T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ZIRH ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE BİRLEŞTİRİLMESİ, MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MAKRO YAPISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan YORGUN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DENKTAŞ

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ZIRH ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE BİRLEŞTİRİLMESİ, MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MAKRO YAPISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan YORGUN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 20/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	Başarılı
Üye: Doç. Dr. Ömer SAVAŞ	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DENKTAŞ	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.

Erhan YORGUN

15.09.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini benden esirgemeyen, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar bütün süreçlerde yardımlarını esirgemeyen, motive eden, aynı titizlikte beni sevk eden kıymetli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Denktaş'a tecrübesi ve bilgisiyle bana desteğini esirgemeyen Prof.Dr.Salim ASLANLAR hocama, kaynak tellerinin tedarikini sağlayan Sayın Müfit SARIKAYA ve Ömer DOLU'ya , bana işletmesini açarak kaynak uygulamalarını yapmamı sağlayan Sayın Fatih ÖZKAN'a kaynaklı numunelerin tahribatlı testlerinin yapılmasında TÜVASAŞ labaratuar yetkilisi Kadir KORKMAZ hayatın her anında olduğu gibi bu süreçte de benden desteğini esirgemeyen eşim Sayın Havva YORGUN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
KISALTMALAR ..... **iv**
SİMGELER ..... **v**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vi**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **vii**
ÖZET ..... **viii**
SUMMARY ..... **ix**

BÖLÜM 1.
GİRİŞ **1**

BÖLÜM 2.
ZIRH ÇELİKLERİ VE TEKNOLOJİLERİ **4**
2.1. Zirh Çeliklerinin Özellikleri 6
2.2. Zırh Çeliklerinde Alaşımlama 9
2.3. Zırh Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler 10
2.4. Zırh Teknolojisi 15
2.4.1. Seramik zırhlar 15
2.4.2. Alüminyum zırhlar 19
2.4.3. Titanyum zırhlar 20
2.4.4. Kompozit zırhlar 20
2.4.5. Çelik zırhlar 21

BÖLÜM 3.
ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİ **22**
3.1. Gaz Altı Kaynak Yöntemi 22
3.1.1. MIG (Metal Inert Gas) kaynağı 23
3.1.2. Özlü tel ile kaynağı 28

BÖLÜM 4.
MATERYAL VE METOD....36
4.1. Kullanilan Malzemeler....36
4.2. Metod....37
4.2.1. Kaynak işlemine hazırlık....37
4.2.2. Kaynak uygulamaları....40
4.3. Kaynak İşlemi....43

BÖLÜM 5.
SONUÇLAR....46
5.1. Çekme Testi....46
5.2. Eğme Testi....52
5.3. Çentik Darbe Testi....55

BÖLÜM 6.
DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA....57
6.1. Çekme Testi Sonuçları Değerlendirmesi....57
6.2. Eğme Testi Sonuçlarinin Değerlendirmesi....59
6.3. Çentik Darbe Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi....60

BÖLÜM 7.
SONUÇ....64

BÖLÜM 8.
İRDELEME....65

KAYNAKÇA....66
ÖZGEÇMİŞ....69

KISALTMALAR

AIC : Akaike Information Criteria

ANN : Artificial Neural Network

App : Appendix

BP : Backpropagation

CGI : Common Gateway Interface

ESS : Error sum-of-squares

GARCH : Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

GIS : Geographic Information Systems

HCA : Hierarchical Cluster Analysis

ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge

Mbps : Megabits per second

St : Station

SWAT : Soil and Water Assessment Tool

UMN : University of Minnesota

SİMGELER

α	: Asal gerilme doğrultusundan sapma açısı
ρ	: Yoğunluk
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$	: Kabuk iç gerilmeleri
C	: Dokunun kapasitansı
H	: Isı miktarı
M_x, M_y, M_{xy}	: Moment Bileşenleri
N_x, N_y, N_{xy}	: Normal Kuvvet Bileşenleri
q	: Faz yükü
t	: Zaman
u,v	: Yer değiştirme vektörü bileşenleri
w	: Açısal hız
XC	: Kapasitif reaktans
XL	: Endüktif reaktans

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Zırh çeliklerinde üretim prosesleri bakımından istenen nitelikler 7
Tablo 2.2: MIL-SPEC'e göre zırh çeliklerinin kimyasal dağılımı 7
Tablo 2.3: Levha kalınlıklarına bağlı olarak imal edilen zırh çeliklerinin mekanik özellikleri+ 8
Tablo 2.4: Yaygın kullanıma sahip yekpare seramik zırh malzemelerinin özellikleri. .. 19
Tablo 3.1: MAG kaynak yönteminde kullanılan özlü tel tipleri ve özlerini meydana getiten bileşenler 31
Tablo 3.2: EN 758'e göre özlü tel elektrot çeşitleri. 33
Tablo 4.1: Armox 500T zırh çelik malzemesinin kimyasal özellikleri (%). 36
Tablo 4.2: Armox 500T zırh çelik malzemesinin mekanik özellikleri 36
Tablo 4.3: GEKA 307 kalite 1,2 Masif kaynak telinin kimyasal ve mekanik analizi 37
Tablo 4.4: Esab OK Tubrodur 200 od 1,6 özlü kaynak telinin kimyasal ve mekanik analizi 37
Tablo 4.5: N1 kodlu test numunesinin fiziksel parametlreleri 38
Tablo 4.6: N2 numunesinin fiziksel parametreleri gösterilmektedir. 39
Tablo 4.7: N3 kodlu numunesinin fiziksel parametreleri gösterilmektedir. 39
Tablo 4.8: N4 kodlu numunenin fiziksel parametreleri verilmiştir. 40
Tablo 4.9: N5 kodlu numunenin fiziksel parametreleri gösterilmektedir. 40
Tablo 4.10: Numunelerinin kaynak parametreleri gösterilmiştir. 44
Tablo 5.1: Deney numunelerinin çekme testi gösterilmiştir. 48
Tablo 5.2: Deney numunelerinin eğme testi parametreleri gösterilmektedir. 53
Tablo 5.3: Eğme testi mekanik sonuçları gösterilmektedir. 54
Tablo 5.4: Numunelerin çentik darbe testi sonuçları gösterilmektedir. 56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Geçmişte kullanılmış bir zırh ürünü 1
Şekil 2.1: Zırhlı askeri araç örnekleri 5
Şekil 2.2: Zırh çeliklerine uygulanan ısıl işlem aşamaları 9
Şekil 2.3: Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler 11
Şekil 3.1: MIG-MAG kaynağının çalışma prensibi ve sistem bileşenleri 25
Şekil 3.2: Torcun kısımları 26
Şekil 3.3: Özlü tel elektrot ile kaynakta ark bölgesi 28
Şekil 3.4: Özlü elektrotlarda en çok tercih edilen kesit şekilleri ve dolgu kademeleri 30
Şekil 3.5: Özlü tel üretimi 30
Şekil 4.1: Kaynak ağzı ve plaka ölçüleri 38
Şekil 4.2: EN ISO 15614'e göre hazırlanmış N1 kodlu numune gösterilmektedir. 39
Şekil 4.3: MİG Kaynak yönteminde kullanılan 'Panasonic YD-500AF2' kaynak makinası gösterilmektedir. 41
Şekil 4.4: Uygulamada kullanılan Panasonic kaynak robotu. 42
Şekil 4.5: Uygulamada kullanılan kaynak fikstürü gösterilmektedir. 42
Şekil 4.6: Seramik Altlık Uygulaması 43
Şekil 4.7: Kaynak numunelerine uygulanan ön tav işlemi gösterilmektedir. 43
Şekil 4.8: Örnek numune kaynağı gösterimektedir. 44
Şekil 4.9: N1 kodlu numunenin mekanik test için kesilmiş ve paketlenmiş görseli gösterilmektedir. 45
Şekil 5.1: 'INSTRON 300DX' çekme testi cihazı gösterilmiştir. 47
Şekil 5.2: N1 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir. 48
Şekil 5.3: N2 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir. 49
Şekil 5.4: N3 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir. 49
Şekil 5.5: N4 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir. 50
Şekil 5.6: N5 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir. 50
Şekil 5.7: Numunelerin Akma Gerilmelerinin karşılaştırılması. 51
Şekil 5.8: Numunelerin Max. Çekme Gerilmelerinin karşılaştırılması. 51
Şekil 5.9: Numunelerin Birim şekil değiştirme miktarlarının karşılaştırılması. 52
Şekil 5.10: 'INSTRON 300DX' Eğme testi cihazı gösterilmektedir. 53
Şekil 5.11: Numunelerin Birim şekil değiştirme miktarlarının karşılaştırılması. 54
Şekil 5.12: INSTRON IMPACT SI-1K3 çentik darbe test cihazı gösterilmektedir. 55
Şekil 5.13: Numunelerin Kırılma Enerji miktarlarının karşılaştırılması 56
Şekil 6.1: N3 numunesinin makro fotografı gösterilmektedir. 60
Şekil 6.2: N1 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmektedir. 61
Şekil 6.3: N2 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmektedir. 61
Şekil 6.4: N3 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir. 62
Şekil 6.5: N4 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir. 62
Şekil 6.6: N5 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir. 63

