

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ROBOTİK DOĞRU AKIM VE ROBOTİK DARBELİ DOĞRU AKIM
KAYNAĞININ TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK MALZEMELERİN
SERTLİK VE MİKROYAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru ÇELİKTEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemal ERMİŞ

Ekim 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ROBOTİK DOĞRU AKIM VE ROBOTİK DARBELİ DOĞRU AKIM
KAYNAĞININ TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK MALZEMELERİN
SERTLİK VE MİKROYAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru ÇELİKTEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/10/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof.Dr. Kemal ERMİŞ	Başarılı
Üye: Doç.Dr. Ahmet DEMİRER	Başarılı
Üye: Dr.Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ebru ÇELİKTEN

29/09/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Kemal ERMİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen NDT Merkezi çalışanlarına, bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan, çalışma ortamı ve gerekli tüm kolaylıkları gösteren SAN-PAR KALIPÇILIK'a, bilgisi ve tecrübesi ile tezimi yönlendirmiş olan Elif Selen ATMACA'ya,

Yoğun çalışmalarım sırasında motivasyonumu yüksek tutan kardeşim Başak ÇELİKTEN'e, nasihatlerini ve dualarını eksik etmeyen babaannem Sultan ÇELİKTEN'e, yedi yıldır kendine ait olduğuna inandığı evimi büyük bir alçakgönüllülükle benimle paylaşan köpeğim Pablo'ya,

Doğru olduğunu sandığım hatalarımı düzeltmemde yardımcı olduğu için Cihan Ajdan İZMİRLİ'ye ve son olarak kendime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Tarihçesi	3
1.3. Literatür Taraması	4
1.4. Çalışmanın Amacı ve Beklentiler	6
BÖLÜM 2.	
ROBOTİK KAYNAK TEKNOLOJİSİ VE KAYNAK HATALARI	7
2.1. Gazaltı Kaynak Yönteminin Tarihçesi	7
2.1.1. MIG/MAG yönteminde kullanılan koruyucu gazlar	9
2.1.2. MIG/MAG yönteminde kullanılan kaynak telleri	10
2.1.3. MIG/MAG yöntemi avantaj ve dezavantajları	11
2.2. Endüstriyel Robotların Genel Özellikleri	12
2.3. Endüstriyel Robotların Kaynak Donanımları	13
2.3.1. Manipülâtör	14
2.3.2. Kontrol ünitesi	15
2.3.3. Kaynak makinesi	16
2.3.4. Pozisyoner ve slider	16
2.4. Kaynak Hataları	17
2.4.1. Nüfuziyet eksikliği	17
2.4.2. Çatlaklar	18
2.4.3. Yanma oluşu	21
2.4.4. Yetersiz ergime	22
2.4.5. Kalıntılar	22
2.4.6. Kaynak dikişinin taşması	23

2.4.7. Eksenel kaçıklık hatası	23
2.4.8. Gözenekler	24
2.4.9. Sıçrantılar	26

BÖLÜM 3.

GAZALTI KAYNAKLARINDA METAL TRANSFER YÖNTEMLERİ VE

AKIM ÜRETEÇLERİ	27
3.1. Kısa Devreli Metal Transferi	27
3.2. İri Damlalı Metal Transferi	29
3.3. Sprey Ark Metal Transferi	29
3.4. Darbeli (Pulse) Metal Transferi	30
3.5. Akım Üreteçleri	34
3.5.1. Dinamik kaynak makineleri	34
3.5.1.1. Doğru akım jeneratörleri	35
3.5.2. Statik kaynak makineleri	35
3.5.2.1. Transformatörler	35
3.5.2.2. Redresörler (Doğrultucu)	36
3.5.2.3. Yarı iletken güç elemanları (Diyot, Tristör, Transistör)	37
3.5.2.4. İnverter kaynak makineleri	38

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deneysel Çalışmalar	43
4.2. Deneyde Kullanılan Sarf Malzemeler	44
4.2.1. S355MC ve S700MC termomekanik haddelenmiş çelikler	44
4.2.2. SG3 Kaynak teli ve koruyucu gaz	46
4.3. Numunenin Kaynak Ağzı Tasarımı	47
4.4. Kaynaklı Birleştirme İşlemi	47
4.5. Tahribatsız Testlerin Hazırlanması	48
4.6. Makroyapı ve Mikroyapı Numunelerin Hazırlanması	49

BÖLÜM 5.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

5.1. Görsel test sonuçlarının incelenmesi	50
5.2. Penetrasyon test sonuçlarının incelenmesi	51
5.3. Radyografik test sonuçlarının incelenmesi	51
5.4. Sertlik deneyi sonuçlarının incelenmesi	53
5.5. Çekme deneyi sonuçlarının incelenmesi	57
5.6. Makroyapı deneyi sonuçlarının incelenmesi	58
5.7. Mikroyapı deneyi sonuçlarının incelenmesi	59

KAYNAKLAR

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
CC	: Sabit Akım
CV	: Sabit Voltaj
DC	: Doğru Akım
EN	: Avrupa Standardı
HSLA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli (High Strength Low Alloyed)
HV	: Vickers sertlik birimi
Hz	: Hertz (Frekans birimi)
IEB	: Isıdan Etkilenen Bölge
IIW	: Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding)
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	: Metal Aktif Gaz
MC	: Haddelenmiş, Soğuk Şekillendirilebilir
MIG	: Metal Inert Gaz
SCR	: Silisyum Kontrollü Doğrultucu (Silicon Controlled Rectifier)
TIG	: Tungsten Inert Gaz
TTT	: Zaman Sıcaklık Dönüşüm (Time Temperature Transformation)
YMDA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli

SİMGELER

°C	: Santigrad Derece
l	: Kavranan uçlar
A	: Amper
a₀	: Tüpün orijinal duvar kalınlığı
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
b₀	: Tüpten alınan uzunlamasına şeridin orijinal ortalama genişliği
C	: Karbon
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
He	: Helyum
J	: Joule
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
ksi	: İnç kare başına düşen kilopounds
L₀	: Orijinal ölçü uzunluğu
L_c	: Paralel uzunluk
L_t	: Test parçasının toplam uzunluğu
L_u	: Kırılmadan sonra ölçü uzunluğu
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
O₂	: Oksijen
P	: Fosfor
R_m	: Maksimum çekme mukavemeti (MPa)

R_p	: Akma mukavemeti (MPa)
S	: Kükürt
S₀	: Paralel uzunluğun orijinal kesit alanı (mm ²)
Si	: Silisyum
Su	: Kırılmadan sonraki minimum kesit alanı (mm ²)
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum, Voltaj



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 : Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal davranışları ve uygulama alanları.	10
Tablo 3.1 : Akım türleri ve uygulama alanları.....	33
Tablo 3.2 : Geleneksel güç kaynakları ile inverter güç kaynaklarının özelliklerinin karşılaştırılması.	41
Tablo 4.1 : Malzemelerin kimyasal kompozisyonu	44
Tablo 4.2 : Karbon eşdeğer oranına göre ön ısıtma sıcaklığı.....	45
Tablo 4.3 : SG3 teli alaşım elementleri.....	47
Tablo 4.4 : SG3 kaynak teli mekanik özellikleri.....	47
Tablo 4.5 : Geleneksel akım ve darbeli akımda kullanılan parametreler.....	48
Tablo 5.1 : Geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynayan S700MC malzemenin ortalama sertlik değerleri.	55
Tablo 5.2 : Geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynayan S355MC malzemenin ortalama sertlik değerleri.	56
Tablo 5.3 : S355MC geleneksel ve darbeli akım numunelerinin çekme test sonuçları. .	58
Tablo 5.4 : S700MC geleneksel ve darbeli akım numunelerinin çekme test sonuçları. .	58
Tablo 5.5 : S355MC DC ve DC darbeli 500X mikroyapı görüntüleri.....	60
Tablo 5.6 : S700MC DC ve DC darbeli 500X mikroyapı görüntüleri.....	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Farklı gazların ve kombinasyonlarının kaynak dikişi ve nüfuziyetine etkisi . . 9	
Şekil 2.2: Robot ünitesi ve donanımları..... 14	
Şekil 2.3: 6 eksenli OTC marka robot manipülatörü. 15	
Şekil 2.4: OTC marka FD11 kontrol ünitesi. 16	
Şekil 2.5: Nüfuziyet eksikliği hatasının nedenleri ve çözümleri..... 18	
Şekil 2.6: Çatlak hatalarının yeri ve gösterimi..... 18	
Şekil 2.7: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen sıcak çatlama sebepleri ve önlemleri..... 19	
Şekil 2.8: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlakları nedenleri. 20	
Şekil 2.9: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlakları çözümleri. 21	
Şekil 2.10: Köşe ve alın kaynaklarında yanma oluşu hatası gösterimi..... 21	
Şekil 2.11: Kaynakta ergimenin yetersiz olduğu yerlerin gösterimi..... 22	
Şekil 2.12: Kaynak dikişinin taşması gösterimi..... 23	
Şekil 2.13: Eksenel kaçıklık hata gösterimi. 24	
Şekil 2.14: Kaynak banyosunda oluşan ve uygun olmaya tel gaz kombinasyonu sonucu oluşan gözenekler. 25	
Şekil 2.15: Serbest tel boyunun neden olduğu gözenekler. 25	
Şekil 2.16: Gaz debisi miktarının neden olduğu gözenekler. 25	
Şekil 2.17: Nozul çapının küçük ve tıkanmış olmasının neden olduğu gözenekler..... 26	
Şekil 2.18: Ark üflemesinin ve hava akımının neden olduğu gözenekler..... 26	
Şekil 3.1: Gazaltı kaynağında kısa ark metal iletimi..... 28	
Şekil 3.2: Kısa akım metal transfer yöntemi gerilim ve akım değerleri. 28	
Şekil 3.3: Gazaltı kaynağında iri damla metal iletimi..... 29	
Şekil 3.4: Gazaltı kaynağında sprey ark metal iletimi. 30	
Şekil 3.5: Gazaltı kaynağında darbeli ark metal iletimi. 31	
Şekil 3.6: Büzülme kuvveti etkisi ile damlaya etkiyen kuvvetler ve yönleri 32	
Şekil 3.7: Darbeli ark metal iletim yöntemiyle damlanın oluşumu ve kaynak banyosuna transferi..... 32	
Şekil 3.8: Darbeli frekansın kaynak nüfuziyetine etkisi. 33	
Şekil 3.9: Ark kaynağında kullanılan statik ve dinamik makinaların sınıflandırılması.. 34	
Şekil 3.10: Havalı tip transformatörün çalışma prensibi..... 36	
Şekil 3.11: Yapılarına göre redresörler. 37	
Şekil 3.12: Diyot, tristör ve transistör şemaları..... 38	
Şekil 3.13: Darbeli doğru akım, akım-zaman grafiği..... 40	
Şekil 3.14: Darbeli akımla yapılmış kaynak dikişi. 40	
Şekil 3.15: Geleneksel güç kaynaklarında verim..... 42	
Şekil 3.16: Inverter tip güç kaynaklarında verim..... 42	
Şekil 4.1: Kaynak test parçası boyutları..... 45	
Şekil 4.2: Metalik malzemelerin kaynaklana bilirliğini gösteren Graville diyagramı ...46	

Şekil 4.3: 90° Kaynak ağzı gösterimi.....	47
Şekil 4.7: Tahribatlı test parçalarının konumu.....	49
Şekil 5.1: Deney parçalarının görsel muayenesi.....	50
Şekil 5.2: Deney parçalarının penetrasyon muayenesi.....	51
Şekil 5.3: Deney parçalarının radyografik muayenesi.....	52
Şekil 5.4: LHV-10 model Vickers sertlik cihazı.....	53
Şekil 5.5: Vickers ölçüm yönteminin şematik gösterimi.....	54
Şekil 5.6: Numune üzerinden Vickers sertik değerlerinin alındığı bölgeler.....	54
Şekil 5.7: S700MC DC ve DC darbeli akım sertlik değerleri.....	55
Şekil 5.8: S355MC DC ve DC darbeli akım sertlik değerleri.....	56
Şekil 5.9: Çekme cihazı.....	57
Şekil 5.10: Çekme testi öncesi ve sonrası numune ölçüleri.....	57
Şekil 5.11: S355MC DC ve DC darbeli makro görüntüleri.....	59
Şekil 5.12: S700MC DC ve DC darbeli makro görüntüleri.....	59
Şekil 5.13: Presi Minitex 250 parlatma cihazı ve Nikon MA 100N mikroskop.....	59
Şekil 5.14: Zaman sıcaklık dönüşüm grafiği.....	62

ROBOTİK DOĞRU AKIM VE ROBOTİK DARBELİ DOĞRU AKIM KAYNAĞININ TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK MALZEMELERİN SERTLİK VE MİKROYAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

MIG/MAG veya gazaltı kaynak yöntemi en çok kullanılan kaynak metodu olup robot destekli olarak kullanılabilirken, yüksek kaynak hızları ve yüksek kaynak metali yığıma özelliğine sahiptir. Endüstriyel robot teknolojilerinin gelişmesiyle, kaynaklı yöntem prosesleri; robotik uygulamalar alanında hızlıca yerini almıştır. Sürekli geliştirilen yeni donanımlar ve yöntemler; daha yüksek verimli bir üretim yöntemi olma özelliğini ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte operatöre bağlı hatalarının oluşmaması yöntemin güvenilirliğini arttırmıştır.

Bu çalışmada, robotik ark kaynak uygulamalarında kullanılan inverter tip kaynak makinelerinin darbe özelliği ile geleneksel kaynak yönteminde kullanılan akım yönteminin termomekanik haddelenmiş S700MC ve S355MC çeliklerinin sertlik ve mikroyapısı üzerine etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda; her iki çelik türünün sertlik değerleri karşılaştırıldığında, geleneksel akım sertlik değerlerinin, darbeli akım sertlik değerlerine göre yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Darbeli akım ile kaynatılan çeliklerin, geleneksel akım yöntemi ile kaynatılan çeliklere kıyasla maksimum çekme ve akma mukavemetlerinin daha yüksek, tane yapılarının ise daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Darbeli akım, haddelenmiş çelik, sertlik, mikroyapı

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ROBOTIC DIRECT CURRENT AND ROBOTIC PULSE DIRECT CURRENT WELDING ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF THERMOMECHANICAL ROLLED STEEL MATERIALS

SUMMARY

MIG/MAG or Gas Metal Arc Welding method is the most widely used welding method and it can be used with robot support, while it has high welding speeds and high weld metal accumulation. With the development of Industrial Robot Technologies, welded methods processes have quickly taken place in the field of robotic applications. Constantly developing new equipment and methods bring the feature of being a more efficient production method. However, the absence of operator errors has increased the reliability of the method.

In this study, the effects of the pulse feature of the inverter type welding machines used in robotic arc welding applications and the current method used in the conventional welding method on the hardness and micro-structure of the thermo-mechanically rolled S700MC and S355MC steels were investigated.

As the result of the experimental studies; when the hardness measures of each two types of steel were compared, it was detected that conventional current hardness measure is higher than the pulse current hardness measure. The steels that welded by pulse current have the higher maximum tension strength, the yield strength measures and bigger micro-structure than the steels that welded by conventional current method.

Keywords: Pulse current, rolled steel, hardness, micro-structure

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Gazaltı kaynak yöntemleri, kaynak sektöründe en çok kullanılan ve teknolojik gelişmelerin en çok uygulandığı kaynak yöntemlerindedir [1]. Ergitme esasına dayanan bu yöntem hem tamir yöntemlerinde hem de üretim yöntemlerinde kullanılmaktadır. Yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilmesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapabilmesi, farklı donanım paketleri ile MIG/MAG veya TIG kaynak uygulamalarına adepte olabilmesi robotik kaynak proseslerinin önemli avantajlarından.

Endüstriyel robotların kaliteyi geliştirme , tekrarlanabilir nitelikte ürün çıkartma, sisteme kolay adapte edilebilmesi gibi avantajları, firmaları rekabet ortamlarında öne çıkartan unsurlardandır. Darbeli doğru akım ile yapılan gazaltı kaynak uygulamaları, robotik ark kaynak sistemlerinin bir ihtiyacı olarak geliştirilmiştir.

Çok çeşitli demir esaslı ve demir esaslı olmayan malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağı, akım taşıyan ve sürekli beslenen telin erimesi ile metallerin birleşimini sağlar. Elektrottan kaynak banyosuna metal iletimi farklı şekillerde gerçekleşir. Nispeten düşük akımlarda iri damlalar halinde olan iletim şekli akım yükseldikçe sprej halini alır. Küresel (iri damla) iletim, periyodik olarak elektrot ucunda büyük damlacıkların oluşması olarak tanımlanır. Bu damlacıklar yer çekimi etkisi ile koparak kaynak banyosuna dahil olurlar. Küresel iletim şekli; erimiş damlacıklar üzerindeki kontrol eksikliğine ve büyük damlacıkların oluşumuna bağlı ark kararsızlığı nedeniyle sorunludur.

Sprej iletim transfer yönteminde, kaynak ısı girdisinin fazla olması ve aşırı metal yığılması sebebiyle kaynak bölgesinde yüksek sertlik ve distorsiyon meydana getirir. Bu nedenlerden dolayı sprej iletim her uygulamada kullanılmamaktadır. 1960'lı yılların ortalarında küresel ve sprej iletim yöntemlerinin kaynaktaki avantajlarını birleştirecek

olan darbe yöntemi geliştirildi ve darbeli akımla MIG/MAG kaynak yöntemleri keşfedildi [1].

Kaynak için gerekli olan ısı, ergitme yöntemlerinde kaynak yapılacak olan ana malzeme ile dolgu teli arasında oluşan direnç sonucu oluşmaktadır.

Gazaltı kaynak yönteminde kullanılacak olan koruyucu gaz, aynı yöntemde kullanılacak olan kaynak telinin özelliklerine göre seçilmelidir. Ana metal, kaynak teli ve koruyucu gaz kombinasyonu; kaynak dikiş kalitesini ve nüfuzitini doğrudan etkileyen üç temel ana başlıktır. Ana metalin kimyasal bileşenleri ile uyumlu tel ve gaz seçilmesi tekrarlanabilir kalitenin elde edilmesini sağlar. Aksi halde gerek mukavemet gerekse kaynak dikişinde istenilen özellikler elde edilemez [2,3]. MIG/MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazın temel görevleri; tel ucunda oluşan damlanın transferine yardımcı olmak, ana metal ve kaynak teli alaşımlarıyla gireceği reaksiyonlar sonucu, kaynak nüfuziyetinde ve kaynak dikişinde istenilen sonuçları elde etmek, gözenek ve çatlak oluşumunu engellemektir [4].

Kaynakta kullanılan koruyucu gaz kaynak bölgesini hava akımlarından korurken aynı zamanda kaynak dikişinde curüf oluşmasını engeller.

El ile yapılan gazaltı kaynakları yerine otomasyon ve robotik kaynak yöntemlerinin tercih edilmesinin en önemli nedeni, ana malzeme ile torç arasındaki serbest tel boyunun ve torç açısının robotik ve otomasyonlu kaynak sistemlerinde sabit kalıyor olmasıdır. Aynı şekilde kaynakçının ruh haline de bağlı olarak değişen kaynak hızı, serbest tel boyu ve buna benzer birçok önemli parametre malzemeye etki edecek olan ısı girdisi, nüfuziyet gibi özellikleri değiştirmektedir. Tüm bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda, el ile yapılan gazaltı kaynak çalışmaları yerine otomasyon ve robotik kaynak uygulamaları sahada daha çok tercih edilen kaynak yöntemlerinden olmaktadır [5,6].

Darbeli doğru akımla MIG/MAG kaynağı, kaynak akımının zamana ve akışa bağlı olarak maksimum ve minimum akım değerleri arasında, metal transfer yönteminin spreyletim şeklinde olduğu, akımda ani çıkış ve inişlerin temelini oluşturduğu kaynak yöntemidir. Ani akım çıkışları nedeniyle bu kaynak yöntemine darbeli gazaltı kaynağı denilmektedir. Yöntemin çalışma prensibi ark enerjisinde meydana gelen bölünmenin bir kısmının arkın devamlılığını sağlarken diğer kısmın ise elektrotun eriyerek kaynak havuzuna geçişine katkıda bulunmaktır. Darbenin yüklendiği akım ana malzemenin eriyik kalmasına, telin

eriyerek kaynak havuzuna geçtiği kısımda ise ısı girdisine ve kaynak dikişinin oluşumuna etki etmektedir. Geleneksel akım yöntemine göre, darbeli akımla yapılan kaynaklarda fazla akım kullanılmasının gerek olmadığı durumlarda, arkı söndürmeden akımı azaltarak soğuma sağlar. Akımın azaldığı temel akım seviyesinde düşük tel besleme hızı, düşük ısı girdisine etki ederek malzemede meydana gelebilecek olan distorsiyonu minimuma indirmektedir [1,7].

Bu çalışmada aynı kalınlıkta ve aynı boyutsal özelliklerde olan 2 farklı termomekanik haddelenmiş çelik üzerinde (S355MC, S700MC) tüm kaynak parametreleri sabit tutularak, OTC marka kaynak robotu ile doğru akım (geleneksel akım) ve darbeli (pulse) doğru akım malzemenin sertlik ve mikroyapısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

1.2. Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Tarihçesi

Malzemenin servis şartlarını belirleyen en önemli özellikleri mekanik özellikleridir. Kullanılan malzemenin akma, çekme sınırları, çentik darbe dayanımı, tane yapısı gibi birçok mekanik özellikleri malzemeyi oluşturan elementlerin alaşım oranlarına bağlıdır [8].

Sektörde en çok kullanılan yapı çeliklerinin alaşım oranları, bu çeliklerin kaynaklılık özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bazı alaşımlamalar yapı çeliklerinin kaynak özelliklerini iyileştirmekte bazıları ise bu durumu bozmaktadır. Alaşım elementlerinin temeli olan karbon miktarının ana malzeme içerisinde fazla miktarda bulunması malzemenin sertliğini ve mukavemet özelliğini artırırken, işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik gibi özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [9].

Alaşım elementlerinde silisyum (Si); sertlik, mukavemet, akma noktası, sıcaklık dayanımı gibi mekanik özellikleri artırır. Uzama, darbe direnci, soğutma hızı, karbür oluşumu, aşınma direnci, işlenebilirlik özelliklerini azaltmaktadır.

Mangan (Mn); mukavemeti, sertlik, akma noktası, uzama noktasını artırır. Soğutma hızı ve işlenebilirlik gibi özelliklerini azaltmaktadır.

Krom (Cr); sertlik, mukavemet, akma noktası, sıcaklık dayanımı, karbür oluşumu, aşınma direncini, korozyon direncini artırır. Uzama, darbe direnci, soğuma hızı gibi mekanik özelliklerini azaltmaktadır.

Nikel (Ni); mukavemet, uzama, darbe direnci, sıcaklık dayanımını artırır. Sertlik, akma dayanımı, işlenebilirlik, korozyon direnci gibi mekanik özellikleri azaltmaktadır.

Niyobyum (Nb); tane inceltici ve karbür yapıcı özelliği sayesinde çeliklerin akma dayanımını ve sertliğini artırır. Kuvvetli karbür yapıcı özelliği nedeniyle karbon atomlarını bağladığı için, çeliğin sertleşebilirliğini düşürür.

Vanadyum (V); çeliklerde en bilinen etkilerinden bir tanesi, ısıtma sırasında tane büyümesini engellemesi ve tanelerin ince kalmasını sağlıyor olmasıdır. % 0,1 oranında V takviyesinin bile, ısıtma sırasında bu etkiyi ortaya çıkartabildiği görülmüştür. Bu önemli etki sadece ısıtma sırasında fayda sağlamasıyla birlikte yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerde de V elementi takviyesi yüksek sıcaklık dayanımını arttırmaktadır.

Titanyum (Ti); önemli karbür yapıcı elementlerden bir tanesi olduğu için, çeliğin sertliğini arttırmakla birlikte tıpkı niobyum gibi tane inceltici bir etki de yaratmaktadır. Ayrıca bor ile birlikte kullanılması durumunda, borun sertleşebilirlik üzerindeki olumlu etkisinin daha da kuvvetlenmesini sağlamaktadır.

