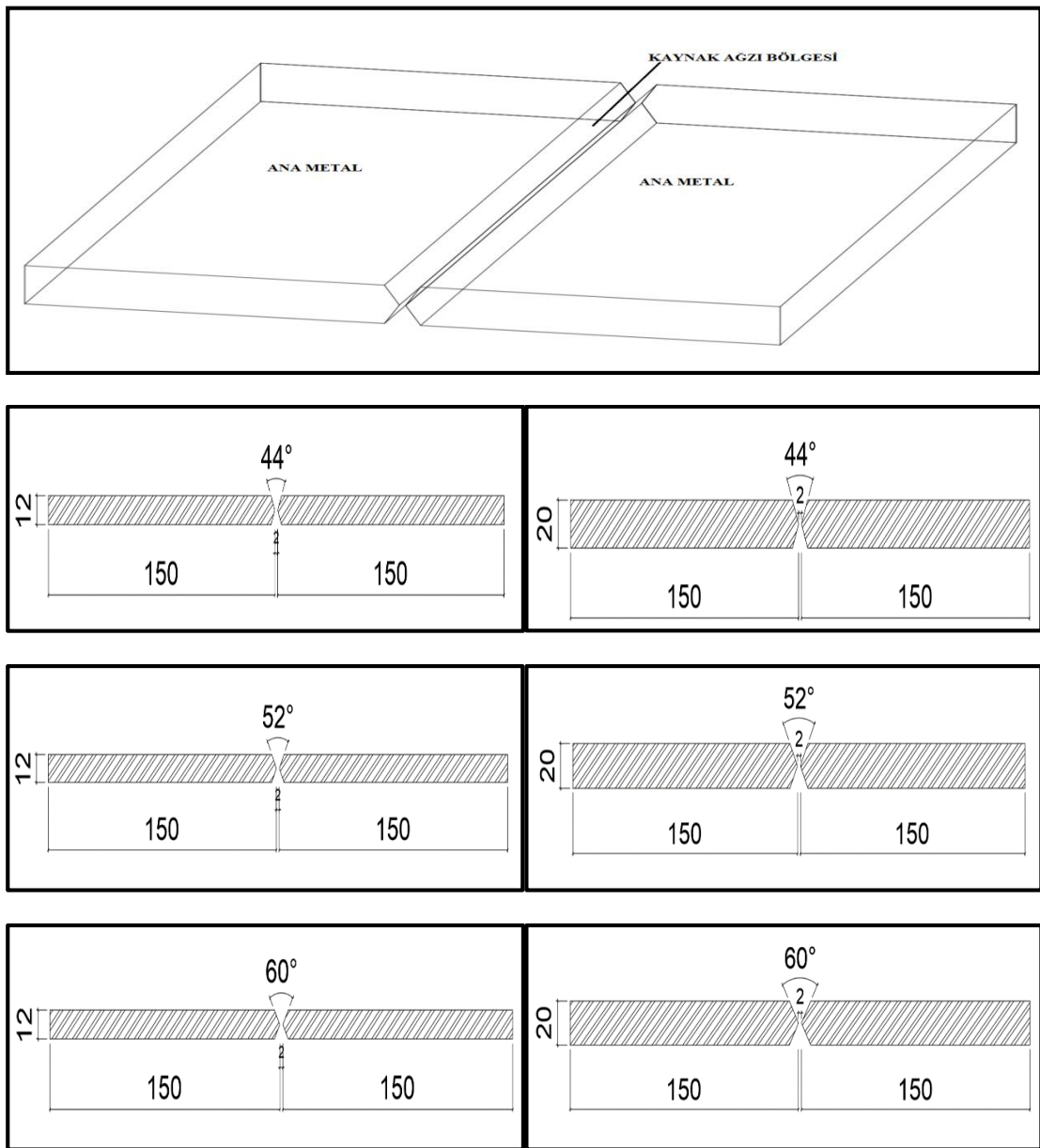
Şekil 4.4. V kaynak ağzı açılmış numune görseli.



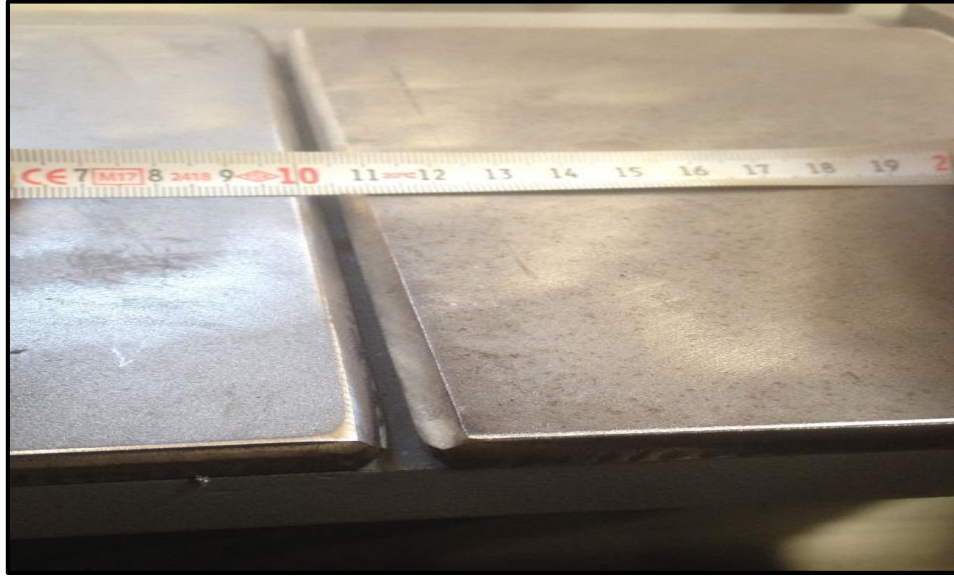
Şekil 4.5. 12 mm ve 20 mm deney numunelerinde Y ağzı geometrisi şematik gösterimi.



Şekil 4.6. Y kaynak ağzı açılmış numune görseli.



Şekil 4.7. 12 mm ve 20 mm deney numunelerinde X ağız geometrisi şematik gösterimi.



Şekil 4.8. X kaynak ağzı açılmış numune görseli.

4.2.2 Ön ısıtma kontrolü

Genelde yapı çeliklerinde kaynak işlemi öncesi ön tavlama yapılarak ana metale ısı verilir ve kaynak esnasında oluşan ısı farklarından dolayı meydana gelebilecek kusurların önüne geçilir. Ön tavlamanın gerekli olup olmadığına ve ne kadar ısıtılacağına kaynatılacak malzemenin Eşitlik (4.1) (Anık, vd., 1993) yardımıyla hesaplanan karbon eşdeğerine ve Çizelge 4.3'e bakılarak karar verilir. S700MC malzemesinin karbon eşdeğeri (CEV) 0.39 olduğu için ön tavlama yapmaya gerek duyulmamıştır (Anık, 1980).

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.3. Alın kaynağı için karbon eşdeğerine göre uygulanması gereken öntav sıcaklığı (İMO, 2003).

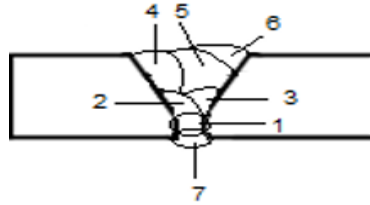
KARBON EŞDEĞERİ(%)	ÖN TAVLAMA SICAKLIĞI (°C)
$0,45 < C_{eş}$	Normal koşulda ön tavlama gerektirmez.
$0,45 < C_{eş} < 0,60$	100-200
$C_{eş} > 0,60$	200-300

4.2.3 Kaynaklı birleştirme işlemi

Kaynak ağızları açılan deney numuneleri, Çizelge 4.4'te verilen kaynak parametreleri tüm numunelerde sabit tutularak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Her farklı ağız profili için uygulanan paso sayıları Çizelge 4.5'te ve TS EN ISO 9016 (2013) standardına göre örnek uygun paso sıralaması Şekil 4.9'da verilmiştir. İlk olarak kök pasoları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görüldüğü gibi yapılan parçalarda daha sonra dolgu paso (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14) işlemine gerçekleştirilmiştir. Her paso öncesi bir önceki kaynak pasosundan kalan cüruf temizlenmiş (Şekil 4.12) ve daha sonra yeni paso uygulanmıştır.

Çizelge 4.4. Kaynak parametreleri.

Kaynak Parametresi	Değer
Kaynak Akımı (A)	250
Kaynak Gerilimi (V)	24
Koruyucu Gaz Türü	HB 212
Kaynak Teli Çapı (mm)	1.2
Tel Besleme Hızı (m/dk)	6
Kaynak hızı(cm/dk)	40



Şekil 4.9. TS EN ISO 9016 (2013) standardına göre örnek paso sıralaması.

Çizelge 4.5. Deney numunelerinde uygulanan kaynak paso sayıları.

Kaynak Ağız Geometrisi	Paso Sayısı
12-V-44	3
12-V-52	4
12-V-60	4
12-Y-44	3
12-Y-52	4
12-Y-60	4
12-X-44	3
12-X-52	4
12-X-60	4
20-V-44	7
20-V-52	8
20-V-60	9
20-Y-44	6
20-Y-52	7
20-Y-60	8
20-X-44	6
20-X-52	8
20-X-60	8

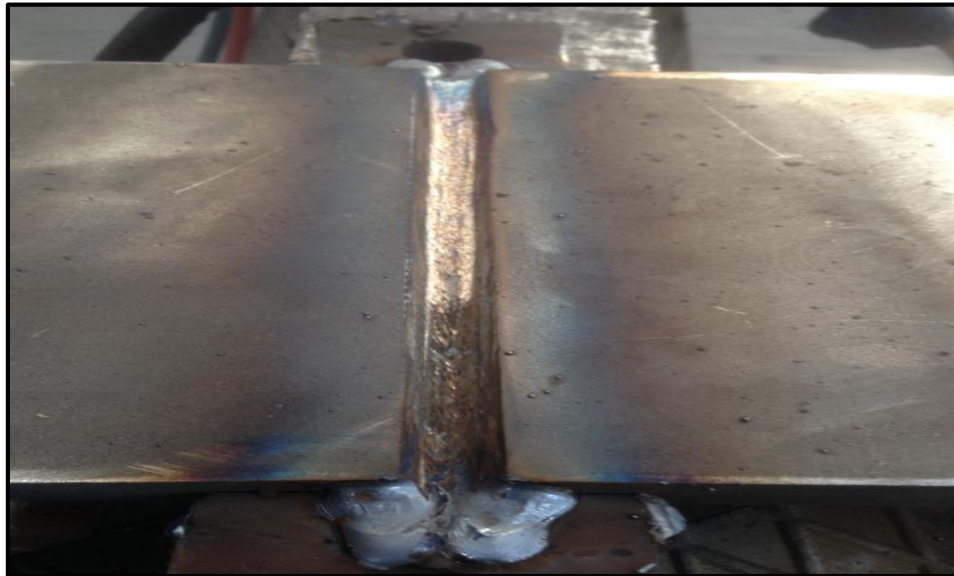


Şekil 4.10. Kök paso görseli.

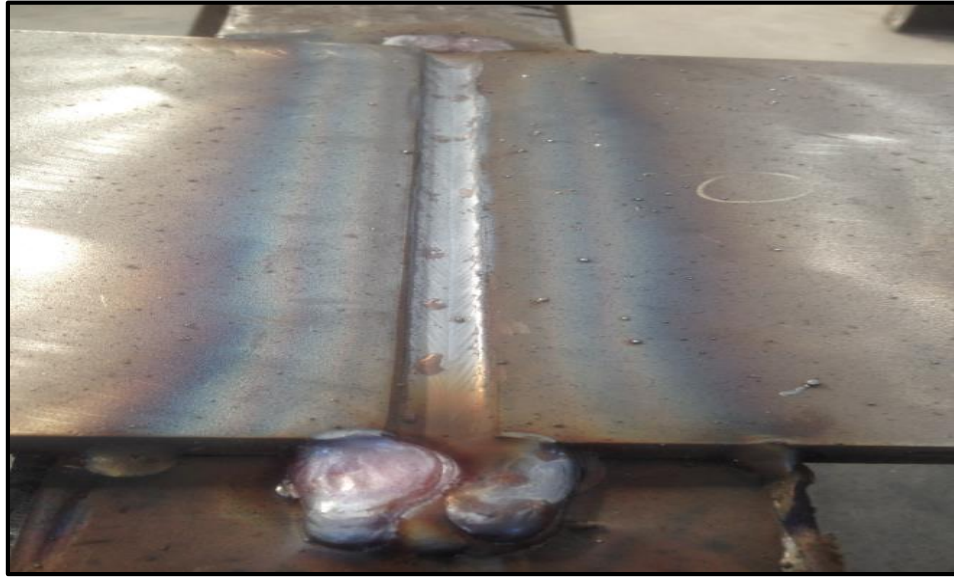


Şekil 4.11. Kök paso uygulaması.

Kök paso uygulaması yapılan numuneler incelendiğinde, Şekil 4,10'da yoğun ısı girişinden dolayı kaynak bölgesi etrafındaki ITAB bölgesi açık bir şekilde görünmektedir. Bu bölgede taneler yoğun ısıdan dolayı irileşmekte ve buna paralel olarak sertleşerek gevrek bir yapı oluşturmaktadır.



Şekil 4.12. Paso sonrası cüruf temizliği yapılmış numune.



Şekil 4.13. Dolgu pasosu yapılmış numune.

Dolgu paso uygulaması yapılan numuneler incelendiğinde, kök paso sırasında yoğun ısı girişi nedeniyle oluşan ITAB bölgesinin dolgu paso uygulamasından sonra daha fazla genişlediği açıkça görünmektedir (Şekil 4.13). Her kaynak pasosu, malzemeye ilave ısı girişine neden olduğundan dolayı, paso sayısı arttıkça buna paralel olarak ITAB bölgesi de büyüyecektir.



Şekil 4.14. Dolgu paso uygulaması yapılmış numune.



Şekil 4.15. Pasolar arası geçiş sıcaklığı uygulaması ve kontrolü.

Kaynak uygulaması sırasında Şekil 4.15’de görüldüğü gibi pasolar arası sıcaklık 250 °C olarak sağlanmıştır (Evcı, vd., 2017). Kaynak metali özellikleri ile ilgili olarak, çoğu C-Mn-Si içeren çelikler için orta derecedeki bir pasolar arası sıcaklık yeterli bir çentik darbe tokluğu gelişimine yardımcı olur. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık değeri 290 °C ‘den fazla ise çentik darbe tokluğu olumsuz etkilenebilir. Ana malzeme çok az bir ön ısıtma gördüğünde ya da hiç görmediğinde meydana gelen hızlı soğuma, çentik darbe tokluğunda bir gerilemeye de sebep olabilir. Bu yüzden ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklığın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekir (Kerse, 2009).

4.2.4 Kaynaklı birleşimin ultrasonik muayenesi

Ultrasonik muayene yöntemi, malzemelerin içerisindeki süreksizliklerin tespiti için kullanılan çok yaygın bir yöntemdir. Malzeme içerisine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgalarının bir hataya çarpıp geri yansması ile kusurlar tespit edilir. Gelen yansımanın konumu, büyüklüğü ve şekline bakılarak hata hakkında bilgi edinilir. 12 mm ve 20 mm olarak iki farklı kalınlıkta birleştirilen numunelerde, tahribatlı testlerde sonuçları etkileyebilecek bir kusur olmaması için ultrasonik muayene (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17) yapılmıştır. Deneylerde SIUI marka muayene cihazı kullanılmıştır. Deney sırasında makine tarafından gönderilen frekansların malzeme içerisindeki yapılardan kaynaklı dalga boylarındaki değişim Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Uygulama öncesinde ses dalgalarının malzemenin içine daha iyi nüfuz edebilmesi için uyumlu bir

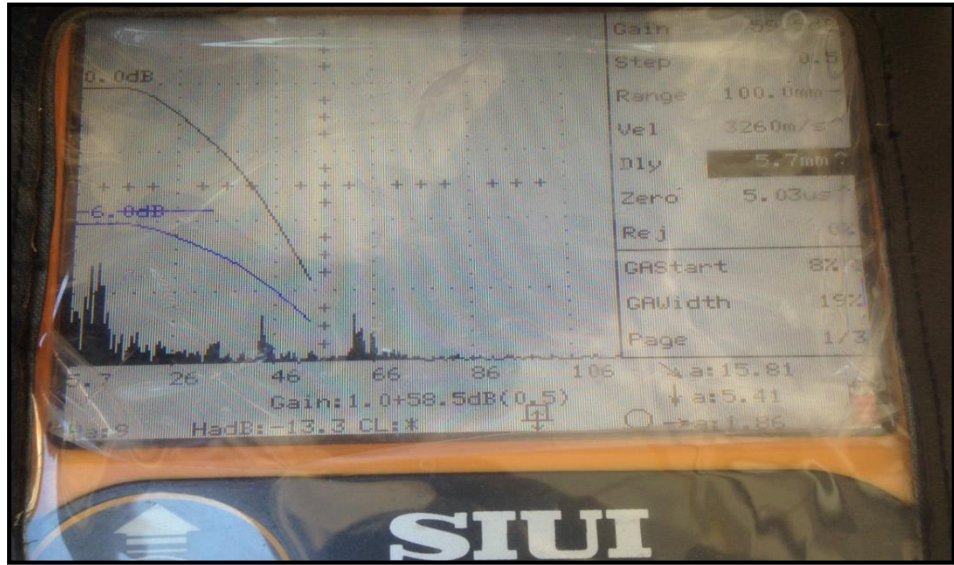
temas sıvısı kullanılmıştır. Ultrasonik muayeneyi gerçekleştirecek operatörün mesleki tecrübesi, hataların doğru tespiti için son derece önemli bir parametredir çünkü hatanın olup olmasının belirtilmesinin yanında malzeme içerisindeki kusurun cinsini ve konumunu da belirleyebilmek, tamiratı açısından gereklidir.



Şekil 4.16. Ultrasonik muayene yapılışı-1.



Şekil 4.17. Ultrasonik muayene yapılışı-2.