ZIRH ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE BİRLEŞTİRİLMESİ, MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MAKRO YAPISININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada savunma sanayi pazarında önemli bir yere sahip olan zırhlı araçların imalatında yaygın olarak kullanılan 480-540 HBW sertlikteki, 5 mm ve 7 mm kalınlığındaki Armox 500T olarak adlandırılmış zırh çeliği malzemesi, OTOKAR Savunma Sanayi Anonim Şirketi' den temin edilerek, Sakarya'da bulunan Özkan Makine Sanayi Ticaret Limited Şirketi'nde farklı amper, voltaj, kaynak hızı, elektrot ve ön tav parametrelerinin kombinasyonları kararlaştırılarak. MİG gazaltı kaynak metodu uygulanmak suretiyle birleştirilmiştir. Kullanılan kaynak telleri olarak 1,2 mm çapında GEKA marka 307 kalite masif kaynak teli ile ESAB marka 1,6 mm çapında özlü tel kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 4 adet 5 mm kalınlığında 6 adet 7 mm kalınlığında TS EN ISO 15614'e göre 150x300 mm ebatlarında olmak üzere toplam 10 adet test numune plakası haddeleme yönü göz önünde bulundurularak lazer kesim tezgâhında kestirilmiştir. Kesilen bu plakalara frezede farklı açılarda kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak performansını olumsuz yönde etkisi olabilecek yağ, kir, toz ve pastan arındırılması maksadıyla kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kesilen bu plakalar ikişerli gruplar halinde eşleştirilerek punta kaynak (nokta kaynak) işlemi yapılmıştır. Hazırlanan kaynak numunelerinin, kaynak işleminin daha kolay ve daha sağlıklı olabilmesi için kaynaklama işleminin yapıldığı robot tezgahına uygun olarak kaynak fikstürü yapılmıştır. Hazırlanan test numuneleri önceden hazırlanmış olan kaynak fikstürün içine oturtularak kaynaklama işlemi gerçekleştirilmiştir. TS EN ISO 15614'e göre hazırlanan numunelere kaynak öncesi seramik altlık uygulaması yapılmıştır. Bazı numunelere kaynak dikişinin sağından ve solundan 200 mm genişliğindeki bölgeye farklı sıcaklıklarda ön tav uygulaması yapılmıştır ve kaynak bölgesinin makro yapısı incelenmiştir. Kaynaklana 5 adet numunenin mekanik özellikleri; çekme testleri, Charby çentik darbe testleri, eğme testleri için ilgili standartlara uygun olarak hazırlanan numuneler, bahse konu olan testlere tabi tutularak sonuçları analiz edilmiştir. Numunelerden arta kalan bölgelerden makro testler için görseller alınıp sonuçları yorumlanmıştır. Sonuç olarak, Bu çalışma muhteviyatı bakımından Türk Savunma Sanayiinde kullanılacak faydalı verileri ihtiva etmekte olup, yeni nesil zırh çeliklerinin kaynak kabiliyetinin analizinin bir sonucudur.

Anahtar Kelimeler: Özlü tel, MİG, Zırh çeliği, Masif tel, Punta kaynak.

COMBINING ARMOUR STEELS WITH CORED WIRE, MECHANICAL PROPERTIES AND INVESTIGATION OF MACRO STRUCTURE

SUMMARY

In this study, the defense industry, which has an important place in the market commonly used in the manufacture of armored vehicles 480-540 hardness HBW, 5 mm and 7 mm thick Armox 500T steel material named as armor, OTOKAR can be procured from the Defense Industrial Corporation, located in Sakarya, Özkan, Machinery Industry Trade Limited company with different amps, voltage, welding speed, electrode and preliminary annealing upon the combinations of the parameters. It is combined by applying MiG gas welding method. As the Welding Wires used, GEKA brand 307 quality solid welding wire with a diameter of 1.2 mm and ESAB brand 1.6 mm diameter cored wire were used. A total of 10 test sample plates, 4 5 mm thick, 6 7 mm thick, 150x300 mm in accordance with TS EN ISO 15614, were cut on the laser cutting machine taking into account the rolling direction for use in experiments. These cut plates were opened at different angles in the milling cutter. It has been subjected to sandblasting process in order to remove oil, dirt, dust and rust which may have a negative effect on welding performance. These cut plates were matched in groups of two and spot welding (spot welding) was performed. In order for the prepared welding samples to be easier and healthier, the welding fixture was made in accordance with the robot machine where the welding process is performed. The prepared test samples were seated inside the pre-prepared welding fixture and the welding process was carried out. Ceramic underlay was applied to samples prepared according to TS EN ISO 15614 before welding. Some samples were pre-annealed at different temperatures from the right and left of the welding seam to the 200 mm wide area, and the macro structure of the welding zone was studied. Mechanical properties of 5 welded samples; samples prepared in accordance with the relevant standards for tensile tests, Charby notch impact tests, tilt tests, were subjected to the Tests mentioned and their results were analyzed. Images were taken from the regions left over from the samples for macro tests and the results were interpreted. As a result, this study contains useful data that will be used in the Turkish Defense Industry in terms of content and is the result of an analysis of the welding capability of next-generation armor Steels.

Keywords: Cored wire, MIG, Armor steel, Solid wire, Spot welding.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlu modern çağdan önce çevresel etkenlerden korunmak gayesiyle kürk deri vb. gibi kıyafetler giymekteydi. Kendilerine yapılacak herhangi bir saldırıya karşı da giymiş oldukları bu kıyafetlerin muhafaza edici özelliklerinden de yararlanmaktaydılar. Öncelerinde avlamış oldukları hayvanlara ait derilerin işlenmesi ile meydana getirilen bu çift amaçlı giysiler, süreç içerisinde git gide gelişmiş olan saldırı silahlarına endeksli olarak gelişmiş, imal edilmesinde faydalanılan materyaller pek çok değişiklik göstermiş ve bu sebeple günümüzde "balistik koruyucu yelek" ismi verilen özel maksatlı kıyafetler durumu halini almıştır. Zırh malzemelerinin kullanım şekli, sadece insan bedeni ile sınırlandırılmamış; bazen askeri ve bazen sivil amaçlı çok sayıda deniz, kara, hava araçlarında da kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 1.1'de geçmişte karşılaşılmış bir zırh ürünü gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Geçmişte kullanılmış bir zırh ürünü [1].

Bulunduğumuz zamanda dilimde sivil ve askeri alanda en fazla riski, ateşli modern silahlardan çıkan fişekler kinetik enerji meydana getirmektedir. Bu fişekler geometrik, kinematik ve mekanik nitelikleri bakımından farklılıklar göstermektedir [2]. Belirli bir

amaç doğrultusunda tasarımı yapılan ve çalışma karakteristiği bakımından kinetik enerji fişeklerinden epey bir farklılık gösteren özel şekillerdeki mermilere de değinilmelidir. Merminin hedefe vurmasıyla başlayan darbe reaksiyonunun fiziksel karakteristiği mermi ve hedefe ait niteliklerin birleşimine endeksli değişiklik göstermektedir [3].

Zırhlı araç imalatında yararlanılan zırh çeliklerinin aşağıdaki kısımda belirtilen özellikleri bulundurması arzu edilir.

- Balistik vuruşlara ve deformasyona karşı yüksek mukavemet
- Üretim (şekillendirme, kaynak kabiliyeti, kesme vb.) proseslerinde pratiklik
- Bakıma elverişlilik, yani uzun ömürlü olması (mesela, "yüksek yorulma mukavemeti")

Zırh çeliklerinde genel kaide olarak merminin içeri girmesine ve delinmelere karşı mukavemetli olması için yüksek dirençte ve sertlikte olması büyük önem arz etmektedir.

Lakin HV 600 üzerinde yer alan aşırı sertlikler çeliği kırılgan bir hale getirmesinden ötürü sac malzeme alacağı darbe karşısında kırılgan olacaktır. Buradan hareketle zırh çeliklerinin kimyasal tahriri ve "östenitleştirme", "su verme" ve "temperleme" gibi ısıl işlemleri aşırı derecede önem arz etmektedir.

Kaynak, çok yaygın olan bir üretim biçimi olmakla beraber diğer taraftan da daha yaygın olarak, hasarlı malzemelerin tamiratı metodundan da yararlanılmaktadır. Gerek imalat, gerekse tamirat iş ve işlemlerde birleştirilmiş malzemelerin sahip oldukları mekanik niteliklerin, icra edilen kaynak sebebiyle, değişikliğe maruz kalmaması ya da kabul edilebilir bir değişikliğe uğraması arzu edilir. % 0,20'ye kadar karbon içeren alaşımsız düşük karbonlu çeliklerde, çoğunlukla bir soruna rastlanılmaz, özetle kaynak bitiminde parçanın kalitesi ve kullanma emniyeti değişmez. Ne var ki alaşımsız yüksek karbonlu çelikler ile az alaşımlı çeliklerde hadise farklıdır. Bunun sebebi, çeliğin sertleşme eğilimini fazlalaştıran yüksek karbon miktarı ya da öbürkü alaşım elemanlarıdır [4].

Çelik için türlü ısıl işlem yapılarak makro yapıya olan tesirlerini ortaya koymak önemli bir hedeftir. Isıl işlem sonrasında çeliğin malik olduğu makro yapının mekanik niteliklere var olan tesirinin idrak edilebilmesi için değişik sıcaklık ve müddetler de tatbik edilen uygulamalar neticesinde en uygun mukavemet, tokluk gibi terimlerin sağlanması amaçlanır [5].