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (YMDA) son yarım yüzyılda çelik türleri içerisinde en çok gelişme gösteren tür olmuştur [10].

YMDA çeliklerinin en önemli alaşım elementleri Nb, V ve kısmen Ti'dir. Bu alaşım elementlerinin tane inceltici ve sertleştirici etkisi nedeniyle en fazla % 0.15 içeren mikroalaşımlı çelikler olarak da adlandırılır.

1.3. Literatür Taraması

Termomekanik haddelenme işlemi çok sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gereken düşük haddeleme sıcaklıklarında, Nb, V ve Ti elementlerinin de eklenmesi ile elde edilen mikro alaşımlı çeliktir.

Geleneksel haddeleme yöntemlerinden farklı olarak haddeleme sıcaklığı normalize sıcaklıklarda yapılmakta, çok yüksek sıcaklıklara çıkılmamaktadır. Haddeleme işlemi östenit yapının yeniden kristalleştiği 950°C sıcaklıklarda gerçekleşir.

Östenit yapının tane boyutunun kontrol edilebilmesi için haddeleme sırasında nitrürlerin çökmesi ve mikroalaşım elementlerinin yapı içerisinde bulunması gerekir.

Haddeme yöntemi ile üretilen çelik ürünleri kullanımı geniş bir yelpazeyi kapsamakta ve her geçen gün ihtiyaç ve kullanım oranı artmaktadır.

AWS, Welding Handbook 2001 [11], ilk yüksek mukavemetli düşük alaşımlı olan HSLA (High Strength Low Alloyed) çeliklerinin, ingot döküm uygulamaları ile tam durgun dökülmüş (deokside edilmiş) ya da yarı durgun dökülmüş olarak üretildiğini, bununla beraber, bugün tam durgun dökülmüş çeliğin kullanımını gerekli kılan sürekli döküm tekniği ile üretildiğini, ancak yeni endüstrileşmekte olan bazı ülkelerde az mukavemet gerektiren uygulamalar için halen yarı durgun dökülmüş ingot döküm yöntemi kullanıldığını bildirmiştir.

Kaluç E. 1999 [12], yaptığı çalışmada HSLA çeliklerinin tipik akma mukavemetinin 289 ile 760 MPa (42 ile 110 ksi), çekme mukavemetlerinin ise 414 ile 830 MPa (60 ksi ile 120 ksi) arasında olduğunu, yüksek mukavemet ve iyi tokluk özellikleri haricinde, HSLA çeliklerinin şekillendirmeye, laminar yırtılmaya karşı dirençli olması ve çentik darbe tokluğu gibi özelliklerin kazandırılabilmesi için çok sıkı çözelti kontrolü (kükürt, fosfor ve oksijen gibi) yapılarak üretildiğini belirtmiştir.

AWS, Welding Handbook,1998 [13], ince taneli yapı çeliklerinin kaynak edilebilirlik açısından karbon içeriklerinin % 0,2 yi aşmamasını ve alaşım elementlerinin ise olabilecek en alt sınırdaki katılmasını önermiştir. İstenilen özelliklerin elde edilebilmesi için az veya sınırlı sertleşme, ince tane oluşumu, tane büyümesini önleyen nitrür ve karbonitrür zerciklerinin ayrışması ve ısıl işlemlerle optimizasyona gidilmesini önermiştir.

Kaluç 2004 [14], gerçekleştirdiği çalışmada kaynak metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin (IEB) soğuma hızının, parça kalınlığına ve metalin kaynak öncesi sıcaklığı gibi özelliklerine bağlı olduğunu bildirmiştir.

Güngör 1996 [15], yaptığı çalışmada yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında tam nüfuziyetli alın kaynağı ya da köşe kaynağı yapılırken kaynak metalinin ana malzeme ile kaynak ağzı kökünde ve birleşme yüzeylerinde düzgün olarak nüfuz etmesi gerektiğini, fazla kaynak dokusundan kaçınılması gerektiğini belirtmiştir.

French ve Bosworth [16], darbeli akımla MIG/MAG kaynağı ile geleneksel MIG/MAG kaynağı arasında bir kıyaslama yapmışlardır. Bu çalışmada darbeli akım ile kaynatılan parçanın nüfuziyet derinliğinin, geleneksel akım ile kaynatılan parçaya kıyasla daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Ueguri ve arkadaşları [17], darbeli akım kullanarak metal transfer yöntemi üzerinde yaptıkları çalışmada elektrot ucunda oluşan damlanın şekli ve boyutu üzerine etki eden kuvvetleri belirlemişlerdir. Damlaya etki eden bu kuvvetlerin; büzülme kuvveti etkisi, buhar basıncı etkisi, yüzey gerilimi etkisi, manyetik alan etkisi, damlanın ağırlığı ve elektrodinamik etkiler olduğunu bildirmişlerdir.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Beklentiler

Bu çalışmada birçok farklı sektörde kullanılan (otomotiv yan sanayi, yenilenebilir enerji, savunma sanayi vb.) termomekanik haddelenmiş çeliklerin alın birleştirme kaynaklarında kullanılan darbe akımının, malzemenin sertlik ve mikroyapısı üzerine etkisi araştırılmıştır. İlgili araştırmanın tamamlanması için OTC marka kaynak robotu ve doğru akım (DC) darbe özelliğine sahip kaynak makinesi ile 8 mm kalınlığında S355MC ve S700MC çelikler kullanılmıştır.

Çalışma neticesinde darbeli akım ve geleneksel akım kaynağının malzemelerin sertlik, çekme, makroyapı ve mikroyapı üzerindeki etkisi incelenecektir. Darbeli akımın geleneksel akım yöntemine göre sertlik üzerinde etkisinin daha az olması, çekme dayanımının ise daha yüksek olması beklenmektedir.

BÖLÜM 2. ROBOTİK KAYNAK TEKNOLOJİSİ VE KAYNAK HATALARI

2.1. Gazaltı Kaynak Yönteminin Tarihçesi

Kaynak teknolojisinin tarihçesi gerçekte bir grup insan kütesinin tarihini simgelemektedir. Birinci Dünya Savaşından sonra kaynak teknolojisinin gelişimi ve ilerlemesi üzerinde çalışmalar yapılmış ve tamir kaynaklarında kullanılmasıyla birlikte kaynaklı birleştirme işlemleri üretim metodu olarak şekillenmiş, bu konuda deneysel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Bu yöntemde ilk çalışmalar 1801 yılında Sir Humphrey Davy yüksek voltajlı devrenin uç kısımlarını bir araya getirerek arkı keşfetmiş ve ilk çalışmalarına başlamıştır. Ark terimi bu tarihten yaklaşık 20 yıl sonra kullanılmaya başlanmıştır.

Wilde elektrik ark kaynak yöntemi ile iki metali 1865 birleştirerek bu tarihte ilk elektrik ark kaynağı patentini almıştır.

Karbon elektrotlarının kullanımı DeMeritens tarafından 1881 li yıllarda pil depolama kaplarının birleştirilmesinde kullanmıştır. DeMeritens'in bu çalışmasının ardından Bernardos and Olszewski karbon elektrotların tutuşması ve yalıtımı üzerine 1887'de patent almıştır.

İlk metal çubuğu keşfedip örtülü elektrot haline Slavianoff ve Coffin getirmiştir. Cleveland Ohiodaki Lincoln Electric TDT 1902'de elektrik motoru geliştirilmiş ve kaynak ile ilgili deneysel çalışmalarına başlamıştır.

1912 de ilk kaynak makinesi Lincoln Electric tarafından üretilmiştir.

İlk koruyucu gaz olarak metanol gazı kullanım fikri 1926 yılında ortaya çıkmış ve bu yöntem "Alexander" yöntemi olarak adlandırmıştır. Yine aynı yıl içerisinde Weinmann ve Langmuir hidrojeni koruyucu gaz olarak kullanarak "ark atom" kaynak yöntemini uygulamıştır. Koruyucu gaz altında kaynak yapılması fikri bu çalışmalarla başlayarak takip eden yıllarda "Arcogen" yani oksijen asetilen alevi ile korunan yöntem geliştirilmiş ve

halen günümüzde kullanılmaktadır. Takip eden yıllarda yapılan çalışmalarda soyazlardan argon ve helyum, karbondioksit ile belirli bir karışım oranında aktif olarak kullanılmaya başlamıştır [18,19].

Soygazları koruyucu gaz olarak kullanım patentini Hobart ve Devers 1930'da almıştır ve helyum gazı 1940 yılında "Norttop Aircraft Company Inc." uçak şirketi tarafından magnezyum ve magnezyum alaşım kaynağında kullanılmıştır. Argon ve helyum gaz karışımı ise 1942 yılında "Linde Air Products Company Union Carbide and Carbon Corporation" şirketi tarafından hafif metal ve hafif metal alaşımları kaynağında kullanılmıştır. Karbondioksit gazının aktif gaz olarak helyum ve argon yerine kullanımının ilk çalışmaları 1952 li yıllarda başlamıştır [19].

MIG/MAG kaynak yönteminin ilk uygulamaları soygaz koruması altında küçük çaplı alüminyum tel elektrotlar ile gerçekleştirilmiştir. Soygaz kullanıldığı için yöntem adı "Metal Inert Gas" ifadesinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Günümüzde halen sık kullanılan kaynak yöntemlerindedir.

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağının gelişimi 1970 li yıllarda başlamıştır. Bu zaman diliminde ilk tristör güç kaynaklarının darbeli akımla gazaltı kaynağı birleştirilmesi gerçekleşmiş olup, darbe frekansı ve tel besleme hızı arasındaki ilişkinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamıştır.

Yeni geliştirilen yüksek hızlı elektronik kontrollere ile "Sinerjik" kelimesi kaynak dünyasının içine girmiştir. Yani tek buton ya da tuş kullanımı ile kontrol edilebilen kaynak anlamına gelmektedir.

Kaynakçının el yeteneğine, ruh haline, çalışma kapasitesine, malzemenin boyutlarına bağlı olarak değişen tel besleme hızı, önceden belirlenen darbeli enerji otomatik olarak arka uygulanır. Darbeli akım ile sinerjik güç kaynakları, gazaltı kaynak uygulamalarını daha kolay hale getirmiştir .

Tüm bu gelişim süreçleri teknoloji ile birlikte otomasyonlu ve robotlu kaynak yöntemlerinin ortaya çıkmasına ve bu yöntemlerin gelişmesine yol açmıştır [20].

2.1.1. MIG/MAG yönteminde kullanılan koruyucu gazlar

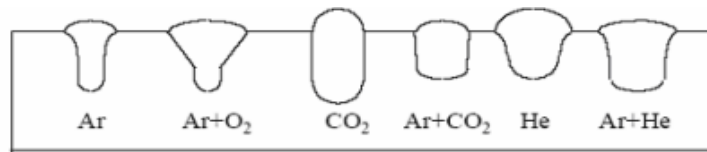
Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar; aktif gaz, asal gaz ve karışım gaz olmak üzere üç gruba ayrılır. Alüminyum, bakır, bakır-nikel, magnezyum gibi malzemelerin kaynağında argon-helyum gazları veya karışımları kullanılırken, demir alaşımlı malzemelerin kaynağında saf karbondioksit, argon-karbondioksit veya argon-oksijen-karbondioksit karışım gazları kullanılmaktadır.

Azot, oksijen, su buharı, hava sirkülasyonu gibi olumsuzluklardan kaynak havuzunun etkilenmemesi ve kirlenmemesi gerekmektedir. Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazların sahip olmasını beklediğimiz temel özellikler şunlardır [7].

1. Kaynak havuzunu kaynak yapılan bölgede bulunan hava sirkülasyonundan korumalı.
2. Azot, oksijen gibi kirliliğe neden olacak zararlı gazların kaynak havuzuna girmesini engellemeli.
3. Ana malzeme ve kaynak telinde bulunan alaşım elementleri ile bileşik oluşturarak kaynak bölgesinde istenilen mekanik özelliklerin sağlanmasına yardımcı olmalı.

MAG kaynak gazı seçiminde kaynatılan malzeme ve alaşım elementleri oranı, damla geçiş biçimi, kaynağın hızı, malzemenin kalınlığı, gazın tedarik edilebilirliği gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Koruyucu gazın kullanımı ile arkın gelişmesi, daha derin nüfuziyet elde edilmesinde ve arkın kolay tutuşmasında avantaj sağlamaktadır.

Kullanılan koruyucu gaz tüplerinin zarar görmüş olması, gevşemiş gaz bağlantı aparatları gazın kalitesini etkilemektedir. Bunun sonucu olarak meydana gelen kaynak hatalarının tamir işlemlerinin zor ve maliyetli olmasına, işlem tamamlanma süresinin uzamasına, yetersiz nüfuziyet gibi dezavantajların meydana gelmesine sebep olur. Şekil 2.1'de kaynakta kullanılan gazların ve kombinasyonlarının kaynak dikişi ve nüfuziyetine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Farklı gazların ve kombinasyonlarının kaynak dikişi ve nüfuziyetine etkisi [21].

Kaynak havuzunu olumsuz etkileyen sorunlardan kaçınmak için temelde kullanılan koruyucu gazlar argon, helyum ve karbondioksit olmasıyla birlikte bazı uygulamalarda çok az miktarda oksijen, hidrojen ve azot gazının kaynak havuzuna faydası olmaktadır. soygazlar haricinde kullanılan gazlar, kaynakta oksitlenme etkisi yaratacağından bu sorunu aşmak için özel kaynak dolgu malzemeleri üretilmektedir. Temel olarak kullanılan koruyucu gaz olan argon, helyum ve karbondioksit kaynak uygulamalarında tek başına kullanılabilen, kendi aralarında veya diğer gazlarla belirli oranlarda karıştırılarak kaynak uygulamalarında kullanılmaktadır [7].

Çalışmada kullanılan darbeli akımla kaynak yönteminde sprej ark yöntemi için uygun tel ve gaz kombinasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 2.1’de gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların kimyasal davranışları ve uygulama alanları gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal davranışları ve uygulama alanları [22].

Koruyucu Gaz	Gazın Kimyasal Davranışı	Koruyucu Gaz Kullanım Alanı
Ar	Soy	Çelikler dışında kalan tüm metal ve alaşımlarının kaynak uygulamalarında
He	Soy	Al ve Cu alaşımlarında gözenek oluşumunu azaltmak ve yüksek sıcaklık isteyen uygulamalarda
CO₂	Oksitleyici	Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynak uygulamalarında
N	Redükleyici	Bakır kaynaklarında güçlü ark isteyen uygulamalarda
Ar + He % 20-80 / % 50-50	Soy	Sakin ve kontrollü ark istenilen kaynaklarda, Al ve Cu alaşımlarında, yüksek sıcaklık gözenek hatası istenmeyen uygulamalarda
Ar + % 25-30N	Redükleyici	Bakır kaynağının yumuşak ve kontrollü ark isteyen uygulamalarında
Ar + % 3-5 O₂	Oksitleyici	Paslanmaz ve karbonlu çelik kaynaklarında yüksek oranda deokside edilmiş tel elektrot ile olan uygulamalarda
Ar + % 20-30 CO₂	Oksitleyici	Çeşitli çeliklerin kaynağında kısa ark ile olan uygulamalarda
Ar + % 5 O₂ + % 15 CO₂	Oksitleyici	Deokside edilmiş tel elektrot ile çeşitli çeliklerin kaynak uygulamalarında

2.1.2. MIG/MAG yönteminde kullanılan kaynak telleri

Tüm kaynak yöntemlerinde kullanılacak olan kaynak telleri kaynak bölgesinden beklenen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamakla birlikte, kullanılan koruyucu gaz ile de kombinasyonlu olmalıdır. Bu noktada ergiyen elektrot/tel yöntemi ile yapılan birleştirme işlemlerinde kaynak telini seçmek önemli parametrelerden biridir.

Seçilecek olan kaynak telinin akma ve çekme mukavemet değerleri, ana malzemenin akma ve çekme mukavemetlerine eşit veya büyük olması gerekmektedir. Kaynak bölgesinin ana malzemededen daha sağlam olması gerekmektedir. Bununla birlikte kaynak sonrası IEB’de meydana gelecek sertleşmenin tespit edilebilmesi için ana malzemenin kimyasal özelliklerinin de bilinmesi gerekir.

Çeliklerin MAG yöntemi ile birleştirme işlemlerinde kullanılan koruyucu teller alaşımlı, alaşımsız teller ve özlü teller olmak üzere üç şekilde gruplandırılabilir.

2.1.3. MIG/MAG yöntemi avantaj ve dezavantajları

Modern kaynak teknolojilerinden robotlu kaynak sistemlerin temel amacı tehlikeli ve tekrarlı işlerde kullanmaktır. Eksenleri yardımı ile yazılmış komutları tekrar edebilir ve çoğu zaman insan performansının üzerinde ürün çıkarabilirler.

Robotik MIG/MAG Yöntemi Avantajları:

1. İnsan gücünü zorlayan ağır ve büyük parçaların kaynak uygulamalarında kolaylıkla çalışabilir.
2. Ağır ve tehlikeli koşullar altında insan sağlığı için elverişsiz olan saha şartlarında kolaylıkla çalışabildikleri için iş yeri güvenliğini artırır.
3. Tekrarlanabilir hareket kabiliyeti ile yüksek hassasiyet özellikleri sayesinde kaynaklanan ürünlerin kalite standartlarını korumaktadır.
4. Hurda miktarını minimum seviyeye düşürerek üretim maliyetini azaltır ve hammadde israfını engeller.
5. Yeni projelerde veya sisteme yeni eklenecek kaynaklı parçalara yeniden programlama özellikleri sayesinde kolayca entegre olabilir.
6. Kaynakçıların aksine sıkıcı, yorucu olan iş parçalarında üretim verimliliğini ve ürün kalitesini düşürmeden sürekli ve hızlı bir şekilde çalışarak daha fazla üretim yapabilir.
7. Uzaktan erişim özellikleri ile parçaya özel kaynak parametresi oluşturma ve kaydedebilme, farklı özelliklere sahip sensörler ve pozisyonerler ile haberleşme, birlikte çalışma gibi özelliklere sahiptir.
8. İşyeri güvenliği, sağlık, eğitim, sigorta vb. giderlerin azaltılmasıyla birlikte ucuz işgücü sağlar [23].

Robotik MIG/MAG Yöntemi Dezavantajları:

1. Geri bildirim, kaynakçıya göre az olduğu için hata oluşması durumunda hatanın fark edilmesi zaman alabilir.
2. Tekrarlanan işlerde parametre hatası var ise hata tespit edilene kadar sürekli yanlış üretim yapmaya devam eder.
3. Yanlış yazılan programlardaki yörünge ya da parametre ayarları fikstür, kaynatılacak parça, robot eksenleri ve en önemlisi insanlar için tehlikeli olabilir.
4. Çok fazla teknik donanımlara sahiptir.
5. Yıllık bakım maliyetleri fazla ve yedek parçaları pahalıdır [23].

2.2. Endüstriyel Robotların Genel Özellikleri

İlerleyen ve sürekli gelişmekte olan teknolojiye ayak uydurmak, kalite ve üretim verimliliğini sağlamak adına kullanılan robotlar yardımı ile işçilik ve malzeme giderleri azaltmaktadır.

Endüstriyel sanayi robotlar üretimde meydana gelen hataları azaltmak, tekrarlanabilir kalitede ürün üretilmesi, aralıksız üretim yapabilmesi, iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlikeli ve zorlu olan üretim proseslerinde insan gücü yerine kullanmak, üretim maliyetlerini düşürmek, tanımlı ya da tanımsız olan riskleri bertaraf etmek amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir [24].

Robotlar, imalat sektörlerinin vazgeçilmez makinaları haline gelmiştir.

Robotik ve otomasyonlu kaynak uygulamalarının tasarlanması ve geliştirilmesine ek olarak ilave edilecek nedenler arasında ürünleri hatasız üretmek, insan sağlığına olumsuz etki eden kaynak sırasında meydana gelen zararlı ışık ve ısıdan korunmak, kaynak operatörünün ruh haline bağlı olarak değişen kaynak kalitesini belirleyen özelliklerin değişmesini engellemek, işçilik maliyetini azaltmakta eklenmelidir. İşçilik maliyetlerinin azalması ve ham madde giderlerinin düşmesine yardımcı olarak kullanıcı firmalar arasında rekabeti arttırmaktadır [25].

Endüstriyel robotlar üç veya daha fazla kontrol edilebilen eksene sahip, tekrarlanabilir, yeniden programlanabilen, boya, taşıma, kaynak gibi endüstride bir çok sektörde kullanılan, farklı donanımlarla haberleşebilen hareketli sistemlerdir [26].

Başta otomotiv ve otomotiv yan sanayi olmak üzere yüksek dayanıklılık, yüksek hız, yüksek hassasiyet, kaynak, boyama, taşıma, montaj ve ürün denetimi gibi birçok sektörde üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan verimlilik, tekrarlanabilir kalite ihtiyaçlarını, robotlar ve operatörler arasındaki uyum ve iş birliğine dayalı çalışma ortamlarında sağlamakta ve üretimin tüm aşamalarının gelişmesinde de büyük katma değer sağlamaktadır.

Endüstriyel robot kullanımları insanların yaptığı işi durmaksızın yapabildiği için 7/24 sistem çalışmasına olanak sağlar ve böylelikle operatörlerden daha hızlı ve daha çok sayıda ürün çıkışı yapabilmektedir. Bu durum da kullanıcıları rekabet ortamında öne çıkaran önemli bir unsur haline getirir [27].

Endüstriyel Robotların temel kullanım alanlarının belli başlı olanları şu şekilde sıralanabilir:

1. Ürün taşıma, paletleme, seçme, yerleştirme uygulamalarında,
2. Montaj ve demontaj uygulamalarında,
3. Ark kaynak ve direnç kaynak uygulamalarında,
4. Boyama uygulamalarında,
5. Dövme, döküm vb. parçaların taşlama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Üretim tekniklerinde endüstriyel robotların kullanım oranı karşılaştırıldığında en az kullanımın boya proseslerinde olduğu bilinirken en fazla kullanım alanlarını ise taşıma ve kaynak robotlarının oluşturduğu bilinmektedir.

2.3. Endüstriyel Robotların Kaynak Donanımları

Endüstriyel kaynak donanımları oluşturan ana ekipmanlar ve aparatlar Şekil 2.2’de gösterildiği gibi şunlardır:

1. Robot kolu
2. Kaynak akım üretici
3. Encoder haberleşme ünitesi
4. Kontrolör (Controller)
5. Trafo
6. Kaynak torcu
7. Torç kablosu

8. Torç tutucu ve şok sensör
9. Tel sürme ünitesi
10. Tel sepeti taşıma aparatı
11. Torç temizleme ünitesi
12. Torç temizleme ünitesi taşıma sehpası
13. Robot bazası
14. Robot kumanda ünitesi
15. Kablo grubu



Şekil 2.2: Robot ünitesi ve donanımları [28].

Ark kaynağı robot sistemleri şu dört ana kısımdan oluşur.

1. Manipülâtör
2. Kontrol Ünitesi
3. Kaynak Ekipmanları
4. Pozisyonerler ve Slider'lar (Kaydırıcılar)

2.3.1. Manipülâtör

Kaynak işlemini gerçekleştiren, imallatta genellikle robot diye adlandırılan hareketleri sağlayan mekanizmadır. Manipülâtör, kaynak işlenmlerinde en çok kullanılan ve en yaygın olarak 6 eksenli yapıda olup, asıl öğretici tarafından programlanan ve robot kontrolörü tarafından kontrol edilen hareketler yardımıyla 6. eksende bulunan kaynak torcunu kontrol ederek kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Şekil 2.3'te 6 eksenli robot manipülâtörü gösterilmiştir.

İhtiyaç halinde dokunma sensörü (Touch Sensor) veya ark sensörü (Arc Sensor) sisteme ilave edilebilir. Dokunma sensörü kaynak başlangıç noktasını tayin ederken, ark sensörü ise kaynak çizgisini takip ederek parçada üretim esnasında meydana gelebilecek sapmaları düzeltmektedir.



Şekil 2.3: 6 eksenli OTC marka robot manipülatörü [29].