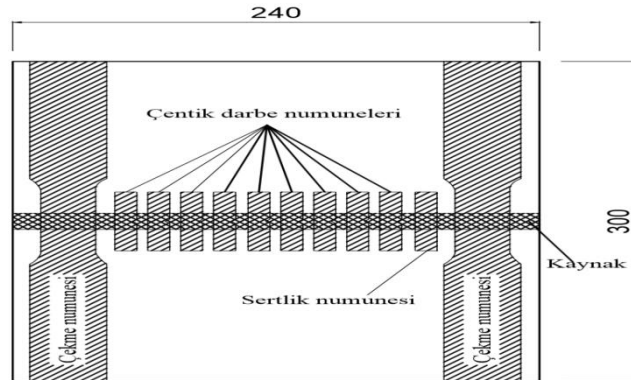


Şekil 4.18. Ultrasonik muayene cihazı ekran görüntüsü.

Deneyler neticesinde sadece bir numunede çatlığa rastlanmış ve kusurlu bölgeye kadar kaynak yarılarak tamiraty yapılmıştır. Tekrar aynı numunede muayene yapılarak kusur olmadığının teyidi yapılmıştır.

4.2.5 Deney için numune hazırlığı

Kaynakları yapılan deney numunelerinden, yapılacak tahribatlı testler için numuneler Şekil 4.19'daki gibi standartlarına uygun olarak çıkarılmıştır (TS EN ISO 15614-1 (2017)). Bu işlemler parçaların iç yapısında değişiklik meydana gelmemesi için soğuk işleme tezgahlarında bor yağı ile soğutularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.19. Kaynaklı malzemeden çıkarılan numuneler.

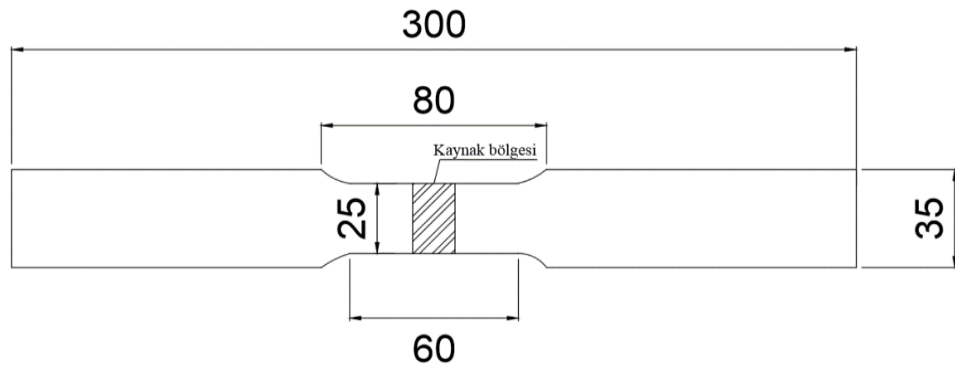
4.2.5.1 Çekme deneyi numuneleri

240 mm x 300 mm ölçülerindeki deney numuneleri, ilk olarak sulu kesim testere makinesinde kesildikten sonra, kaynak dikiş yüksekliklerinin deney sonuçlarını etkilememesi için sac ile aynı seviyeye getirilmiştir. Daha sonra cnc kontrollü X1150AB marka dikey işleme tezgahında standardına uygun ölçülerde hazırlanmıştır (TS EN ISO 4136 (2013) (Şekil 4.20).

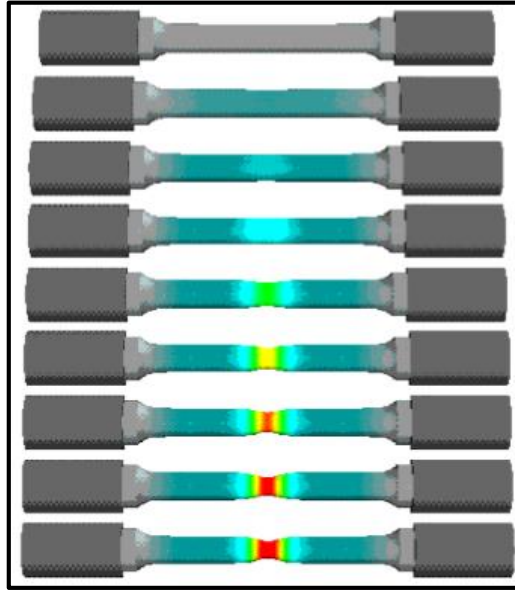


Şekil 4.20. Çekme numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.

Çıkarılan çekme numunesine ait teknik çizim Şekil 4.21’de verilmiştir. Numune kesitinde deney sırasında oluşan gerilme dağılımları Şekil 4.22’de görülmektedir. Çekme deneyleri ALŞA marka UTM 100 model 50 tonluk hidrolik universal deney cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.21. TS EN ISO 4136 (2013) standartlarına göre yassı çekme numunesi.



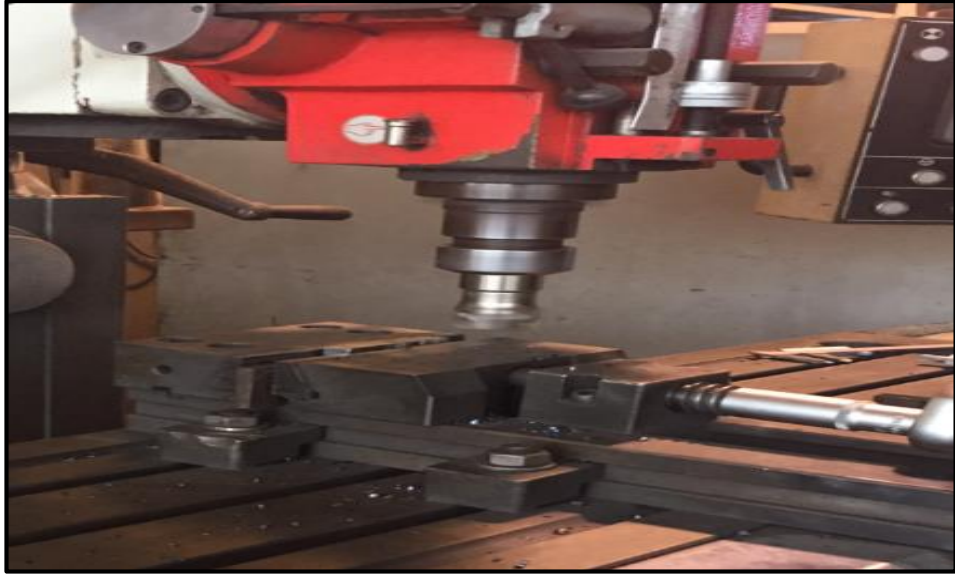
Şekil 4.22. Çekme deneyi sırasında kesit daralması (ASM International, 2001).



Şekil 4.23. Çekme deneyi cihazı.

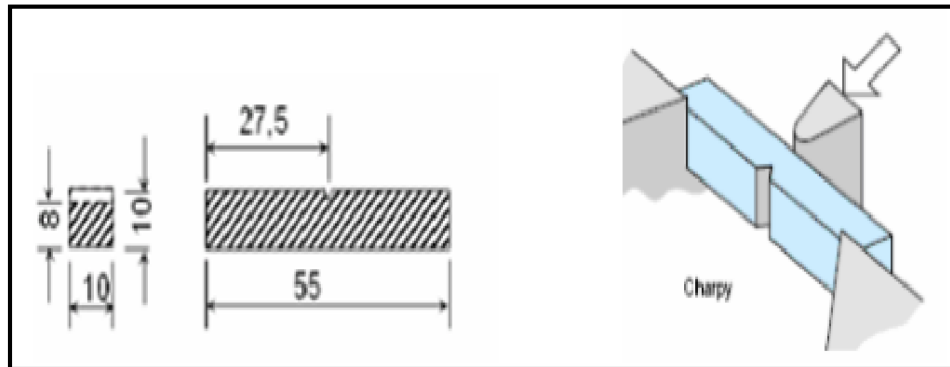
4.2.5.2 Charpy darbe deneyi numuneleri

Charpy deney numuneleri, TS EN ISO 9016 (2013) standardına uygun olarak ENKA marka freze tezgahında işlenmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Çentik darbe numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.

Deney öncesi hazırlanan numunenin ölçüleri Şekil 4.25’de verilmiştir. Charpy darbe deneyleri, ALŞA marka ZBC 2000 model test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.25. Charpy numune ölçüleri (Özakın, 2010).



Şekil 4.26. Çentik darbe deney cihazı.

Çentik ölçüleri çok hassas olduğu için Şekil 4.27’de görüldüğü şekilde kontrolleri yapılmıştır. Malzeme son ürün olarak farklı iklim şartları altında kullanılabilmesi için numuneler üç farklı sıcaklıkta darbe deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede malzemenin farklı ortam sıcaklıkları altında mekanik davranışı hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.28’de görülen soğutma makinesi ile numuneler istenen sıcaklık değerlerine getirilmiştir.



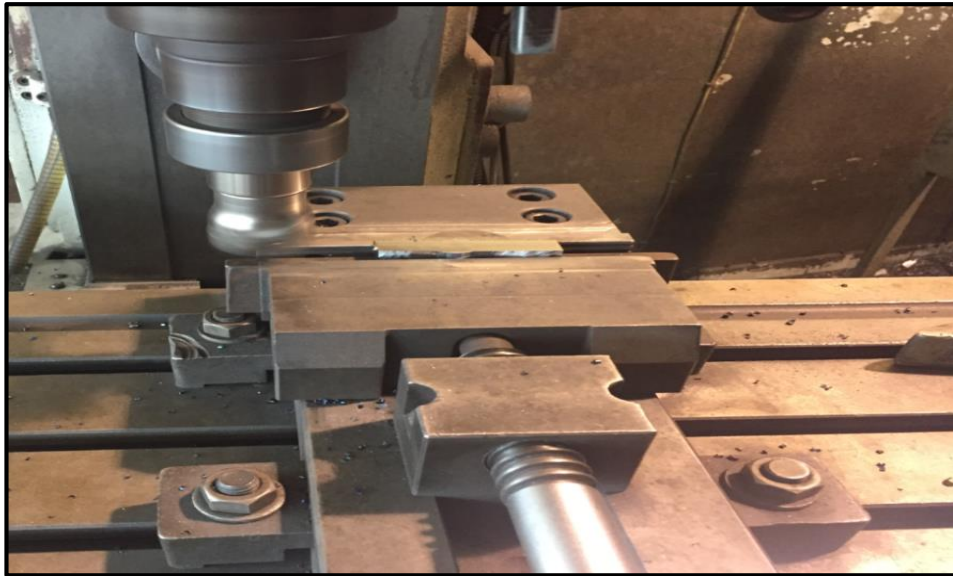
Şekil 4.27. Charpy numunesi çentik kontrolü.



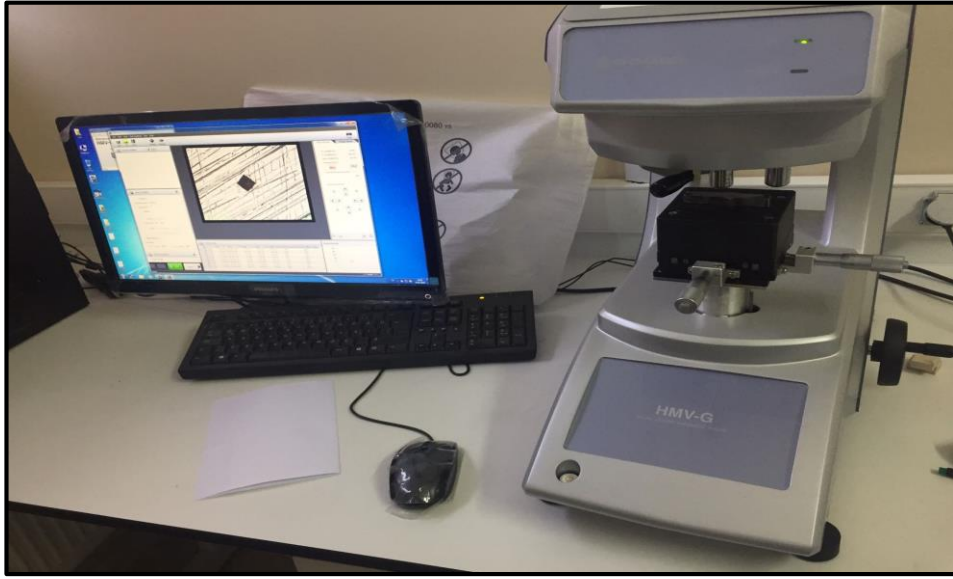
Şekil 4.28. Charpy numunesi soğutma makinesi.

4.2.5.3 Vickers sertlik deneyi numuneleri

Vickers sertlik deney numuneleri, TS EN ISO 6507-1 (2007), standardına uygun ölçülerde ENKA marka freze tezgahında hazırlanmıştır (Şekil 4.29). Vickers sertlik deneyleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sürdürülebilir Doğaltaş Teknolojileri Geliştirme Merkezi Laboratuvarında Shimadzu marka HMV-G model mikro sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.30).



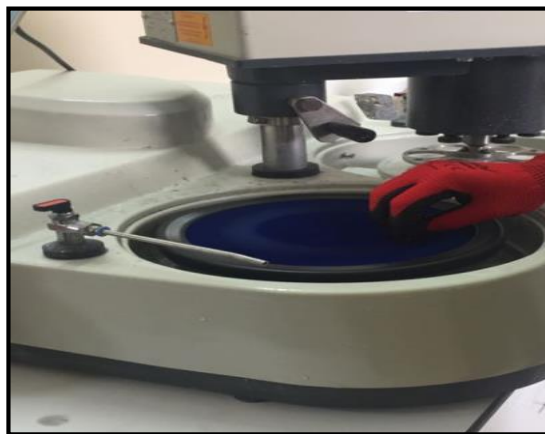
Şekil 4.29. Vickers sertlik numunelerinin CNC tezgahında işlenmesi.



Şekil 4.30. Vickers sertlik deney cihazı.

4.2.5.4 İçyapı inceleme numuneleri

İçyapı incelemesi yapılacak numuneler, 10 mm x 10 mm ölçülerinde hazırlanarak mikroskopta bakılacak yüzeyi sırasıyla 240, 320, 400, 600, 800, 1000, ve 1200 numaralı zımparalarda parlatılmıştır (Şekil 4.31). Daha sonra numunede içyapı özelliklerinin görünebilmesi için %2 Nital (%2 nitrik asit + %98 etil alkol) ile dağlanmıştır. İçyapı incelemelerinde Sürdürülebilir Doğaltaş Teknolojileri Geliştirme Merkezi Laboratuvarındaki Nikon marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 4.31. Numune zımparalama işlemleri.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

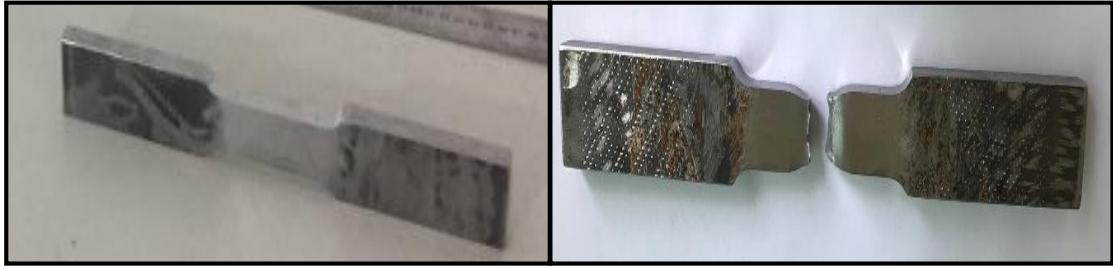
Deney için çıkarılan parçalarda çekme deneyi, Charpy darbe deneyi ve Vickers sertlik deneyi ve içyapı incelemesi yapılmıştır. Kaynaklı imalatları yapılan numunelere ait ısı girdisi değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney numunelerindeki ısı girdileri.

Kaynak Ağız Geometrisi	Isı Girdisi (J/mm)
12-V-44	2748
12-V-52	3109
12-V-60	3431
12-Y-44	2462
12-Y-52	3267
12-Y-60	5628
12-X-44	3180
12-X-52	3347
12-X-60	4684
20-V-44	7435
20-V-52	8918
20-V-60	9838
20-Y-44	6551
20-Y-52	7413
20-Y-60	7831
20-X-44	6607
20-X-52	6098
20-X-60	7418

5.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyleri, TS EN ISO 4136 (2013) standardına uygun olarak yapılmıştır. Uzama miktarlarının belirlenebilmesi için deney öncesi çekme numunelerinin üzerinde aralarındaki uzaklıkları belli iki nokta verilmiş ve deney sonrası bu iki noktanın ara mesafesi ölçülmüştür. 12 mm kalınlıktaki numunelerde yapılan çekme deneyine ait sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir. Numunelerin deney öncesi ve sonrası görseli Şekil 5.1’de verilmiştir. Ana malzemeye (S700MC) ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir.



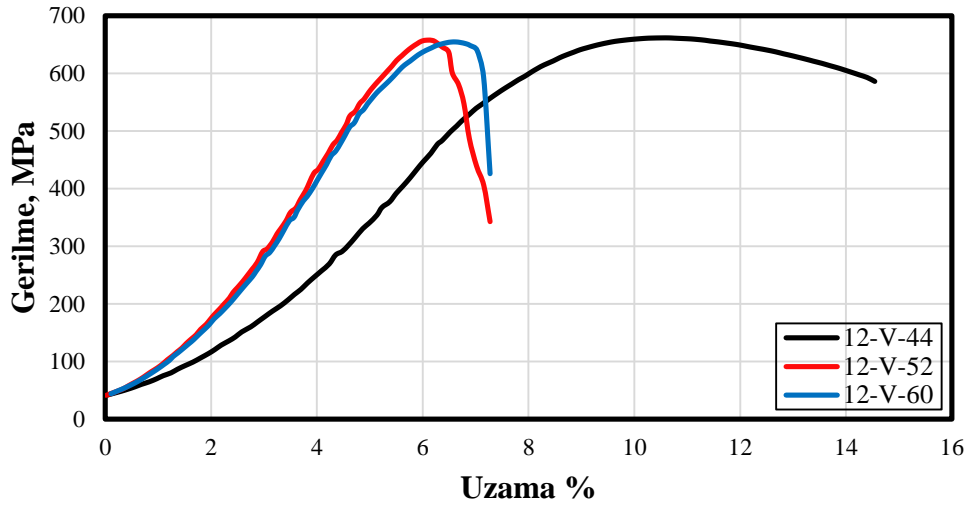
Şekil 5.1. Deney öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde kırılma davranışı.