Bu çalışmada Armox 500 T zırh çeliğinin gazaltı kaynak yöntemi ile farklı kaynak teli ve uygun kaynak değerleri kullanılarak birleştirilecektir. Kullanılan kaynak parametrelerin birleştirmenin mekanik ve makro yapı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Savunma sanayinde çeşitli askeri zırhlı araçların üretiminde çeşitli sertleştirilmiş ve yüksek dayanımlı zırh çelikleri kullanılmaktadır. Zırh çelik malzemelerin oluşturduğu ürünlerin üretilmesi çeşitli kaynak yöntemleri ve çeşitli ilave telleri kullanılmaktadır. Genelde gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Kaynak esnasında zırh çeliklerin sahip olduğu yüksek sertlik ve dayanımlarını kaynak sonrasında da korunması gerekmektedir. Bu amaçla kaynak esnasında kaynak parametrelerin uygun değerlerde olması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Armox 500 T zırh çeliğinin gazaltı kaynak yöntemi ile farklı kaynak teli ve kaynak değerleri kullanılarak birleştirilecektir. Kullanılan kaynak parametrelerin birleştirmenin mekanik ve makro yapı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

1. Aşama: En az iki farklı ilave metal (1,6 mm çapında özlü tel ve 1,2 mm solid tel) kullanılarak yüksek mukavemetli çelikler gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilecektir. Uygulama ve yöntemde belirtilen hususlar bu aşamada gerçekleştirilecektir.

2. Aşama: Birinci aşamada özlü tel ile birleştirilen malzemeler farklı kaynak yöntemi ile birleştirilerek ilk aşamada gerçekleştirilen makro yapı ve mekanik özellikleri belirlenecektir. Böylece, farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilen yüksek alaşımlı çeliklerin makro yapıları ve mekanik özellikleri birbirleri ile karşılaştırılacaktır.

3. Aşama: Son olarak ulaşılan bulgular kıymetlendirilerek gerekli tartışmalar yapılacaktır. Daha sonra gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yüksek lisans tezi olarak yazımı yapılacaktır.

Günümüzde savunma sanayinin olmazsa olmazı olan zırh çeliklerinin kaynağını inceleyeceğimiz bu çalışmada çalışmanın uygulama bölümüne geçmeden önce kavramsal çerçevesinin çizilmesinde fayda bulunduğu aşikârdır.

BÖLÜM 2. ZIRH ÇELİKLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Zırh çelikleri, farklı karakterli mermilerin (kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları vb.) birden fazla vuruşuna karşı çatlamaya, parçacıkların ayrılmasına ve kırılmasına mukavemet göstermek maksadıyla zırhlı savaş araçlarında yaygın olarak kullanılmakta olan çeliklerdir [6]. Hem sivil hemde askeri maksatlı imal edilen zırh çelikleri deniz, kara ve hava vasıtalarında kullanılmaktadır. Vuruş kuvvetini meydana getiren mermilerin mekanik ve geometrik niteliklerine göre çeşitlilik arz eden zırh çelikleri, farklı kompozisyon ve mekanik özelliklere sahiptir.

Zırh çelikleri ateşli silahlar, personel taşıyıcı araçlar, personel ve kişisel koruyucular, mühimmat taşıyan ve ateşli silahları bünyesinde bulunduran tank vs. vasıtalarda kullanılmaktadır. En fazla kullanım sahasına askeri araçların üretimi ve risk meydana getiren dış etmenlere karşı koruma kalkanı olacak şekilde de yararlanılmaktadır. Ateşli silahlarda meydana gelen teknolojik ilerleme ile doğru orantılı olarak bu ateşli silahların insan yaşamını sonlandırmaması amacıyla buna karşı direnç sağlayabilecek dayanımı bulunan zırh ürünleri de geliştirilmektedir.

Bilhassa tank ve benzeri savunma araçlarında yararlanılan zırh çelikleri, yüksek dayanım, iyi kaynaklanabilirlik ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle, “alüminyum alaşımları”, “seramik”, “cam” ve “elyaf takviyeli kompozit” malzemelere oranla daha çok tercih edilirler [7].

Yüksek düzeyde parçalayıcı ve patlayıcı özelliklerini ihtiva eden fişeklere karşı zırh çeliklerinin üst düzeyde homojen bir makroyapı niteliklerine sahip olması gerekir. Kompozisyon bakımından alaşımlı çelik kategorisinde yer alırlar. Tokluk ve sertlik niteliklerinin elde edilmesi maksadıyla “östenitleme”, “su verme” ve “temperleme” ısıl işlemleri uygulanarak “martenzitik” bir “makroyapı” elde edilir [7].

Balistik vuruşlara karşı mukavemet gösterebilmesi için zırh çeliklerinden yüksek tokluk niteliklerini ihtiva etmesi gerekmektedir. Zira dökme demirler ile düşük alaşımlı çelikler

bu mekanik tehditlere karşı, zırh çeliklerinin sağlamış olduğu korumayı sağlayamamaktadır. Bu nedenle zırh imalat endüstrisinde kullanılamazlar. Zırh uygulamalarında kullanılmakta olan çelikler, büyük kalibreli patlayıcı maddeye veya cephaneye maruz kaldığında çatlamamalıdır. Diğer taraftan balistik özelliklerinin de kaliteli olması gerekmektedir. Dünyada, zırh çelikleri çoğunlukla "menevişleme ile MIL-A-46100 ile MIL-A-12560" prosedürlerine özgü olarak üretilirler ve bu standartlarda belirtilen "7.62 mm, 12.7 mm, 14.5 mm, ve 20 mm" çapındaki mühimmatlara karşı muhafaza sağlarlar. Savunma gayesi maksadıyla geliştirilmiş olan zırhlı muharebe vasıtalarında varolan zırh materyellerinden istenilen niteliklerden bir tanesi hafif olmasıdır. Lakin hafiflik zırhlı vasıtanın engebeli yer koşullarında birden çok davranış ve manevra kabiliyetine önemli düzeyde etki etmektedir. Aşağıda Şekil 1.2'de zırhlı askeri araçlara örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Zırhlı askeri araç örnekleri [8].

"MIL-A-46100 ile MIL-A-12560" standartlarında belirtilen zırh çelikleri su verilmiş ve temperlenmiş düşük alaşımlı martenzitik karekterde çeliklerdir.

Savunma sanayinin olmazsa olmazı olan zırh teknolojisi özellikle askeri araçlarda kullanılmaktadır. Yirmi birinci yüzyılda tatbik sahasına bağlı olmakla birlikte seramik, metal kompozit ve polimer zırh malzemeleri kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan bu malzemelerden her birinin kendine has avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Metal

zırhlar gereksinim duyulan kalınlıkta imal edilebilmekte, darbeye maruz kalmaları durumunda deforme olabilme özellikleri sayesinde çoklu çarpmalarda dahi bir zırh olarak fonksiyonunu devam ettirebilmektedirler. Diğer taraftan alüminyum, çelik vb. gibi metal zırh malzemeleri balistik özellikleriyle birlikte yük taşıma yeteneği de bulunmaktadır.

Zırh çelikleri ve teknolojilerini; zırh çeliklerinin özellikleri, zırh çeliklerinde alaşımlama, zırh çeliklerinde uygulanan ısıl işlemler, zırh teknolojisi (seramik zırhlar, alüminyum zırhlar, titanyum zırhlar, kompozit zırhlar, çelik zırhlar) ve zırh uygulamaları bölümleri halinde incelemekte çalışmanın bütünlüğü ve anlaşılabilirliği açısından fayda bulunmaktadır.

2.1. Zirh Çeliklerinin Özellikleri

Zırh çeliklerinin ana kullanılma sahaları içinde askeri savunma araçları dikkat çekmektedir. Zırhlı araçların gelişimini ve geleceğini sürdürebilmesi üstlenmiş olduğu vazifeyi sürdürebilmesi ve vazifesini her çeşit arazi şartlarında kolaylıkla ifa edebilmesine bağlıdır [9]. Gerek gövde bölümünün gerekse kulenin yüksek enerjili şok ve vuruşlara karşı dirençli olması, içerisinde yer alan personel ve atış kontrol sistemlerinin tahribata uğramaması namına yaşamsal önem arz etmektedir. Bilhassa değişik taktik ve teknik özellikleri bulunan kara araçlarında yoğun bir biçimde zırh çeliği, kaynaklı imalat yöntemiyle beraber kullanılmaktadır [10]. Bu araçlarda kullanılmakta olan zırh çeliklerinden istenen temel özellikler şu şekilde sıralanmaktadır [11].

- “Kolay üretilebilirlik”
- “Balistik darbelere karşı yüksek dayanım”
- “Uzun kullanım süresi”

Zırhlı araçlarda kullanılmakta olan çelikler genellikle alaşımlı çeliklerdirler ve bu çeliklerin homojen bir yapısı bulunmaktadır. Bu çelikler standart bileşimleri içinde ingotlar halinde dökülüp sac levha formunda üretilmektedir. Bu durumdayken, arzu edilen “mukavemetli yapı”, “sertlik” vb. gibi mekanik özellikler bulunmadığından “östenitleştirme”, “temperleme” ve “su verme” muamelelerinin tatbik edilmesi gerekmektedir. İstenen özellikler yalnızca bu uygulamalar neticesinde sağlanır. Bu kapsamda muhtelif imalat safhaları bakımından optimum metalürjik kaideler Tablo 2.1‘de [11] belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Zırh çeliklerinde üretim prosesleri bakımından istenen nitelikler

	Isıl İşlem	Kaynak	Talaşlı İşlem	Şekillendirme
Gerekli Metalürjik Özellikler	Düşük Karbon Eşdeğeri Sınırlı Segregasyon Çok Düşük Hidrojen	Düşük Karbon Eşdeğeri Düşük Hidrojen Düşük Kalıntı Gerilmeleri	Yüksek Olmayan Sertlik	Yüksek Süneklik

Zırh çelikleri kimyasal özellikleri bakımından düşük karbon oranlarına sahip olmalarından dolayı, bu durum zırh çeliklerinin darbe dayanımını fazlalaştırır. Zira yüksek karbon oranı çeliğin aşırı sert olmasına meydan verecektir. Çeliğin sertlik değeri HV 600 değerini aştıkça çeliğin kırılganlığının artmasına ve gevrek kırılmasına yol açacaktır [11].