2.3.2. Kontrol ünitesi

Robot kullanıcısı, robot kumandası (Teach Pendant) yardımı ile robotun izlemesi gereken yörünge ve referans noktaları bu yörünge ve noktalar üzerinde yazılmış olan kaynak parametrelerini, programda oluşturduğu şekilde tanımlar ve bu tanımladığı değerlere göre kontrol ünitesi robotun izlemesi gereken yörüngeyi ve ayarlanacak kaynak parametre değerlerini öğrenmiş olur. Öğrenilmiş bu değerler geri besleme sinyalleri yardımı ile robot eksenlerine iletilir ve gerekli olan robot dönme açısı, robot hızı gibi değerler kontrol ünitesi tarafından belirlenir. Şekil 2.4'te 6 eksenli robotu kontrol eden ünite gösterilmiştir.

Kontrol ünitesi altı eksenli kontrol etmekle birlikte, sisteme entegre edilmiş pozisyoner, slider (kaydırıcı), gantry (kartezyen sistem), pozisyoner veya ikinci bir robotu da harici eksen kartı yardımı ile kontrol edebilmektedir.



Şekil 2.4: OTC marka FD11 kontrol ünitesi [30].

2.3.3. Kaynak makinesi

Kaynak bölgesinde arkın sabit bir şekilde yanması kaynak dikişinin kalitesini belirler. Kaynak makineleri statik ve dinamik karakter özellikleri gösterir. Bu statik ve dinamik karakteristik durumlar kaynak makinesinin ark tutuşma kabiliyeti, arkın kararlılığı, sıçrama miktarı gibi özelliklerini belirler. Ayrıca kaynak esnasında akım şiddetini sabit tutmak, ark boyunu sabit tutmak, arkta meydana gelen metal geçiş geometrisine etki etmek, şebeke gerilimini sınırlandırılmış olan boşta çalışma gerilimine çevirmek statik ve dinamik karakteristiğin başlıca görevlerindedir.

Kaynak makinelerinin statik ve dinamik davranışları kaynak kalitesini etkilemektedir. Akımın ve gerilimin sabit olduğu durumlarda yani makinenin statik durumda çalışması durumunda oluşmamaktadır. Dinamik çalışma durumunda yani arkın süreksiz olduğu noktalarda meydana gelen kaynak hatalarını engellemek için arkın süreksiz olduğu bu noktaların süresini kısaltmak gerekmektedir. Sürekli kendini geliştiren kaynak teknolojileri ile birlikte kaynak makinelerinin dinamik davranışından kaynaklanan bu hataları engellemek mümkün hale gelmiştir.

2.3.4. Pozisyoner ve slider

Pozisyoner ve sliderlar (kaydırıcılar) robot kontrol ünitesi tarafından robot ile eş zamanlı çalışacak şekilde kontrol edilen kaynak ve montaj uygulamalarında sıkça kullanılan

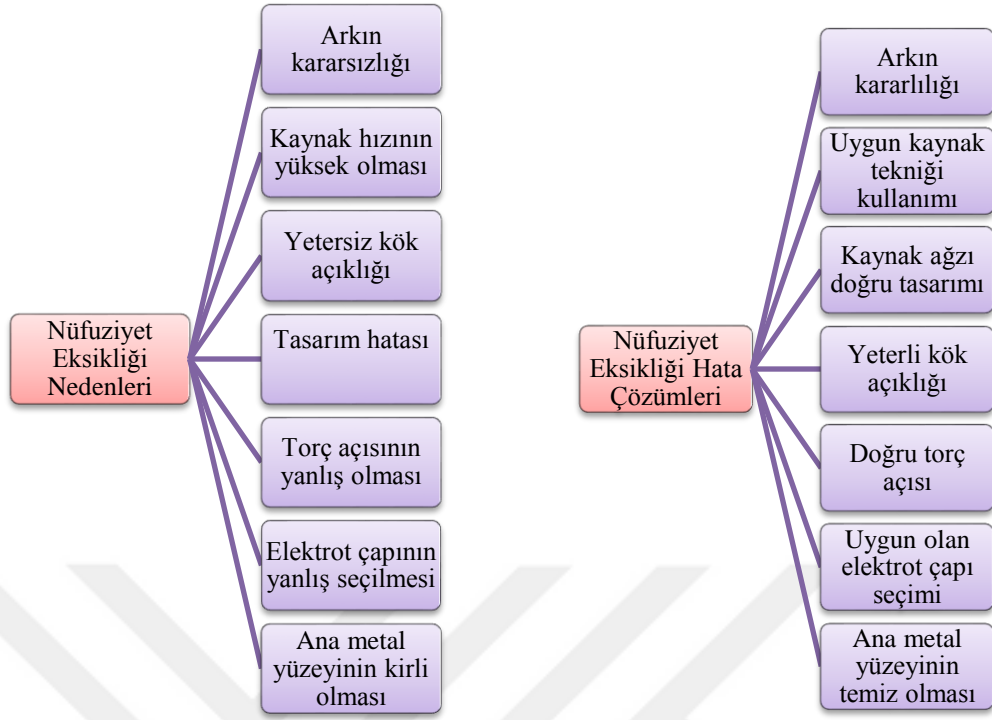
ekipmanlardır. Pozisyoner, dönme hareketi ile kaynağı yapılacak olan parçayı robot için en uygun duruma getirir. Erişim zorluğu olan noktalarda veya kompleks bileşenli iş parçalarına olan hareket imkânının artmasına yardımcı olur. Sliderlar (kaydırıcılar) ise üzerine sabitlenmiş robotun aksenel hareketleri ile ulaşmakta zorlanacağı hareketlere ilave eksen imkanı tanırken robotun çalışma uzayını arttırır.

2.4. Kaynak Hataları

Kaynak hataları bilinen nedenlerden dolayı ortaya çıkabildiği gibi, karmaşık ve görülemeyen nedelerden dolayı da oluşabilir. Bu hatalar bir ya da birden fazla sebebin birleşmesi ile meydana geliyor olabilir. Bu nedenlerden dolayı kaynak hataları ayrı ayrı incelenip, her kaynak yöntemi için ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

2.4.1. Nüfuziyet eksikliği

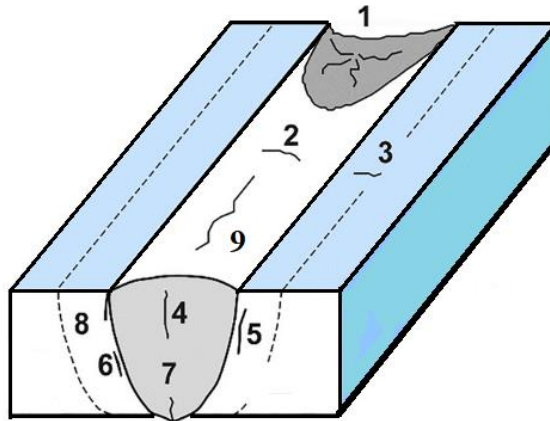
Nüfuziyet eksikliğinde en büyük etken temelde kaynak akımının düşük olmasıdır. Akımın düşük olması nedeniyle ergimeyen kısımlar dinamik yük altında çalışan malzemede kırılmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte torç açısının uygun olmaması, kaynak hızının yüksek olması, tel çapının kaynatılacak malzemeye göre seçilmemiş olması, kök pasonun hatalı atılmış olması gibi nedenler hatanın bir diğer nedenlerindedir. Şekil 2.5'te nüfuziyet eksikliği hatasının nedenleri ve çözümleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Nüfuziyet eksikliği hatasının nedenleri ve çözümleri[31].

2.4.2. Çatlaklar

Çatlak hataları diğer hata türlerine göre en tehlikeli olan hata türüdür. Çatlak hatası ergime sırasında kaynak bölgesinde, ITAB'da ya da ana malzemede meydana gelebilir. Şekil 2.6'da ana malzeme, kaynak bölgesi ve ITAB de meydana gelen çatlak şekilleri gösterilmiştir.

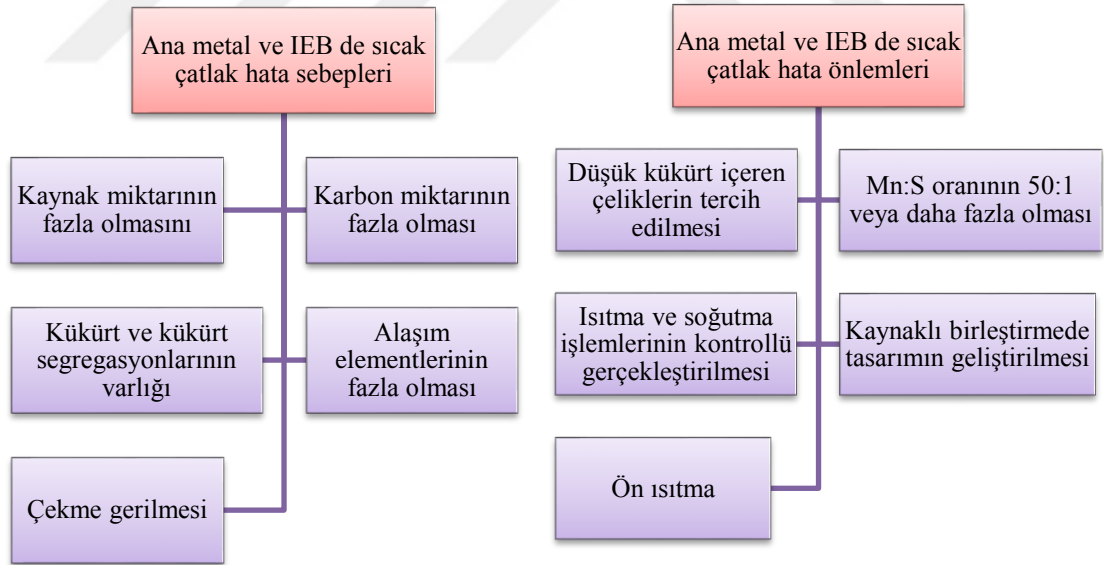


Şekil 2.6: Çatlak hatalarının yeri ve gösterimi [31].

Şekil 2.6'da gösterilen çatlak hatalarının tanımlamaları şunlardır:

1. Kaynak başlangıç ve bitişlerinde oluşan krater çatlakları.
2. Kaynakta meydana gelen enine çatlak hatası.
3. Ana metalde meydana gelen enine çatlak hatası.
4. Kaynak metalinde meydana gelen boyuna çatlak hatası.
5. Ana metalde meydana gelen boyuna çatlak hatası.
6. Ergime hattı boyunca oluşan çatlak hatası.
7. Kaynak metalinde oluşan kök çatlak hatası.
8. Ana metal ayak ucu çatlak hatası.
9. Kaynak metalinde meydana gelen boyuna çatlak hatası [31].

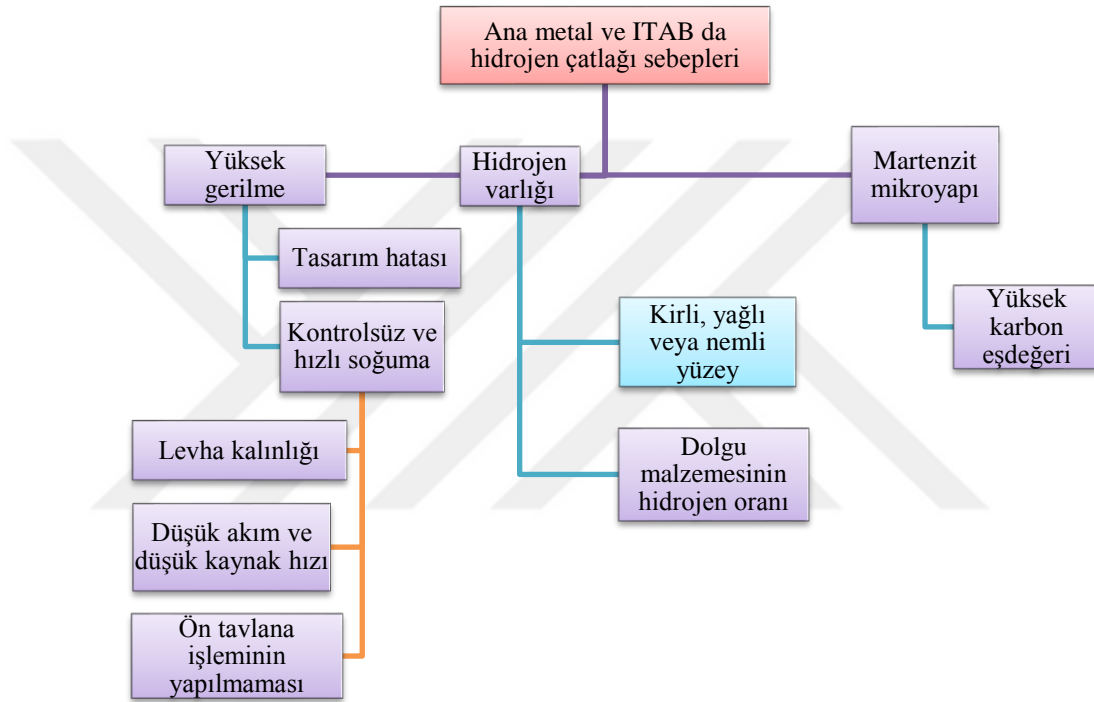
Sıcak çatlaklar, katılma sıcaklığı aralığında oluşurlar. Nedeni katı taneler arasında düşük sıcaklıkta eriyen maddelerin bir araya gelmesi ve bu maddelerin çekme gerilmelerine dayanamayıp ayrılmasıdır. Bu çatlak türü tane sınırları boyunca uzanır. Sıcak çatlaklar daha çok tane sınırları boyunca uzanır. Şekil 2.7’de ana malzeme ve ITAB da meydana gelen sıcak çatlama sebepleri ve önlemleri gösterilmiştir.



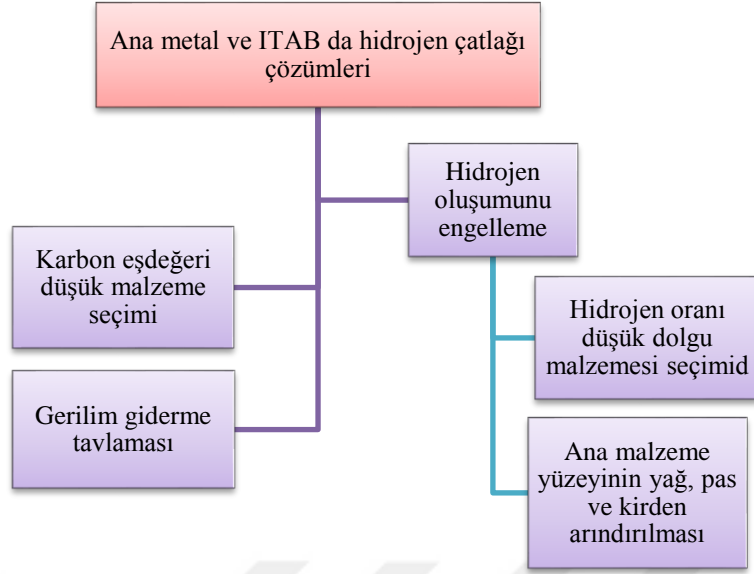
Şekil 2.7: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen sıcak çatlama sebepleri ve önlemleri [31].

Soğuk çatlaklar diğer bir söylemle hidrojen çatlakları yüksek mukavemetli çeliklerde ve genellikle ITAB’da gözlemlenmektedir. Malzemedeki gevrek yapı, yüksek gerilmeler, hidrojen miktarı soğuk çatlak oluşumunun başlıca nedenlerindedir. Hidrojen atomu

sıcaklığın artmasıyla birlikte ark bölgesinde çözülmekte ve kaynak metalinin katılaşması sırasında bölgeden kaçamamasından dolayı özellikle ITAB’da kalıntı şeklinde birikmektedir. Hidrojen atomu elektrottan, kaynak tozundan, özlü tel kullanılıyor ise telin örtüsünden veya özünden, ana malzemenin nemli olmasından, atmosferden korunamayan kaynak banyosundan oluşmaktadır. Şekil 2.8’de ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlakları nedenleri Şekil 2.9’da ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlakları çözümleri gösterilmiştir.



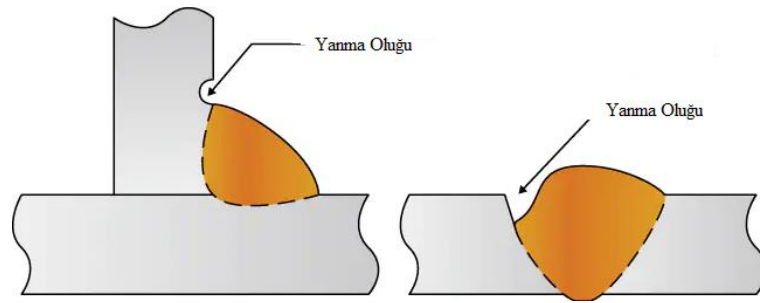
Şekil 2.8: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlakları nedenleri [31].



Şekil 2.9: Ana malzeme ve ITAB da meydana gelen hidrojen çatlağı çözümleri [31].

2.4.3. Yanma oluşu

Kaynak sonrasında esas malzemede ve kaynak dikişinin kenarında oluk veya çentik şeklinde meydana gelir. Meydana gelen bu çentik veya oluklar kaynaklı bağlantının mukavemet özelliklerine önemli derecede etki eder, yüzeyde çentik oluşturarak gerilme şiddetini artırır. Malzemenin servis alanı dinamik yükler ve yüksek sıcaklıklarda ise bu durum büyük tehlike oluşturur. Şekil 2.10'da köşe ve aln kaynaklarında yanma oluşu hatası göstermiştir.



Şekil 2.10: Köşe ve aln kaynaklarında yanma oluşu hatası gösterimi [31].

Yanma oluşu hatasının oluşma belirtileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Akım şiddetinin yüksek seçilmesi.
2. Kaynak hızının yüksek olması.

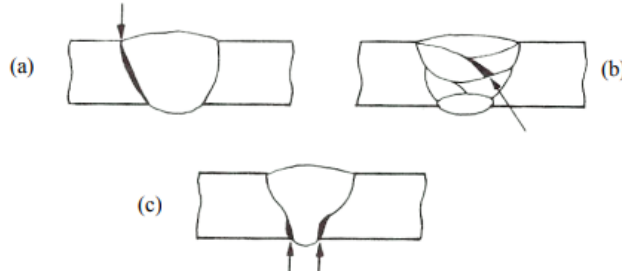
3. Elektrot, kaynak çubuğu veya robotun fazla zig zag hareketler yapması.

Yanma oluşu hatasını gidermek için alınacak önlemler ise şunlardır:

1. Kaynak akımı düşürmek
2. Kullanılan elektrot çapından mümkün olduğunca küçük olanı tercih etmek
3. Kaynak hızını azaltmak
4. Torcun sağa ve sola olan zig zag hareketlerinin fazlasından kaçınmak
5. Torç açısını değiştirmek

2.4.4. Yetersiz ergime

Kaynak metali ile ana malzemenin birleşen yüzeyleri arasında ya da pasolar arasında kaynak metalinin karışmaması ile meydana gelen hata türüdür. Kaynakta ergimenin yetersiz olduğu yerler Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Kaynakta ergimenin yetersiz olduğu yerlerin gösterimi [32].

1. Ana metal ile kaynak metali arasında yetersiz ergime
2. Pasolar arası yetersiz ergime
3. Ana malzeme ile kök pasosundaki yetersiz ergime

Kaynak yönteminin yanlış seçilmesi, kaynak ön hazırlığının yanlış yapılması, kaynaklı bağlantının tasarım hatası, cüruf, oksit gibi metal olmayan yabancı maddelerin kaynak bölgesinde bulunması yetersiz ergime hatasının oluşma nedenlerindedir.

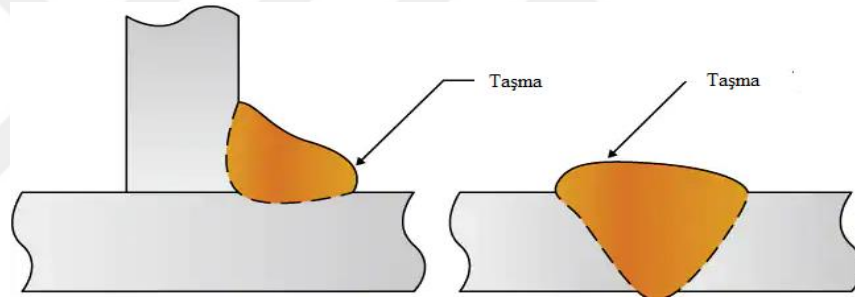
2.4.5. Kalıntılar

Kaynak metali içerisinde kalmış istenmeyen yabancı maddelerin bulunması ile oluşan hata türüdür. Kalıntı hataları kaynak metalinde çatlak oluşumuna neden olabilir. Kalıntı hatasının oluşma belirtileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Çok pasolu kaynaklarda kaynak yüzeyinin cüruftan tam olarak temizlenmemesi.
2. Kaynak ağızlarının tam olarak temizlenmemesi.
3. Nozul ağzının, kaynak yapılacak metal yüzeyinin ve kaynak ağzının temiz olmaması.
4. Kalın çaplı elektrot kullanılması.

2.4.6. Kaynak dikişinin taşması

Kaynak metalinin ana malzeme üzerine taşması durumudur. Genellikle köşe kaynaklarında meydana gelen bu hata türü kaynağın fazla kabarık görünmesi ile kendini belli eder. Dinamik zorlamalara maruz kalan malzemelerde çentik etkisi oluşturacağı için oldukça riskli bir kaynak kusurudur. Kaynak dikişinin taşma gösterimi Şekil 2.12’te belirtilmiştir.



Şekil 2.12: Kaynak dikişinin taşması gösterimi [33].

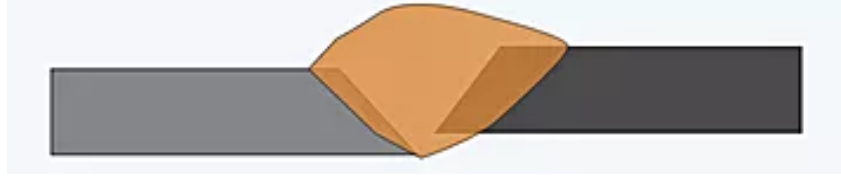
Torç açısının hatalı olması, kalın çaplı elektrot kullanılması, akım şiddetinin yüksek olması, ark boyunun uzun olması taşma hatasını oluşturan nedenlerdendir.

Taşma hatası taşlama işlemi ile giderilebilir fakat bunu gerçekleştirirken kaynak dikişi veya ana malzeme üzerinde iz bırakmamaya dikkat etmek gerekmektedir. Taşmanın önlenmesi için doğru akımda kısa ark boyu ile çalışmak gerekir.

2.4.7. Eksenel kaçıklık hatası

Birleştirilecek levhalar aynı eksenel doğrultuda olmadığı durumlarda meydana gelen hata tipidir. Yanlış ön birleştirme sonucu meydana gelir. Dinamik yükler altında çalışacak olan malzemeler için büyük risk oluşturmaktadır. Ön birleştirme işlemi birleşen malzemelerin

eksenleri aynı hizada olacak şekilde puntalanmalı ya da bu kusuru ortadan kaldıracak ön birleştirme fiyktürleri kullanılmalıdır. Eksenel kaçıklık hatası Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

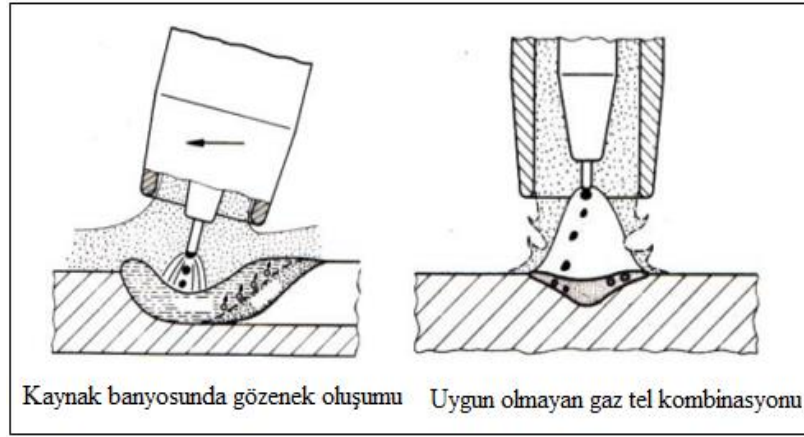


Şekil 2.13: Eksenel kaçıklık hata gösterimi [34].