Çizelge 5.2. 12 mm kalınlıktaki numunelerde çekme deneyi sonuçları.

NUMUNE KODU	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
12-V-44	556	666	14,55
12-V-52	600	658	10,91
12-V-60	609	654	7,27
12-Y-44	636	712	7,27
12-Y-52	610	687	10,91
12-Y-60	642	685	14,55
12-X-44	609	704	12,73
12-X-52	656	717	12,73
12-X-60	639	663	9,09

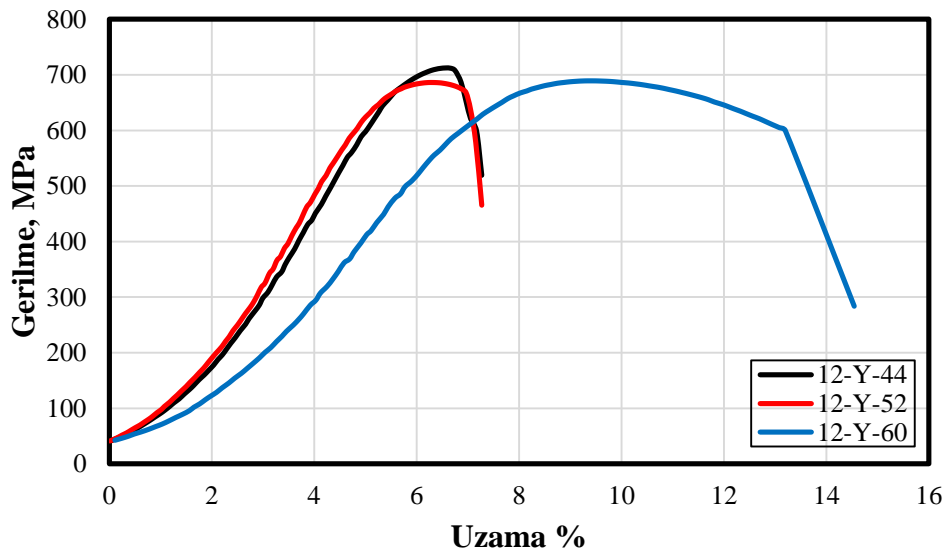


Şekil 5.2. Ana malzeme gerilme-uzama grafiği.



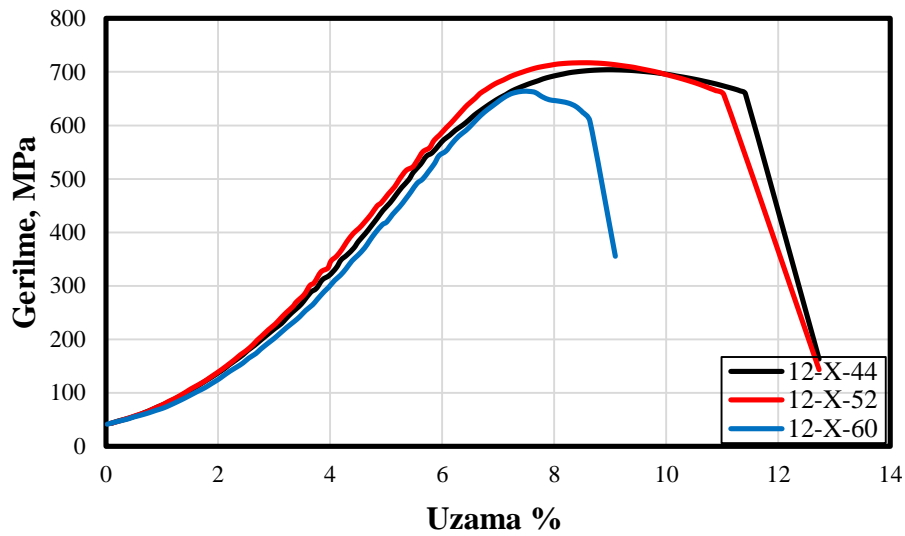
Şekil 5.3. 12 mm V tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

12 mm V tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ısı girdisinin artması ile birlikte çekme dayanımının düştüğü açık şekilde görülmektedir. Kaynak ağız açısı arttıkça birleşimde kullanılan dolgu metali artmış ve buna bağlı olarak ısı girdisi de artmıştır. Bu nedenle en iyi dayanım değerlerini 12-V-44 numunesi vermiştir. En fazla uzama da aynı numune gözlenmiştir. Bu durumun da ısı girdisinin daha düşük olmasından dolayı ortaya çıkan bir sonuç olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.4. 12 mm Y tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

12 mm Y tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, V tipi numunelerde olduğu gibi ısı girdisinin ve paralelinde kaynak ağız açısının artması ile birlikte dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle en iyi dayanımı 12-Y-44 numunesi vermiştir. En fazla uzama 12-Y-60 numunesinde görülmüştür. Kaynak metali sünek bir malzeme olduğundan ve açı arttıkça birleşimdeki sünek malzeme miktarı arttığından dolayı bu durumun ortaya çıktığı düşünülmektedir.



Şekil 5.5. 12 mm X tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

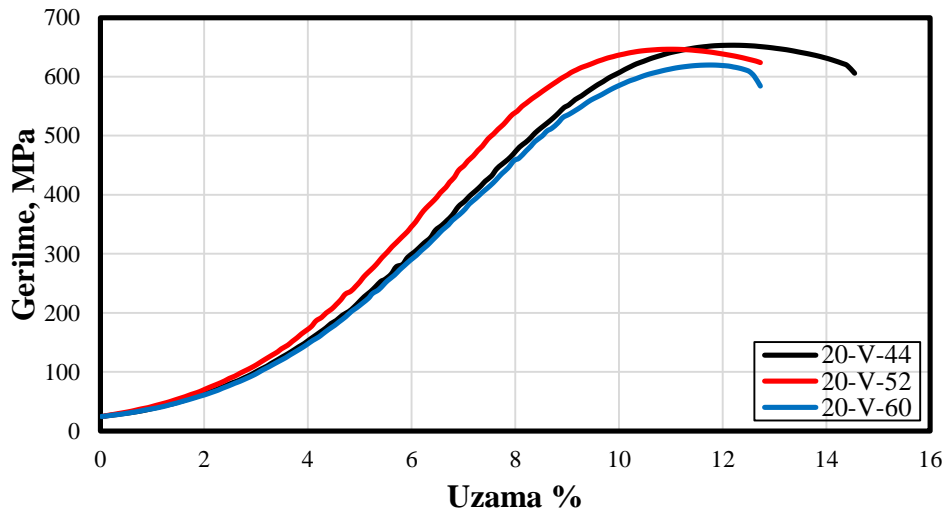
12 mm X tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.5'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, V ve Y tipi numunelerde olduğu gibi kaynak ağız açısı ile birlikte artan ısı girdisinin çekme dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Isı girdisinin en fazla olduğu 12-X-60 numunesinin dayanımının diğer numunelere göre ciddi oranda düşük olduğu açıkça görülmektedir. En fazla uzama, V tipi numunelerde olduğu gibi 44° kaynak ağız açısına sahip numunelerde gözlemlenmiştir. Isı girdisinin diğer numunelere göre daha düşük olmasından dolayı bu durumun ortaya çıktığı düşünülmektedir.

12 mm kalınlıktaki numunelerde en yüksek dayanım değerleri X tipi numunelerde gözlemlenmiştir (Çizelge 5.2). Isı girdisinin düşük olduğu numunelerde daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Uzama miktarlarının genel olarak benzer olduğu söylenebilir.

20 mm kalınlıktaki numunelerde çekme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. 20 mm kalınlıktaki numunelerde çekme deneyi sonuçları.

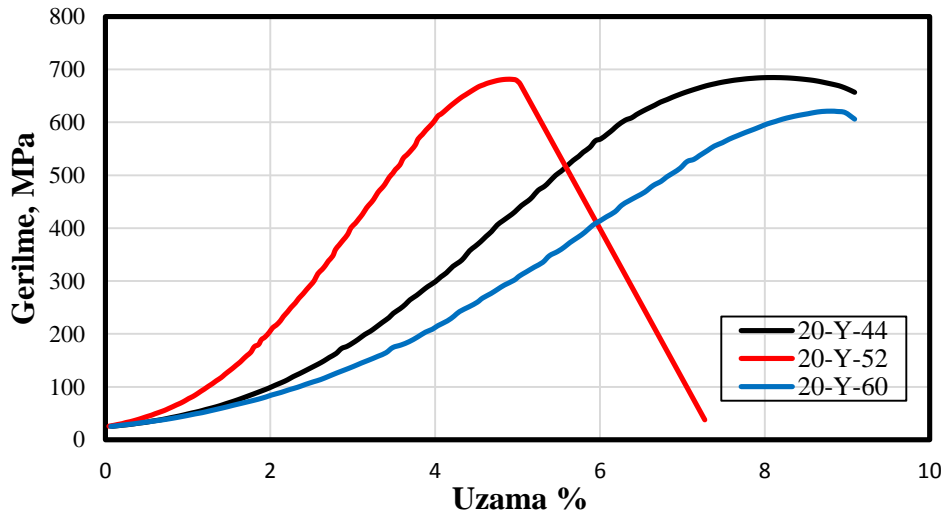
NUMUNE KODU	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
20-V-44	556	653	14,5
20-V-52	564	644	12,73
20-V-60	553	619	12,73
20-Y-44	614	684,7	9,09
20-Y-52	628	672	9,09
20-Y-60	573	621	9,09
20-X-44	660	712	10,91
20-X-52	648	697	7,27
20-X-60	589	680	7,27



Şekil 5.6. 20 mm V tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

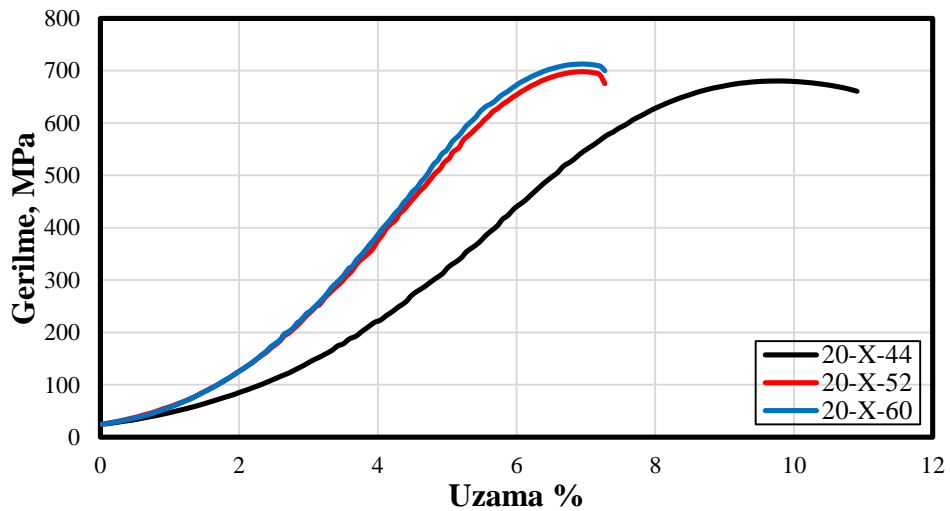
20 mm V tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.6’da verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, ısı girdisinin artması ile birlikte çekme dayanımı buna bağlı olarak düşmüştür. Kaynak ağız açısı arttıkça

birleşimde kullanılan dolgu metali artmış ve buna bağlı olarak ısı girdisi de artmıştır. Bu nedenle en iyi dayanım değerlerini 20-V-44 numunesi vermiştir. En fazla uzama da aynı numune gözlenmiştir. Bu durumun da 12 mm V tipi numunelerdeki gibi ısı girdisinin daha düşük olmasından dolayı ortaya çıkan bir sonuç olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.7. 20 mm Y tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

20 mm Y tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.7'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, V tipi numunelerde olduğu gibi ısı girdisinin ve paralelinde kaynak ağız açısının artması ile birlikte dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle en iyi dayanımı 20-Y-44 numunesi vermiştir. En fazla uzama 12-Y-60 ve 12-Y-44 numunelerinde görülmüştür.



Şekil 5.8. 20 mm X tipi numunelerde gerilme-uzama grafiği.

20 mm X tipi kaynak ağızlı numunelerin birleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.8’de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, V ve Y tipi numunelerde olduğu gibi kaynak ağız açısı ile birlikte artan ısı girdisinin çekme dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu bağlamda en iyi dayanım sonuçları 20-X-44 numunesinde gözlemlenmiştir. En fazla uzama, yine 44° kaynak ağız açısına sahip numunelerde görülmüştür. Isı girdisinin diğer numunelere göre daha düşük olmasından dolayı bu durumun ortaya çıktığı düşünülmektedir.

20 mm kalınlıktaki numunelerde 12 mm numunelerdeki gibi en yüksek dayanıma X tipi numunelerde rastlanmıştır (Çizelge 5.3). Isı girdisinin düşük olduğu numunelerde daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır. En fazla uzama V tipi numunelerde gözlemlenmiştir. Ağız tipinden dolayı en fazla dolgu metali V tipi ağız profiline sahip numunelerde kullanılmaktadır. Bu durum da kaynaklı birleşimdeki sünek malzeme oranını arttırdığından dolayı en çok uzamanın V ağızlı numunelerde gerçekleştiği düşünülmektedir. V tipi kaynak ağızına sahip numunelerde diğer ağız tiplerine göre daha fazla kaynak metali kullanılmıştır ve birleşimdeki sünek malzeme oranı arttığından dolayı uzama miktarının yükseldiği söylenebilir. Bu durum, özellikle ağız geometrisinin paso sayısını daha fazla etkilediği 20 mm kalınlıktaki numunelerde daha belirgin şekilde görülmektedir. 12 mm kalınlıktaki numunelerde ısı girdileri daha düşük olduğu için genel olarak 20 mm kalınlıktaki numunelerden daha iyi dayanım göstermişlerdir.

5.1.1 Çekme deneyi sonuçlarının AISC 360-10 (2016) ile karşılaştırması

İki farklı kalınlıkta yapılan çekme deneylerinin sonuçlarının uygunluğu, AISC 360-10 (2016) yönetmeliği vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Yönetmelikte küt kaynaklı birleşimlerin kaynak eksenine dik olarak uygulanan kuvvete karşı dayanımları ile ilgili Bölüm 13.2’de bulunan Eşitlik (5.1) ve (5.2)’deki formüller verilmiştir.

$$R_{nBM} = F_{nBM} * A_{BM} \quad (5.1)$$

$$R_{nw} = F_{nw} * A_{we} \quad (5.2)$$

Buradaki terimler aşağıdaki şekilde açıklanmıştır;

F_{nBM} : Esas metal karakteristik gerilmesi.

F_{nw} : Kaynak metali karakteristik gerilmesi.

A_{BM} : Esas metal enkesit alanı.

A_{we} : Etkin kaynak alanı.

Değerler 20 mm kalınlıktaki numuneler için formüldeki yerlerine konulduğunda çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi olacaktır;

$$R_{nBM}(\text{Esas metal}) = 850 \text{ N/mm}^2 * 500 \text{ mm}^2 \quad ; \quad R_{nBM} : 425 \text{ kN} = 43,35 \text{ Ton}$$

$$R_{nw}(\text{Kaynak}) = 540 \text{ N/mm}^2 * 500 \text{ mm}^2 \quad ; \quad R_{nw} : 270 \text{ kN} = 27,50 \text{ Ton}$$

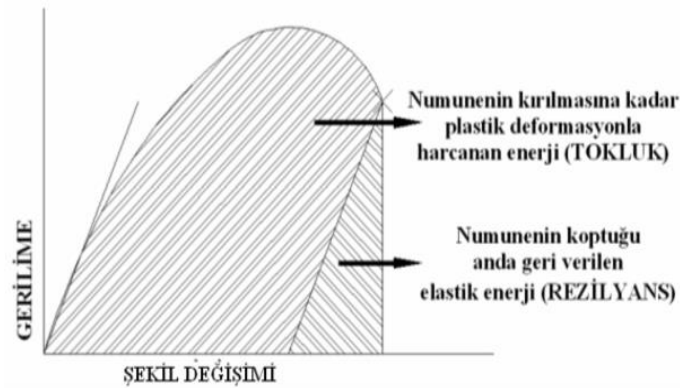
Birleşimin güvenli dayanımı, kullanılan iki eşitlik sonucu çıkan değerlerin küçüğü olarak kabul edilir. Çekme deneylerinden elde edilen en düşük dayanım değeri 619 MPa olarak 20-V-60 numunesinde görülmüştür.

$$619 \text{ MPa} = R/500 \text{ mm}^2 \quad ; \quad \text{Dayanım} = 310 \text{ kN} = 31,62 \text{ Ton}$$

Yukarıdaki hesaplarda da görüleceği üzere, deney sonuçlarıyla hesap değerleri arasında %15 oranında bir fark olduğu görülmüştür. Kaynak işlemi sırasında, ana metal ile kaynak metalinin doğru şekilde birleştirilebilmesi için bu bölgeye elektrik arkı uygulanır. Bu sırada kaynak metali ile birlikte o bölgedeki ana metal de sıvı haline geçerek kaynak banyosunda ilave metal ile birbirlerine karışırlar. Dayanımı yüksek olan ana metal ile düşük olan dolgu metalinin kaynak banyosunda farklı oranlarda birleşmektedir. Çekme deneylerinden elde edilen sonuçların da bu nedenden ötürü teorik hesaplamalara göre %15 yüksek çıktığı düşünülmektedir.