Zırh çelikleri, genel olarak düşük karbonlu alaşımlı çelik katagorisinde yer almakta olup; ana alaşım elementleri Cr, Mo, Ni ve Mn'dir. Aşağıda bulunan tabloda "Amerika Birleşik Devletleri Ordu Standardına (MILSPEC)" uygun olarak, en fazla tanınan zırh çelik kalitelerinin kimyasal kompozisyonları yer almaktadır [6]. "MIL-A-12560" en yaygın ve tanınmış zırh çeliği kalitesi olup; "haddelenmiş homojen zırh çeliği (RHA)" olarak tanımlanmıştır. "MIL-A-46100" çelik kalitesi ise, "MIL-A-12560'a" göre daha yüksek sertliği ihtiva eder [6]. Aşağıda MIL-SPEC'e göre başlıca zırh çeliklerinin kimyasal kompozisyonları Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: MIL-SPEC'e göre zırh çeliklerinin kimyasal dağılımı

Element	Kimyasal Bileşim (%)		
	12560	46100	46177
C	0,18-0,28	0,22-0,32	0,18-0,28
Mn	1,10-1,60	0,70-1,00	1,10-1,60
P	0,015	0,010	0,025
S	0,015	0,010	0,015
Si	0,20-0,40	0,35-0,50	0,20-0,40
Cr	1,20-1,60	0,40-0,70	-
Ni	2,00-3,40	0,80-1,30	-
Mo	0,40-0,55	0,50-0,65	0,40-0,55

Zırh çelikleri genel olarak düşük C (genelde %0,30 değerinden az) ihtiva etmektedir. C elementinin az olması üretim kolaylığıyla birlikte "iyi tokluk", "kaynaklanabilirlik" ve "darbe dayanımı" gibi niteliklerin kazanımını imkan tanımaktadır.

Genel olarak araştırıldığında kinetik enerjiye sahip cisimlerin çarpma tesirlerine karşı etkin bir koruma sağlayabilmeleri maksadıyla zırh çeliklerinin yüksek mukavemete ve

sertliğe ihtiva etmesi gerekir. Öte yandan ortaya çıkan darbenin negatif etkisini yok etmek içinse, tokluk özelliğinin gelişmiş olması mecburidir. Bu şekilde zırh çeliklerinde: bir taraftan yüksek sertliğe ve mukavemete ihtiyaç varken; bununla birlikte tersinir bir özellik olan tokluğun da korunması da icap etmektedir. Tüm bu nitelikler, optimum kimyasal kompozisyon-ısıl işlem kombinasyonun belirlenmesiyle sağlanmaktadır. Tablo 2.3'de zırh çeliklerinin birtakım mekanik özellikleri gösterilmiştir.

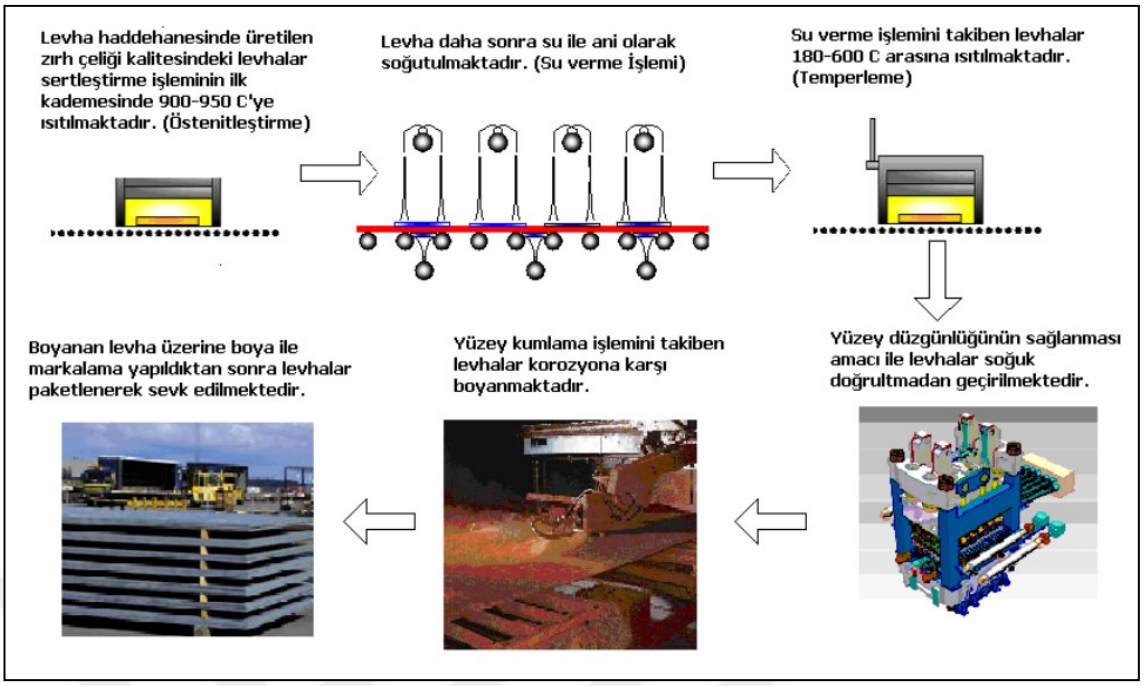
Tablo 2.3: Levha kalınlıklarına bağlı olarak imal edilen zırh çeliklerinin mekanik özellikleri+

Zırh Çeliği		Kalınlık	Sertlik (HB)	Darbe Enerjisi (-40°C, J)	Akma Dayanımı (N/mm2)	Çekme Dayanımı (N/mm2)	Uzama (%)
Kalite	Sınıf						
MIL-A-12560	Class 1	3 < 20	380-430	Min. 18	Min. 950	1100-1400	Min. 9
		40-80	300-350	Min. 30	Min. 850	900-1200	Min. 11
	Class 2	3-150	280-330	Min. 40	Min. 800	850-1150	Min. 12
MIL-A-46100	Class 1	3-150	480-540	Min. 16	Min.1200	1400-1800	Min. 8
	Class 2	3-50	420-480	Min. 27	Min.1100	1200-1600	Min. 9

Zırhlı araç imaltında kullanılan zırh çelikleri: balistik vuruşlara karşı yüksek direnç, imalat proseslerinde kolaylık (örneğin: kesme, kaynak kabiliyeti, şekillendirme) ve iyi bir bakım tutumu neticesinde uzun kullanım miyadı (örneğin: yüksek yorulma direnci) gibi ana beklentileri karşılayacak mekanik değerleri ihtiva edecek şekilde imal edilmektedir. Gerek "MIL-A12560" ve gerekse "MIL-A-46100" kalitesinde, uygulanan ısıl işlem şartlarının değiştirilmesiyle özelliklerde belirgin değişiklikler elde edilmektedir. *Örneğin: "MIL-A12560 Class 1 için farklı levha kalınlıklarına göre sertlik değeri, 300-430 HB arasında değişmekte olup; mekanik şoka ve parçalanmaya dayanım özelliği geliştirilmiş Class 2'de ise sertlik değeri 280 HB'ye kadar düşmektedir".*

Buna karşılık Class 2'nin darbe dayanımıysa nispeten yüksek bir değer olan 40 J civarındadır. Benzer durum "MIL-A-46100" kalitesi içinde aynıdır. "Yüksek sertliğe sahip zırh (high hardness armor)" olarak isimlendirilen bu kalite çelikte sertlik değerleri 500 HB'ye ve çekme dayanımları ise 1800 N/mm^2'ye ulaşmaktadır.

Zırh çeliklerinin balistik uygulamalarda kullanılmasını sağlayan mukavemet-tokluk bileşimi, şekillendirme sonrasında uygulanan ısıl işlemle sağlanmaktadır. Sıcak haddelenmiş levhalara uygulanan ısıl işlem aşamaları, aşağıda bulunan Şekil 2.2'teki gibidir.



Şekil 2.2: Zırh çeliklerine uygulanan ısıl işlem aşamaları

Zırh çeliklerinin özelliklerine değindikten sonra zırh çeliklerinin alaşımlamasına değinmekte fayda bulunmaktadır.

2.2. Zırh Çeliklerinde Alaşımlama

Zırh çelikleri farklı karakteristeki mermilerin (“kinetik penetratörler”, “yüksek derecede patlayıcı” ve “parçalayıcı savaş başlıkları” vb.) çoklu vuruşuna karşı çatlamaya, parçacıkların kopmasına ve kırılmasına karşı direnç sağlamak maksadıyla zırhlı savaş vasıtalarında sık görülen yüksek kalitede homojen bir makro yapıya sahip düşük karbonlu alaşımlı çeliklerdir [12].

Günümüzde kullanılmakta olan “MIL-A-12560” çeliği çok sayıda uygulamada yararlanılan standart zırh çeliğidir. Yüksek sertliğe haiz “MIL-A-46100 çeliği” ise balistik korumanın “MIL-A-12560’a” nazaran % 20 daha etkili olduğu (14.5 mm AP) bir zırh çeliğidir. Tablo 2.3’de verilen temel alaşım elementleri ile birlikte bu çeşit çelikler, “vanadyum”, “titanyum”, “niyobyum”, “alüminyum”, “bor” gibi makroalaşım elementleri de ihtiva edebilir.