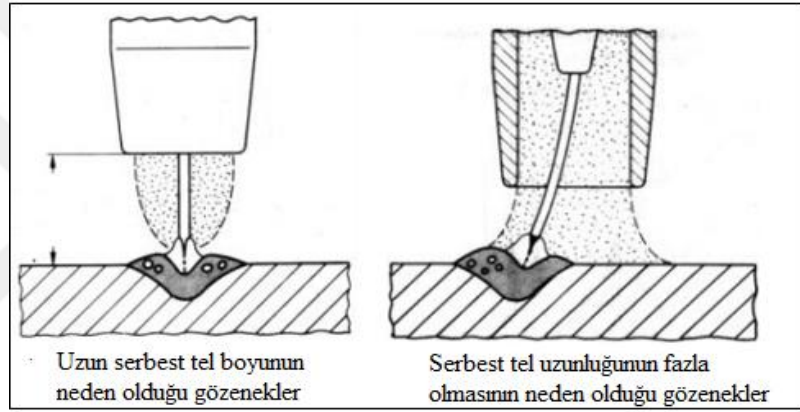
2.4.8. Gözenekler

Kaynak metalinin katılaşması sırasında içeride bulunan gazların dışarı çıkamaması sonucu oluşan gaz boşluklarıdır. Şekil 2.14'te kaynak banyosunda oluşan ve uygun olmayan tel gaz kombinasyonu sonucu oluşan gözenekler, Şekil 2.15'de serbest tel boyunun neden olduğu gözenekler, Şekil 2.16'da gaz debisi miktarının neden olduğu gözenekler, Şekil 2.17'de nozul çapının küçük ve tıkanmış olmasının neden olduğu gözenekler, Şekil 2.18'de ark üflemesinin ve hava akımının neden olduğu gözenekler gösterilmiştir. Gözenek hatasının oluşma belirtileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

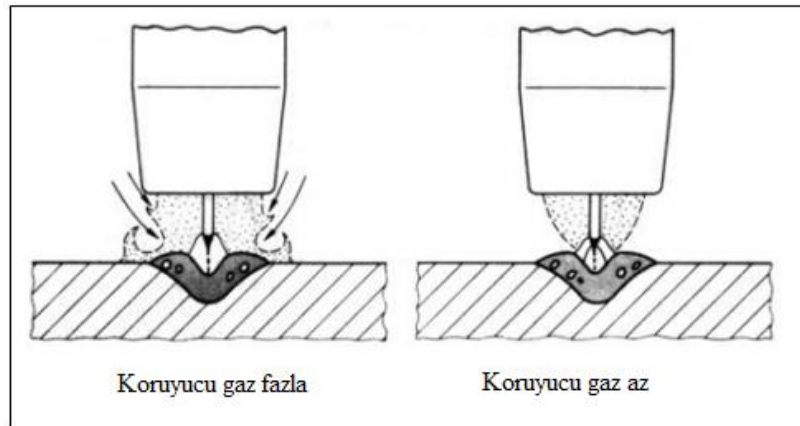
1. Uygun olmayan gaz-tel kullanımı.
2. Ark üflemesi.
3. Kaynak ortamında bulunan hava sirkülasyonu.
4. Serbest tel boyu mesafesi.
5. Torç açısı.
6. Yüksek veya düşük gaz debisi.
7. Nozul ağzında birikmiş cürufklar.
8. Kaynak elektrotunun nemli olması.
9. Kaynak ağzı var ise temiz olmaması.
10. Düşük akım şiddetinin kullanılması.
11. Su kaçağı olan torç kullanılması.
12. Nem içeren koruma gazı kullanılması.
13. Ana malzemenin nemli, boyalı, paslı, kirli olması.



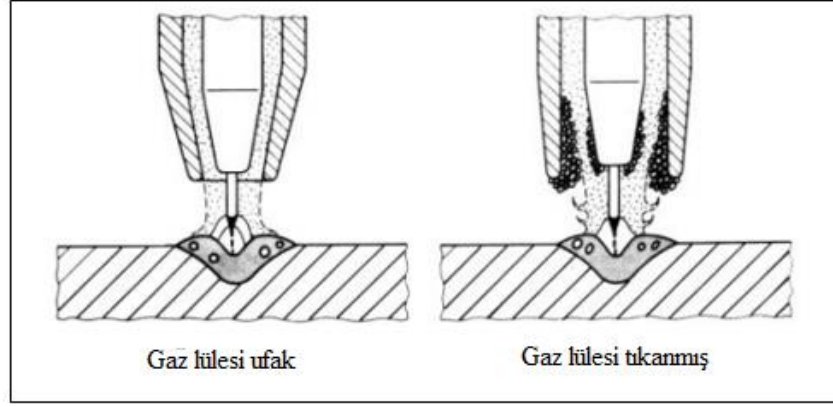
Şekil 2.14: Kaynak banyosunda oluşan ve uygun olmaya tel gaz kombinasyonu sonucu oluşan gözenekler [35].



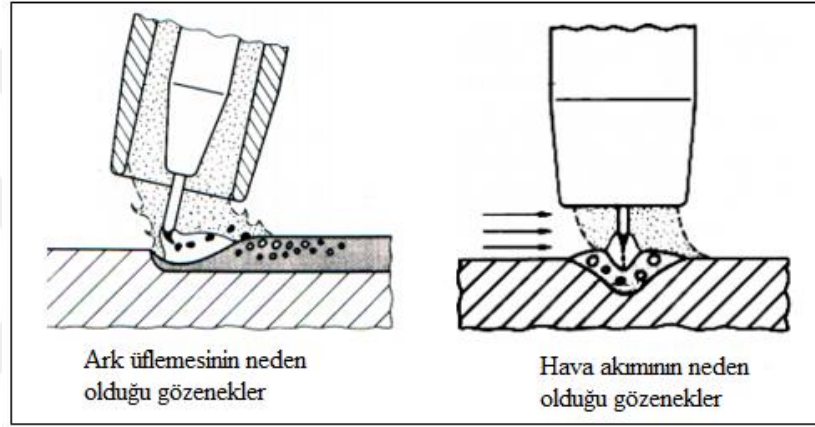
Şekil 2.15: Serbest tel boyunun neden olduğu gözenekler [35].



Şekil 2.16: Gaz debisi miktarının neden olduğu gözenekler [35].



Şekil 2.17: Nozul çapının küçük ve tıkanmış olmasının neden olduğu gözenekler [35].



Şekil 2.18: Ark üfleminin ve hava akımının neden olduğu gözenekler [35].

2.4.9. Sıçrantılar

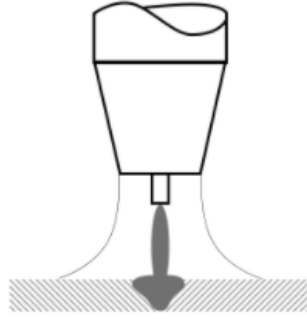
Kaynak esnasında kaynak banyosu içerisinde dışarı fırlayan küçük metal parçaları sıçrantı olarak adlandırılır. Sıçrantı hatası kaynak dikişi ve ana malzeme üzerinde istenmeyen, kaynak sonrası temizlenmesi gereken kusurlardandır. Aşırı sıçrantı hatası kaynak dikişi görselinin kötü görünmesine neden olmakla birlikte, gereksiz malzeme sarfiyatı ve işçilik maliyeti oluşturur. Nozul ucunun cüruf dolu olması, gaz akımının türbülansa neden olması, ark geriliminin yüksek olması, akım şiddetinin yüksek olması, serbest tel mesafesinin uzun olması sıçrantı hatasına neden olan unsurlardandır.

BÖLÜM 3. GAZALTI KAYNAKLARINDA METAL TRANSFER YÖNTEMLERİ VE AKIM ÜRETEÇLERİ

Ark kaynağının temelinde en kritik olan nokta kaynak metalinin kaynak havuzuna transfer yöntemidir. Gaz altı kaynak uygulamalarında damlanın transfer yöntemi darbeli akımla yapılan kaynak uygulamalarında kaynak akımından, voltajından, darbe parametrelerinden etkilenmektedir. Damlanın kaynak havuzuna olan iletim yöntemi kaynakta kullanılacak olan parametreleri ve mekanik değerleri etkilemekle birlikte kaynak dikişinin görseline de doğrudan etki etmektedir [36].

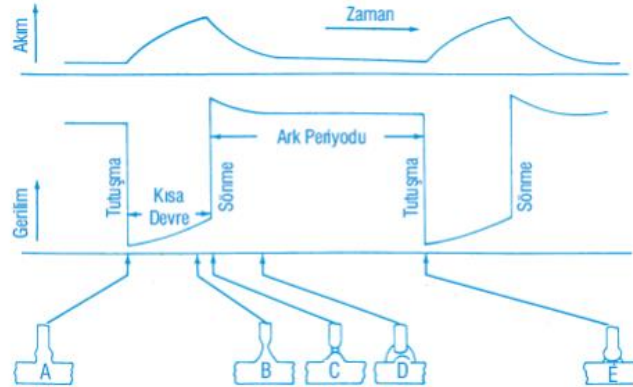
3.1. Kısa Devreli Metal Transferi

Kısa devreli metal transfer yönteminde kaynak telinin kaynak havuzuna temas ettiği noktada ark söner, voltaj düşer ve akım yükselir. Bu esnada kaynak teli ucundaki erimiş metal damlası kaynak havuzuna geçer. Böylelikle kaynak teli ile kaynak havuzu arasındaki temas kopar ve yeniden ark tutuşması oluşarak kaynak telinin ucunda yeniden ergimiş metal oluşur. Kök pasolarda ve erişim zorluğu olan zor pozisyon kaynaklarında, ince kesitlerin birleştirilmesinde, büyük kök açıklıklarının kapatılmasında düşük akım ve düşük voltaj kullanılarak arkın daha kolay kontrol edilebilmesinden dolayı tercih edilen bir metal transfer yöntemidir. Isı girdişi düşük olan bu yöntemde küçük çaplı elektrotlar tercih edilir. Küçük ve hızla katılaştıran bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Saniyede 20 ile 200 arasında değişebilen frekanslarla işlem tekrar eder. Damla geçişi kısa devre ile gerçekleşir. Şekil 3.1’de kısa metal ark iletim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Gazaltı kaynağında kısa ark metal iletimi [37].

Kısa ark ile standart ark boyu arasındaki fark; elektrot ucunda ergimiş olan kaynak dolgu malzemesi standart arkta kaynak havuzuna ince damlacıklar şeklinde transfer edilirken, kısa ark uygulanan kaynak uygulamalarında damlacıklar daha iri bir şekilde transfer edilir. Damla çapı 0,6-1,2 mm arasında olan kısa ark ile yapılan çalışmalarda akım ve gerilim değerlerini düşük tutmak gerekmektedir [19]. Şekil 3.2’de kısa metal ark iletim yöntemindeki gerilim ve akım değerlerinin zamana bağlı değişkenlikleri gösterilmiştir.

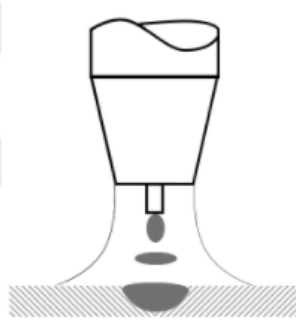


Şekil 3.2: Kısa akım metal transfer yöntemi gerilim ve akım değerleri [38].

A noktasında kaynak havuzu içerisine ergimiş elektrot teması oluşur, ark gerilimi düşer, akım değeri de yükselir. B noktasında elektrot etrafında uygulanan manyetik kuvvetler etkisini gösterir. C noktasında elektrot ucundaki ergimiş damla kopmaya zorlanır. Ergimiş metal elektrottan koparak ana malzemeye geçer. D noktasında tekrar damla oluşur. E noktasında ise elektrot ile kaynak havuzu arasında oluşan temastan dolayı diğer damla transferinin hızı artar.

3.2. İri Damlalı Metal Transferi

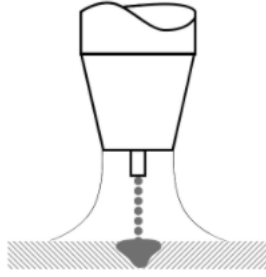
İri damla metal transfer yöntemindeki damlacık boyutu ortalama olarak tel çapının iki ya da üç katı kadardır. Kullanılan parametrelerde akım ve voltaj ise kısa devreli metal transfer yöntemine göre biraz daha yüksektir. Damla geçişleri düzensiz olduğundan sıçrıntı meydana gelir ve kötü bir görsel oluşturur. Damla geçişleri kaba taneli olan bu transfer yönteminde yer çekimi etkisi ile kısa devre gerçekleşir. Damla geçişi ortalama olarak saniyede 100 damladır. 20 V ile 25 V arasında çalışır ve 2 mm den kalın olan malzemelerin birleştirme işlemlerinde, oluk pozisyonlarında ve iç köşe kaynaklarında kullanılır. Kaynak torçu transfer edilen damlanın kaynak havuzu içerisine değmeden kopacak kadar uzak mesafede tutulmalıdır. Çok fazla uzak tutulması durumunda ise yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet, dikiş taşmaları hataları ile karşılaşılabilir. Şekil 3.3'te iri damla metal transfer yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Gazaltı kaynağında iri damla metal iletimi [37].

3.3. Sprey Ark Metal Transferi

Yüksek akım ve yüksek voltaj değerlerinde argonca zengin olan koruyucu gaz altında gerçekleşen transfer yöntemidir. Damla boyutları tel çapından küçük olan bu transfer yönteminde sıçrıntı çok az ve kaynak dikişi görünümü oldukça düzgündür. Ergitme gücü yüksek olduğundan dolayı oluk pozisyon kaynaklarında, kalın parçaların birleştirme işlemlerinde tercih edilir. Damla geçişleri kısa devre olmaksızın gerçekleşir. Damla geçişleri saniyede ortalama 100-300 damla şeklindedir. 25 V ve üzeri olan yüksek gerilim altında gerçekleşir. Torç, damlanın kaynak havuzu içerisine değmeden kopacağı kadar uzak bir mesafede olmalıdır. Şekil 3.4'te sprej ark metal transfer yöntemi gösterilmiştir.

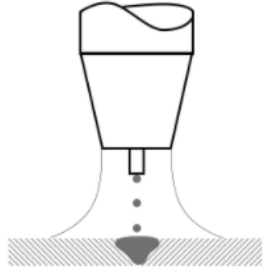


Şekil 3.4: Gazaltı kaynağında spreylenmiş ark metal iletimi [37].

3.4. Darbeli (Pulse) Metal Transferi

Darbeli metal transfer yönteminde iki farklı akım tipi kullanılır. Bunlardan ilki malzeme ile elektrot arasında, malzemeyi ısıtmak ve arkın sönmesini engellemek amacıyla kullanılan düşük amper değerleri kullanılan kısa ark yöntemidir. Diğeri ise elektrotu ve ana malzemeyi eritip damlanın kaynak havuzu içine akışını sağlayan darbeli olarak artan amper değerlerinin kullanıldığı yöntemdir.

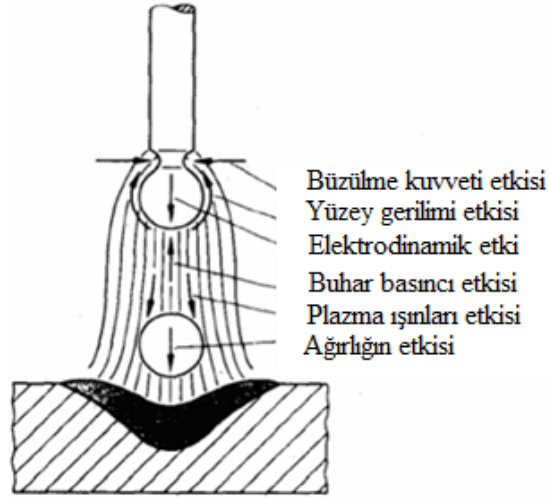
Darbeli akım yöntemini, alternatif akım ile yapılan uygulamalardan ayıran özelliği; seçilmiş akım şiddetinin temel akım ve pik akım değerleri arasında belirlenmiş olan frekans değerleri arasında değişmesidir. Böylelikle kaynak esnasında kısa devre oluşmadan ve aynı zamanda ısı girdisi miktarını düşük tutarak malzemede meydana gelecek olan distorsiyon miktarını azaltmakta, bununla birlikte ayarlanabilen frekans özelliği sayesinde metal transferinin iletim sıklığını ve büyüklüğünü ayarlamaya imkan sağlamaktadır. Darbeli akımla yapılan kaynak yönteminin diğeri yöntemlere göre sınırlı yanı sıra ise sistemde kullanılacak olan donanımların ve bakımlarının pahalı olmasıdır [39,40]. Şekil 3.5'te darbeli ark metal transfer yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Gazaltı kaynağında darbeli ark metal iletimi [37].

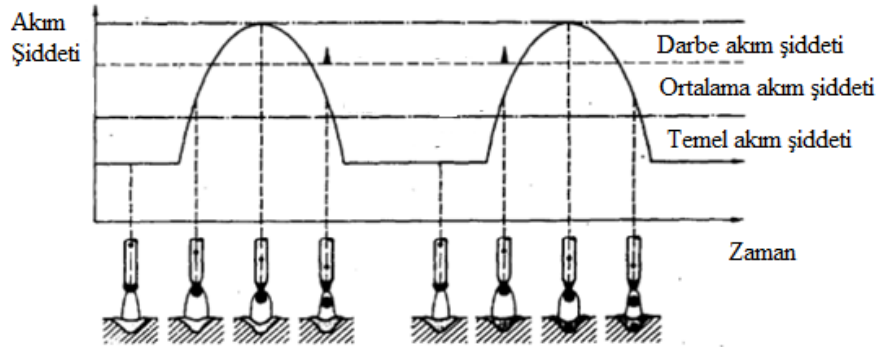
Akım şiddetinin yükselmesi ile malzemeye olan ısı girdisini artacaktır ve bunun sonucu olarak sertlik artışı meydana gelecektir. Akım şiddetinin daha da arttırılması durumunda darbeler arasındaki geçiş süreçlerinde ergime devam edeceği için damlaların oluşum sırasındaki düzen yok olacağı için ısı iletkenliği yüksek olan metallerde kalın çaplı elektrot kullanılması önerilmektedir.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kaynak telinin ucunda oluşan damlanın manyetik kuvvetin etkisiyle birlikte kaynak telinden ayrılması olayına büzülme kuvveti etkisi (Pinch Effect) adı verilir. Kopan damla gaz koruması altındaki kaynak havuzuna yerçekimi, iyon hareketi, elektron hareketi, gaz akışı, kaynak havuzunun buhar basıncı gibi etkilerin sonucu olarak eklenir ve kaynak dikiş formunu alır. Elektrot ucunda oluşan damlaya etki eden büzülme kuvveti, yüzey gerilimi etkisi, elektrodinamik etki, buhar basıncı etkisi, plazma ışınları etkisi ve damlanın ağırlığından kaynaklı olan etkiler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

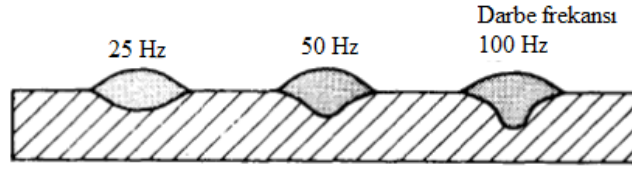


Şekil 3.6: Büzülme kuvveti etkisi ile damlaya etkiyen kuvvetler ve yönleri [39,40].

Darbe akımı kaynak teli ucundaki damlaya uygulanan bu büzülme kuvveti sırasında elektrottan kaynak havuzuna taşınır. Böylelikle kısa devre olmadan gerçekleşen bu transfer yönteminde damlanın taşınımı darbenin akım değerine göre zaman içerisinde değişiklik gösterirken, elektrot malzemesi ile kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazın türüne ve tel çapına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.7’ de darbeli ark metal iletim yöntemiyle damlanın oluşumu ve kaynak banyosuna transferi gösterilmiştir. Şekil 3.8’de darbeli frekansının kaynak nüfuziyetine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Darbeli ark metal iletim yöntemiyle damlanın oluşumu ve kaynak banyosuna transferi [39,40].



Şekil 3.8: Darbeli frekansın kaynak nüfuziyetine etkisi [39,40].

Ark türlerini uygulamada seçerken kullanılan malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, uygulanan kaynak yöntemi göz önünde bulundurulmalıdır.

Malzeme kalınlığına bağlı olarak yeterli nüfuziyeti elde etmek için kullanılması gereken güç miktarı ince kalınlıktaki malzemelere göre daha fazla olması gerekmektedir. Fakat çoğu zaman uygulamalarda kullanılan koruyucu gazlarla tüm ark türlerini elde edememekteyiz. Sprey ark iletiminde tel, ana malzeme ve koruyucu gaz kombinasyonunun doğru seçilmesinin ardından su soğutmalı torç kullanarak orta akım şiddetlerini elde etmek mümkündür. Fakat darbeli akım sadece darbe özelliğine sahip olarak geliştirilmiş akım üreteçleri ile uygulanabilir [39,40]. Tablo 3.1’de Gazaltı kaynaklarında sprey ark, uzun ark, kısa ark ve darbeli arkın kullanıldığı malzemeler ve pozisyonlar hakkında bilgi verilmiştir.

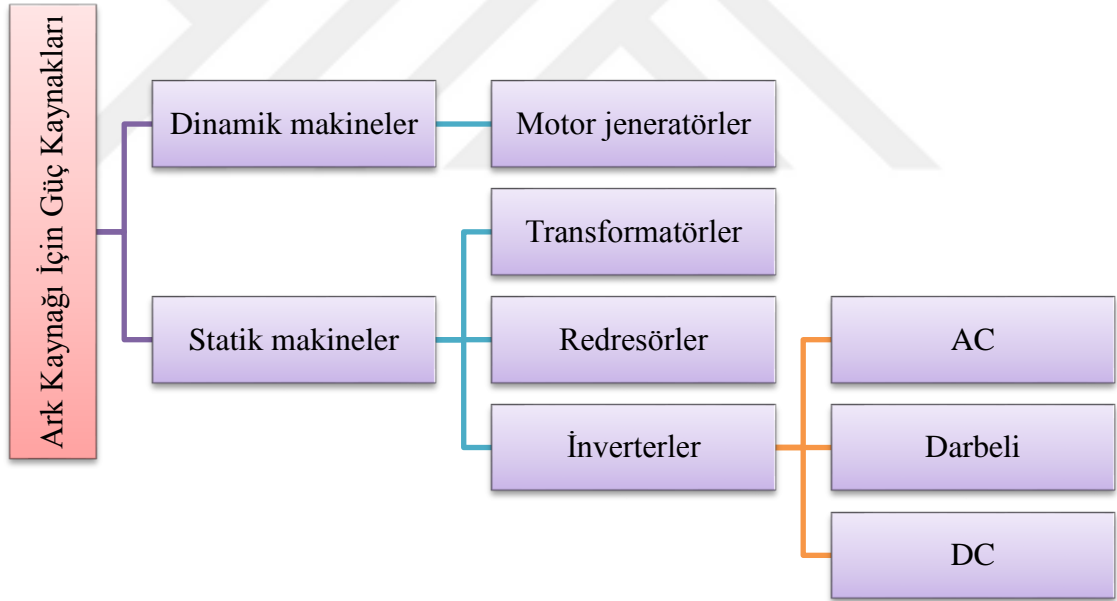
Tablo 3.1: Akım türleri ve uygulama alanları [39].