5.1.2 Gerilme-uzama grafikleri ile tokluk değerlerinin bulunması

Tokluk, malzemenin kopana dek absorbe ettiği toplam enerjiyi ifade eder. Gerilme - şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alan ne kadar fazla ise tokluk da o derece yüksektir denilebilir. Sünek malzemelerin tokluğu gevrek malzemelere göre daha yüksektir. D Çekme deneyi neticesinde $\sigma - \epsilon$ eğrilerinden elde edilmiş tokluğun tespiti Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

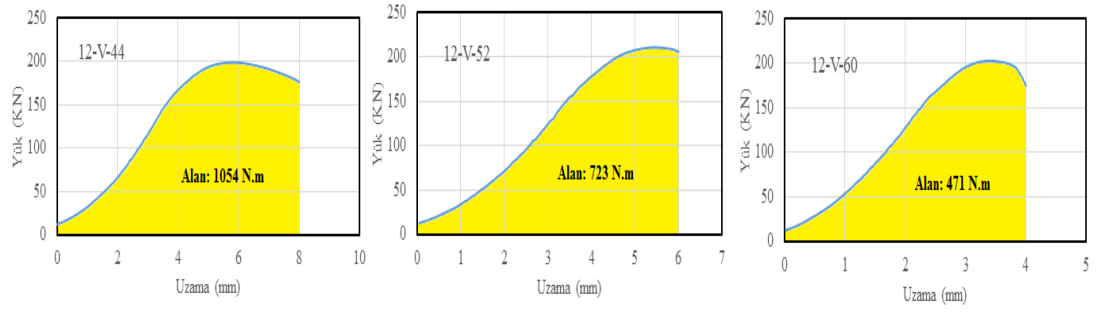


Şekil 5.9. Çekme deneyinde tokluk tespiti (Anık, 1999).

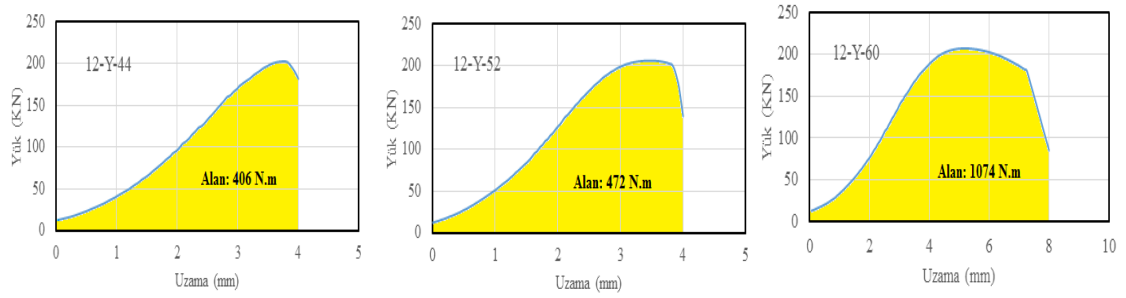
Çekme deneylerinden elde edilen kuvvet-uzama grafikleri aracılığıyla numunelerin toklukları hesaplanmıştır (Şekil 5.10-5.15). Grafiklerden elde edilen değerler, 12 mm kalınlık için 300 mm^2 ve 20 mm kalınlık için 500 mm^2 malzeme kesitine göre hesaplandığı için Charpy darbe deneyleri ile aynı sayısal sonuçları vermeyecektir. Charpy deneyinde malzemeler 100 mm^2 malzeme kesitinde değerlendirilmektedir. Değerler toplu şekilde Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Çekme deney grafiklerinden elde edilen tokluk değerleri.

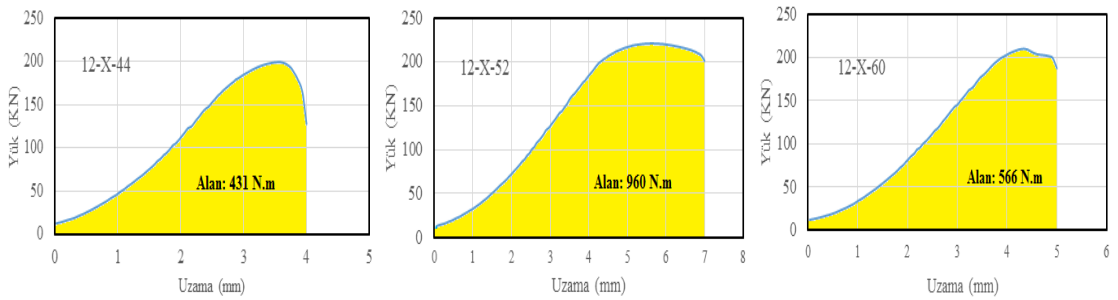
Numune kodu	Tokluk (N.m)
12-V-44	1054
12-V-52	723
12-V-60	471
12-Y-44	406
12-Y-52	472
12-Y-60	1074
12-X-44	431
12-X-52	960
12-X-60	566
20-V-44	1019
20-V-52	1498
20-V-60	1150
20-Y-44	926
20-Y-52	668
20-Y-60	948
20-X-44	709
20-X-52	679
20-X-60	1110



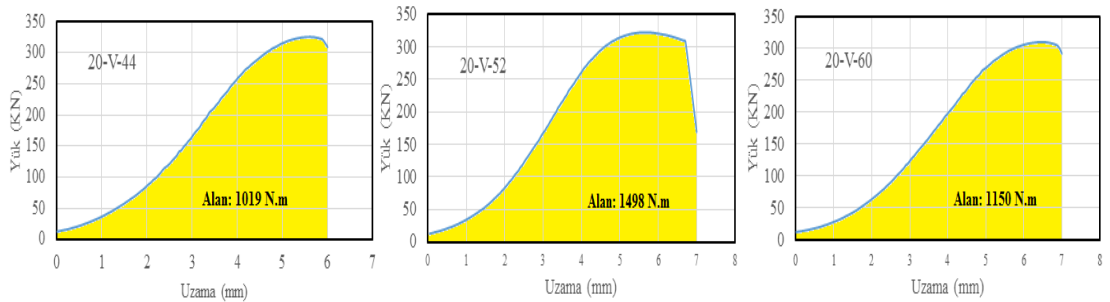
Şekil 5.10. 12 mm V tipi numunelerde tokluk değerleri.



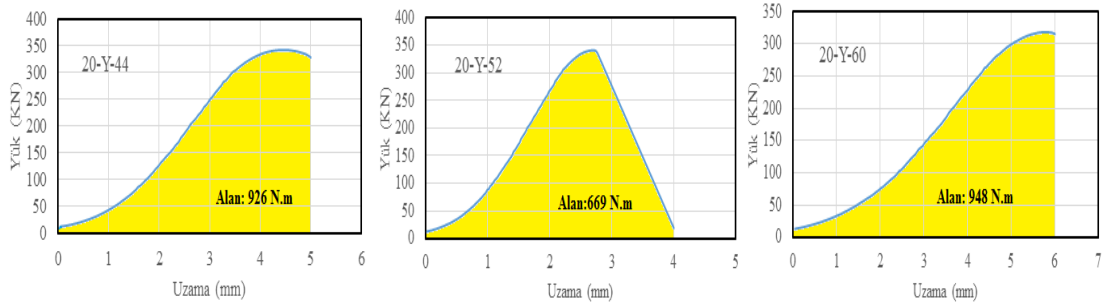
Şekil 5.11. 12 mm Y tipi numunelerde tokluk değerleri.



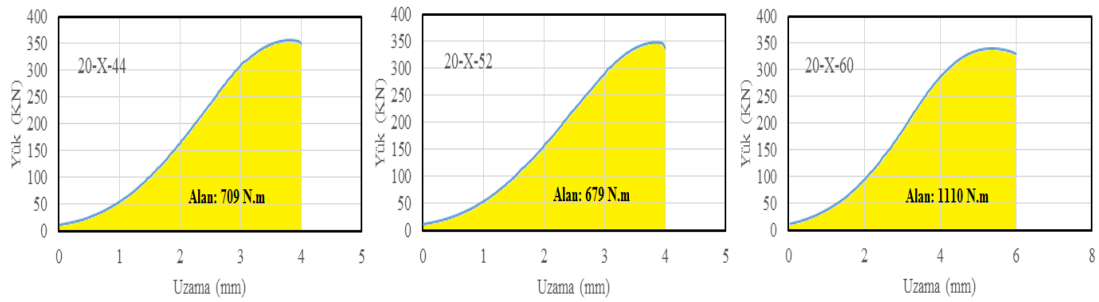
Şekil 5.12. 12 mm X tipi numunelerde tokluk değerleri.



Şekil 5.13. 20 mm V tipi numunelerde tokluk değerleri.



Şekil 5.14. 20 mm Y tipi numunelerde tokluk değerleri.



Şekil 5.15. 20 mm X tipi numunelerde tokluk değerleri.

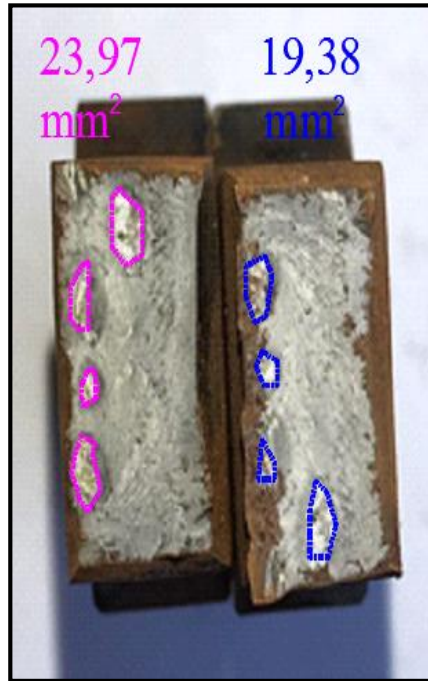
Sonuçların genel olarak charpy deneylerinden elde edilen tokluk değerleri ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir. 20 mm kalınlıktaki numunelerde malzeme kesiti daha fazla olduğu için (500 mm^2) genel olarak 12 mm numunelerden daha yüksek tokluk değerleri elde edilmiştir. Uzama arttıkça tokluk da gelişmiştir. V tipi numunelerde genel olarak daha iyi tokluk değerleri elde edilmiştir. En fazla dolgu metalinin V ağız tipinde kullanılması nedeniyle sonuçların bu şekilde olduğu düşünülmektedir.

5.1.3 Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerindeki davranışın incelenmesi

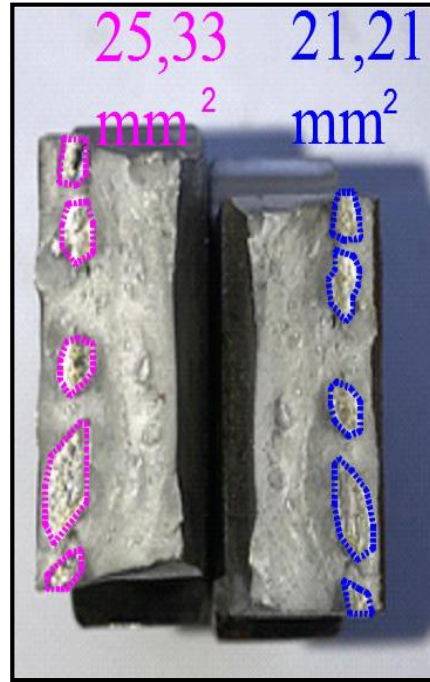
Çekme deney numunelerinin kırılma davranışlarını inceleyebilmek için, kırılan yüzey görüntüleri incelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 5.16-5.33) kesikli çizgi ile belirtilen kısımlarda kristalik yapı gözlenmiştir. Numune bu bölgelerde gevrek kırılma davranışı göstermiştir. Yüzeyin kalan kısımlarında lifli yapı gözlenmiştir. Lifli yapı, sünek kırılma olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 5.16. 12-V-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



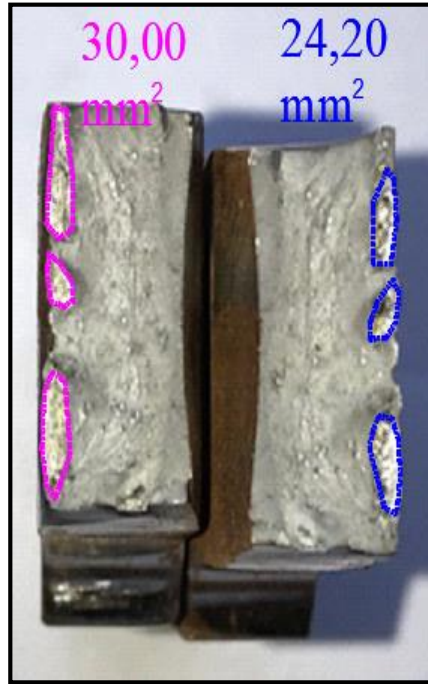
Şekil 5.17. 12-V-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



Şekil 5.18. 12-V-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



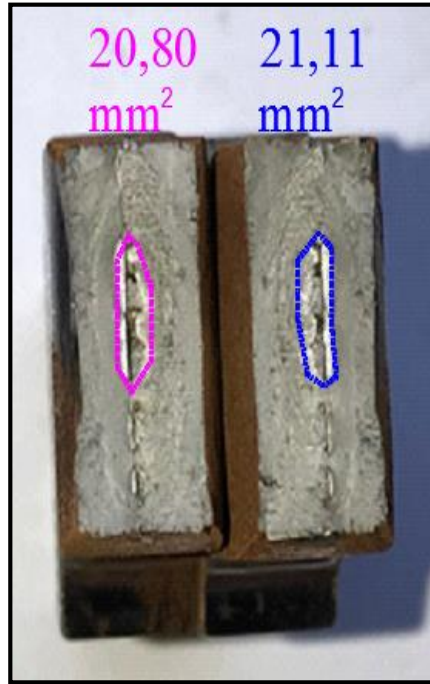
Şekil 5.19. 12-Y-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



Şekil 5.20. 12-Y-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



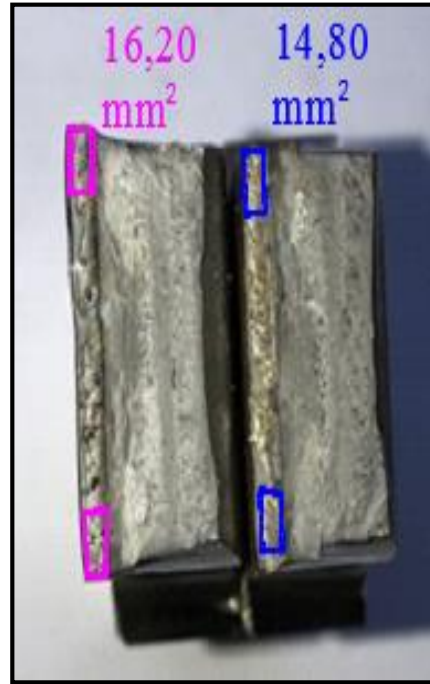
Şekil 5.21. 12-Y-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



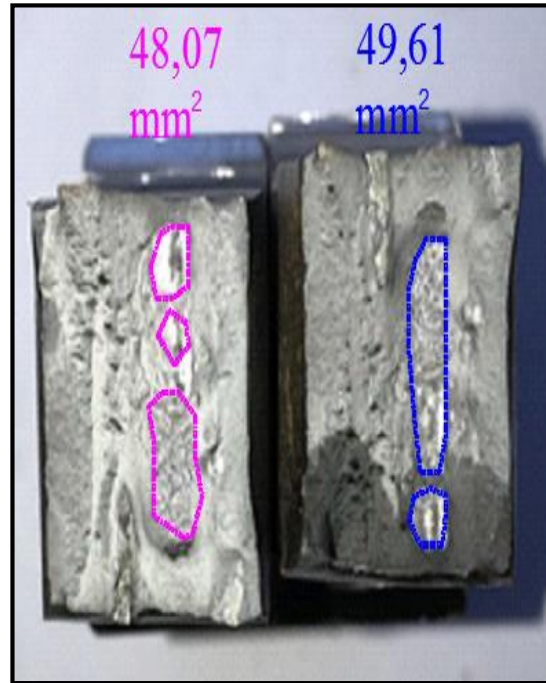
Şekil 5.22. 12-X-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



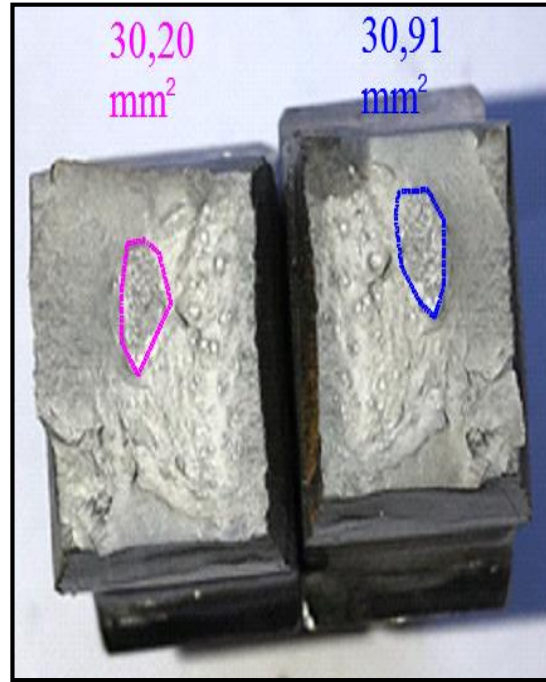
Şekil 5.23. 12-X-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



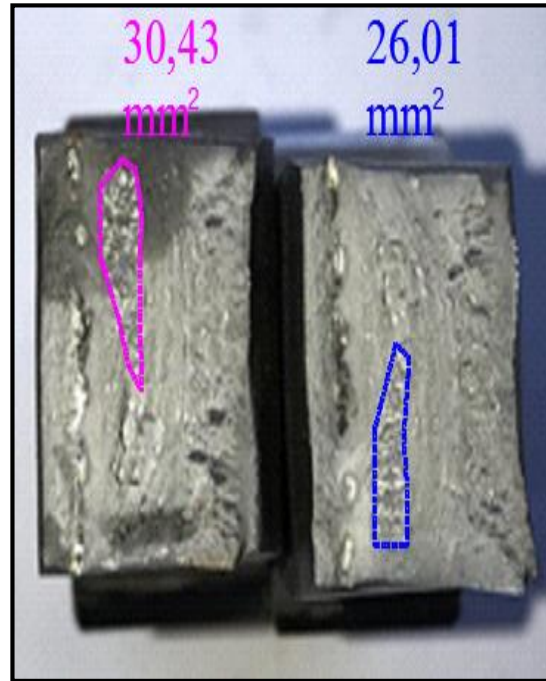
Şekil 5.24. 12-X-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 300 mm²).