Zırh çeliklerinin düşük karbon ihtiva etmesi darbe dayanımı bakımından son derece önem arz etmektedir. Çelik içerisindeki alaşım elementleri, bilhassa da karbon,

kaynaklanabilirliğine büyük oranda etki eder. Karbon miktarı fazlalaştıkça kaynak bölgesinde çatlak oluşum özelliği fazlalaşır. Bu çeşit çatlaklar çelik performansına negatif doğrultuda etki ettiğinden kaynak sonrası bir kısım işlemlerle bunların giderilmesi icap eder. Ek işlemlerin üretim maliyetlerini negatif etki etmesi sebebiyle bu tür çeliklerin düşük karbonlu olması kaynak kabiliyeti açısından elzemdir. Bundan dolayı da zırh çeliklerinin düşük karbon ihtiva etmesi tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri yönünden çok önemlidir. Her iki özelliğin de zırh çeliklerinin aktif olarak kullanımında belirleyici rolü bulunmaktadır.

Hem yüksek sertlik değerleri hemde de yüksek akma dayanım değerleri sebebiyle düşük karbonlu çelik türlerinin haricinde kimyasal bileşimdeki karbon miktarı daha fazla (% 0.37-0.55) çelik türleri de, mesela "MIL-A-46173 (Mars 270)" ve "Mars 300", zırhlı vasıtalarda kullanılmaktadır [13].

Çelik için temel alaşım elementi karbondur ve süneklik mukavemet ve tokluk gibi nitelikleri ile birlikte kaynaklanabilirliği de önemli ölçüde değiştirebilmektedir [14]. Birtakım alaşım öğeleri çelikte östenit alanını stabilize ederken (mangan, nikel), bir kısım alaşım elementleri ferrit stabilizatörüdür (silisyum, krom, niyobyum). Kafi düzeyde titanyum, niyobyum ve krom gibi alaşım elementleri güçlü karbür yapıları meydana gelimini de sağlamaktadır. "Ferrit" ve "östenit" stabilizatörleri geniş bir faz alanı oluşumuna olanak sağlamaktadır. Bir alaşım elementinin Fe-C diyagramı üzerindeki tesiri, ötektoid sıcaklığı yukarı ya da aşağı ötelemesi ile anlaşılabilir. Östenit stabilizatörleri ötektoid sıcaklığını düşürür ve östenit alanının daha geniş bir alana yayılmasını sağlarlar. Ferrit stabilizatörleri ise ötektoid sıcaklığı yükselterek, ferrit alanını arttırır [15]. Zırh Çeliklerinde Alaşımlama konusunu ele aldıktan sonra zırh çeliklerinde uygulanan ısıl işlemlere değinmekte fayda bulunmaktadır.

2.3. Zırh Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler

Çeliklerde ısıl işlem genel olarak, malzemenin sertliği, tane yapısı ve mekanik özelliklerinin arzulanan değerlerde olmasını sağlamak maksadıyla, malzemeye uygulanan bir dizi ısıtma ve soğutma işleminden oluşmaktadır. Zırh çeliklerinde uygulanan ısıl işlem operasyonları genel olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

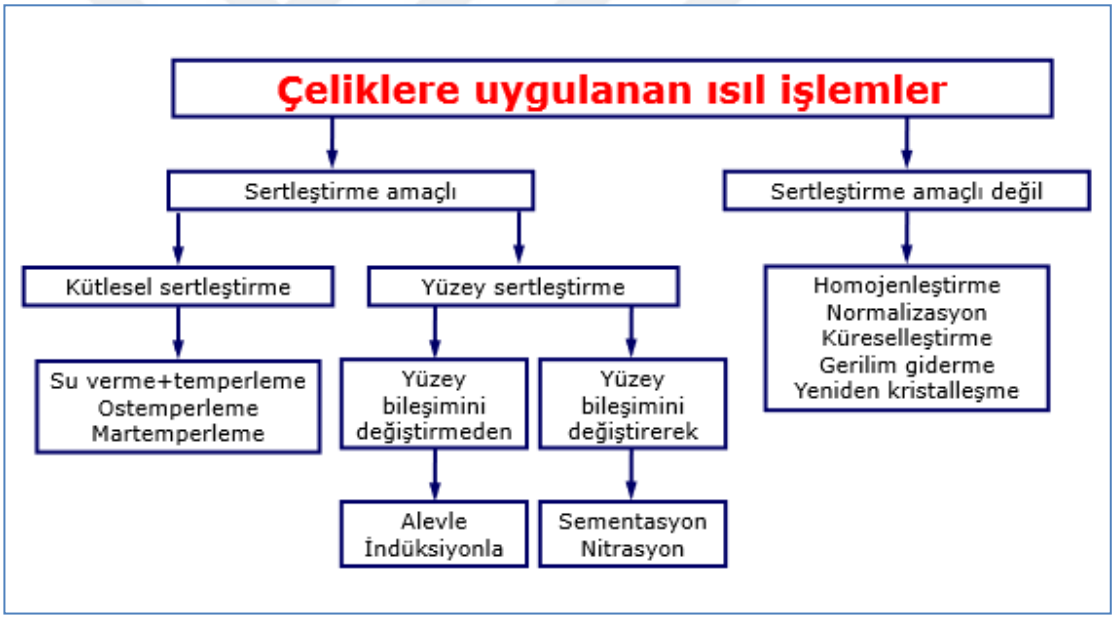
Tutma sıcaklığı dönüşüm sıcaklığı üzerinde;

- Tavlama
- Normalizasyon
- Difüzyon (homojenleştirme) tavı
- Su verme
- Kaba tane tavı ve

Tutma sıcaklığı dönüşüm sıcaklığı aşağısında;

- Küreselleştirme tavı
- Gerilim giderme tavı
- Yeniden kristalleştirme tavı (Proses tavı)
- Temperleme

Aşağıda Şekil 2.3'te Çeliklere uygulanan ısıl işlemler çizelge halinde gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler

Homojenleştirme: Kimyasal homojenliği sağlamak için 1100 ^{o}C'de bir süre tutma ve yavaş soğutma, hemen hemen bütün döküm parçalara uygulanır.

Normalizasyon: Tavlama uygulamalarının tümü malzemeye iyi nitelikler katmakla birlikte, tane irileşmesine de neden olur. Uygulanacak işleme göre iri taneli yapıların arzulanmadığı haller için malzemeler sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak, durgun hava şartlarında soğumaya bırakılırlar. Normalleştirme tavlamasını diğerlerinden ayıran

nitelik parçaları yavaş soğutmak yerine, fırın dışında durgun havada hızlı soğumasıdır. Bu halde tane yapısı daha ince yapılı olur. Bu uygulama Normalizasyon olarak da bilinir.

Tane küçültmek, düzgün makro yapı elde etmek Ötektoid altı çeliklerde A_3, Ötektoid üstü çeliklerde A_{cm} sıcaklığının 30-50°C üzerinde tutup yavaş soğutma anlamına da gelmektedir.

Normalleştirme tavının belli başlı amaçları;

- "Tane küçültmek",
- "Homojen bir içyapı elde etmek",
- "Ötektoid üstü çeliklerde tane hudutlarında yer alan karbür ağını tevzi etmek",
- "Çeliklerin işlenme özelliklerini iyileştirmek",
- "Mekanik özellikleri iyileştirmek",
- "Yumuşatma tavı uygulanmış çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini yükseltmek".

Su verme: Makro yapıyı martenzite dönüştürerek sertleştirme, ötektoid altı çeliklerde A_3, ötektoid üstü çeliklerde A_1, sıcaklığının 30-50°C üzerinde tutup hızlı soğutma işlemidir.

En basit haliyle su verme işlemi malzemelerin sertleşme sıcaklığına değin ısıtılarak ve aniden soğutularak sertleştirilmesi biçiminde tanımlanabilir. Konu ile alakalı olarak, sertleştirme ısısının seçilmesi, soğutma ortamı seçimi, ısıtma hızı ve soğutma hızı gibi unsurların birbiriyle olan ilgileri ve doğru değerlerin tespit edilmesi ihtisas gerektiren hususlardır.

Sertleştirme sıcaklık aralıkları, azami sertliğin, en küçük tane yapısı ile kazanılmasını sağlayacak tarzda bir dizi deneyle belirlenen değerlerdir. Bu değerlerin altında ya da üstünde tatbik edilecek ısıtma, sertlik değerinin düşük, nihai içyapının ise arzu edilen şekilde olmaması ile netilenecektir. Bununla birlikte sertleştirme sıcaklığında kalma süresi de önem arz edip, malzemenin alaşımlı, az alaşımlı olması ve tane boyutlarının müsaitliğiyle ile ilgilidir.

Su verme ortamının belirlenmesi, malzemenin alaşım miktarıyla alakalıdır. Düşük alaşımlı çelikler için daha fazla tuz ve su banyoları yeğlenirken, yüksek alaşımlı çelikler için çarpılma riski dikkate alınarak yağ gibi yumuşak ortamlar seçilir. Çoğunlukla kullanılmakta olan soğutma ortamları hava, tuz banyosu, yağ ve su şeklinde ifade edilebilir.