	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MIG KAYNAĞI	Alüminyum Bakır	Alüminyum	Alüminyum $\leq 1.5\text{mm}$	Alüminyum Bakır
MAG KAYNAĞI	Alaşım-sız, az alaşım-lı ve yüksek alaşım-lı çelikler	Alaşım-sız ve az alaşım-lı çelikler	Alaşım-sız, az alaşım-lı ve yüksek alaşım-lı çelikler	Az alaşım-lı ve yüksek alaşım-lı çelikler
POZİSYON	Yatay ve oluk pozisyonlarında kalın ve orta kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında Oluk pozisyonunda kök ve dolgu pasolarında.	Yatay, oluk ve yukarıdan aşağıya dik pozisyonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda ince parçaların iç köşe, alın birleştirmelerinde Her pozisyonda kalın parçaların alın birleştirmelerinin kök pasolarında. Tavan, iç köşe tavan, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya dik, korniş pozisyonlarında iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında. Az ısı girdisinin uygulanması gerekli olan durumlarda.

3.5. Akım Üreteçleri

Ark kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçlerinin temel fonksiyonları kaynak arkı için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini sağlamaktır. Ayrıca ayarlanmış olan kaynak akım şiddetini sabit tutmak, ark boyunu sabit tutmak, damla geçiş metodu üzerinde etkin rol oynamak, şebeke gerilimini sınırlandırılmış olan boşta çalışma gerilimine çevirmek de kaynak akım üreteçlerinden istenilen özelliklerdendir.

Kaynak makineleri statik ve dinamik kaynak makineleri olmak üzere iki ana başlıkta sınıflandırılır. Dinamik kaynak makineleri ark kaynak uygulamalarında güç üretirler. Statik kaynak makineleri ise elektrik hattından aldığı enerjiyi ark kaynağı için kullanırlar ve hareketli aksamı yoktur. Transformatörler, redresörler ve inverterler olmak üzere üç ana tip statik kaynak makinesi vardır. Şekil 3.9'da ark kaynağında kullanılan statik ve dinamik kaynak makinelerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Ark kaynağında kullanılan statik ve dinamik makinaların sınıflandırılması [41].

3.5.1. Dinamik kaynak makineleri

Çalışma esnasında ani yük değişimlerine karşı makinenin davranışlarını belirleyen kaynak makineleridir.

3.5.1.1. Doğru akım jeneratörleri

Tahrik motoru ve jeneratörden oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren kaynak makinesi türüdür.

İndüksiyon akımı akan bir alan içerisinde bulunan iletkenin hareket etmesi ile çalışmaktadır. Manyetik alan içerisinde dönen endüvi olarak da bilinen rotora yüklenen alternatif akım, rotora yüklenen bu alternatif akımı kollektör yardımıyla doğrultulup, kaynakta kullanabileceğimiz akımı elde etmemize yardımcı olur. Tahrik edildikleri makinenin türüne göre dizel motorlu, benzin motorlu ve üç fazlı alternatif akım motoru olarak sınıflandırılmaktadır [42].

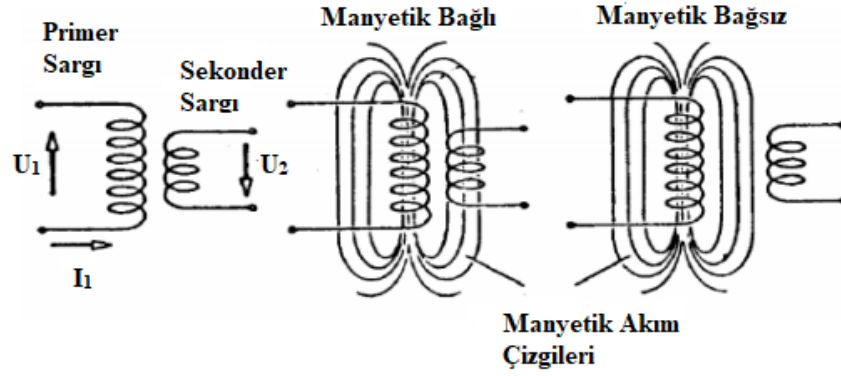
3.5.2. Statik kaynak makineleri

Statik kaynak makineleri transformatörler, redresörler, yarı iletken güç elemanları, inverter kaynak makineleri olmak üzere farklı başlık altında incelenebilir.

3.5.2.1. Transformatörler

Transformatörler, iki ya da daha çok devre arasında bulunan elektrik enerjilerini elektromanyetik indüksiyon sayesinde aktarımını sağlayan sisteme verilen isimdir. Transformatörler alternatif akım (AC) devrelerinde kullanılabilir. Doğru akım (DC) devrelerinde kullanımı mümkün değildir.

Transformatörler sayesinde frekans değerini değiştirmeye gerek kalmadan gerilim ve akımdaki değerler değiştirilebilir. Elektrik devresindeki akım ile gerilimin yükseltilmesi ya da düşürülmesinin amacı elektrik enerjilerinin dağıtım ve aktarım amacı ile yapılmaktadır. Şekil 310'da havalı tip transformatörün çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Havalı tip transformatörün çalışma prensibi [42].

Transformatörler elektrik enerjisini iletkenler aracılığıyla diğerine manyetik akı sayesinde iletmektedirler. Transformatörlerin yapıları basit bir şekilde nüve ve iki adet bobinden oluşur. Nüvede bulunan bobinlerden bir tanesinin üzerinden gerilim uygulanır ve manyetik akı meydana gelir. Meydana gelen manyetik akının yönü ile şiddetinde sürekli değişimler oluşur.

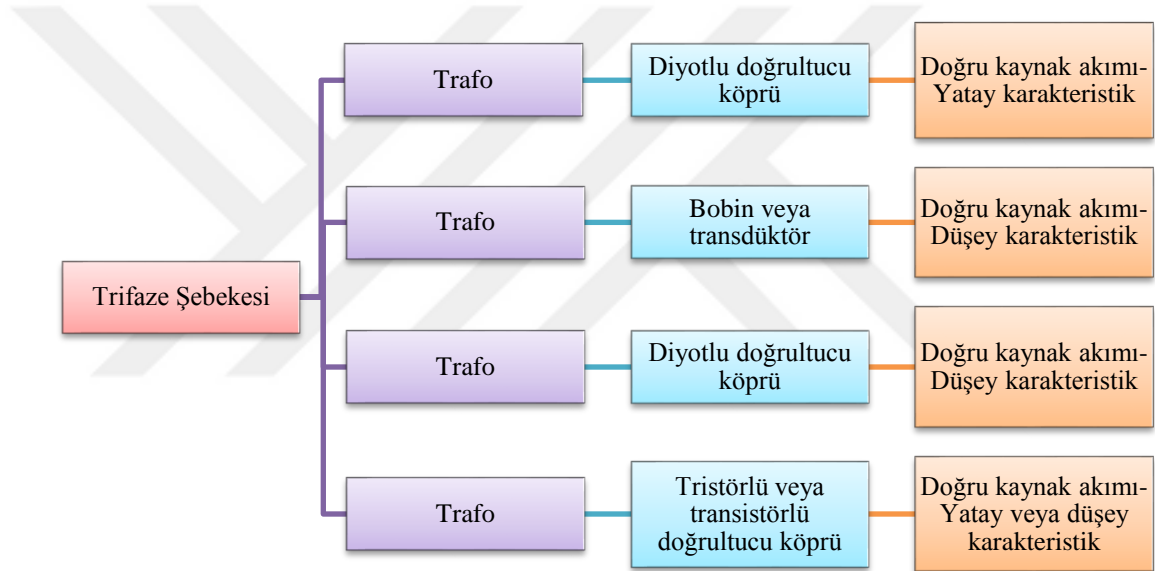
Oluşmuş olan manyetik akı çıkış bobininde gerilim indüklemesine neden olmaktadır. İki bobine uygulanmış olan gerilim sayesinde manyetik alan oluşur. Oluşan bu manyetik alan da diğer bobine enerji aktarımını sağlamaktadır. Transformatörlerdeki çıkış sarım sayıları ile giriş sarım sayısından fazla olduğu durumlarda çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksek olacaktır.

3.5.2.2. Redresörler (Doğrultucu)

Bir ya da daha fazla diyot yardımıyla alternatif akımı doğru akıma dönüştüren cihazlara redresör denir. Akımın doğrultma işlemini üstlendiklerinden doğrultucu adı ile de anılırlar. Diyot tek yönde elektrik akımı geçişine izin veren yarı iletken devre elemanıdır. Diyot sadece anotlarına pozitif bir gerilim uygulandığında akım geçişine izin verir. Diğer yönde gerilim uygulandığında ise akıma karşı direncini artırıp akım geçişini engeller.

Redresörler karakteristik şekillerine göre iki, yapılarına göre ise dört gruba ayrılırlar. Şekil 3.11’de gösterilmiştir ve şu şekilde açıklanabilir;

1. Primer ve sekonder sarım sayıları aşamalı olarak değişebilen yatay karakteristikli redresörlerdir. Bu tip redresörler yatay karakteristikli trafolarla diyotlu köprü yani doğrultucu bağlanması ile oluşan redresörlerdir.
2. Trafoya diyotlu köprü yani doğrultucu ya da transdüktör bağlanmasıyla oluşturulan düşey karakteristikli redresörlerdir.
3. Kaçak akımı olan trafoya diyotlu köprü bağlanmasıyla oluşturulan düşey karakteristikli redresör tipidir.
4. Bu redresör tipi yatay karakteristikli trafoya diyotlu köprü bağlanması sonucu doğrultucu ile elde edilen redresör tipidir.



Şekil 3. 11 : Yapılarına göre redresörler [42].

3.5.2.3. Yarı iletken güç elemanları (Diyot, Tristör, Transistör)

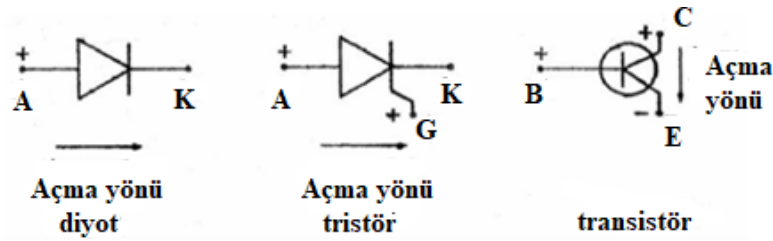
Belli bir eşik gerilimine ulaşmadan akımın akış yönünde geçmesine izin vermeyen, eşik değerini aştığı zaman akım geçişini sağlayan pasif devre elemanlarına diyot denir. Bahsedilen eşik değeri 0.2 V ile 0.6 V arasındadır ve akımı geçirdiğinde kısa devre, akımın geçmesine izin verilmediğinde de açık devre elemanı gibi davranır.

Doğrultucu olarak kullanılan diyotlar yarı iletken malzemedir yapılmaktadır. Diyotlar ileri yönelimli olduğunda devrede iletim meydana gelir.

Diyot pozitif gerilimdeyken açma yönünde akım iletir, ters yönde ise akım geçirmez. Şekil 3.12’de diyotun akım yönü gösterilmiştir.

SCR olarak da adlandırılan tristör, güç elektroniği devrelerinde anahtarlamının hızlı yapılması için kullanılan devre elemanlarıdır. Akım ve voltajın yüksek olduğu durumlardada hızlı geçiş yapabildikleri için devrelerde sıklıkla kullanılır. Güç elektroniğinin gelişmesinde büyük önem taşıdığı için 200 V ve 3300 A gerilimlerinde çalışabilen türleri geliştirilmiştir.

Tristörlerde diyotlar gibi pozitif gerilimdeyken kumanda ucuna (G) pozitif gerilim gelirse anot-katot yönünde akım geçişi sağlanmış olur. Diyotlar gibi zıt yönde akım geçişi yoktur. Şekil 6.4’te tristörün akım yönü gösterilmiştir. Kumanda ucuna pozitif sinyal gelmesi akım geçişinin başlaması ve devamlılığı için yeterli olacaktır. Bu durum şebeke akımı sıfırlanıncaya kadar devam eder. Yani akım geçişini başlatan ve akışı kesmeyen devre elemanıdır. Bu nedenle akımın geçiş anını tahmin edebilir fakat bitiş anını bilemeyiz. Bu duruma açılmal kumanda denir. Tristör üzerinde akımı kontrol ederek makinenin karakteristik özelliğini değiştirmek mümkündür. P- ve N- tipi olmak üzere iki tipi vardır ve N-tipi ve P- tipi olmak üzere dört yarı iletkenden oluşur.



Şekil 3. 12 : Diyot, tristör ve transistör şemaları [42].

3.5.2.4. İverter kaynak makineleri

İyi bir nüfuziyetin elde edilmesi ve bununla birlikte parçaya tesir eden ısı girdisinin en az seviyede tutulması gerektiği durumlarda sinerjik darbeli akım üreteçleri kullanılmaktadır. Bu tür kaynak makinelerinde akım şiddeti, daha önceden tespit edilmiş olan iki akım değeri arasında ve daha önceden belirlenmiş olan frekanslarda değişmektedir.

Sinerjik darbeli akım üreteçlerinde damla geçişi, temel akım şiddeti ve darbe akım şiddeti olmak üzere iki farklı hızda gerçekleşmektedir. Darbe akımında akım tepe noktaya

ulaştığında, kaynak metalinin erimesi ve kaynak havuzuna geçişi hızlanır. Damla transfer yöntemi sprey ark şeklindedir. Temel akımın görevi ise elektrot ucunda bulunan damlanın erimesi azalır ve ark sönmeyecek şekilde tutulur. Temel akımda meydana gelen sönmeye kaynak metaline girecek olan ısı girdisinin azalmasına yardımcı olmaktadır.

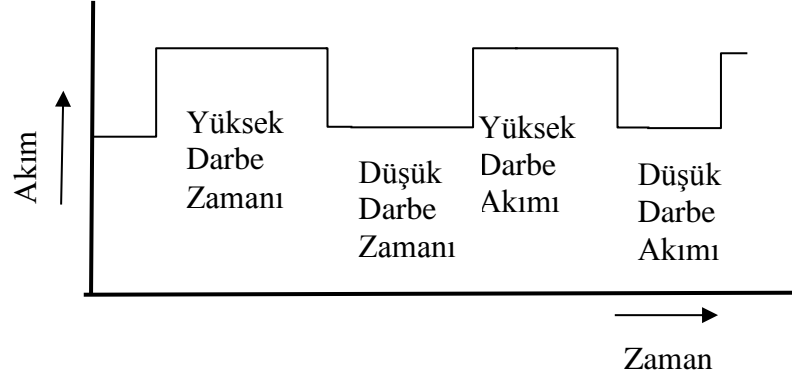
Makinenin kontrol paneline kaynağı yapılacak ana malzamenin tipi ve kalınlığı, yöntemde kullanılacak olan kaynak telinin çapı, seçilen koruyucu gazın türü, tel besleme hızı, serbest tel boyu, pik akım ve temel akım değerleri gibi parametrelerin girişi yapılır. Kaynak esnasında da ana panel üzerinden ortalama akım ve gerilim değerleri okunabilmektedir.

Sinerjik darbeli akım üreteçlerinde temel akım ve darbe akımı aynı anda frekans ile birlikte değiştirilemediği için, bu süreleri birbirinden bağımsız halde ayarlayabilen elektronik kaynak makineleri geliştirilmiştir ve günümüzde MIG/MAG/TIG kaynak donanımlarına entegre edilmiştir.

Şebekeden geçmekte olan alternatif akım önce bir doğrultma köprüsüne girer ve burda doğru akım olarak dönüştürülür. Doğru akım, chooper adı verilen özel bir cihazla kaynak makinesinde kullanılabilen 2000 Hz frekans değerindeki alternatif akıma dönüştürülür. Elde edilen bu yüksek frekanslı alternatif akım ve kaynak gerilim değerleri uygun hale gelmesi için trafoya verilerek, doğrultucu köprüde doğrultulur ve filtreden geçirilerek darbeli akım elde edilir. Elde edilen darbenin yüksekliği, darbe adeti, şekli ve darbenin süresi kaynak makinesi üzerinden ayarlanabilmektedir. Böylece her darbede bir damla oluşturulur ve damlanın büyüklüğü de kontrol edilebilir.

Inverter tip kaynak makineleri alışılmış kaynak makinelerine göre yüksek yatırım maliyeti gerektirir fakat bununla birlikte alışılmış kaynak makinelerinde karşılaşılan birçok sorunu da ortadan kaldırır.

İnverter kaynak makineleri, şebekeden çekilen alternatif akım frekansını değiştirmeden akım ve gerilimi kaynak işlemi için uygun hale getirebilmek için transformatöre girer. Gerilim değeri düşürülürken, akım değeri yükselir. Buradan da trifaze olan doğrultma köprüsüne yönlendirilir. Şekil 3.13'te darbeli doğru akımın zamana bağlı akım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Darbeli doğru akım, akım-zaman grafiği [41].

İnverter kaynak makinelerinde her pik akım değerinde oluşan darbenin sayısı ve damla büyüklüğünü ayarlamak mümkündür [42].

Şekil 3.14'te saç kalınlığı düşük olan malzeme üzerinde darbeli akım ile yapılmış olan kaynak dikişi gösterilmiştir.



Şekil 3. 14 : Darbeli akımla yapılmış kaynak dikişi.

Darbeli akım kaynağının avantajları şunlardır:

1. Kaynak ön hazırlığı iyi hazırlanmamış olsa dahi ince saç malzemeler kaynak sırasında minimum distorsiyona maruz kalırlar ve arkı kontrol etmek mümkündür.
2. Kalın malzemelerin zor olan pozisyon kaynaklarında uygulama kolaylığı sağlar, kaynak banyosunun akmasını engeler.
3. Boru kaynaklarının kaynak öncesi ön montajında kök pasonun işleme için bırakılan aralıklarda kayma olması durumunda da kaynak işlemi rahatlıkla yapılabilir.

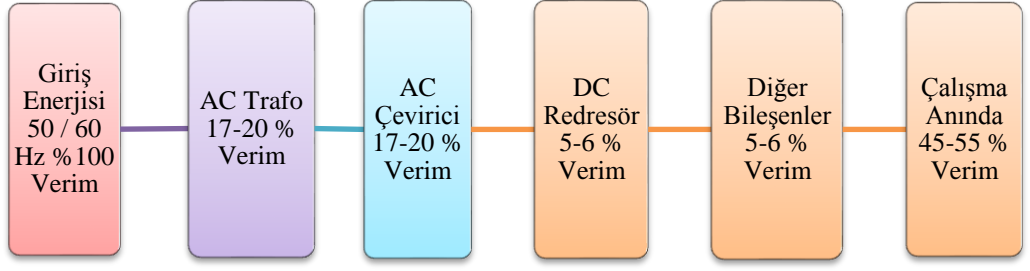
4. Isı girdisinin ayarlanabilme özelliği sayesinde kaynak havuzuna daha çok hakim olabilme imkanı sağlar.
5. Ergime sıcaklığı çok düşük olan metallerin tavan pozisyon kaynaklarının yapılmasına imkan sağlar.
6. Katı ve sıvı fazların birbirinden ayrılması işlemine gösterdiği uygunluktan dolayı alaşımlı çeliklerde meydana gelebilecek olan çatlama sorununu azalmış olur [19].

Tablo 3.2’de inverter tip kaynak makinesi ile geleneksel kaynak makinelerinin bazı özellikleri karşılaştırılmıştır.

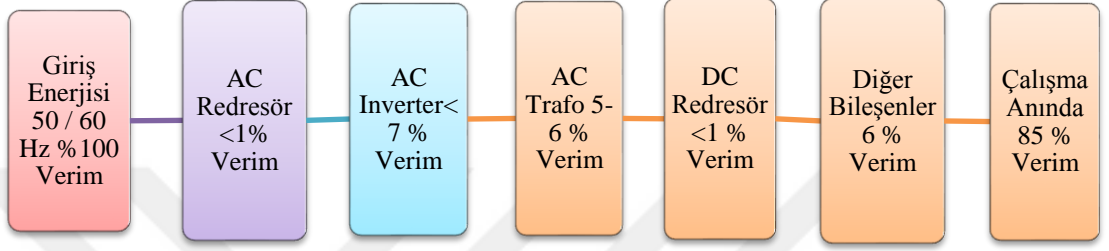
Tablo 3.2: Geleneksel güç kaynakları ile inverter güç kaynaklarının özelliklerinin karşılaştırılması [1].

KARŞILAŞTIRILACAK ÖZELLİKLER	GÜÇ KAYNAĞI ÇEŞİDİ	
	GELENEKSEL	INVERTER
GÜÇ TÜKETİMİ	Yüksek	Düşük
ELEKTRİKSEL VERİMLİLİĞİ	Zayıf	İyi
EBAT	Büyük	Küçük
AĞIRLIK	Yüksek	Düşük
KULLANIM ALANI	Araştırmalarda	Yoğun Kullanımlarda
FREKANS	Düşük	Yüksek
ÇALIŞMA MALİYETİ	Yüksek	Düşük
MALZEME GİDERLERİ	Yüksek	Düşük
DİZAYN	Basit	Karışık
METAL TRANSFER MODU	Zayıf	İyi
KONTROLÜ		
ARK STABİLİTESİ	Düşük	Yüksek

İnverter tip kaynak makineleri, alışılmış kaynak makinelerine göre farklı darbe mekanizmalarına, farklı damla şekillerine izin verirken yarı otomatik ve tam otomatik uygulamalarda kaynak dikişi, nüfuziyet derinliği gibi özellikleri geliştirir, asimetrik bacak boyu, sıçrantı gibi hataların en aza inmesinde yardımcı olur. Şekil 3.15’te alışılmış tip kaynak makinesinin verimliliği, Şekil 3.16’da inverter tip kaynak makinesi verimliliği gösterilmiştir.



Şekil 3. 15 : Geleneksel güç kaynaklarında verim [43].



Şekil 3. 16 : Inverter tip güç kaynaklarında verim [43].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deneysel Çalışmalar

Endüstriyel kaynak robotları insanların fiziksel özelliklerini zorlayan ağır ve büyük işlerde çalışabilmekte, insan sağlığı için elverişsiz olan tehlikeli koşullarda iş yeri güvenliğini arttırmakta, sahip oldukları yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sayesinde ürün kalitesinde standartları korumakta, bozuk üretim miktarını azaltıp ham madde israfını engelleyerek üretim maliyetini düşürmektedir. Gelişmiş olan bu endüstriyel robotlar yeniden programlama özelliği sayesinde yeni bir işe kolayca adapte edilebilmektedir. Monoton, sıkıcı ve yorucu işlerde hızlı bir şekilde verimi ve ürün kalitesini düşürmeden, aynı ortamda birlikte sorunsuz ve hızlı bir şekilde çalışabilmektedir.

El ile yapılan kaynak işlemlerinde ise operatörün el yeteneği, gün içerisindeki yorgunluğu ya da psikolojik nedenlerden dolayı sabit bir hızda hareket edememesi, parametre ayarlarını kaynak yöntem şartnamesine göre yapamaması, nozul ucunda biriken çapak temizleme işlemlerini geciktirmesi gibi birçok nedenle birlikte kaynak hataları meydana gelmektedir.

El ile yapılan kaynak sırasında meydana gelen bu hatalar malzemenin kaynak özelliklerine, mukavemetine, kimyasal birleşmedeki farklılıklara ve beraberinde getirdiği farklı sertlik değerlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada kaynak robotlarının sabit parametre özelliğinden yararlanarak iki farklı termomekanik haddelenmiş çelik malzemenin MAG kaynak uygulaması ile birleştirilmesi sonucu sertlik ve mikroyapı değerleri araştırılmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Sarf Malzemeler

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler EN 10149 normuna göre seçilmiş olup malzeme kalınlığı 8 mm olan termomekanik haddelenmiş çeliklerden S355MC ve S700MC kullanıldı. Birleştirme işleminde kullanılan SG3 tel EN ISO 1431 standartına göre seçildi. Koruyucu gaz olarak M21 (Ar + % 15-18CO₂) karışım gazı kullanıldı.