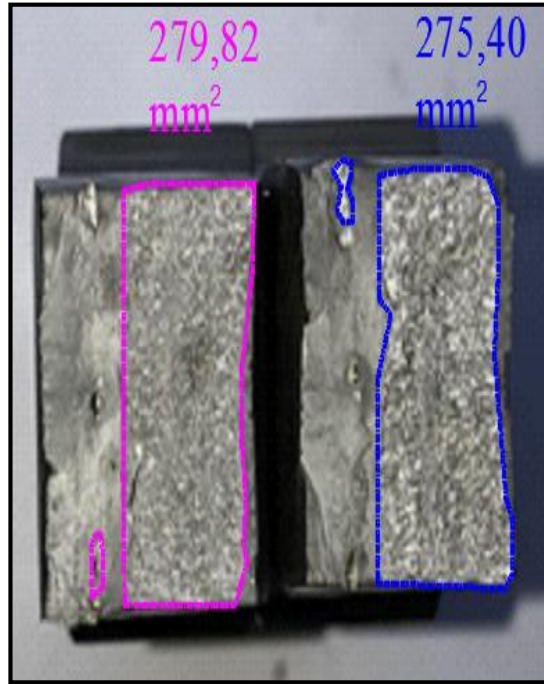
Şekil 5.25. 20-V-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



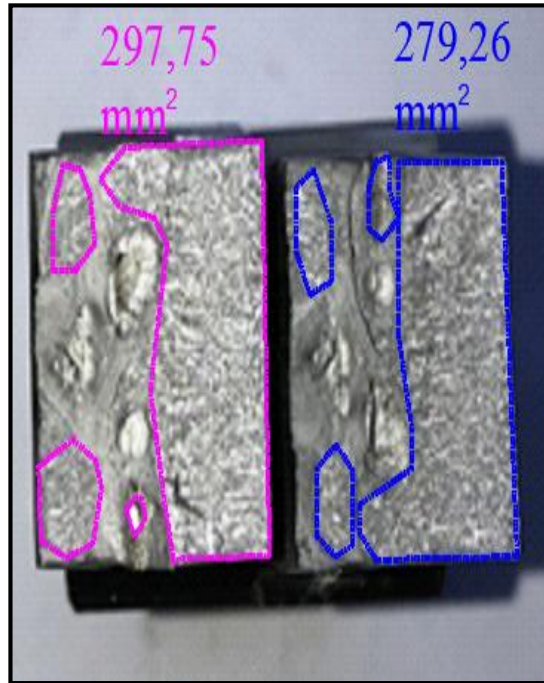
Şekil 5.26. 20-V-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



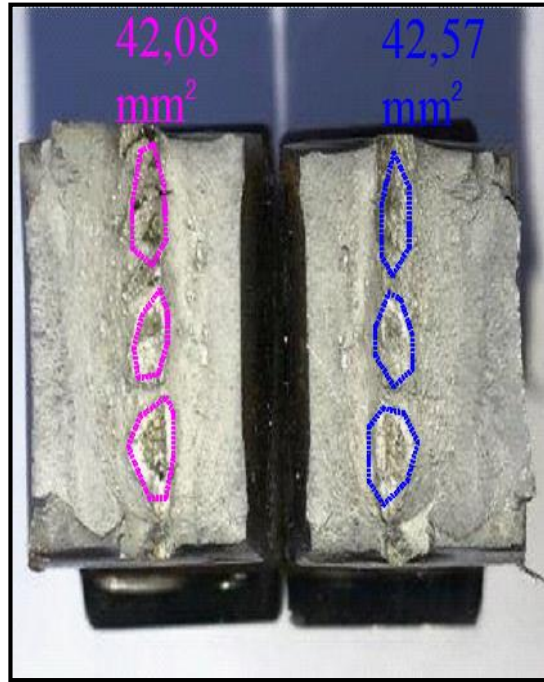
Şekil 5.27. 20-V-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



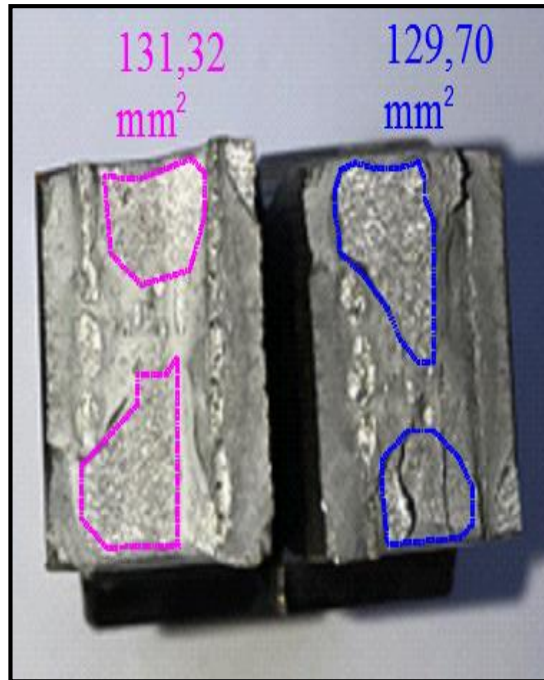
Şekil 5.28. 20-Y-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



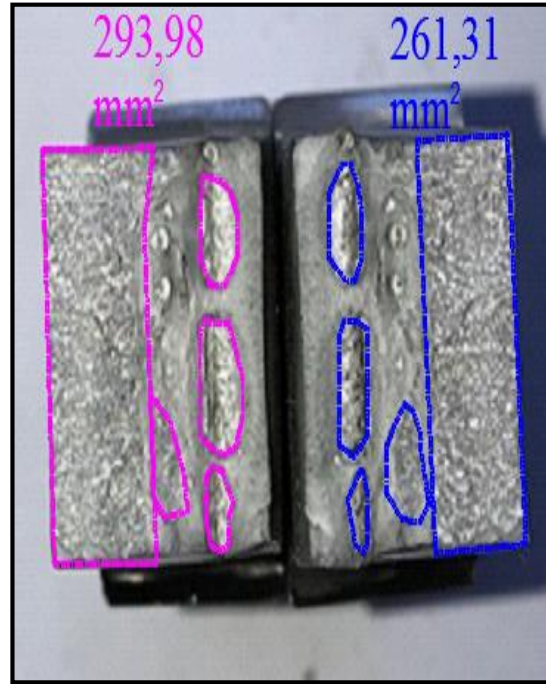
Şekil 5.29. 20-Y-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



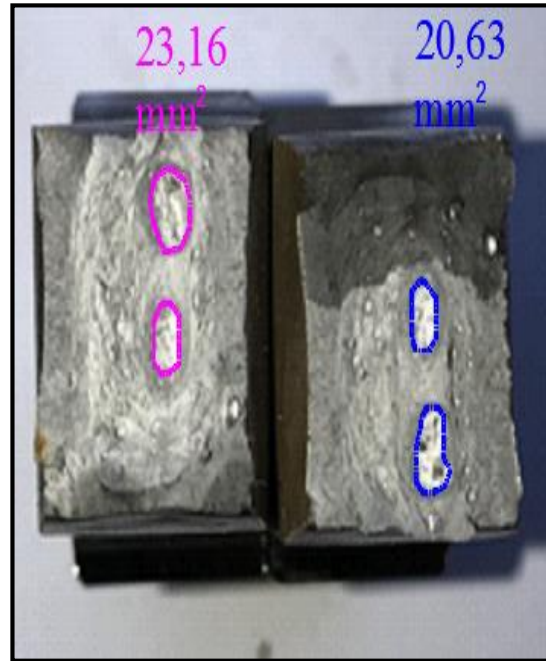
Şekil 5.30. 20-Y-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm^2).



Şekil 5.31. 20-X-44 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm^2).



Şekil 5.32. 20-X-52 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).



Şekil 5.33. 20-X-60 numunesinde kırılma yüzeyi (Alan: 500 mm²).

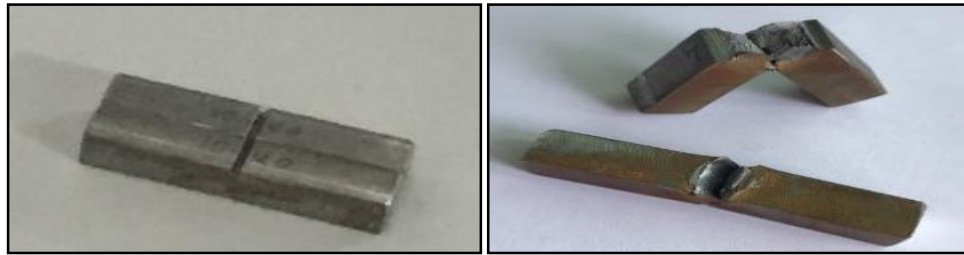
Kristal yapının kırılma yüzeyine oranları darbe deney sonuçları ile birlikte incelendiğinde, beklendiği gibi oran arttıkça darbe dayanımının düştüğü görülmüştür.

Malzeme ne kadar sünek olursa tokluk da buna paralel olarak artış gösterecektir (Asarkaya, 2006).

5.2 Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Charpy darbe testleri, TS EN ISO 9016 (2013) standardına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan charpy darbe testleri kaynak bölgesinden gerçekleştirilmiştir. Deneyler üç farklı ortam sıcaklığı altında $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da gerçekleştirilmiştir.

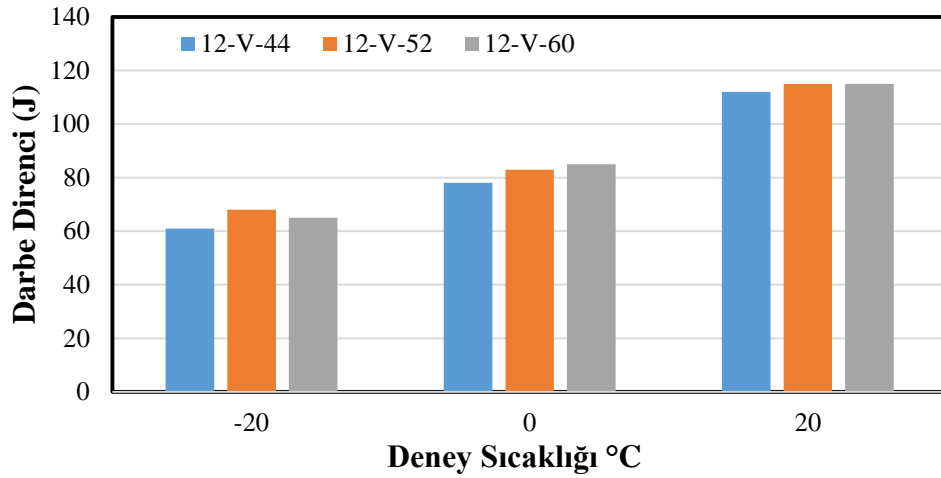
Charpy darbe deneyi sonuçları 12 mm için Çizelge 5.5 ve 20 mm için Çizelge 5.6'da verilmiştir. Deneyler 3 farklı sıcaklıkta yapılarak malzemedeki ısı geçişleri net bir şekilde görülmeye çalışılmıştır. Deney numunelerinin görseli test öncesi ve test sonrası Şekil 5.34'te verilmiştir. Genellikle bir malzemenin gerilme birim şekil değiştirme grafiğinin altında kalan alan ne kadar fazla ise o malzeme o kadar çok darbeye direnç gösterir (Bishop, vd., 1999).



Şekil 5.34. Charpy deney öncesi ve sonrası numuneler.

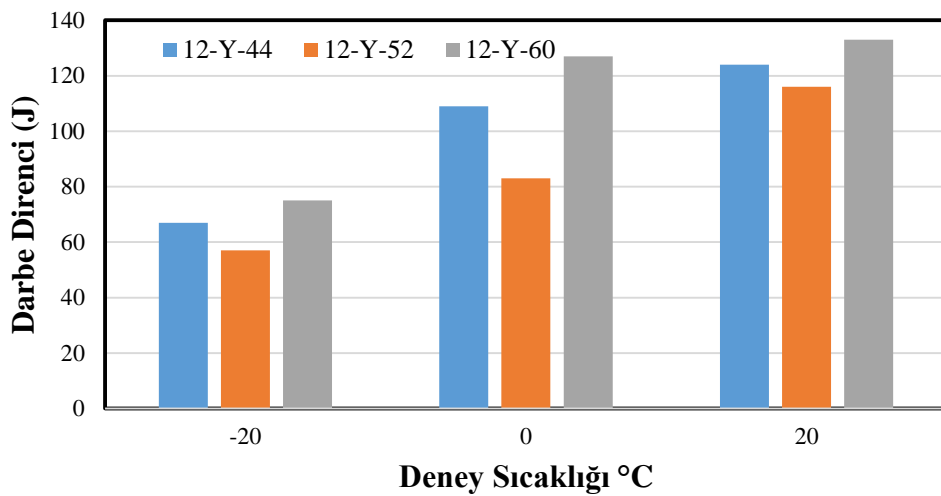
Çizelge 5.5. 12 mm kalınlıktaki numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

NUMUNE KODU	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (J)	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (J)	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (J)
12-V-44	61	78	112
12-V-52	68	83	115
12-V-60	65	83	115
12-Y-44	68	110	124
12-Y-52	54	83	116
12-Y-60	75	121	133
12-X-44	77	85	102
12-X-52	79	131	137
12-X-60	73	109	124



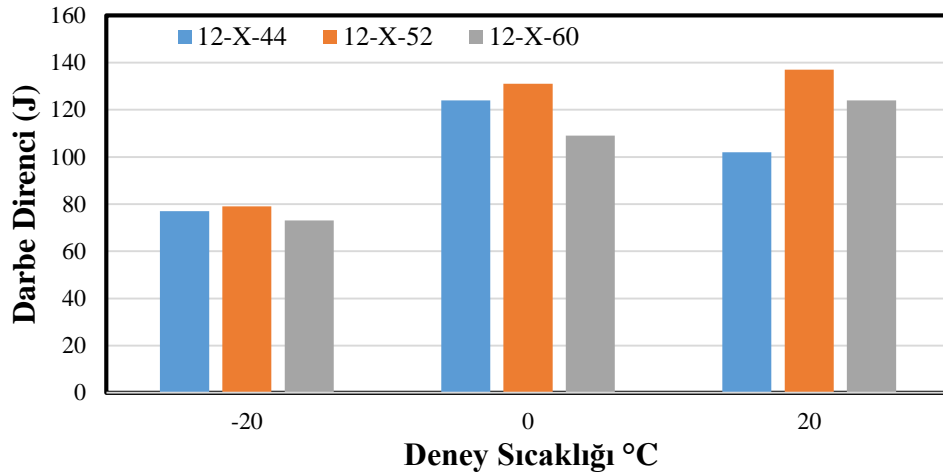
Şekil 5.35. 12 mm kalınlıktaki V tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

12 mm V tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.35’de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 12-V-52 ve 12-V-60 numunelerinde gözlemlenmiştir. Çok pasolu kaynaklarda paso sayısı dolaylı olarak darbe dayanımını etkileyebilmektedir. 12 mm kalınlıktaki malzemelerde paso sayısı ve ısı girdisinin birbirinden kayda değer bir farklılığı bulunmadığı için darbe dayanımları genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. Isı girdisindeki değişimler küçük ise mekanik özelliklerde önemli bir değişiklik olmaz (Kerse, 2009).



Şekil 5.36. 12 mm kalınlıktaki Y tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

12 mm Y tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.36'da verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 12-Y-60 numunelerinde gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığı düştükçe beklendiği gibi darbe dayanımları da önemle oranda azalmıştır. Kaynak paso sayısının en fazla olduğu 12-Y-60 numunelerinde tokluk daha yüksektir. Çok pasolu kaynaklarda her paso altındaki kaynak metalini temperlediğinden ve bu durum da malzemede ısıl işlem etkisi yaratabileceğinden dolayı paso sayısı fazla olan 60° lik numunelerde enerji yutma kapasitesinin daha fazla olduğu düşünülmektedir (Funderburg, 1999).



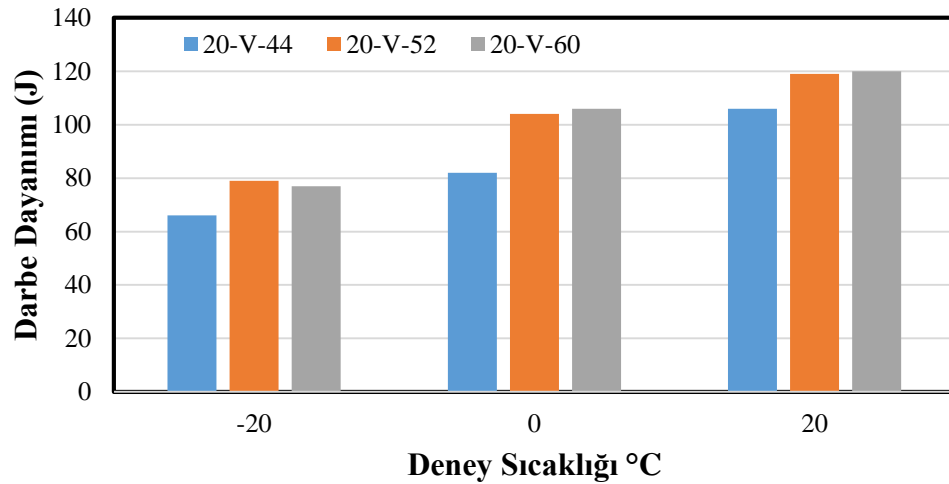
Şekil 5.37. 12 mm kalınlıktaki X tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

12 mm X tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.37'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 12-X-52 numunelerinde gözlemlenmiştir. Sıcaklık ile birlikte darbe dayanımı da bu duruma paralel olarak düşmüştür.

12 mm kalınlıkta yapılan kaynaklı birleşimlerde üç farklı ağız yapısında da paso sayıları eşit veya birbirine çok yakın olduğundan dolayı, ısı girdisi diğerine göre daha fazla olan V tipi numunelerde tokluğun bu durumdan ötürü düşük olduğu düşünülmektedir. Eğer kaynak pasosu sayılarında 20 mm kalınlıktaki numunelerdeki gibi belirgin farklılıklar olsaydı, ısı girdisinden bağımsız olarak paso sayısı fazla olan numunelerde tokluğun daha iyi olması beklenebilirdi.