Su: *suda su verme işlemiyle alakalı önem arz eden niteliklerden birisi, sıcak olan parçayı soğutmak maksadıyla faydalanılan suyun ısısının. 20-40 °C arasındaki soğutma suyu sıcaklığı en verimli sıcaklıktır. 60 °C üzerindeki ısılarda soğutma hızı fazlasıyla düşmektedir.*

Yağ: *Yağda su verme işlemindeki yağın soğutma hızı, suyun soğutma hızından azdır. "Soğutma hızının en randımanlı bulunduğu yağ ısısı 50-80 °C arasıdır". Bununla birlikte yağın sürekli olarak hızlı şekilde karıştırılması verimi büyük oranda fazlalaştırır.*

Tuzlu Su Çözeltisi: *Suda su verme randımanını artırmak için suya sodyumhidroksit veyahut mutfak tuzu ilave edilebilir. Mutfak tuzunun parça üzerinde korozyona sebep olması nedeniyle fazla tercih edilmez. %10 oranında eklenecek* $N_a OH$ *soğutma hızını çok fazla yükseltir. Bu tür kullanımlar, yüksek sertleşme derinliğini fazlalaştırarak iç gerilmelerin az olmasını da yarar.*

Hava: *Diğer metotlara nazaran en az verimli olan havada su verme işlemidir. Bunun en önemli nedeni havanın soğutma hızının çok az olmasıdır. Hemde durgun havanın soğutma hızı suyun %1'inden daha azdır. Bu sebepden ötürü bu metod yalnızca yüksek hız çeliklerinde kullanılan bir yöntemdir.*

Temperleme (menevişleme): Martenzit yapıdaki çeliğin tokluğunu artırma Su verilmiş çeliği 200-600°C'de tutma

Küreselleştirme: "Karbürleri küresel hale getirerek yumuşatma, talaş kaldırma kabiliyetini artırma $A1$ sıcaklığının hemen aşağısında uzun süre tutmak".

Gerilim giderme: Kaynak yapmak, plastik form verme veyahut aşırı ısıtma-ani soğutma gibi hadiseler neticesi malzeme içerisinde, muhtelif yönlerde iç gerilmeler ortaya çıkabilir. Bu gerilmelerin ortadan kaldırılması maksadıyla en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde ile faz dönüşüm ısısının altında bir sıcaklıkta parçalar maksimum 2 saat bekletilerek iç gerilmeleri giderilir. İç gerilmeleri ortadan kaldırarak parçanın çarpılma ve çatlamasını engelleme, bilhassa talaş kaldırma ve kaynak işlemi esnasında meydana gelebilecek aşırı gerilmeleri hafifleterek için tatbik edilen bir işlemdir.

Yeniden kristalleşme: Plastik şekil verme yöntemleriyle biçimlendirilen parçaların tane yapılarında, bilhassa cidar yapılarında, köklü yapı bozulmaları yaşanır. Bu durum mukavemet ve sertliğin fazlalaşması, elektrik iletkenliği ve sünekliğin azalmasına yol

açar. Faz dönüşüm ısısının altında bir sıcaklıkta, 1 saate dek bekletme ve yavaş soğutmayla tane bünyesinin kusursuz ve muntazam bir şekle evrilerek, deformasyon öncesi özellikleri yeniden kazanılır. Bu işlem "rekristalizasyon" şeklinde de adlandırılır [16].

Östemperleme: "Östenit sıcaklığındaki çeliği 300-500°C'de civarındaki bir banyoya daldırıp beynit oluşuncaya kadar bekleme, nihai yapı beynittir".

Martemperleme: "Çatlama olmaksızın sertleştirme Östenit sıcaklığındaki çeliği Martenzit son bulma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklardaki banyoya daldırıp, kısa bir süre bekleme ve tekrar soğutma".

Alevle yüzey sertleştirme: Parçanın iç kısmını yumuşak bırakıp yüzeyini sertleştirme yüzeyi alevle ısıtıp hızlı soğutma orta karbonlu çeliklere tatbik edilen bu işlemde, parçanın sadece yüzeyi alevle ısıtılıp östenitleştirilmesinin ardından su verilerek sertleştirilir. Ne var ki, bu işlem esnasında parçanın iç bölümünde önemli bir sıcaklık artışı bundan dolayı da yapısal değişime yol açmamak icap eder. Yoğun ısıtma, oksijen-yanıcı gaz (asetilen, propan vb.) alevi desteğiyle sağlanır. Bu uygulamada, su verme ısısı normal su verme sertleşmesi için luzumludur tavlama ısısından daha çoktur.

İndüksiyonla yüzey sertleştirme: Parçanın iç kısmını yumuşak bırakıp yüzeyini sertleştirme Yüzeyi indüksiyon akımı ile ısıtıp hızlı soğutma.

Parçanın, indüksiyon akımı vasıtasıyla yüzeyinin aniden ısıtılıp ve aniden soğutulmasıyla gerçekleştirilen bir yüzey sertleştirme işlemidir. Alevle sertleştirmeyi andırır ancak gerek işlem süresi, gerekse yüzeyde meydana getirilen yüksek ısıl birikimi yönünden daha verimlidir. İndüksiyonla yapılan ani ısıtmanın peşinden yapılan ani soğutma işlemi çoğunlukla su yardımıyla yapılır ve yüksek karbonlu çeliklerde çatlama ihtimalini fazlalaştırır. Soğutma suyunun 60°C dolaylarında olması ya da tuz kullanılması çatlama ve iç gerilme ihtimalini azaltır. Sertleştirmenin ardından iç gerilmelerin yok edilmesi amacıyla 150-200°C arasında menevişleme yapılır.

Sementasyon: Yüzey karbon miktarını artırarak sertleştirme Çeliği karbon içeriği yüksek ortamda tutma (tutma sıcaklığı 850-950°C). Kolay işlenebilir özelliğe sahip % 0,20'den daha az karbon ihtiva eden çelikler, işlendikten sonra kullanım maksatları doğrultusunda, yüzeylerine karbon emiştirilerek, sertleştirme işlemi uygulanırlar. Bu uygulama parça yüzeyinin aşınma mukavemetini arttırır ve çekirdek bölgenin yumuşak kalmasıyla bütün

parçanın tokluk nitelikler göstermesini ve darbe mukavemetinin yüksek olmasını imkan sağlar.

Sementasyon uygulaması, katı, sıvı veyahut gaz fazlı atmoferlerde vukuu bulabilir. Kontrolü en basit ve hesaplı metod gaz ortamında icra edilen sementasyondur. Karbon verici olarak CO ya da metan gazı gibi hidrokarbonlar tercih edilir. Sıvı ortam sementasyonun da yaygın olarak sodyum siyanür ve potasyum siyanür gibi karbon vericilerin tuzları değerlendirilir. Sıvı ortam sementasyonu daha fazla küçük parçaların sertleştirilmesi için münasipdir. Katı ortam sementasyonunda sıklıkla odun kömürü tercih edilir. Kontrol etmesi güç ve deneyim icap eden çok fazla tercih edilmeyen bir metoddur.

Sementasyon uygulamasında, yüzey karbon oranı % 0,7-% 0,8 değerlerine yükseltmeye çalışılır. Bunun üzerinde emiştirlen karbon, karbür çökelmesine imkan tanıyarak kırılgan bir yüzey meydana getirir. Sementasyon için esas krıter aktif sementasyon özüdür.

Karbon emişdirme uygulaması müteakiben, su verme uygulaması tatbik edileerek cidarın sertleştirilmesi gerçekleştirilir. Su verme işlemi, karbon emdirme ısısından su verilerek (doğrudan su verme), oda sıcaklığına dek soğutulup iyileştirilerek (tek su verme) veyahut karbon emişdirme sıcaklığından su verildikten sonra düşük ısıda iyileştirilerek meydana gelir. Su verme işlemlerinden sonra kesinlikle menevişleme yapılması gerekmektedir. Sementasyon uygulaması sonrasında sağlanacak en yüksek aşınma mukavemeti, en yüksek sertlikte değil, yaklaşık 300°C'de yapılan menevişlemeden sonra elde edilir [17].

Nitrasyon: Yüzeye azot difüzyonu sağlama Çeliği azot içeriği yüksek ortamda tutma (tutma sıcaklığı 490-550 ºC)

2.4. Zırh Teknolojisi

Bu bölümde seramik zırhlar, alüminyum zırhlar, titanyum zırhlar, kompozit zırhlar ve çelik zırhlar ele alınacaktır.

2.4.1. Seramik zırhlar

Seramik zırhlar 20. yüzyılın başlarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yılların başlarında, Norton firması imal ettiği sıcak preslenmiş $B_4 4C$ zırh sistemi ile yekpare seramik zırhların gelişiminde lider rol oynamıştır. Seramik materyaller zırh

olarak 1. Dünya harbinden bu yana kadar kullanılmaktadır. Görünüşe göre ilk kullanımı Alman tanklarında sert emaye giydirme olarak, hafif silahlardan korunma maksadıyla gerçekleşmiştir. 2. Dünya Savaşı zamanında ise askeri hava taşıtlarında kullanılan ilk seramik zırh patentleri ortaya çıkmış, Kore Savaşında ise tankları topçu ateşlerinden koruyacak çelik ve silikattan üretilmiş zırhlar kullanılmıştır

Seramik yapılı malzemelerin bilhassa hafif zırhlı düzeneklerin bir unusuru dahilinde kullanılmasının sebebi, genel olarak yüksek sertlik ve düşük yoğunluk sergilemelerinden kaynaklanmaktadır [18]. Bu teknik özellikler tehdit çeşidinin çelik çekirdekli ya da zırh delici mermi olması halinde bir hayli önem kazanır. Lakin seramikler gevrek kırılma özelliğine sahip malzemeler olmaları sebebiyle merminin ya da delicinin yaptığı vuruşla minik parçacıklar halinde kırılabilirler. "Balistik hedef tabelası üzerindeki sert seramik malzemenin gayesi, gelen delicinin sivri uc kısmının ve delicinin tamamının kırılmasını sağlamazken, seramiklerin yapıştırıldığı balistik nitelikli altlık materyalinin amacıysa parçalara ayrılmış olan delicinin kinetik enerjisinin absorbe edilemsi ve parçacıklarının tutulmasıdır". Bu nitelikleri münasebetiyle, "seramik destekli zırh sistemleri" [19], dış yüzeyi sertleştirilmiş ancak iç bölgeleri yumuşak olan geleneksel çelik zırhlara andırmakla birlikte aynı balistik tehdit kademeleri için daha fazla hafif olmaları sebebiyle büyük avantajları bulunmaktadır [19].