4.2.1. S355MC ve S700MC termomekanik haddelenmiş çelikler

Termomekanik haddelenmiş (TM) çeliklerinde düşük karbon içeriği nedeni ile ITAB'da sertleşme problemi bulunmaz. Aynı şekilde tokluk kaybı veya dikiş altı gevrekliği tehlikesi düşüktür. Ferrit içinde hidrojenin difüzyon olasılığı, temper yapısına kıyasla önemli ölçüde çok daha rahat olduğu için dikiş altı çatlama eğilimini artıran atomsal düzeydeki hidrojen çok hızlı difüze olabilir

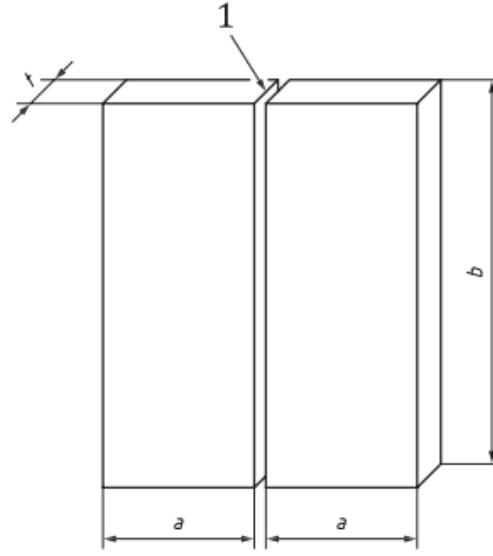
ABD'de yapı çeliklerinin dayanımının yetersizliği sebebiyle geliştirilen ve 70'li yıllardan sonra hız kazanan mikro alaşımlama çalışmaları ile geliştirilen YMDA çeliklerine; aşınmaya, korozyona, darbeye dayanıklılık gibi çok geniş özellikler kazandırılmıştır. YMDA çelikleri piyasada ve literatürde mikro alaşımlı çelikler (micro alloyed steel) olarak da adlandırılmaktadır [44].

TM çeliklerinin karbon miktarları düşük olduğundan ince kesitli malzemelerde ön ısıtma işlemine gerek duyulmamaktadır.

S355MC ve S700MC termomekanik haddelenmiş çelikler otomotiv, çelik kontrüksiyon, inşaat, savunma sanayi, havacılık gibi endüstrinin birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Bu malzemelere ait kimyasal bileşenler Tablo 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de TS EN ISO 15614-1 standardına göre metalik malzemelerin kaynak prosedür deneylerinde kullanılması gereken malzeme boyutları verilmiştir. Bu deneyde kullanılan malzemeler 8 x 150 x 350 mm ölçüsünde olup 1500 x 3000 plakadan haddelenme yönüne paralel, standarta uygun olarak hazırlanmıştır.

Tablo 4.1: Malzemelerin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	%C	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%Nb	%Ti	%V
S355MC	0,070	0,270	0,016	0,002	0,009	0,004	0,036	0,000	0,000
S700MC	0,061	1,835	0,043	0,006	0,034	0,0179	0,069	0,129	0,007



Şekil 4.1: Kaynak test parçası boyutları [45].

Kaynak öncesi prosedür spesifikasyonunda detaylandırılmış olan bağlantı ve montaj hazırlığını “1”, minimum 150 mm ölçüsünü ”a”, minimum 350 mm ölçüsünü “b”, 8 mm malzeme kalınlığı ise “t” ile göstermektedir.

Deneysel çalışmada kullanılan S355MC ve S700MC termomekanik haddelenmiş çelikler için Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW)-IX nolu komisyonuna göre Denklem 1.1’deki formül kullanılarak karbon eşdeğerleri sırasıyla $C_{eş} = \% 0,12$, $\% 0,38$ olarak hesaplanmıştır.

$$C_{eş} = \%C + (\%Mn / 6) + ((\%Cr + \%Mo + \%V) / 5) + ((\%Ni + \%Cu) / 15) \quad (1.1)$$

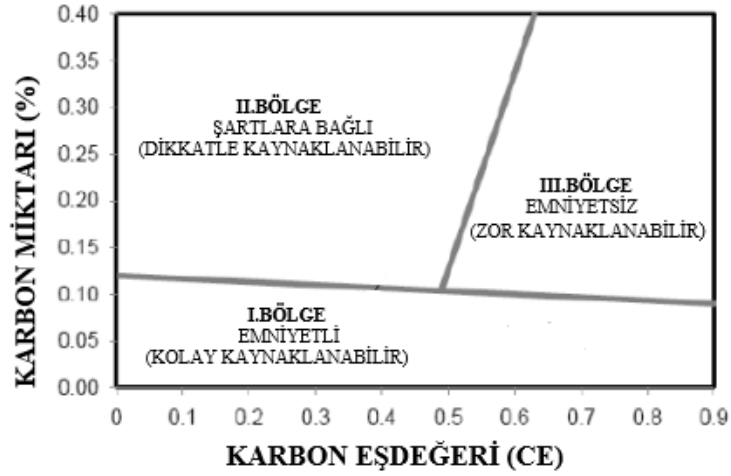
Karbon eşdeğeri çeliğin kaynak öncesi ön ısıtma için gerekli olan ısı miktarını hesaplamak için kullanılmıştır.

Tablo 4.2’de karbon eşdeğer oranına göre ön ısıtma sıcaklığı verilmiştir. Deneysel çalışmada kullandığımız malzemeler düşük karbon eşdeğerine sahip olduğu için bu tabloya göre ön ısıtma işlemi yapmamıza gerek görülmemiştir.

Tablo 4. 2 : Karbon eşdeğer oranına göre ön ısıtma sıcaklığı [46,47].

%Ceş	Ön ısıtma Sıcaklığı °C
0,45’ kadar	Gerek yok
0,45-0,60 arası	100-200
0,60 üstü	200-300

Şekil 4.2’de gösterilen Graville diyagramı ile deneyde kullanılan S355MC haddelenmiş çelik türü için karbon oranı ve karbon eşdeğerlerinin emniyetli olan 1.bölgede olduğu kolay kaynaklanabildiği tespit edilirken S700MC haddelenmiş çelik türü için karbon oranı ve karbon eşdeğeri grafik üzerinde karşılaştırıldığında ise 2.bölgede olduğu ve malzemenin şartlara bağlı olarak dikkatle kaynaklanabilir olduğu görülmektedir [48,49].



Şekil 4.2: Metalik malzemelerin kaynaklanabilirliğini gösteren Graville diyagramı [50].

4.2.2. SG3 Kaynak teli ve koruyucu gaz

SG3 kaynak teli özellikle alaşımsız yapı çelikleri, ince taneli çeliklerin otomatik ve yarı otomatik kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılır. Yüzeyi bakır kaplı olan SG3 gazaltı kaynak teli, SG2’tele oranla kaynak metalinin akma ve çekme dayanımı 20-50 N/mm² daha yüksektir. Birleştirme işleminde 0.8 mm kaynak teli ile iç bükey, 1.2 mm kaynak teli aşırı dış bükey kaynak görüntüsüne neden olduğu için bu çalışmada SG3 1.00 mm kaynak teli ve bu dolgu metali ile kullanılması önerilen M21 (Ar + % 15-18CO₂) karışım gazı kullanıldı.

Tablo 4.3’te SG3 telinin alaşım elementlerinin miktarları verilmiştir. -50° ile 450° servis sıcaklıklarında çalışan, içerdiği yüksek Si ve Mn elementleri sayesinde yüzeyde oluşan süreksizlikleri azaltarak daha düzgün yüzeyli kaynak dikişlerinin oluşmasına imkan sağlayan SG3 telinin mekanik özellikleri Tablo 4.4’te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: SG3 teli alaşım elementleri

Kaynak Teli	%C	%Mn	%Si
SG3	0,060	1,200	0,600

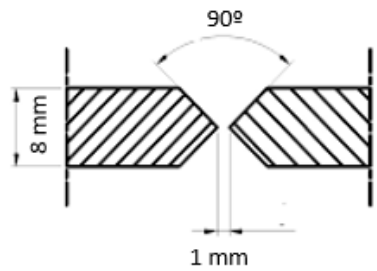
Tablo 4.4: SG3 kaynak teli mekanik zellikleri.

Mekanik zellikler	
Akma Dayanımı	470 N/mm ²
Çekme Dayanımı	570 N/mm ²
Uzama (L=5d)	25 %
entik Darbe Dayanımı	60 (-30°C)

4.3. Numunenin Kaynak Ağzı Tasarımı

Alın kaynak birleştirmesi için açılan X kaynak ağzı çift taraflı kaynaklarda tam nufuziyetli birleştirme elde etmek için kalın parçalara uygulanmaktadır. X kaynak ağzı genellikle 60°-90° açılır.

Servis Őartlarının X kaynak ağzı amaya uygun olmadığı bu tip uygulamalarda malzemeler arasında 2 mm boşluk bırakılarak yüksek amper voltaj değerlerinde tam nufuziyet elde edilebilir. Buna karşılık meydana gelecek olan aşırı kep yüksekliği hatası için kaynak yüzeyinin taşlanması gerekir [51]. Bu çalışmada birleştirilecek olan malzemelere 90° lik X kaynak ağzı açıldı. Şekil 4.3'te numunelerde açılan kaynak ağzı ve birleştirme Şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.3: 90° Kaynak ağzı gösterimi.

4.4. Kaynaklı Birleştirme İşlemi

Kaynaklı birleştirme işlemleri OTC marka FD-B6L kaynak robotu ile PA pozisyonunda gerçekleştirildi. Daha önce ön denemesi yapılan malzemeler yzerinde optimum parametre değerleri (akım, voltaj, ilerleme hızı) deneme yanılma metodu ile tespit edildi. DC darbeleri

akım ile kaynak malzemelerde temel akım 210 A, pik akım değeri ise 270 A'de tutulurken, geleneksel akım yöntemi ile kaynak malzemeler 240 A'de kaynatıldı. Tablo 4.5'te DC ve DC darbeli akımda kullanılan parametre değerleri gösterilmiştir.

Ön birleştirme işlemlerinin ardından tahribatlı ve tahribatsız testler için numuneler çıkarılarak mekanik testler, makro ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Tablo 4.5: Geleneksel akım ve darbeli akımda kullanılan parametreler.

Malzeme Cinsi	Amper	Voltaj	Serbest Tel Boyu	İlerleme Hızı Ön Yüz	İlerleme Hızı Arka Yüz	Kaynak Makinesi Akım Türü	Kaynak Ağı Açısı
S355MC	210-270 A	24 V	12 mm	20 cm/dk	35 cm/dk	DC Darbeli	90°
S700MC	210-270 A	24 V	12 mm	20 cm/dk	35 cm/dk	DC Darbeli	90°
S355MC	240 A	24 V	12 mm	20 cm/dk	35 cm/dk	DC	90°
S700MC	240 A	24 V	12 mm	20 cm/dk	35 cm/dk	DC	90°

4.5. Tahribatsız Testlerin Hazırlanması

Tahribatsız muayene ile malzemelerin yüzeyinde veya iç yapısında olan süreksizlikleri, malzemeyi tahrip etmeden görmemize yardımcı olan test yöntemleridir. Görsel testler TS EN ISO 17637 Ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi-Ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayene standartına göre muayene edilip, TS EN ISO 5817 kusurlar için kalite seviyeleri standardına göre değerlendirildi. Malzemenin kullanıldığı servis alanları statik ve dinamik yüklere maruz kaldığı için en sıkı olan B kalite seviyesine seçilerek değerlendirmeler yapıldı.

Sıvı penetrasyon testi TS EN ISO 3452-1 Tahribatsız Muayene-Penetrant Muayenesi-Bölüm 1: Genel kurallar standartına göre muayene edilip, TS EN ISO 23277 Kaynakların tahribatsız muayenesi-Kaynakların penetrant muayenesi-Kabul seviyeleri başlıklı standartına göre değerlendirildi.

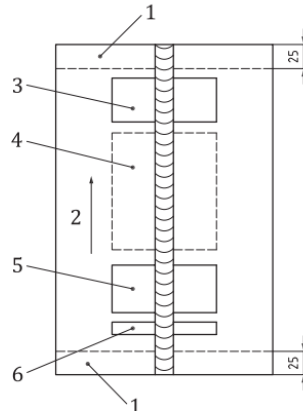
Radyografik testler ise EN 17636-1 kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi - Radyografik muayene - Bölüm 1: Filmler ve gama ışını teknikleri standartına göre muayene edilip, EN 10675-1 kaynakların tahribatsız muayenesi- radyografik muayene için kabul seviyeleri - Bölüm 1: Çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımları başlıklı standartına göre değerlendirildi.

4.6. Makroyapı ve Mikroyapı Numunelerin Hazırlanması

Kaynak işlemi uygulanan numuneler tahribatsız muayene sonuçlarında yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde süreksizlik tespit edilmemesinin ardından makroyapı ve mikroyapı numuneleri hazırlandı. Geleneksel akım ve darbeli akım yöntemi ile kaynatılan malzemelerden alınan numuneler ile kaynaklı bir numunenin kopma mukavemetini ve kırılma yerini belirlemek için TS EN ISO 4136 metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-enine çekme standartına göre çekme testleri yapıldı.

Hem ana metal hem de kaynak metalinin en yüksek ve en düşük sertlik derecesinin belirlendiğinden emin olmak için TS EN ISO 9015-1 metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Bölüm 1: Ark kaynaklı birleştirmelerde sertlik deneyi standardına göre sertlik testleri yapıldı ve TS EN ISO 15614-1 standartına göre çekme ve sertlik test sonuçları değerlendirildi.

Mikroyapı testleri için hazırlanan numuneler ise TS EN ISO 945-1 standartına göre işlendi. Tahribatlı testleri yapılacak olan test numunelerinin üzerinden alınacak olan parçalar ve konumları Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Tahribatlı test parçalarının konumu [45].

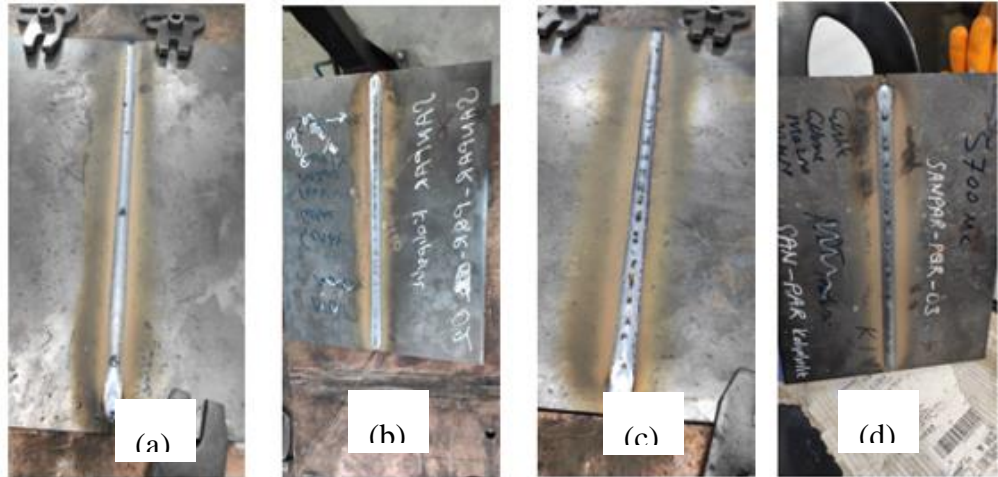
Şekilde 1 numara ile gösterilen parçalar kaynak başlangıç ve bitiş noktalarındaki ilk ve son 25 mm yi ifade eder ve bu bölgeler atılmaktadır. 2 numara kaynak yönünü, 3 nolu alan bir çekme test numunesinin ve bükme test numunesinin, 4 nolu alan darbe ve ek test numunelerinin, 5 nolu alan bir çekme test numunesinin ve bükme test numunelerinin, 6 nolu alandan ise bir makro test numunesinin ve bir sertlik test numunesinin çıkarıldığı alandır.

BÖLÜM 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

5.1. Görsel test sonuçlarının incelenmesi

Malzeme yüzeyinin çıplak göz ile veya yardımcı görsel ekipman ve donanımlar kullanılarak incelenmesi tekniğine Görsel Muayene adı verilmektedir. Kaynaklı imalat başta olmak üzere imalat aşamasında veya ürünlerin servis sırasındaki güvenilirliğinin belirlenmesinde görsel muayene tekniği oldukça önemli bir yere sahiptir. İş parçalarının yüzeyinde meydana gelen süreksizlikleri tespit etmekte yardımcı bir ekipman kullanarak ya da kullanmadan gerçekleştirilen bu test yöntemi temelde basit bir metot olarak görülmekte olup uygulama sırasında pek çok detaya bağlıdır. Tüm malzemelerde uygulanabilen bu yöntem çoğu zaman malzeme ön hazırlık sürecinde daha büyük hataların oluşmasını, zaman ve maliyet kayıplarını engeller.

Şekil 5.1’de deney malzemelerinin görsel muayeneleri gösterilmiştir ve malzemeler üzerinde süreksizlik tespit edilmemiştir.

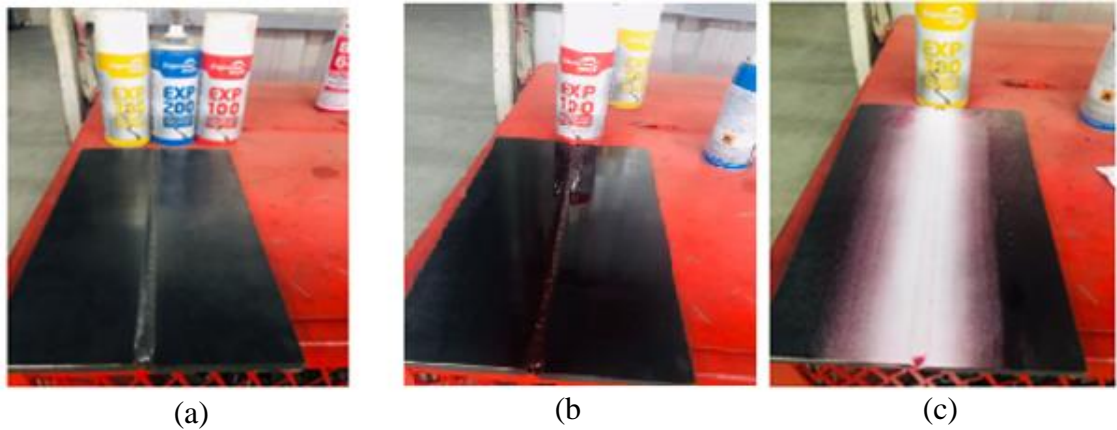


Şekil 5.1: Deney parçalarının görsel muayenesi.

X kaynak ağızı açılan malzemelerden a; S355MC malzemenin ön yüzeyi b; S355MC malzemenin arka yüzeyi c; S700MC malzemenin ön yüzeyi d; S700MC malzemenin arka yüzeyidir.

5.2. Penetrasyon test sonuçlarının incelenmesi

Sıvı penetrasyon testinde Expressweld marka muayene spreylерinden kaynaktan önce veya kaynaktan sırasında oluşan çatlakları ve gözenekleri gözle görülebilir şekilde ortaya çıkartmak için EXP-100 kırmızı penetrant spreyi, yağ lekeleri, kaplama, katran kalıntıları ve yapıştırıcılar gibi metal üzerindeki kirleri yüzeyden temizlemek için EXP-200 temizleme spreyi, kaynaktan önce ya da kaynak sırasında oluşan çatlakları ve gözenekleri ortaya çıkararak beyaz renkli belirleme spreyi olarak da EXP-300 geliştirici spreyi kullanılmıştır. Tüm spreylер kullanılmadan önce çalkalanmıştır. Muayene edilecek malzeme yüzeyine EXP-200 püskürtülerek malzeme temizlenmiş ve ardından muayene edilecek yüzeye kırmızı penetrasyon sıvısı olan EXP-100 püskürtülmüştür. Malzemeye işlemesi için ortalama 10 dk yüzeyde bekletilmesinin ardından kırmızı penetrasyon sıvısı solvent yardımıyla temizlenmiştir. Süreksizliklerin kırmızı renkte görünmesi için EXP-300 20–25 cm mesafeden püskürtülmüştür. Şekil 5.2’de uygulanan penetrasyon testi sonucunda herhangi bir süreksizlik tespit edilmemiştir.



Şekil 5.2: Deney parçalarının penetrasyon muayenesi.

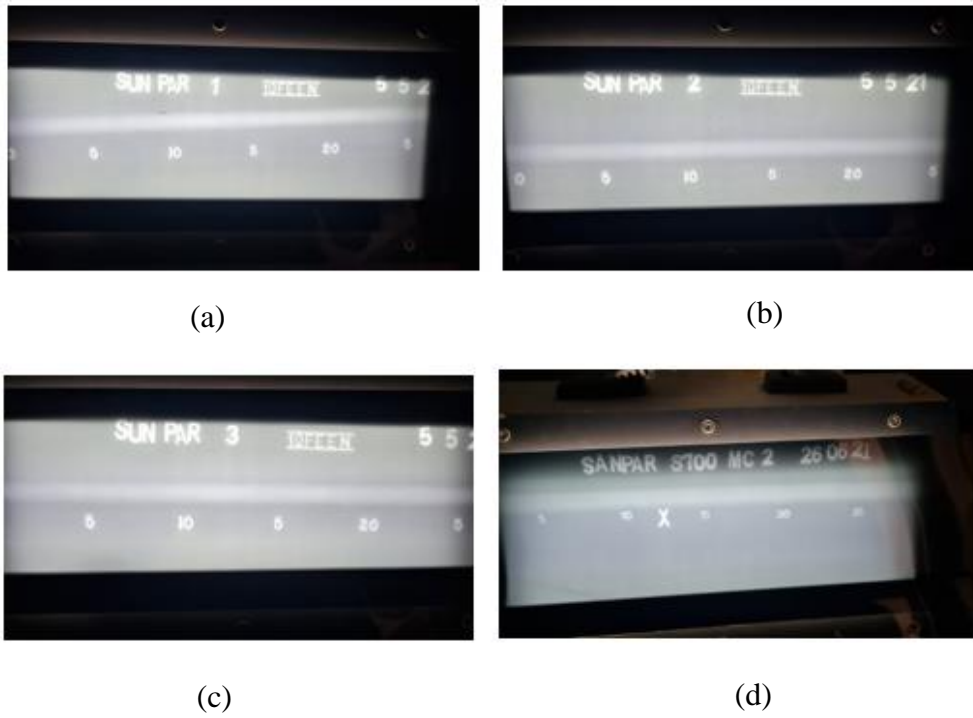
5.3. Radyografik test sonuçlarının incelenmesi

Malzemelerin iç yapılarında meydana gelen süreksizliklerin tespit edilmesi için test parçasının üzerine bir ışın kaynağından gönderilen (X-Ray ya da Gama-Ray) nüfuz edici

kısa boylu radyasyon dalgaları malzemenin içinden geçerek deney parçasının arkasına yerleştirilen film üzerinde görüntü oluşturması ile uygulanan ve en çok kullanılan test tekniğidir.

Malzeme içindeki yoğunluk farkları sayesinde süreksizlikler farklı miktarda soğurulan ışınların yansımalarında farklı görüntüler oluşturur. Film üzerine yansıyan bu görüntü, malzemedeki ışının yarattığı gölge görüntüsüdür.

X-Ray cihazı ile Kodak 7200 marka film tipi kullanılarak 700 mm mesafeden alınan görüntüler Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



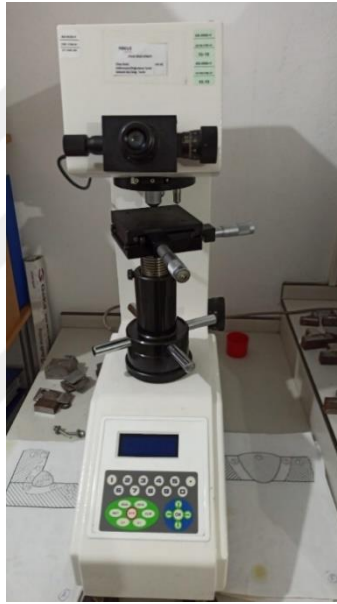
Şekil 5.3: Deney parçalarının radyografik muayenesi.

Geleneksel akım yöntemi ile kaynatılmış olan S355MC (a) ve S700MC (b) malzemelerinin test sonuçları ve DC darbeli akım ile kaynatılmış olan S355MC (c) ve S700MC (d) test sonuçlarında herhangi bir süreksizlik tespit edilmemiştir. Kaynak başlangıcından itibaren ilk 25 mm ve kaynak bitiş noktasındaki son 25 mm değerlendirmelere dahil edilmemiştir [45].