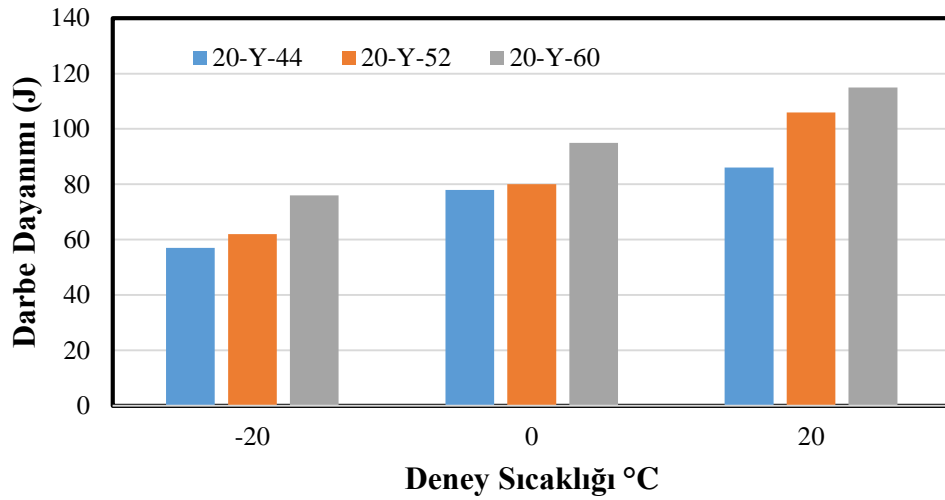
Çizelge 5.6. 20 mm kalınlıktaki numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

NUMUNE KODU	-20°C (J)	0 °C (J)	20 °C (J)
20-V-44	66	82	106
20-V-52	79	102	119
20-V-60	75	106	120
20-Y-44	57	78	86
20-Y-52	62	80	106
20-Y-60	76	94	115
20-X-44	72	85	94
20-X-52	67	81	95
20-X-60	77	94	111



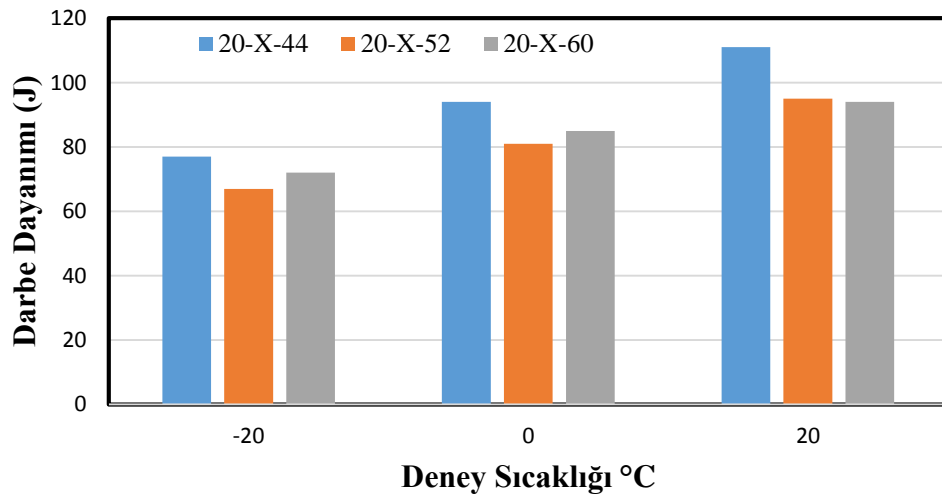
Şekil 5.38. 20 mm kalınlıktaki V tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

20 mm V tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.38’de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 20-V-60 numunelerinde gözlemlenmiştir. Çok pasolu kaynaklarda paso sayısı arttıkça, temperleme etkisinden dolayı darbe dayanımlarının arttığı düşünülmektedir.



Şekil 5.39. 20 mm kalınlıktaki Y tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

20 mm Y tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.39'da verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 20-Y-60 numunelerinde gözlemlenmiştir. 12 mm numunelerde olduğu gibi 20 mm numunelerde de paso sayısı ile doğru orantılı olarak darbe dayanımının geliştiği düşünülmektedir.



Şekil 5.40. 20 mm kalınlıktaki X tipi numunelerin charpy darbe deneyi sonuçları.

20 mm X tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait darbe deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.40'da verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı 20°C derecede 20-X-60 numunelerinde gözlemlenmiştir. Sıcaklık ile birlikte darbe dayanımı da bu duruma paralel olarak düşmüştür. V tipi ve Y tipi kaynak

ağızlarında olduğu gibi X tipi ağız yapısına sahip numunelerde de açı arttıkça genel olarak darbe dayanımının geliştiği düşünülmektedir.

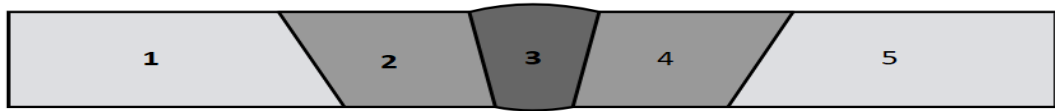
Her iki kalınlıkta yapılan darbe deneyleri göz önüne alındığında, genel olarak en iyi tokluğu 12 mm kalınlıktaki numunelerde Y tipi ve 20 mm kalınlıktaki numunelerde V tipi ağız yapısına sahip numunelerin verdiği görülmektedir. Sıcaklık düşüşü ile birlikte özellikle 12 mm kalınlıktaki numunelerin darbe dayanımlarında büyük oranda düşüşler gözlemlenmiştir. 12 mm kalınlıkta birleşimde kullanılan paso sayıları birbirine çok yakın olduğu için ısı girdisi düşük olan numunelerde genel olarak daha yüksek tokluk değerlerine ulaşılmıştır. 20 mm kalınlıktaki numunelerde ise paso sayısı arttıkça dayanım da pozitif yönde değişime uğramıştır. Temperlemeden dolayı tokluğun geliştiği düşünülmektedir. Metallerde temperleme, çeliklerin gevrekliğini gidermek ve tokluk kazandırmak için dönüşül sıcaklıklar altında yapılan ısıl işleme verilen addır. Her yeni ve doğru uygulanan kaynak pasosu, uygun geçiş sıcaklıkları altında üzerine uygulandığı kaynak metalini temperlediğinden dolayı, çok pasolu kaynaklarda bu durumun birleşimde ısıl işlem etkisi yarattığı ve tokluğu geliştirdiği düşünülmektedir. Çok pasolu kaynaklarda her paso altındaki kaynak metalini temperlediğinden bir önceki kaynak pasosunun bir kısmı yenilenmiş olur ve tokluk gelişir (Funderburg, 1999).

5.3 Vickers Sertlik Deneyi Sonuçları

Vickers sertlik testleri, TS EN ISO 6507-1 (2007) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney öncesi yüzeyi parlatılan numunelere ait görsel Şekil 5.41'de verilmiştir. Mikro sertlik testleri, ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgesine batıcı uç vasıtasıyla 10 kN'luk kuvvetin 10 saniye süresince uygulanması ile gerçekleştirilmiş ve batıcı ucun malzeme üzerinde bıraktığı iz üzerinden sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Deney yapılan bölgeler Şekil 5.42'de gösterilmiş olup 12 mm kalınlıktaki numunelerde sertlik deney sonuçları Çizelge 5.7 ve 20 mm kalınlıktaki numunelere ait sertlik deney sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir.



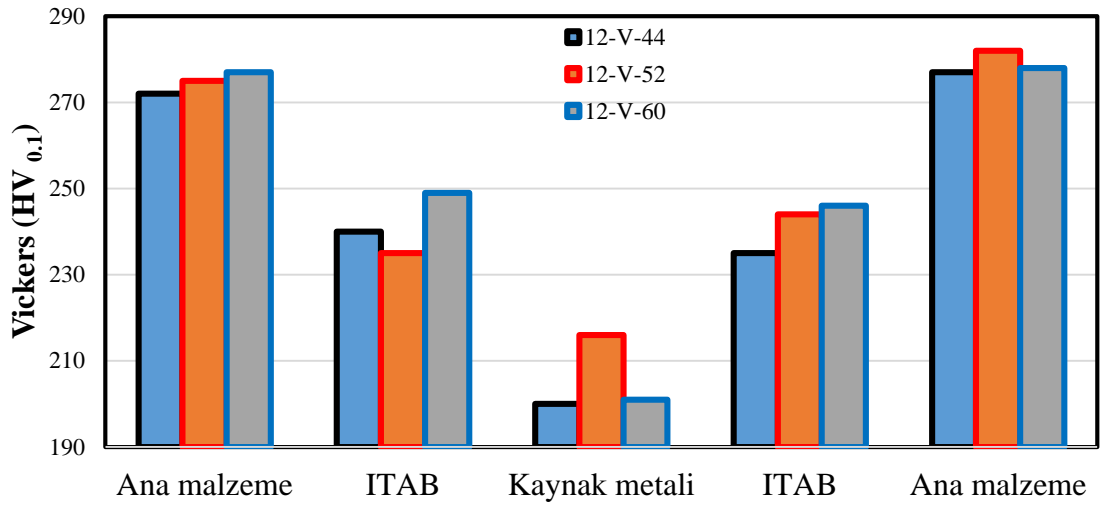
Şekil 5.41. Vickers sertlik numuneleri.



Şekil 5.42. Vickers deneyi yapılan bölge kodları.

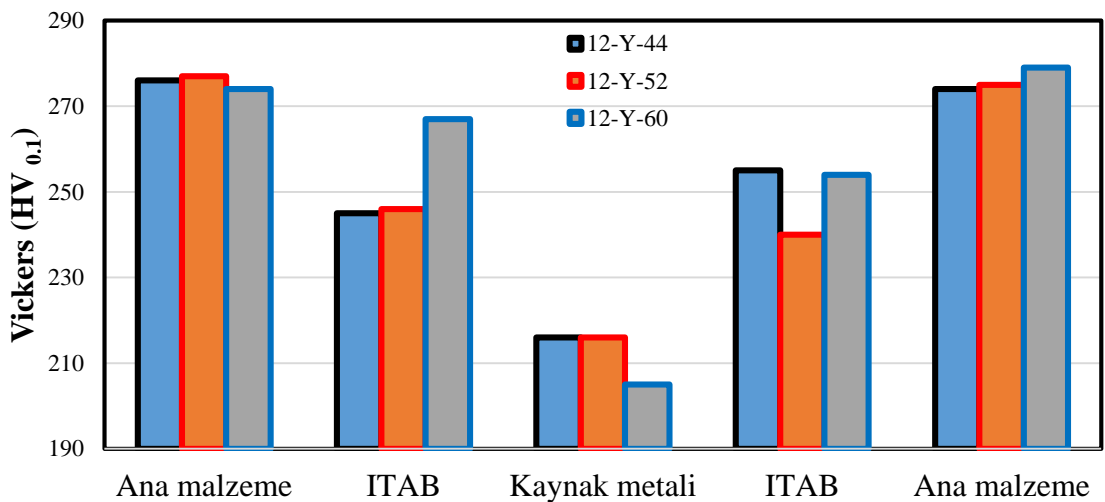
Çizelge 5.7. 12 mm kalınlıktaki numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

NUMUNE KODU	Ana Malzeme (1)	ITAB (2)	Kaynak Metali (3)	ITAB (4)	Ana Malzeme (5)
12-V-44	272	240	200	235	277
12-V-52	275	235	216	244	282
12-V-60	277	249	201	246	278
12-Y-44	276	245	216	255	274
12-Y-52	277	246	216	240	275
12-Y-60	274	267	205	254	279
12-X-44	280	245	215	242	277
12-X-52	278	252	217	240	277
12-X-60	274	253	207	246	275



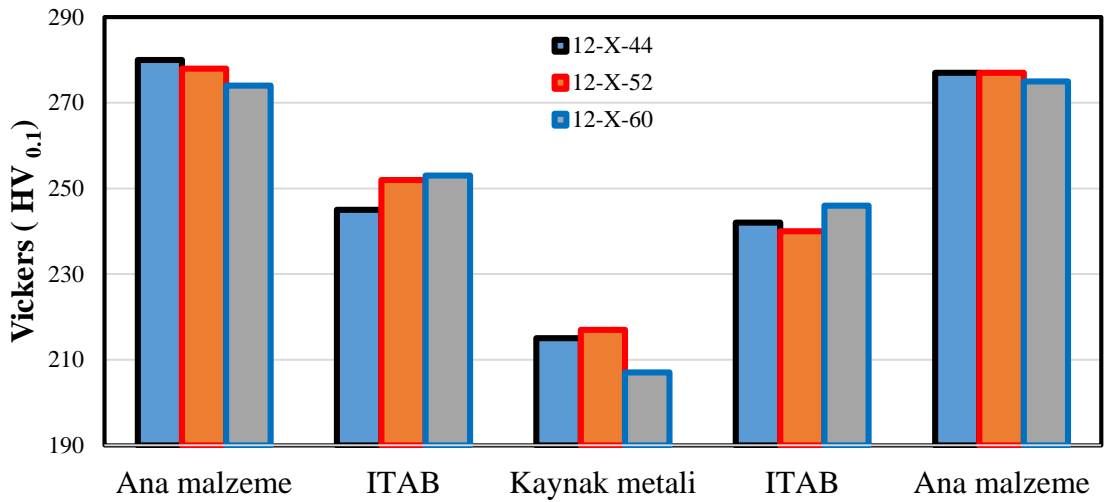
Şekil 5.43. 12 mm kalınlıktaki V tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

12 mm V tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.43'te verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, kaynak ağız açısıyla paralel olarak ısı girdisinin artması ile birlikte genel olarak ITAB ve ana metaldeki tanelerin irileştiği ve buna bağlı olarak sertliğin arttığı düşünülmektedir. Kaynakta kullanılan dolgu metali, ana metale göre çok daha yumuşak bir malzemedir. Birleşimde en çok dolgu metali 60° açıda kullanıldığından dolayı kaynak bölgesinde en düşük sertlik yine bu açıda birleştirilen numunelerde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.44. 12 mm kalınlıktaki Y tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

12 mm Y tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.44'te verilmiştir. Isı girdisinin artması ile birlikte genel olarak ITAB ve ana metaldeki tanelerin irileştiği ve buna bağlı olarak sertliğin arttığı düşünülmektedir. Birleşimde en çok dolgu metali 60° açıda kullanıldığından dolayı kaynak bölgesinde en düşük sertlik yine bu açıda birleştirilen numunelerde gözlemlenmiştir çünkü kaynak metali ana metale göre daha yumuşak bir yapıya sahiptir.

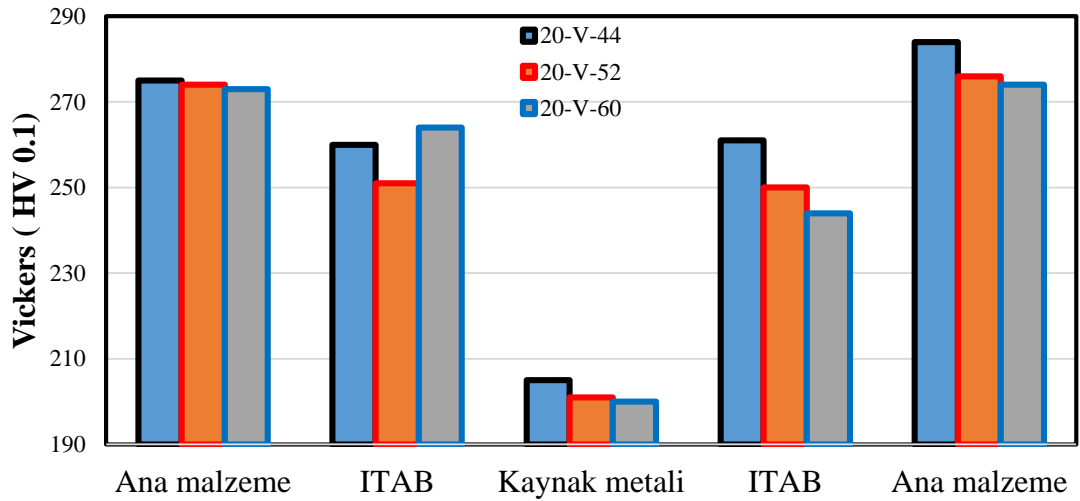


Şekil 5.45. 12 mm kalınlıktaki X tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

12 mm X tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.45'te verilmiştir. Isı girdisinin artması ile birlikte ITAB' daki tanelerin irileştiği ve buna bağlı olarak sertliğin arttığı düşünülmektedir. Birleşimde en çok dolgu metali 60° açıda kullanıldığından dolayı kaynak bölgesinde en düşük sertlik yine bu açıda birleştirilen numunelerde gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.8. 20 mm kalınlıktaki numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

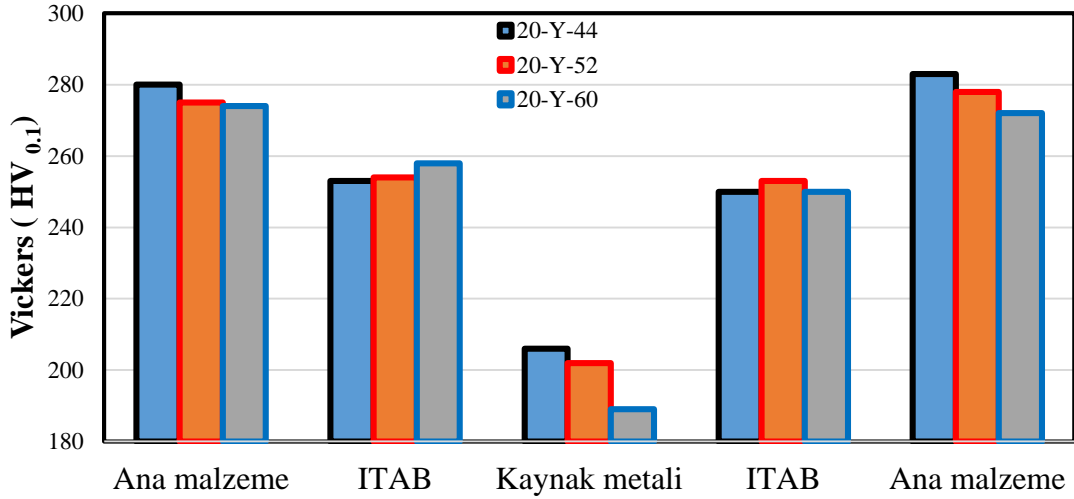
NUMUNE KODU	Ana Malzeme (1)	ITAB (2)	Kaynak Metali (3)	ITAB (4)	Ana Malzeme (5)
20-V-44	275	260	205	261	284
20-V-52	274	251	201	250	276
20-V-60	273	264	200	244	274
20-Y-44	280	253	206	250	283
20-Y-52	275	254	202	253	278
20-Y-60	274	258	189	250	272
20-X-44	270	232	193	240	276
20-X-52	276	241	203	254	279
20-X-60	282	256	205	251	279