Bütün metalik zırhlardan çok daha sert ve daha hafif olan seramikler eğilme tevettürlerine karşı güçsüz yapısını destekleyen kompozit materyal, zırh çeliği, alüminyum ve çelik alaşımlarıyla beraber zırh düzeneklerinde kütlesel faaliyeti yüksek çözümler geliştirmektedir. Ön satıhda değerlendirilen seramikler, bünyesinde bulundurdukları yüksek sertlik, basma mukavemeti ve aşınma dayanımlarından mütevellit, balistik darbe esnasında satıha yüksek süratle çarpan mermileri körleştirmek ve bunların üzerinde deforme ve yıkıcı bir şok dalgası meydana getirmesini sağlamaktadır [20]. Seramiğin yapması gereken mermi enerjisini arka plaka satıhına tevzi etmek ve delme süresince mermiyi aşındırmaktır [21].

Tüm seramiklerin tamamı oldukça serttir fakat çok da kırılgandırlar. Seramikler, oldukça sert olmaları sebebiyle kendileri parçalandığı gibi merminin de parçalanmasından ötürü koruma sağlamaktadırlar [22]. Seramikler için başlıca namzet zırh materyalleri; alümina

(Al2O3) ve bor karbür (B_4C) dür. Ancak B_4C ün düşük kırılma tokluğu ve yüksek imalat giderleri, kullanımının yaygınlaşmasının önüne geçmektedir [23].

Bor karbürün ilk kullanımı, alümina ve kompozitlerle birlikte Vietnam Harbinde görülmüştür. Bu mamül, hafif silahlara, zırh delici mühimmatlara karşı koruma maksatlı olarak helikopterler üzerinde ve personel taşıyıcı hava vasıtalarında kullanılmıştır.

1980'lerde ise kara vasıtalarını kurşun benzeri, kinetik ve kimyasal tehlikeye sebep olan tehditlere karşı balistik koruma nitelikli seramik levhalar üretilmiştir.

Seramik zırhlar özel kuvvetlerce gayri nizami harp ve rejim karşıtı harekatlar için de kullanılabilmektedir. Böylelikle keskin nişancıların hedeflerine ulaşmaları imkansız hale gelmektedir.

Balistik koruma vasfı taşıyan bu seramikler askeri deniz, hava ve kara vasıtalarında ya da askeri personeli koruma maksatlı kullanılırken, belirgin olarak metal veya kompozit materyalle güçlendirilir. Bu şekilde merminin ilk tabakadaki, yani seramik zırhta kırılması, daha sonra ikinci tabakaya zuur etmesi halinde istikamet değiştirerek süratini azaltıp, saplanıp kalması hedeflenir. Bu tabaka birleşiminin bir başka avantajıysa takribî çeliğin ağırlığının yarısına denk gelmesidir.

Üstün nitelikli seramikler piyasası, özel uzmanlık gerektirin ve yüksek fiyatlar sebebiyle ana unusuru "performans" olan bir pazardır. Bu performansın gerçekleşmesi ise, çağdaş zırh karşıtı tehlikelere karşın daha hafif harp vasıtalarının, kısa vadede hazırlık ile kullanılabilecek aşamaya gelebilmesi ile bağdaştırılabilir. Bu hafiflik kriteri sağlayacak materyalden en önemlisi vasıta üstünde etkisiz balistik korumayı gerektiren üstün nitelikteki zırh sistemidir. Kara vasıtalarında metalik zırhların kazandırdığı ağırlık artması vasıtanın hareket kabiliyetinin düşmesine, aracın hızının azalmasına ve mekanik parçaların fazla aşınmasına yol açmaktadır. Zırhlı personel nakliyesinde kullanılan kara vasıtalarında "Add-on armor" olarak isimlendirilen, küçük ve orta çaptaki silahlara karşı aktif koruma ve ağırlık avantajı kazandıran seramik zırhlar son zamanlarda oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Performans, fiyat ve ağırlık zırh tasarımında belli başlı 3 faktör olarak kendini göstermektedir. Bir zırhta kullanılması gereken malzemeler aşağıda belirtilen nitelikleri karşılaması gerekir:

- “Düşük yoğunluk”
- “Yüksek elastisite ve kayma modülleri”
- “Yüksek akma dayanımı”
- “Yüksek dinamik çekme dayanımı”

Seramikler yukarıda bulunan ilk üç kriteri karşılayan metaller yüksek yoğunlukları sebebiyle ağır kalmaktadır. Günümüzde tüm koşulları sağlayan bir malzeme bulunmamaktadır. Bu hadise tasarımcıları farklı yollara kanalize etmiş olup bunun neticesinde seramik zırh olarak tanımlanan, ön kısımda seramik arka kısmında metal ya da kompozit iki katmandan oluşan zırhlar tasarlanmıştır.

Zırh seramikleri kompozit ve tek parça seramikler olmak üzere iki ana kategoriden oluşmaktadır. Yekpare zırh seramikleri, beklenen balistik performans ve üretim maliyeti gibi önemli kıstaslar hesaba katılarak “sıvı faz sinterlemesi”, “katı hal sinterlemesi” veya “sıcak presleme” gibi değişik metotlardan yararlanılarak yoğunlaştırılmaktadır [9].

Zırh üretiminde yüksek balistik performans eldesi için çok yüksek saflığa sahip seramik tozlar kullanılmaktadır. Yüksek saflıkta tozların kullanılması seramik zırh maliyetini kayda değer düzeyde fazlalaştırmaktadır. Çoğunlukla kompozit seramiklerin üretim maliyeti, bilhassa da seramik-seramik kompozitlerin, yekpare seramiklere oranla daha yüksek olmaktadır. Lakin kompozit seramikler malzemelerin çoklu çarpma dayanımları yekpare seramiklere oranla daha iyidir. Balistik amaçlı kullanılan yekpare seramik malzemeler çoğunlukla sıcak presleme yöntemiyle, $2000\ psi$ değerinin üzerinde basınçlar tatbik edilerek ve kullanılan sinterleme ilavesi tür ve miktarına bağlı olarak $1500 - 2400°C$ aralığında değişen yüksek sıcaklıklarda üretilmektedir. Ancak sıcak presleme epeyce pahalı, çok miktarda zırhın seri olarak üretimine uygun olmayan ve yalnızca basit şekilli ürünlerin üretimine elverişli bir üretim tekniğidir [5,10].

Yekpare seramik zırhlara oranla seramik-metal kompozit zırhlar daha yüksek tokluğa sahip ve çoklu çarpmalara karşı daha dirençlidir. Önceleri üretilen zırh sistemlerinde çoğunlukla sert ve kırılgan bir tabaka örneğin seramik kullanılırdı. Ancak daha sonraları anlaşıldı ki eğer seramik malzeme, enerji soğurma yeteneğine sahip örneğin Kevlar gibi bir destek plakasıyla birleştirilirse zırh sisteminin etkinliği çok daha yüksek olmaktadır.

Zırhların balistik koruma sağlayabilmesi için; kurşunun çok sert bir yüzey tarafından aşındırılması, kurşunun ya da kurşun parçalarının zırh plakasına nüfuz etmesinin engellenmesi ve geriye kalan enerjinin destek plakası tarafından emilmesi icap etmektedir. Bir merminin seramik bir zırha çarpması halinde zırhta ve mermide ortaya çıkan aşınmanın şematik olarak gösterimi aşağıdaki gibidir. Zırhın arzu edilen seviyede balistik koruma sağlayabilmesi için ön en önemli özellikler şunlardır; hafiflik, tokluk, mukavemet, sonik hız ve sertliktir. Yaygın bir kullanıma sahip olan yekpare seramik zırh malzemelerinin genel özellikleri Tablo 2.4'te sunulmaktadır.

Tablo 2.4: Yaygın kullanıma sahip yekpare seramik zırh malzemelerinin özellikleri.