5.4. Sertlik deneyi sonuçlarının incelenmesi

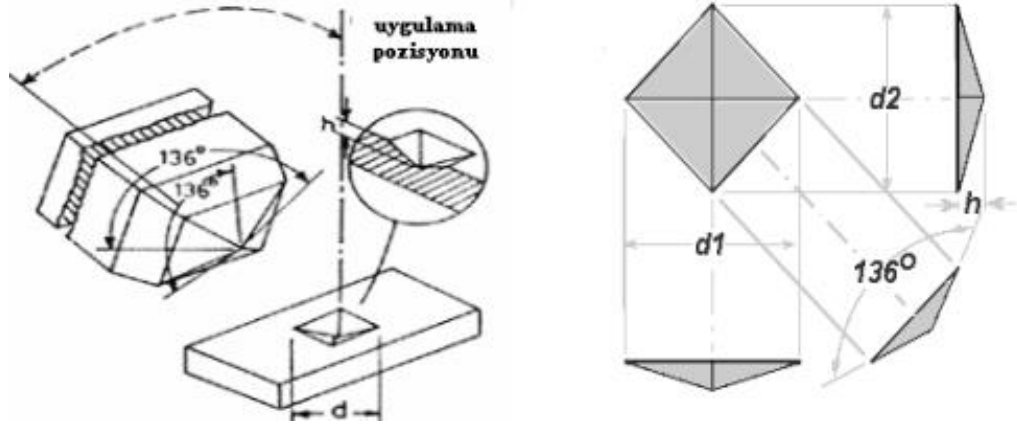
Kaynak bölgesinde çatlak hatası ile karşılaşmamamız için Uluslararası Kaynak Enstitüsü tarafından (IIW) izin verilebilen en yüksek sertlik değerini 350 HV olarak belirlemektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik çeliğin içermiş olduğu karbon miktarı ile doğru orantılıdır.

Vickers sertlik yöntemi kullanılarak kaynak, ana malzeme ve ITAB bölgesinden aralarında 1-1,5 mm boşluk bırakılarak sertlik ölçümleri yapıldı. Deneyde kullanılan LHV-10 model Vickers sertlik cihazı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



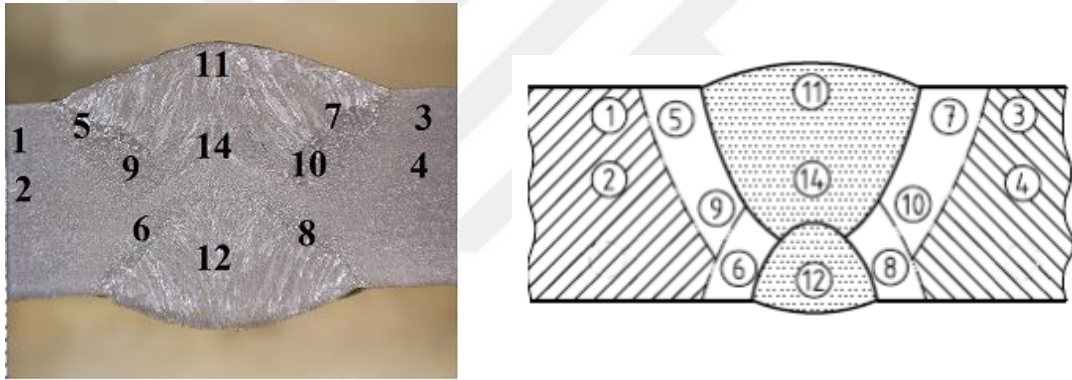
Şekil 5.4: LHV-10 model Vickers sertlik cihazı.

Sertliği ölçülecek olan kaynaklanmış numunenin üzerine tabanı kare piramit şeklinde olan sivri ucun belirlenen yüzeylere belirli bir yük altında batırılmasının ardından yüzeyde oluşan izin köşegen uzunlukları metalürji mikroskobu sayesinde ölçülür. Yüzeyde oluşan izin köşegeni “d” olarak tanımlanmaktadır ve görüntü mikroskop yardımıyla ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegenlerin uzunlukları hassas bir şekilde ayrı ayrı ölçülüp ortalaması alınır. Piramidin tepe açısı ile yüzeye batan sivri yüzeyin tepe açısı (136°) birbirinin aynısıdır. Şekil 5.5'te şematik ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Vickers ölçüm yönteminin şematik gösterimi [52].

Şekil 5.6'da numune üzerinden alınan sertlik izleri ve sertlik değerinin alındığı bölgeler gösterilmiştir.

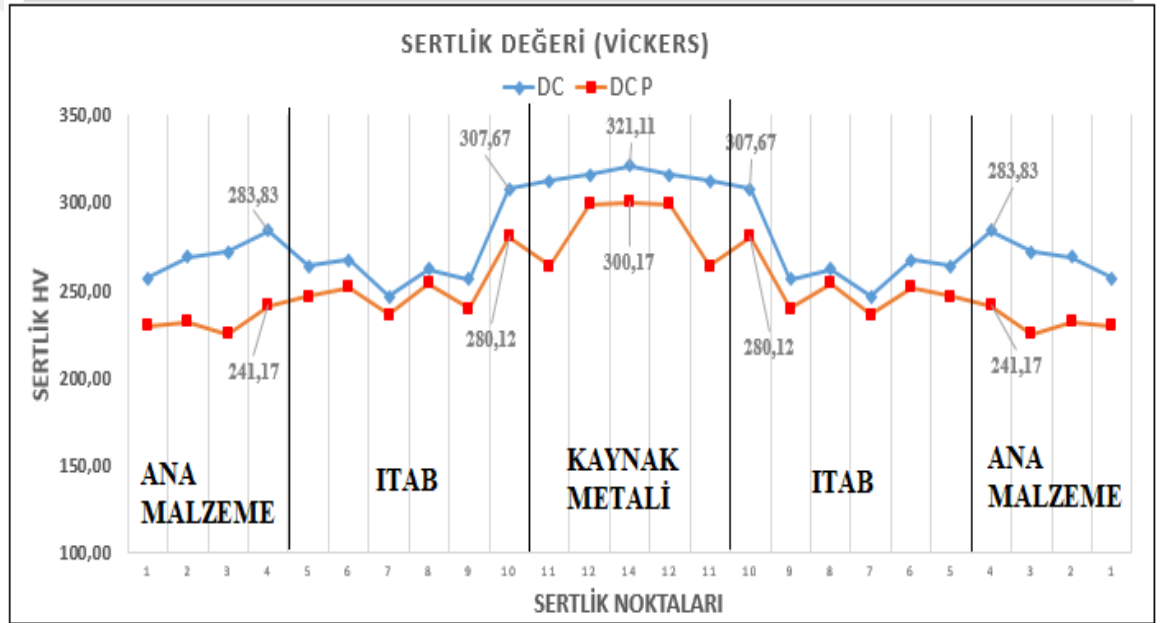


Şekil 5.6: Numune üzerinden Vickers sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.

Tablo 5.1'de geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynakayan S700MC malzemesinin kaynak metali, ana malzeme ve ITAB bölgelerinden alınan üç sertlik değerlerinin ortalamaları karşılaştırılmıştır ve Şekil 5.7'de bu değer sonuçları grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynayan S700MC malzemenin ortalama sertlik değerleri.

S700MC	İZ POZİSYONU	GELENEKSEL AKIM SERTLİK DEĞERLERİ HV10	DARBELİ AKIM SERTLİK DEĞERLERİ HV10
ANA MALZEME	1	256,83	229,33
	2	268,50	231,67
	3	271,83	224,50
	4	283,83	241,17
ITAB	5	263,67	246,00
	6	267,17	251,67
	7	246,00	236,00
	8	261,67	254,00
	9	256,33	239,50
	10	307,67	280,12
KAYNAK METALİ	11	312,33	263,33
	12	315,50	298,67
	14	321,11	300,17
	14	321,11	300,17

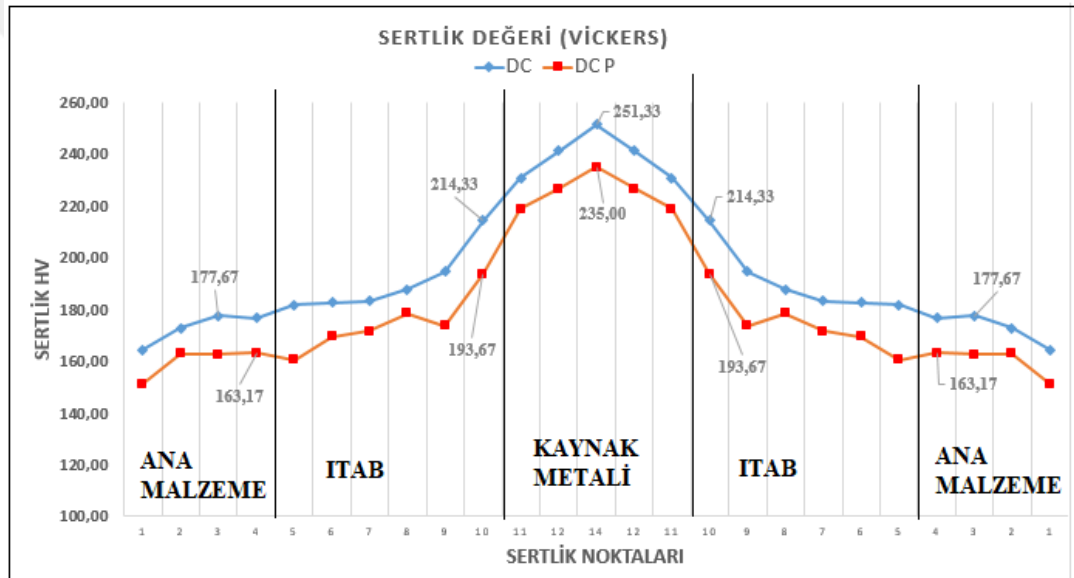


Şekil 5.7: S700MC DC ve DC darbeli akım sertlik değerleri.

Tablo 5.2’de geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynayan S355MC malzemesinin kaynak metal, ana malzeme ve ITAB bölgelerinden alınan üç sertlik değerlerinin ortalamaları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.8’de bu değer sonuçları grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Geleneksel ve darbeli akım yöntemi ile kaynak S355MC malzemenin ortalama sertlik değerleri.

S355MC	İZ POZİSYONU	GELENEKSEL AKIM SERTLİK DEĞERLERİ HV10	DARBELİ AKIM SERTLİK DEĞERLERİ HV10
ANA MALZEME	1	HV10	HV10
	2	164,50	151,11
	3	172,67	163,00
	4	177,67	162,67
	5	176,50	163,17
ITAB	6	181,83	160,33
	7	182,50	169,50
	8	183,17	171,66
	9	183,83	178,50
	10	194,50	173,50
KAYNAK METALİ	11	214,33	193,67
	12	230,83	218,67
	13	235,00	235,00
	14	251,33	235,00



Şekil 5.8: S355MC DC ve DC darbeli akım sertlik değerleri.

Geleneksel akım yöntemi ve darbeli akım ile gerçekleşen termomekanik haddelenmiş çeliklerin iki türünde de tablolarda görüleceği üzere sertlik değeri ana malzemeden kaynak bölgesine doğru artış göstermiştir. Ana malzemeki DC sertlik değeri, DC darbeli akım türüne göre yapılan kaynak işlemine göre bir miktar daha sert kalırken ITAB bölgesinde ve kaynak bölgesinde bu değerlerin neredeyse birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Sertlikte meydana gelen bu artışa paralel olarak dayanımın da arttığını söylemek mümkündür. Sertlik ve dolayısıyla dayanımda meydana gelen bu artışın sebebi, termomekanik işlem görmüş numunelerde dinamik yeniden kristalleşme ile daha küçük tane boyutuna sahip bir mikroyapının oluşmasıdır.

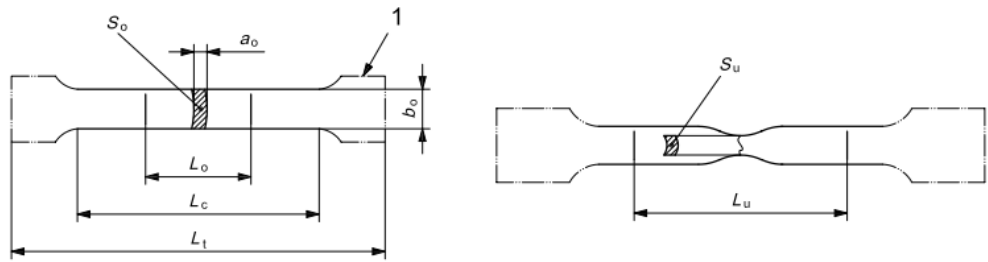
5.5. Çekme deneyi sonuçlarının incelenmesi

Malzemelerin statik yük altında sabit sıcaklıkta koparılınca kadar çekilmesi ile mukavemet özelliklerini elde edebileceğimiz gerilim-gerinim diyagramının oluşmasına yardımcı olan tahribatlı test yöntemidir. Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler standardı TS EN ISO 4136 'ya göre yapılmış olup değerlendirme standardı ise TS EN ISO 15614-1'e göre yapılmıştır.

Deneyde kullanılan çekme cihazı Şekil 5.9'da, TS EN ISO 6892-1'e göre hazırlanan çekme numune ölçüleri de Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Çekme cihazı.



Şekil 5.10: Çekme testi öncesi ve sonrası numune ölçüleri [53].

Akma mukaveti malzemede meydana gelebilecek en büyük alt ve üst gerilmenin değeridir. Çekme mukavemeti malzemeye her iki ucundan uygulanan çekme kuvveti sırasında kopmadan hemen önce ulaştığı maksimum gerilme değeridir. Kopma dayanımı malzemenin şekil değiştirmeden koptuğu anda ki değeridir. % Uzama ise malzemenin ilk

boyu ile koptuktan sonraki boylar arasındaki farkın, ilk boya bölümünden elde edilen değerin 100 katıdır.

Geleneksel ve darbeli akım yöntemi kullanılarak kaynatılan S355MC ve S700MC çeliklerinden üçer adet alınmış olan çekme testi sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 5.3'te ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5. 3 : S355MC geleneksel ve darbeli akım numunelerinin çekme test sonuçları.

Numune	Kesit Alan mm ²	L ₀ ¹ mm	L _u ² mm	Rp ³ % 0.2 N/mm ²	Rm ⁴ N/mm ²	Fmax. kN	Uzama %	Kopma Bölgesi
S355 DC	195,165	80,00	97,51	403,0	500	97,591	21,9	Malzeme
S355 DC Darbeli	195,308	80,00	98,09	412,8	505,7	98,764	22,6	Malzeme

Tablo 5. 4 : S700MC geleneksel ve darbeli akım numunelerinin çekme test sonuçları.

Numune	Kesit Alan mm ²	L ₀ ¹ mm	L _u ² mm	Rp ³ % 0.2 N/mm ²	Rm ⁴ N/mm ²	Fmax. kN	Uzama %	Kopma Bölgesi
S700 DC	190,88	80,00	86,23	624,00	703,40	134,27	7,80	Malzeme
S700 DC Darbeli	194,36	80,00	89,14	686,00	758,90	147,49	11,40	Malzeme

1. Orijinal ölçü uzunluğu (L₀)
2. Kırılmadan sonra ölçü uzunluğu (L_u)
3. Akma dayanımı (MPa)
4. Çekme dayanımı (MPa)

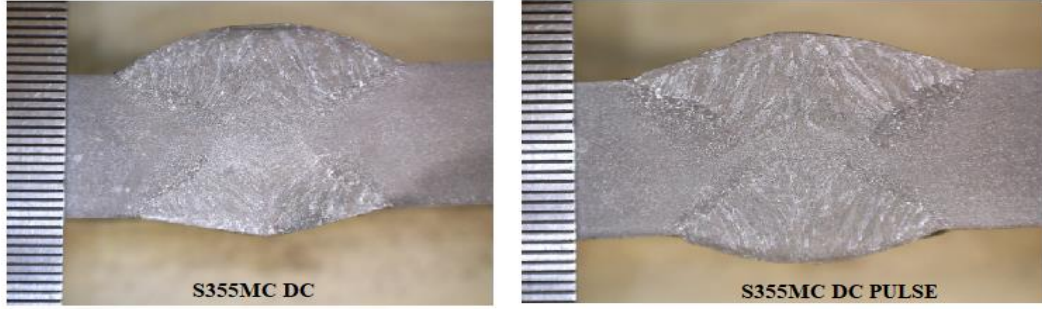
5.6. Makroyapı deneyi sonuçlarının incelenmesi

Makro muayene dağlanmış veya dağlanmamış deney numunesinin çıplak gözle veya küçük bir büyütme ile incelenmesidir.

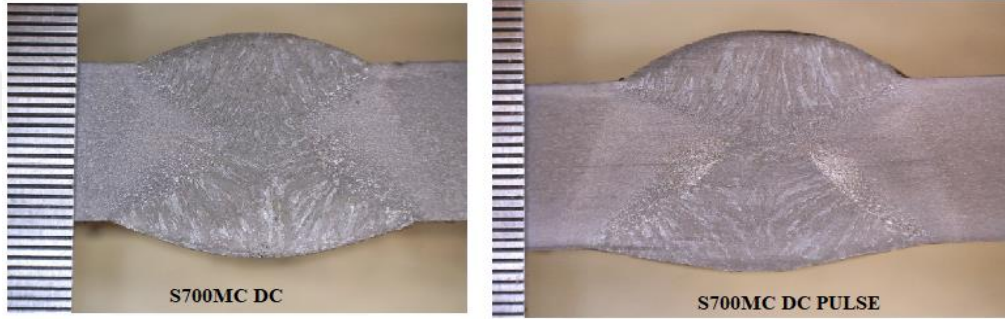
Makroskobik deneyler, kaynaklı birleştirmenin genellikle enine kesitinin incelenmesi ile makroskobik özelliklerin ortaya çıkarılmasında kullanılır. Bu işlem, hazırlanan yüzeyin dağlama öncesi ve sonrası gözle ve/veya optik olarak incelenmesi ile yapılır.

Makro ve mikro incelemelerin gerçekleştirilebilmesi için numuneler sırasıyla 240, 300, 600 ve 800 gritlik zımparalar ile zımparalandı, 150- 600d/dk hızla dönen bir döner disk üzerinde aşındırıcı boyutu 0,5-0,05 µm olan kısa tüylü çuha yardımı ile parlatıldı. Parlatma işlemi tamamlanan numuneler % 5 Nital ile 10 saniye dağlanmış ve ardından incelemeler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.11'de S355MC malzemesinin DC ve DC darbeli kaynaklarının makro sonuçları, Şekil 5.12'de S700MC malzemesinin DC ve DC darbeli

kaynaklarının makro sonuçları gösterilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda kaynak formunun düzgün ve nüfuziyetin yeterli olduğu görülmüştür



Şekil 5.11: S355MC DC ve DC darbeli makro görüntüleri.



Şekil 5.12: S700MC DC ve DC darbeli makro görüntüleri.

5.7. Mikroyapı deneyi sonuçlarının incelenmesi

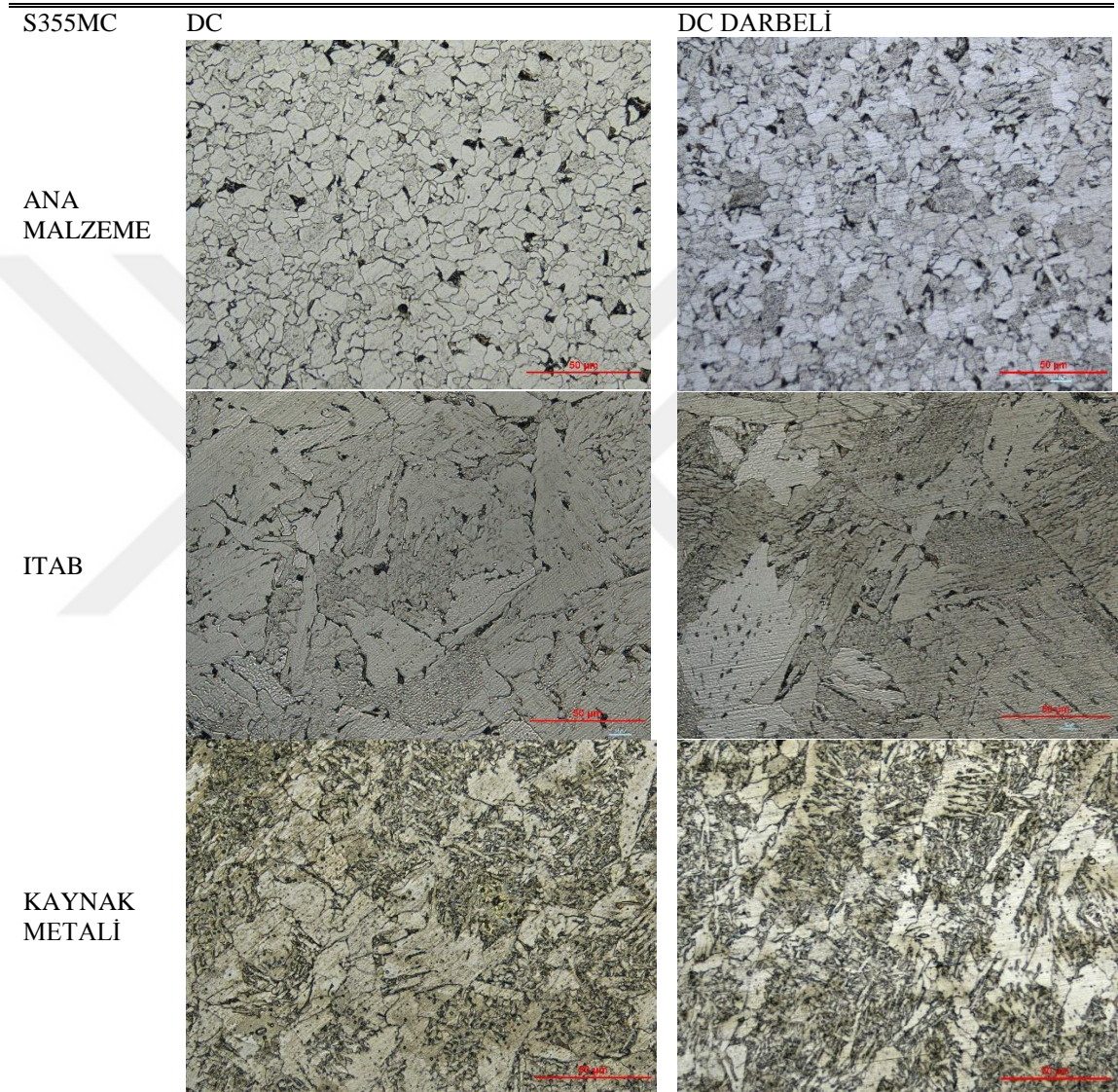
Kaynak bölgesinin mekanik özellikleri kaynak metali ve ITAB da oluşan mikro yapılara bağlı kalmaktadır. Mikroyapı değişimleri kaynak edilen parçanın kalınlığına, kimyasal birleşimine, soğuma hızına, parçanın şekline, malzemenin ısı iletim kabiliyetine ve kaynak parametrelerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Şekil 5.13'te parlatma cihazı ile mikroskop cihazı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.13: Presi Minitech 250 parlatma cihazı ve Nikon MA 100N mikroskop.

Bu çalışmada mikroyapı testi için % 5 nitrik asit ile 10 sn dağlanan parçalar Presi Minitech 250 sp1 parlatma cihazı ile parlatıldı ve Nikon MA100N ters metal mikroskobu ile 500X büyütme görüntüleri alındı. Tablo 5.5'te S355MC DC ve DC darbeli 500X mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir.

Tablo 5.5: S355MC DC ve DC darbeli 500X mikroyapı görüntüleri.