Şekil 5.46. 20 mm kalınlıktaki V tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

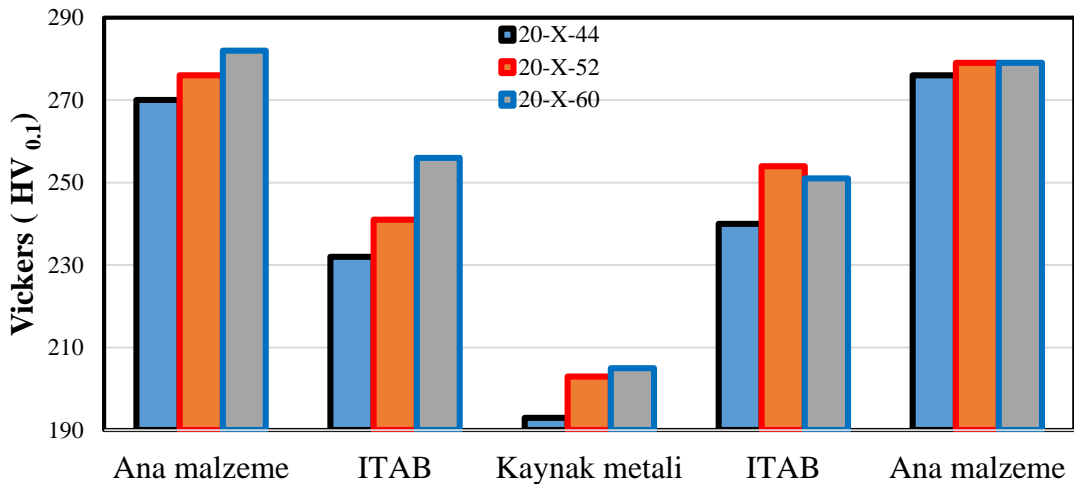
20 mm V tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.46'da verilmiştir. Diğer tüm numunelerde olduğu gibi kaynak bölgesinden ana metale doğru gidildikçe sertlik değerleri artmıştır. Kaynak metali ana metal göre daha yumuşak bir yapıya sahiptir. Birleşimde en çok dolgu metali 60° açıda

kullanılmıştır. Bu nedenden ötürü kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin açı arttıkça azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 5.47. 20 mm kalınlıktaki Y tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

20 mm Y tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.47’de verilmiştir. Diğer numunelerde görüldüğü gibi kaynak bölgesinden ana metale doğru gidildikçe sertlik değerleri artmıştır. Kaynak metali ana metal göre daha yumuşak bir yapıya sahiptir. Birleşimde en çok dolgu metali 60° açıda kullanılmıştır. Bu nedenden ötürü kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin açı arttıkça azaldığı düşünülmektedir.



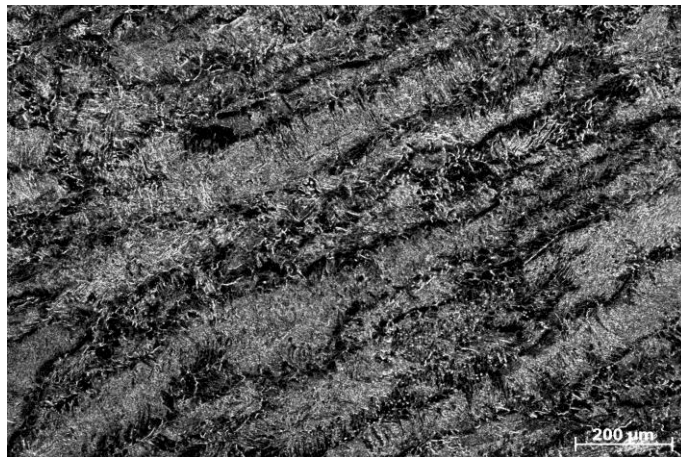
Şekil 5.48. 20 mm kalınlıktaki X tipi numunelerin sertlik deneyi sonuçları.

20 mm X tipi kaynak ağız yapısına sahip numunelere ait sertlik deneyi sonuçları toplu olarak Şekil 5.48’de verilmiştir. Isı girdisinin artması ile birlikte sertlik değerlerinin de arttığı açıkça görülmektedir. Kaynak işlemi sırasında malzemeye giren yüksek ısı nedeniyle, tanelerde irileşme meydana gelerek sertlik değerlerinin arttığı düşünülmektedir.

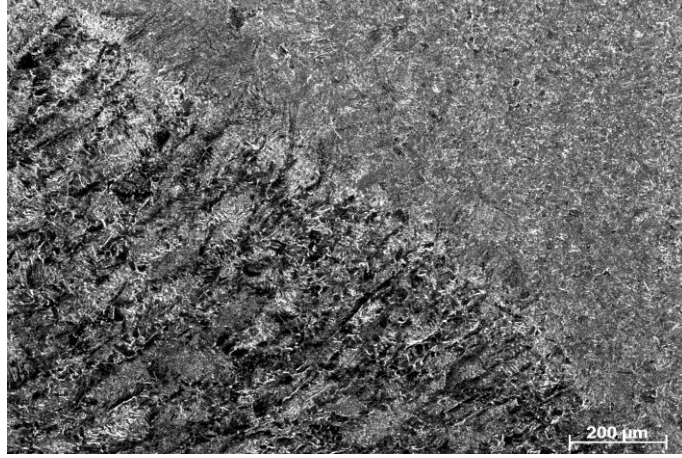
Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertliğin arttığı gözlenmiştir. Kaynak metalinin ana metale göre daha yumuşak bir yapıda olması nedeniyle sonuçlar bu şekilde çıkmıştır. Kaynak bölgesindeki sertlik sonuçları dikkate alındığında, kaynak ağız açısı arttıkça sertliğin genel olarak düştüğü görülmektedir. Açı artışı ile birlikte kaynak bölgesinin ortasındaki ilave metal yoğunluğunun artmasından dolayı sertliğin düştüğü düşünülmektedir. Isı tesiri altındaki bölgedeki sertlik sonuçları incelendiğinde, kaynak ağız açısının artması ve dolaylı olarak ısı girdisinin yükselmesi ile birlikte, bölgenin yüksek ısı nedeniyle sertleştiği düşünülmektedir.

5.4 İç Yapı İnceleme Sonuçları

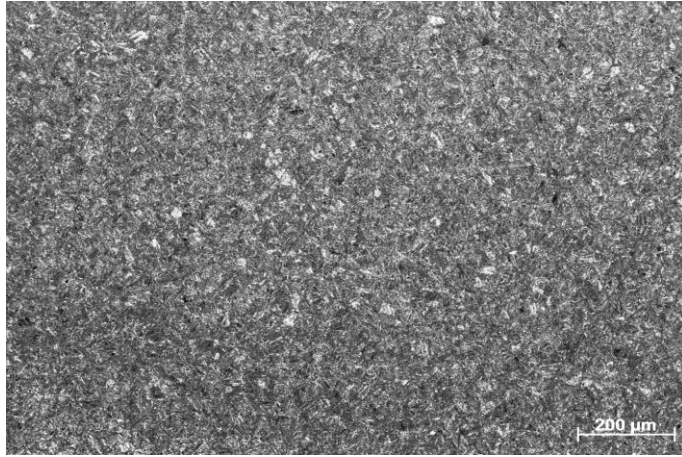
Kaynaklı malzemeler üzerinde yapılan içyapı incelemelerinde, doğru görüntü alınabilmesi için öncelikle numuneler %2 Nital çözeltisi ile dağlanmış ve ardından kaynak bölgesi, ITAB ve ana malzemeden görüntüler 100x ve 200x büyütme yapılarak alınmıştır. Alınan içyapı görüntüleri Şekil 5.49-5.66’de verilmiştir.



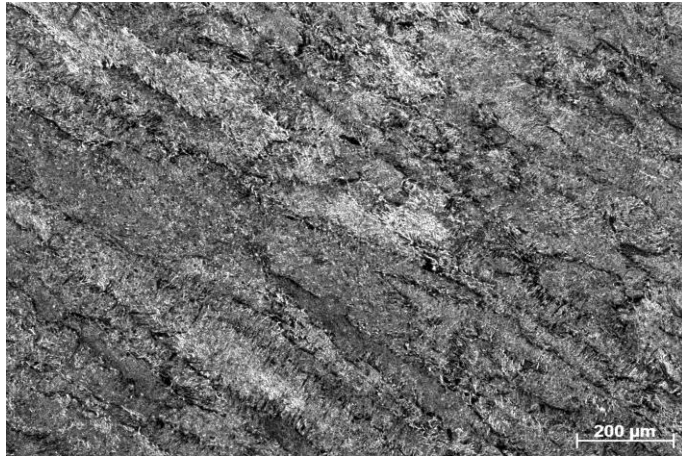
Şekil 5.49. 20-V-60 tipi numunede ITAB iç yapısı (100x).



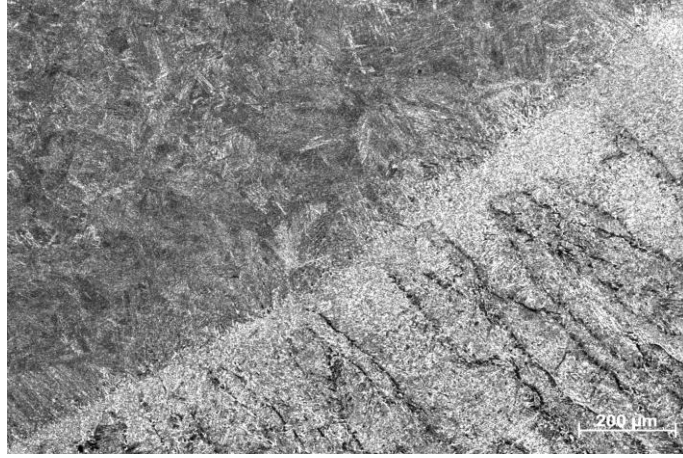
Şekil 5.50. 20-V-60 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (100x).



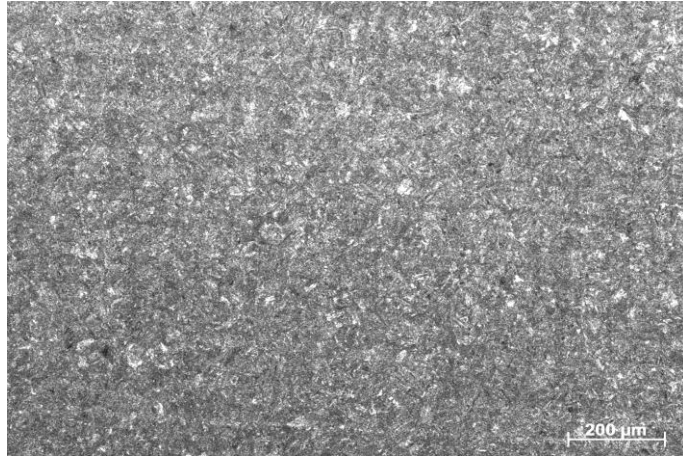
Şekil 5.51. 20-V-60 tipi numunede kaynak bölgesi iç yapısı (100x).



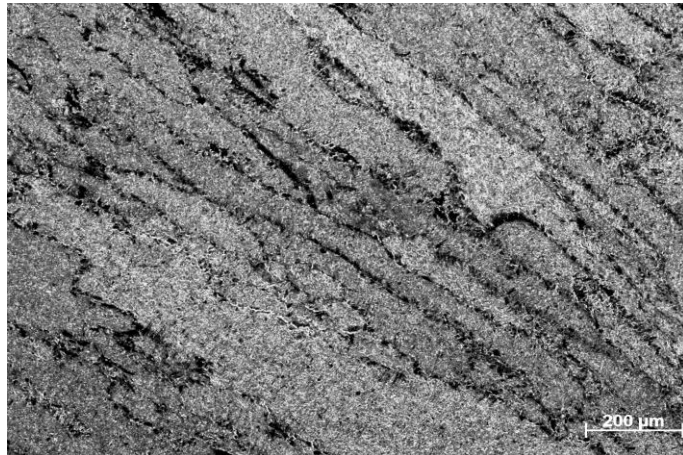
Şekil 5.52. 20-Y-60 tipi numunede ITAB iç yapısı (100x).



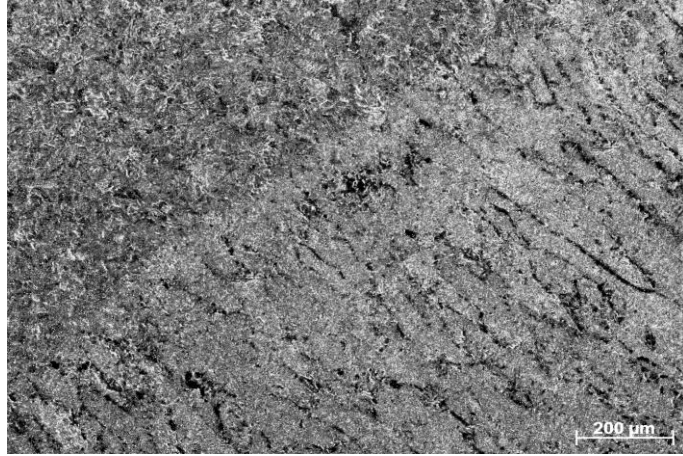
Şekil 5.53. 20-Y-60 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (100x).



Şekil 5.54. 20-Y-60 tipi numunede kaynak iç yapısı (100x).



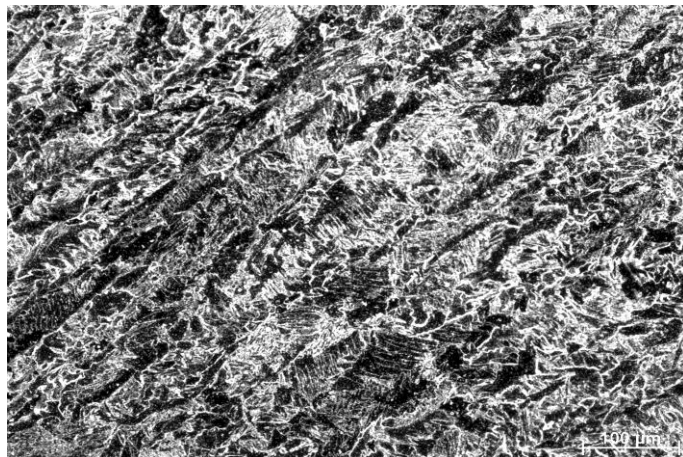
Şekil 5.55. 12-Y-44 tipi numunede ITAB iç yapısı (100x).



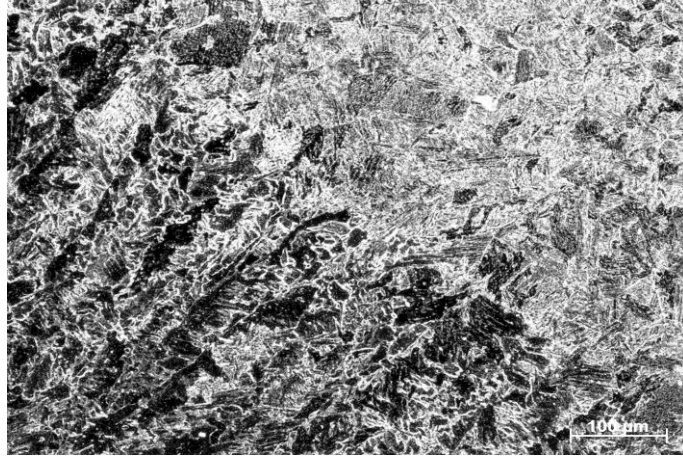
Şekil 5.56. 12-Y-44 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (100x).



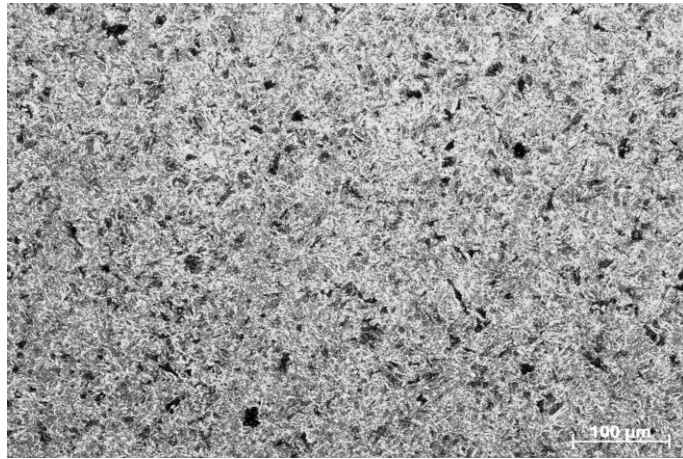
Şekil 5.57. 12-Y-44 tipi numunede kaynak bölgesi iç yapısı (100x).



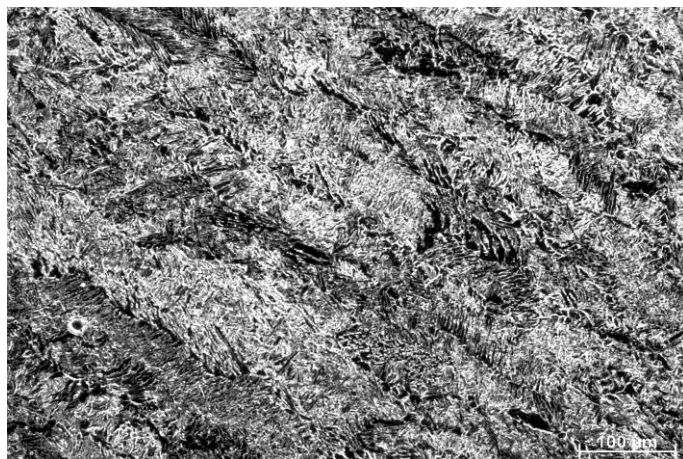
Şekil 5.58. 20-V-60 tipi numunede ITAB iç yapısı (200x).