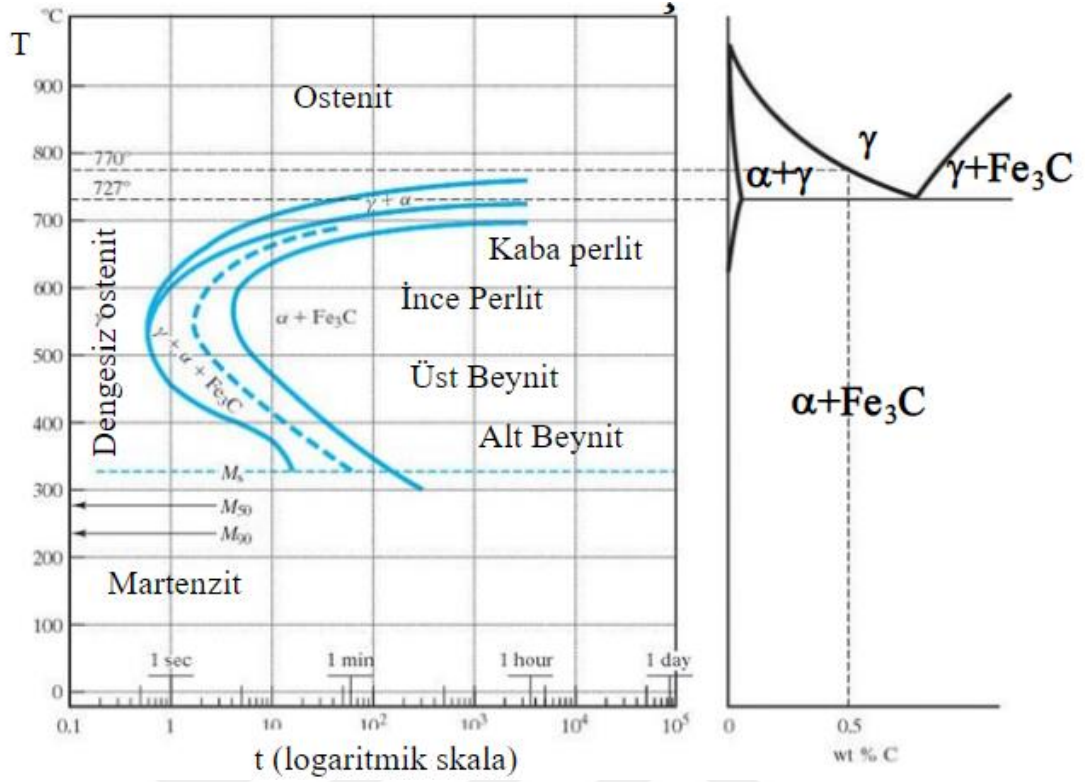


Ana malzeme mikroyapısının, ferrit (açık renk) ve perlit (koyu renk) fazlarından meydana geldiği görülmektedir. Ana malzemedan kaynak havuzu bölgesine ilerlerken hem geleneksel akım yönteminde hem de darbeli akım kaynak yönteminde, ana malzeme yapısını meydana getiren ferrit ve perlit yapılarının martenzit yapıya dönüşmeye başladığı düşünülmektedir.

Darbeli akım kullanılarak elde edilen numunelerin tane boyutları, geleneksel akım kullanılarak elde edilen numunelerinin tane boyutlarından daha büyük olduğu görülmektedir. Kaynak havuzu bölgeleri incelendiğinde ise hem darbeli akım hem de geleneksel akımda kullanılan numunelerin ferrit (açık renk) ve martenzit (koyu renk) fazlarının oluşumu gözlenmektedir. Kaynak havuzu bölgelerinde meydana gelen yapılar incelendiğinde; darbeli akım kullanılan numunelerde martenzit oluşumunun, geleneksel akım kullanılan numunelere göre daha yavaş gerçekleştiği, buna bağlı olarak kaburgavari martenzit yapının meydana geldiği düşünülmekte olup aynı zamanda geleneksel akım kullanılan numunelerin tane boyutlarının daha küçük olduğu görülmektedir.

Darbeli akım kullanılan numunelerde ısı girdisinin daha düşük olmasına bağlı olarak, malzemenin soğuma oranı (cooling rate) daha düşük olacaktır. Bu durumda malzemenin faz dönüşümü için daha uzun zamanı olacak (TTT’de sağa kayma), aynı zamanda tane büyüklüğü artacaktır. Elde edilen bu mikroyapı görüntüleri sonucunda darbeli akım kullanılan numunelerde ısı girdisinin düşük olması nedeniyle ITAB ve kaynak havuzu bölgelerindeki tane boyutlarının ve kaynak havuzu bölgesindeki ferrit fazlarının daha büyük olduğu düşünülmektedir.

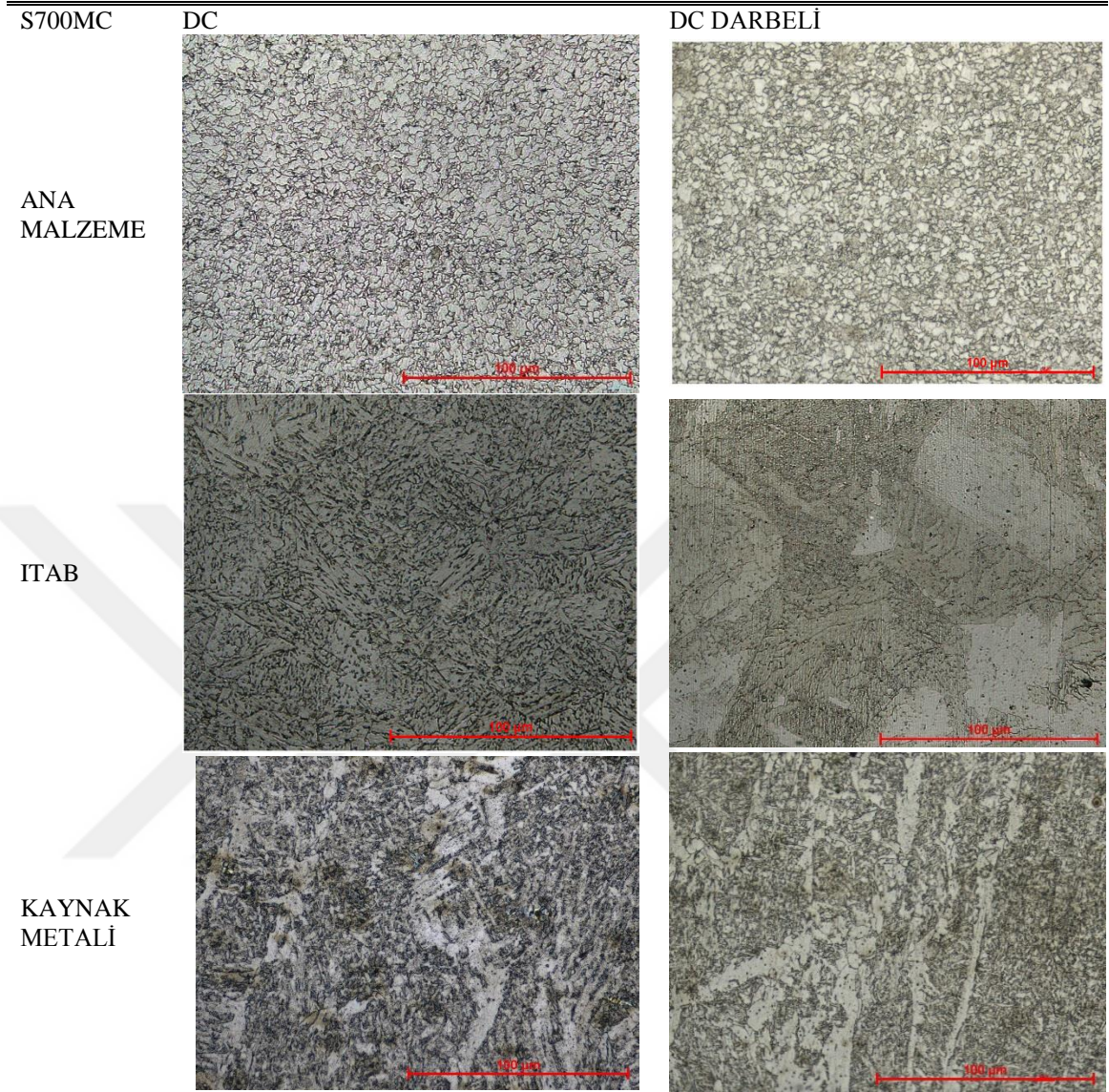
Zaman sıcaklık eğrisi (TTT) östenit sıcaklığından başlayarak çizilen soğuma eğrilerinin okunması ile oluşan zamana bağlı sıcaklık dönüşüm grafiğidir. Diyagram; malzemelerin dönüşüm davranışları, dönüşüm bölgelerinde oluşan kimyasal bileşenlerin miktarı (alan eğrisi ile soğuma eğrisi alt sınırının yüzdelik olarak kesim noktası), elde edilen iç yapının sertliği hakkında bilgi verir. Şekil 5.14’te ötektoid altı çelikerin zaman sıcaklık dönüşüm grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.14: Zaman sıcaklık dönüşüm grafiği [54].

Yapılan sertlik incelemeleri sonucunda ise daha büyük tane boyutuna ve ferrit tane büyüklüğüne sahip olan darbeli akım numunelerinin sertlik değerlerinin, geleneksel akım numunelerine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir ve sertlik sonuçları ile mikroyapı görüntülemelerinin birbirini destekler nitelikte olduğu düşünülmektedir. Tablo 5.6'da S700MC geleneksel akım ve darbeli akım yöntemi ile kaynaklanan numunelerinin 500X mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir.

Tablo 5. 6 : S700MC DC ve DC darbeli 500X mikroyapı görüntüleri.



Ana malzeme (S700MC) mikroyapısının, ferrit (açık renk) ve perlit (koyu renk) fazlarından meydana geldiği görülmektedir.

Ana malzemedan kaynak havuzu bölgesine doğru ilerlerken hem darbeli akım hem de geleneksel akım kullanılan deney numunelerinde, ana malzeme mikroyapısını meydana getiren ferrit ve perlit yapının martenzit fazına dönüşmeye başladığı düşünülmektedir. Ancak darbeli akım kullanılarak elde edilen numunelerin ferrit tane büyüklüklerinin daha fazla olduğu görülürken, geleneksel akım yöntemi kullanılan numunelerde ferrit fazı içerisinde disperse olmuş ince ferrit iğneleri görülmektedir.

Kaynak havuzu bölgeleri incelendiğinde ise hem darbeli akım hem de geleneksel akım numunelerinde ferrit (açık renk) ve martenzit (koyu renk) fazı oluşumu gözlenmektedir. Kaynak havuzu bölgelerinde meydana gelen yapılar incelendiğinde ise darbeli akım yöntemi kullanılan numunelerde ferrit fazı çok daha belirgin şekilde ayırt edilebilirken, geleneksel akım yöntemi kullanılan numunelerde ferrit fazının içine doğru ilerlemeye başlayan martenzit fazı görülmektedir.

Darbeli akım yöntemi kullanılan numunelerde ısı girdisinin daha düşük olmasına bağlı olarak, malzemenin soğuma oranı (cooling rate) daha düşüktür. Bu durumda malzemenin faz dönüşümü için daha uzun zamanı olacak (TTT'de sağa kayma), aynı zamanda tane büyüklüğü artacaktır. Elde edilen bu mikroyapı görüntüleri sonucunda darbeli akım kullanılan numunelerdeki ısı girdisi, geleneksel akımda oluşan ısı girdisinden daha düşük olması nedeniyle sertlik değeri düşüktür. Buna bağlı olarak, darbeli akım kullanılan numunelerin ITAB'ında meydana gelen ferrit ve martenzit oluşumları farklılık göstermektedir. Geleneksel akım numunelerinde hızlı soğumaya bağlı olarak iğne yapılı martenzit fazı meydana gelmekte ve martenzit fazının ferrit fazı içerisinde büyümeye devam ettiği görülmektedir.

Yapılan sertlik incelemeleri sonucunda ise geleneksel akım numunelerinin sertlik değerlerinin, darbeli akım numunelerinin sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiş ve yüksek soğuma oranına bağlı olarak martenzit dönüşümünün meydana gelmesi, sertlik sonuçları ile mikroyapı görüntülemelerinin birbirini destekler nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, otomotiv yan sanayi, yenilenebilir enerji, savunma sanayi sektörlerinde tercih edilen S355MC ve S700MC YMDA malzemeler kullanılarak, inverter tip kaynak makinelerinin darbeli akım özelliği ile geleneksel akım özelliği karşılaştırılmıştır ve bu malzemelerin sertlik, çekme ve mikroyapı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Termomekanik haddelenmiş YMDA S355MC ve S700MC çeliklerinin robotik gazaltı kaynak yönteminde darbeli akım ve geleneksel akım yöntemi ile yapılan birleştirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. S355MC çeliğinin içerdiği karbon miktarı ile karbon eşdeğeri Graville diyagramı üzerinde karşılaştırıldığında; birinci bölgede olduğu, kolay kaynaklanabildiği ve kaynak öncesi ön ısıtma işlemine gereksinim duyulmadığı tespit edilmiştir.
2. S700MC çeliğinin ise karbon oranı ile karbon eşdeğeri Graville diyagramı üzerinde karşılaştırıldığında; bu çeliğin ikinci bölgede olduğu, kaynak işleminin uygun şartlara bağlı olarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Kaynak ağzı tasarımı, tel çapı seçimi, uygun gaz karışımı belirlenerek S700MC için uygun kaynak şartları sağlanmıştır.
3. Tahribatsız test yöntemlerinden gözle muayene, penetrasyon ve radyografik testleri yapılan numunelerde süreksizlik tespit edilmemiştir..
4. Sertlik sonuçları incelendiğinde her iki termomekanik haddelenmiş çelik türünün izin verilen 350 HV sertlik değerini aşmadığı, ana malzemedan kaynak bölgesine doğru sertlik artışı olduğu gözlemlenmiştir.
5. Ana malzeme bölgesindeki sertlik değerleri karşılaştırıldığında; S355MC çeliklerinin geleneksel akım yöntemi sonucu sertlik değerlerinin, darbeli akımla kaynatılan parçalara kıyasla ortalama % 8 yüksek olduğu tespit edilmiştir.
6. S700MC çeliklerinin ise geleneksel akım kullanılan sertlik değerlerinin, darbeli akımla kaynatılan parçalara kıyasla ortalama % 17 yüksek olduğu tespit edilmiştir.
7. ITAB bölgesindeki sertlik değerleri karşılaştırıldığında; S355MC çeliklerinin geleneksel akım sertlik değerinin, darbeli akım sertlik değerine göre ortalama % 9 fazla olduğu tespit edilmiştir.
8. S700MC çeliklerinde ise geleneksel akım yöntemi ile kaynatılan çeliklerin darbeli akım ile kaynatılan çeliklere kıyasla ITAB bölgesindeki sertlik değerinin ortalama % 6 fazla olduğu tespit edilmiştir.
9. Kaynak metali bölgesinde S355MC çeliklerinde geleneksel akım kaynak yöntemi ile kaynatılan çeliklerin sertlik değeri, darbeli akım yöntemi ile kaynatılan çeliklere göre % 6 fazla olduğu, S700MC çeliklerinde ise bu değer % 10 fazla olduğu tespit edilmiştir.
10. Çekme test sonuçları karşılaştırıldığında ise kopmaların ana malzemedan gerçekleştiği görülmüştür. S355MC malzemelerin çekme test sonuçları incelendiğinde; darbeli akım ile kaynatılan çeliklerin maksimum çekme

mukavemeti, geleneksel akım yöntemi ile kaynatılan çeliklere kıyasla % 1, akma mukaveti ise % 2 yüksek çıkmıştır.

11. S700MC darbeli akımla kaynatılan çeliklerin çekme mukavemeti, geleneksel akımla kaynatılan çeliklere kıyasla % 8, akma mukaveti ise % 10 yüksek çıkmıştır.
12. Makro incelemeleri yapılan X kaynak ağızlı parçaların tümünde tam penetrasyon elde edilmiştir.
13. Mikroyapı test sonuçları incelemelerinde, darbeli akım kullanılarak kaynatılan malzemelerin ferrit tane boyutlarının, geleneksel akım türüne göre büyük olduğu ve bununla birlikte geleneksel akım kullanılan malzemelerde ferrit fazı içerisinde disperse olmuş ince ferrit iğneleri görülmüştür.
14. Tahribatlı test sonuçları incelendiğinde darbeli akımın, geleneksel akım yöntemine göre sertlik üzerindeki etkisinin % 10 daha düşük olduğu, akma dayanımının % 8, çekme dayanımının ise % 10 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırmada kullanılan bu yüzdeler sertlik, akma ve çekme mukavemetinin maksimum değerleridir. Termomekanik haddelenmiş 8 mm kalınlığındaki çeliklerin darbeli akım ve geleneksel akım sonuçları arasında marjinal bir fark olmadığı bu çalışmada görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Praveen, P., Yarlagadda, P., & Kang, M. (2005). Advancements in pulse gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 1113-1119.
- [2] Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N., & Durgutlu, A. (2005). Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1475-1481.
- [3] Tusek, J., & Suban, M. (2000). Experimental research of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 369-376.
- [4] Gülenç, B., & Tülbentçi, K. (1996). Düşük karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimi. *GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, (s. 66-70). İstanbul.
- [5] Kurşun, T., & Kılık, R. (1996). Çeliklerin Birleştirilmesinde Gazaltı Kaynak Tekniğinin Kullanılması Halinde Gaz Maliyeti. *GEV Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, (s. 56-65). İstanbul.
- [6] Ngo, M., Duy, V., Phuong, N., Kim, H., & Kim, S. (2007). Development of digital gas metal arc welding system. *Journal of Materials Processing Technology*, 384-391.
- [7] Palani, P., & Murugan, N. (2006). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 1-10.
- [8] Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K., & İpek, H. (2018). AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 167-207.
- [9] Porogzhelskyi, V. J., Matrosov, J., & Nasibov, A. G. (1977). Controlled Rolling of Microalloyed Steels, Microalloying 75. *Proceedings of International Symposium on High Strength, Low-Allow Steels*, (s. 100-106). New York.
- [10] Lanfor, W., Samways, L. N., Craven, F. R., & McGannon, E. H. (1985). High Strength Low-Allow Sheet Steels. *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 1311-1312.
- [11] AWS. (2001). *Welding Science and Technology. 9th Edition*. USA.

- [12] Kaluç, E. (1999). Metallerin Kaynak Kabiliyeti Yüksek Lisans Ders Notları. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] AWS. (1998). Materials and Applications . 8th Edition. USA.
- [14] Kaluç, E. (2004). Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri. *Kaynak Teknolojisi Cilt 1*. içinde Ankara.
- [15] Güngör, O. N. (1996). HY-80 Çeliğinde Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Bağlantısı ve Isıdan Etkilenmiş Bölgenin Mekanik Özelliklere Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] French, I., & Bosworth, M. R. (1995). A comparison of pulsed and conventional welding with basic flux cored and metal cored welding wires. *Welding Journal*, 197-205.
- [17] Ueguri, S., Hara, K., & Komura , H. (1985). Study of metal transfer in pulsed GMA welding. *Welding Journal*, 242-250.
- [18] Anık, S. (1972). Kaynak Tekniğı (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak), Cilt 2. Gümüşsuyu: İstanbul Teknik Üniversite Matbaası.
- [19] Anık, S. (1991). Kaynak Tekniğı El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü .
- [20] Gültekin , N. (1991). Kaynak Tekniğı. Üsküdar, İstanbulL: Engin Ofset.
- [21] Mandal, N. R. (2004). Welding and Distorsion Control. *Alpha Science International Ltd*. Pangbourne.
- [22] AWS. (1999). Structural Welding Code-Steel . 17th Edition. USA.
- [23] Url-1. (2021, 02 14). <https://www.izmitmetal.com/endustriyel-robotlarin-avantajlari/> adresinden alındı
- [24] Çengelci, B., & Çimen, H. (2005). Endüstriyel Robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 69-78.
- [25] Gök, V. G., & Afyon, Ç. (1999). Kaynak uygulamalarında robot teknolojisi. *Kaynak Teknolojisi II Ulusal Kongresi* (s. 221-230). Ankara: Makine Mühendisleri Odası.
- [26] Manipulating Industrial Robots – Vocabulary. (1994). *ISO Standard 8373*.
- [27] Cherubini, A., Passama, R., Crosnier, A., Lasnier, A., & Fraisse, P. (2016). Collaborative manufacturing with physical humanrobot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1-13.

- [28] Url-2. (2021, 02 2). <https://docplayer.biz.tr/7336697-Urun-katalogu-www-oerlikon-com-tr-kaynak-ve-plazmakesme-robotlari-06-2013.html> adresinden alındı.
- [29] Url-3. (2021, 02 22). <https://www.daihen-usa.com/product-category/robot-controllers/> adresinden alındı.
- [30] Url-4. (2021, 02 22). <https://www.daihen-usa.com/product-category/robots/> adresinden alındı.
- [31] Yükler, İ., & Çatalgl, Z. (1996). Kaynak Hataları ve Kaynak Kalitesi, Ders Notu. İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- [32] Anık, S., Tülbentçi, K., & Kaluç, E. (1991). rtl Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı. İstanbul: Gedik Holding Yayını.
- [33] Url-5. (2021, 03 01). <https://docplayer.biz.tr/6541482-Hosgeldiniz-mig-mag-gazalti-kaynak-hatalari-sebepleri-ve-onlemleri-k-ayna-k-teknolojisi-teknolojisi.html> adresinden alındı.
- [34] Url-6. (2021, 03 01). <https://www.scribd.com/document/535522539/kaynak-hasarlar%C4%B1> adresinden alındı.
- [35] Tülbentçi, K. (1990). MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı. İstanbul: Gedik Holding.
- [36] Subramaniam, S., White, D. R., Jones, J. E., & Lyons, W. (1998). Droplet transfer in pulsed gas metal arc welding of aluminum. *Welding Journal*, 458-463.
- [37] Url-7. (2021, 03 03). <https://www.aedmotorsport.com/news/mig-welding-transfer-methods> adresinden alındı.
- [38] Eryürek, İ. B. (1998). Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı. İstanbul: Diacan Grafik.
- [39] Tülbentçi, K. (1998). MIG-MAG Kaynak Yöntemi. İstanbul: Arctech Yayın.
- [40] Anık, S., Anık, S. E., & Vural, M. (2000). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [41] Cary, H. B., & Helzer, S. C. (1979). Modern welding technology (Vol. 6). Upper Saddle River: NJ: Prentice-Hall.
- [42] Karadeniz, S. (2008). Kaynak Makinaları (1.Baskı). İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- [43] ASM. (1993). Metals Handbook. *Welding, brazing and soldering (9th ed.). Volume 6. ASM International*. United States of America.
- [44] Taş, Z. (2012). Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 97-101.

- [45] TS EN ISO 15614-1 . (2017). Bölüm 1: Çeliklerin gaz ve ark kaynağı, nikel ve nikel alaşımlarının ark kaynağı. *Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması - Kaynak prosedürü deneyi*.
- [46] Donders, S., Brughmans, M., Hermans, L., & Tzannetakis, N. (2005). The Effect of Spot Weld Failure on Dynamic Vehicle Performance. *IMAC-XXIII, the 23rd International Modal Analysis Conference*. Orlando.
- [47] Sonat, M., & Doyum, A. B. (1999). Direnç Punto Kaynaklarının Ultrasonik Muayenesi. *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, (s. 97-109). Ankara.
- [48] Altürk, H. (1993). The Effect of Carbon Content on the Heat Affected Zone Toughness of HSLA-100 and HY-100 Plate Steels. *M.Sc. Thesis, Materials Science Engineering*. USA: University of Pittsburgh.
- [49] DeArdo, A. J. (1992, June). Structure-Property Studies of Cu-Containing HSLA-100 Steels, *Proceedings of the International Conference on Processing, Microstructure and Properties of Microalloyed and Other Modern HSLA Steels. Iron and Steel Society*, 345-356.
- [50] Jansto, S. (2018). New Generation Structural Steel Plate for Meeting Offshore and Arctic Applications. *In Proceedings of the 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2018 Proceedings)*. Madrid, Spain.
- [51] Ermiş, K., & Çelikten, E. (2021). The effect of the gap between the materials on the weld penetration and mechanical values in the MAG butt weld joint. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 1650-1657.
- [52] Bektaş, M. (2004). Fe-Mn Alaşımlarının Mikrosertlik Ölçümleri. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [53] TS EN ISO 6892-1. (2016). Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi. *Metalik malzemeler -Çekme deneyi*.
- [54] Url-8. (2021, 09 01). <https://slideplayer.biz.tr/slide/10401813/> adresinden alındı.