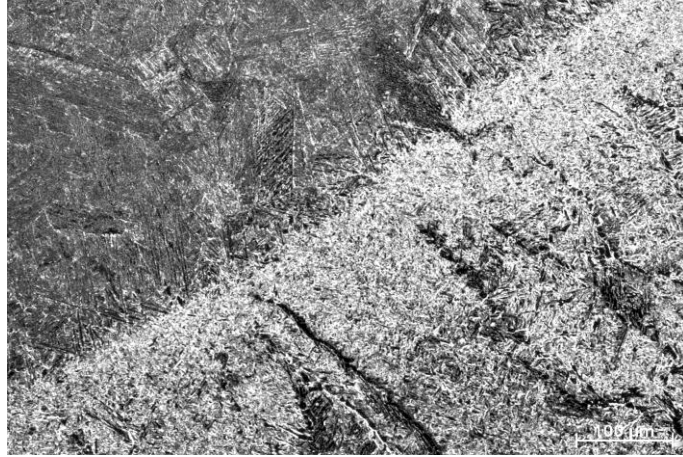
Şekil 5.59. 20-V-60 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (200x).



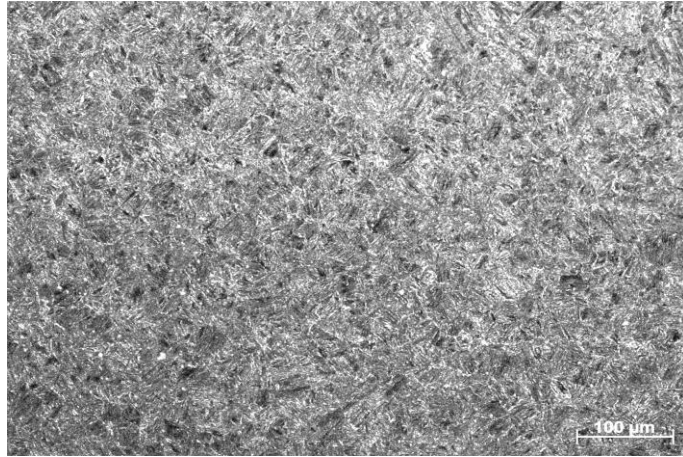
Şekil 5.60. 20-V-60 tipi numunede kaynak bölgesi iç yapısı (200x).



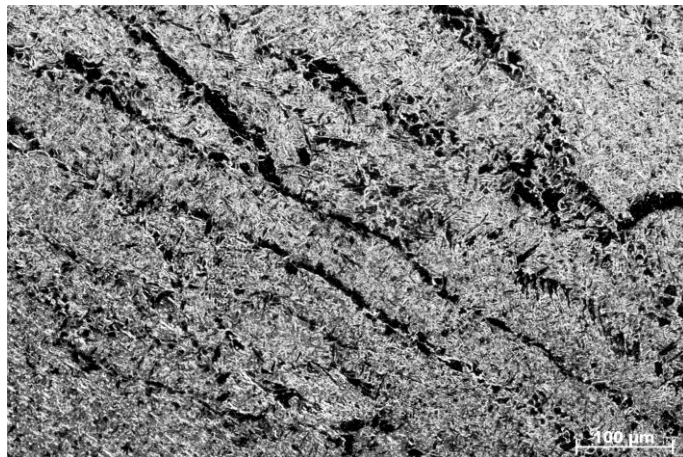
Şekil 5.61. 20-Y-60 tipi numunede ITAB iç yapısı (200x).



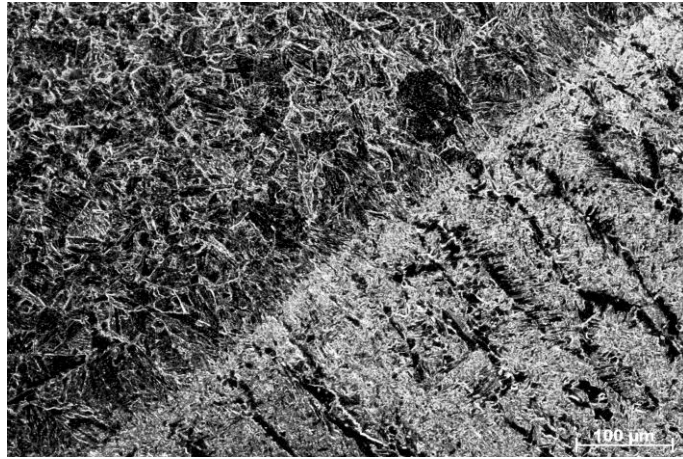
Şekil 5.62. 20-Y-60 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (200x).



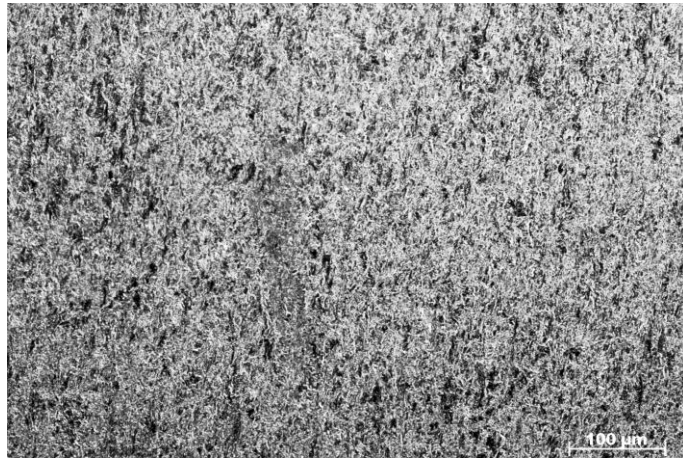
Şekil 5.63. 20-Y-60 tipi numunede kaynak bölgesi iç yapısı (200x).



Şekil 5.64. 12-Y-44 tipi numunede ITAB iç yapısı (200x).



Şekil 5.65. 12-Y-44 tipi numunede geçiş bölgesi iç yapısı (200x).



Şekil 5.66. 12-Y-44 tipi numunede kaynak bölgesi iç yapısı (200x).

Isı girdisi artışı ile doğru orantılı olarak tanelerde irileşme gözlemlenmiştir. Yüksek ısı girdisine maruz kalan 20-V-60 numunesinin çekme dayanımının diğer numunelere göre daha düşük olmasının sebebinin iç yapıdaki tane irileşmesi olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak kaynak ağız açısının ve ısı girdisinin artması ile birlikte, kaynak bölgesindeki taneler arası mesafe artmıştır. Optimum tane yerleşimi 12-Y-44 numunesinde gözlenmiştir. Çekme dayanımının diğer numunelere göre daha yüksek olmasının nedeninin kaynak bölgesindeki tane yerleşiminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaynak ağız geometrisinin birleşimin mekanik özelliklerine etkisini en doğru şekilde yorumlayabilmek için iki farklı kalınlıkta çelik levhalar MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve numunelerde çekme deneyi, çentik darbe deneyi ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca birleşim bölgelerinden detaylı iç yapı görüntüleri alınmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Kaynak ağız açısının artması, daha fazla dolgu metali kullanılmasına ve ısı girdisinin artmasına neden olmuştur. Isı girdisinin artmasının dolaylı olarak çekme dayanımlarının düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.
- Isı girdisinin artması ile birlikte genel olarak darbe dayanımlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Çentik tokluğundaki değişim sadece ısı girdisine bağlı değildir ve kaynak dikiş boyutundan önemli ölçüde etkilenmektedir.
- 12 mm kalınlıktaki malzemelerin 20 mm kalınlıktaki malzemelere göre akma ve çekme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Bu duruma numunenin boyut etkisiyle birlikte ısı girdisinin kalın malzemelerde daha fazla olmasının sebep olduğu düşünülmektedir.
- Kaynak sırasında malzemeye giren yüksek ısı, ITAB bölgesinde sertliğin bir miktar düşmesine neden olmuştur. Ana malzemenin içyapısındaki farklı yapıların böyle bir sonuç doğurduğu düşünülmektedir.
- En iyi çekme dayanımları 44° numunelerde ve en iyi darbe dayanımları 60° numunelerde gözlemlenmiştir. Çekme dayanımlarının düşük açılarda daha yüksek olmasının sebebinin ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Isı girdisinin artması çekme dayanımlarını düşürmüştür. Darbe dayanımlarının büyük açılarda daha yüksek olmasının sebebinin kaynaktaki paso miktarının açılı büyüdükçe fazlaşması ve dolaylı olarak kaynak bölgesinde temperleme etkisi yaratması olduğu düşünülmektedir.
- En iyi mekanik özelliklere 12-X-52 numunesinde ulaşılmıştır. 20 mm kalınlıkta en iyi dayanım 20-X-44 ve en iyi tokluk 20-V-60 numunelerinde elde edilmiştir. Sonuçlara göre son üründe yüksek dayanım istenirse X tipi, yüksek uzama kabiliyeti istenirse V tipi kaynak ağızı seçilebilir.

- Kaynaklı birleşimde X tipi ağız geometrisi kullanıldığında yüksek dayanım elde edileceğinden dolayı, birleşim bölgesi daha rijit olacaktır. Bu da yapının o bölgesinde daha az yer değiştirme yapmasına sebep olacaktır. Eğer yapıda daha sünek bir davranış istenirse, kaynaklı birleşimde V tipi ağız geometrisinin kullanılması daha doğru olacaktır. Bu sayede birleşim bölgesi daha sünek bir davranış gösterecektir.
- Ana malzeme ve kullanılan kaynak teli, kaynak edilebilirlik açısından birbiri ile uyumlu olmakla birlikte, mekanik özellikler açısından farklılıklar göstermektedir. Ana metalin dayanımı kaynak telinin dayanımından daha fazla olduğu için numunelerin tamamı kaynak bölgesinden kopmuştur. Daha yüksek mekanik özelliklere sahip kaynak teli ve farklı ağız profilleri ile benzer bir çalışma yapılarak araştırma derinleştirilebilir. Ayrıca detaylı içyapı çalışmaları yapılarak mekanik özellikler ile içyapı arasındaki ilişkiler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akın, A., “Gazaltı kaynak parametrelerinin kaynak mukavemetine etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, (2015).
- Anık, S., “Kaynak Tekniği (Oksi-Asetilen ve Elektrik-Ark Kaynağı)”, Cilt 1, **İstanbul Teknik Üniversite Matbaası**, Gümüşsuyu-İstanbul, (1969).
- Anık, S. “Soru ve Yanıtlarıyla Kaynak Tekniği”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, (1980).
- Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar”, **Gedik Holding Yayını**, (1991).
- Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, (1993).
- Anık, S., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, **Birsen Yayın Evi**, İstanbul, (1999).
- Aslanlar, S., “Elektrik Ark Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları Ders Notu”, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (yayımlanmamış), Sakarya, (2009).
- ASM International, “Metals Handbook”, Desk Edition, **ASM International**, Ohio, (2001).
- Black, J.T., Kohser, R.A., “DeGarmo’s Materials and Process in Manufacturing”, **John Wiley & Sons Inc.**, (2007)
- David, S.A., Babu, S.S., Vitek, J.M., “Welding: Solidification and microstructure”, **JOM** ,55(6):14-16 (2003).
- David, S.A., Babu, S.S., Vitek, J.M., Boatner, L.A., Reed, R.W., “Welding of nickel base superalloy single crystals”, **Sci. Technol. Weld. Join**, 2: 79-88, (1997).
- DIN EN 10025-2:2011-4 “Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels”, **Deutsches Institut für Normung**, Germany, (2011).
- Erdogan, M., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara (1997).
- Ekici, M., “MIG-MAG ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş mikro alaşımlı çeliklerin mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2009).
- Ericson, M., Sandström, R., “Influence Of Welding Speed On The Fatigue Of Friction Stir Welds and Comparison With MIG and TIG”, **International Journal of Fatigue**, 25:1379 -1387 (2003).

- Ertürk, İ., “Gazaltı Kaynak Teknikleri”, *Türkiye Halk Bankası A.Ş. Fon Kredileri Müdürlüğü*, Ankara, (1987).
- Eski, Ö., “Kaynak ısı girdisinin soğuk şekillendirilmiş S700MC çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).
- Eskier, U., “Çeliğin tarihçesi”, <https://www.makaleler.com/celik-nedir-ozellikleri-nelerdir-nerelerde-kullanilir>, (19.02.2018).
- Funderburk, R.S., “Selecting filler metals:matching strenght criteria”. *Welding Innovation*, 16(2): (1999).
- Gedik, “SG2 kaynak teli kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri”, <http://www.gedikkaynak.com.tr/urun/geka-sg-2-gazalti-kaynak-teli>, (03.02.2018).
- Huang, G., Wan, X.L., Wan, Wu, K.M., “Effect of Cu addition on microstructure and impact toughness in the simulated coarse-grained heat-affected zone of high-strength low-alloy steels”, *Steel Research International*, 87; 1426 (2016).
- Vural M., Piroğlu F., Çağlayan Ö., “Yağı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği”, *Türkiye mühendislik haberleri*, 426:47-51 (2003).
- İpek, N., “Kaynak ağız açısının ve geometrisinin zırh malzemesinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- İTÜ, “İmalat laboratuvarı Kaynak Deneyi Ders Notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (yayımlanmamış), (2009).
- Kahraman, F., Karadeniz, S., Babayev, Y., “The protective gases & their features used in GMAW”, *Journal of Qafqaz University*, Azerbaycan, (2008)
- Kakani, S.L., Kakani, A., Material Science, *New Age Publishers*, (2004).
- Kayakök, V., “Tozaltı ve MAGC kaynak yöntemlerinde kaynak ağızı-nüfuziyet ilişkisinin incelenmesi ve ekonomik yönden kıyaslanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
- Kayalı, E. S., Ensari, C., DİKEÇ, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri” *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, Gümüşsuyu-İstanbul, (1988).
- Kerse, Z., “Kaynak dikişlerinde yükleme durumlarına bağlı olarak yöntem ve kalite seçim esaslarının incelenmesi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
- Kurşun, T., “Gazaltı kaynak tekniğinde kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımlarının 19Mn6 kalite çeliğinin kaynatılmasında mekanik özelliklere etkisi ve tozaltı

- kaynağı ile karşılaştırılması”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (1998).
- Külahlı, M.E., “Toz altı kaynak yöntemi”, *Oerlikon Kaynak*, 2:82-85 (1985).
- Li, Li., Orme, K., Yu W., “Effect of joint design on mechanical properties of AL7075 weldment”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 14(3):322-326 (2005).
- Lindgren, L.E., “Numerical Modelling Of Welding”, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 195: 6710-6736 (2006).
- Lyttle, K.A., “Shielded Gases”, *Praxair Inc*, (2000).
- Nadzam, J., “Gas Metal Arc Welding Guidelines”, *Lincoln Electric*, (2000).
- Oğuz, B., “Karbonlu Ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı” *Oerlikon Kaynak Elektrotları A.Ş.*, İSTANBUL, (1987).
- Oğuz, B., “Ark Kaynağı”, *Oerlikon*, İstanbul, (1989).
- Özakın, N., “AH ve DH Kalite Gemi Saclarının Değişik Kaynak Yöntemleri ve Kaynak Pozisyonlarındaki Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapılarının İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2010).
- Özden H., “Gemi inşaatında kalın çelik sac bağlantılarının işletme mukavemeti”, *Kaynak Teknolojisi 4. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Kocaeli, 34(2003).
- Özhendekçi, D., “Çelik Yapılar Ders Notları” *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2012).
- Pellerin, N., Zielinska, S., Pelerin, S., Valensi, F., Musiol, K., Izarra, C., Briand, F., and Richard, F., “ Experimental investigations of the arc MIG-MAG welding”, *American Institute of Physics*, 80-87 (2005).
- Quintino, L., Lickevich, O., Vilarinho, L., Scotti, A., “Heat Input in Full Penetration Welds in Gas Metal Arc Welding”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 68: 2833-2840 (2013).
- Schlagradl, T., Schneider, R., Posch, Schnitzer, R., “Investigation of the hardness–toughness relationship of a welded joint after different heat treatment cycles”, *Welding in the World*, 57:113-121 (2013).
- Smallman, R.E., Bishop, R.J., “Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering”, Sixth Edition, *Butterworth-Heinemann*, United Kingdom, (1999).
- Ssab, “S700MC çeliğinin mekanik özellikleri” <http://www.ssab.com.tr/products/brands/strenx/products/strenx-700-mc>, (11.01.2018).

- TS EN ISO 9692-1, “Kaynak ve benzer işlemler – Kaynak ağız hazırlığı için tavsiyeler- Bölüm 1: Çeliklerin elle metal ark kaynağı, gaz korumalı metal ark kaynağı, gaz kaynağı, TIG kaynağı ve demet kaynağı”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2014).
- TS EN ISO 4136, “Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2013).
- TS EN ISO 15614-1, “Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması – Kaynak prosedürü deneyi – Bölüm 1: Çeliklerin gaz ve ark kaynağı, nikel ve nikel alaşımlarının ark kaynağı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2017).
- TS EN ISO 9016, “Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Vurma deneyleri-Deney numunesi yeri, çentik yönü ve muayene”. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2013).
- TS EN ISO 6507-1, “Metalik malzemeler – Vickers sertlik deneyi – Bölüm 1: Deney metodu”. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (2007).
- Tülbentçi, K., “Tozaltı kaynak yönteminin üstünlükleri ve uygulama alanları”, *Gedik Yayınları*, 18-21, İstanbul, (1988).
- Tülbentçi, K., “Gaz Altı Kaynağı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1993).
- Uzun, H., “Kaynak Parametreleri Ders Notları”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (yayımlanmamış), Sakarya, (2008).
- Weber, G., Thommes, H., Gaul, H., Hahn, O., Rethmeier, M., “Resistance spot welding and weldbonding of advanced high strength steels”, *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 41:931-939 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa CAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Kandıra/KOCAELİ 30.11.1990



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar : Ucuz İnşaat (2010)
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : İLK YAPI(2012-2014) , METEK YAPI(2014-devam)

İletişim

Adres :Haceloğlu mah. 221. Sok. No:23 D:16 Osmaneli/Bilecik
E-Posta Adresi : mstfcan41@gmail.com

Akademik Çalışmaları

“S700MC tipi çelikte kaynak ağız geometrisinin mekanik davranışa etkisi” konulu teknik makale, Metal Dünyası Dergisi, Mart 2018.

Yabancı Dil Bilgisi

Tarih:24/05/2018