Seramik Malzeme	Yoğunluk (g/cm3)	Sertlik HV (GPa)	Kırılma Tokluğu (MPa.m1/2)	Elastisite Modülü (GPa)	Sonik Hız (km/s)	Eğme Mukavemeti (MPa
$S-Al_2O_3$	3,60-3,95	12-18	3,0-4,5	300-450	9,5-11,6	200-400
$S-SiC$	3,10-3,20	22-23	3,0-4,0	400-420	11,0-11,4	300-340
$SP-SiC$	3,25-3,28	20	5,0-5,5	440-450	11,2-12,0	500-730
$SP-B_4C$	2,45-2,52	29-35	2,0-4,7	440-460	13,0-13,7	200-500
$S-TiB_2$	4,55	21-23	8,0	550	-	350
$SP-TiB_2$	4,48-4,51	22-25	6,7-6,95	550	11,0-11,3	270-700
$SP-AlN$	3,20-3,26	12	2,5	280-330	-	300-400

*S: Sinterlenmiş / SP: Sıcak preslemiş

Zırhın yüksek bir balistik performansa sahip olabilmesi için oluşturulması icap eden bir takım şartlar bulunmaktadır: koruma işlevinde bulunacak olan zırh malzemesinin sertliği kendisine darbe yapacak olan merminin sertliğinden daha fazla olmalıdır. Zırh kalınlığı minimum merminin yarıçapı kalınlığı kadar olmak durumundadır. Kullanılan ön seramik plaka kalınlığı toplam zırh kalınlığının 1/3'ü, destek plakası ise toplam zırh kalınlığının 2/3'ü civarında olmalıdır. Zırh sisteminde kullanılan ön plaka sert olup mermiyi parçalamalı, destek plakası ise sünek bir malzeme olmalı ve zırh bütünlüğünü muhafaza etmelidir. Seramik zırhlardan sonra bir diğer zırh türü olan alüminyum zırhları incelemekte fayda bulunmaktadır.

2.4.2. Alüminyum zırhlar

Çeliğe nazaran takribi 1/3 oranındaki yoğunluklarıyla alüminyum alaşımları hava araçlarında kullanılacak olan zırhlarda tercih edilmektedir. Bazı alaşımlar yaygın uçak gövdesi alaşımlarından (T3/T351 temperli 2024) ile kanat alaşımlarından (7075T651 ve

7178-T651) daha çok balistik koruma sağlayabilse de kazanımları çok değildir. $7039-T64\ ve\ 5083-H131$ alaşımları gibi geleneksel alüminyum zırh materyalleri, hava vasıtası yapısal alaşımlarının biraz üzerinde balistik sınırlara sahiptir. Gerçekleştirilmiş olan araştırmalar neticesinde mukavemetin artması ile balistik performansın geliştiği görülse de bu durum kayda değer boyutlarda değildir. 2519 alüminyum zırh levhasından üretilen fiziksel değişimlerin balistik performansta olumlu bir netice oluşturmadığı gözlemlenmiştir. "Alüminyum alaşımlı plakalar ve dövme 206 alüminyum; sert seramik ile takım çeliği döşemelerin arkasında ve önünde muhafaza plakaları olarak kullanılmışlardır" [19].

2.4.3. Titanyum zırhlar

Üretilen ilk titanyum alaşımlarının balistik denemeler neticesinde aşırı derecede gevrek oldukları saptanmasına karşın; *"ABD Silahlı Kuvvetleri"* 1950'lerin ortalarında, geliştirilmiş performansa sahip titanyum alaşımlarının geliştirilmesi maksadıyla sürdürülen faaliyetlere katkıda bulunmuştur. Bu faaliyetler neticesinde, yapısal tatbiklerde en sık kullanılan ve titanyum zırh alaşımı olarak tercih edilen $Ti-6Al-4V$ malzemesi geliştirilmiştir. Uzun yıllardan beri diğer titanyum alaşımları balistik testlere tabi tutulmuşlarsa da $Ti-6Al-4V'$ye belirgin bir üstünlük elde edememişlerdir. Titanyum alaşımları, etkileyici bir tokluk düzeyiyle yüksek mukavemet-ağırlık oranı takdim ettiklerinden, hava vasıtası zırhı gibi tatbiklerde dikkatlerden uzak tutulmamalıdır. Titanyum alaşımları; "koruyucu ve yapısal performansın arzu edildiği, boş ağırlığın sınırlı tutulduğu ve ekonomik unsurların tali planda dikkat edildiği yüksek performanslı askeri hava vasıtalarında kullanılması en münasip materyaller grubuna girebilirler".

2.4.4. Kompozit zırhlar

Son yıllarda metaller gibi alışılmış materyallerin pek çok nitelikleri değişen ve gelişen teknolojinin gereksinimleri için yetersiz kalınca, daha üstün vasıflara bünyesinde bulunduran kompozit malzemeler imal edilmeye başlanarak bu hususda hızlı bir gelişim süreci içerisine girmiştir. Alaşıla gelmiş materyelere nazaran kompozit materyaller en belirgin nitelikleri hafiflik ve sağlamlıktır. Gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sonucunda, bu materyallerin; "çekme, darbe dayanımlarının artırılması; kimyasal, yorulma direnç ve

elektrik niteliklerinin iyileştirilmesi gerçekleşmiş ve kompozit malzemeler yaygın biçimde makine ,deniz taşıtları ,havacılık, otomotiv, askeri alanlar, inşaat ve uzay teknolojisi alanlarında" uygulanmaya başlanmıştır.

2.4.5. Çelik zırhlar

Çelik ,temel zırh tipi olup ve asırlardır uygulanmaktadır. Çelik zırhlarda müdafanın zırhın kalınlığına baz alması sebebiyle, diğer modern zırh biçimleriyle mukayese edildiğinde etkinliklerinin nadir görülmektedir.

Günümüzün yüksek patlayıcılı ve kinetik enerjiye sahip harp başlıklarına karşı yeterli müdafayı sağlayabilecek kalınlıktaki bir çelik zırh, uygulanabilirlik hudutların ötesinde ekstrem bir büyüklüğe sahip olacaktır. Bununla beraber çelik zırhların verimliliği, levhaların zaviyeleştirilmesi ve ovelleştirilmesi ile arttırılabilir. Çelikler,isabet eden mermileri etkisiz hale getirme etkinlikleri ile birlikte diğer zırh materyallerine göre daha hesaplıdırlar.

Yapısal olarak kusursuz, kaynak kabiliyeti, şekillendirilebilirlik, dayanıklık ve korozyon direnci, diğer yapısal elemanlarla ahengi ve sahada bakım kolaylığı çeliklerin diğer avantajlarındandır. Balistik koruma maksatlı olarak çelikler, zırhlarda yapısal olarak işlevsel olmaları ile birlikte çok çeşitli tehdide karşı kullanılabilme olanağı verecek biçimde "mukavemet", "tokluk" ve "sertliği kontrol altında tutmak" maksadıyla bileşimsel ayarlamalarla termo-mekanik işlemleri uygulamak kaydıyla revize edilebilirler [19].

Zırh çelikleri, düşük alaşımlı yüksek mukavemetli ince taneli yapı çeliklerine grubuna girdiğinden, düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerle alakalı bilgi aktarmakta faydalı olacaktır.

BÖLÜM 3. ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAK KABİLİYETİ

Zırh çelikleri, aşırı oranda parçalayıcı ve patlayıcı savaş başlıkları, kinetik penetratörler vb. gibi farklı karakterli mermilerin çoklu darbesine karşı çatlamaya, parçacık kopması ya da kırılmaya mukavemette bulunmak maksadıyla zırhlı savaş araçlarında yaygın olarak kullanılmakta olan çeliklerdir

3.1. Gaz Altı Kaynak Yöntemi

Kaynak, tatbik edileceği malzeme sınıfına göre plastik malzeme kaynağı ve metal kaynağı olarak iki grupta incelenir. Metal kaynağı; metalik malzemeyi basınç ve ısı ile veyahut her ikisinin birlikte kullanarak aynı türden veya farklı iki metali ergime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme ekleyerek veya eklemeden yapılan birleştirme işlemlerinin tümüdür. Bu iki parçanın birleştirilmesi işleminde eklenen üçüncü malzemeye ilave metal adı verilir [24].

Eriyik durumdaki kaynak banyosunun gazla korunma düşüncesi bir hayli eskilere dayanır. İlkin 1926 yılında "Alexander usulü" olarak isimlendirilen yöntemde kaynak dikişi metanol gazı ile korunmuştur. Daha sonralarında ise 1928 yılında geliştirilen "Arcogen usulü" ile hem bir "elektrot" hem de "oksi-asetilen" alevi beraber kullanılmıştır. Prensip olarak alev, dikişi havanın etkisinden korunmuştur. Gelişen kaynak teknolojisiyle beraber bu teknikler bırakılmıştır [25].

Eş zamanlı olarak kaynak metalinin ve kaynak banyosunun atmosferin olumsuz tesirlerine karşı müdafa etmesi daha sistemli bir biçimde incelenmiş ve 1926 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde "Weinmann ve Langmuir" tarafından daha başka bir yöntem geliştirilmiştir. Bu metodla hidrojenin koruyucu gaz olarak tatbiki sağlanmıştır. Günümüzde de kullanılmakta olan koruyucu gaz olarak "inert gaz uygulaması" ise 1930 yılında gene Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilmiştir. İnert gaz dışında kaynak bölgesinde 〖CO〗_2 gibi aktif gaz tatbiki ile alakalı uygulamalarsa 1952 yılında

gerçekleştirilmiştir. Bugün çeşitli inert gaz ve aktif gazların kullanıldığı karışım gazlar gazaltı kaynak yöntemlerinde uygulanmaktadır [25].

"Gazaltı kaynak yöntemi prensip olarak metallerin, bir elektrik arkı oluşturularak onların ergitilmesi suretiyle birleştirildiği bir kaynak yöntemidir". Meydana gelen ark, ilave kaynak metali ile esas metal arasında süreklilik arz eder. Kaynak banyosu atmosferin zararlı tesirlerine karşı koruyucu bir gaz yardımıyla korunur [26].

Gazaltı kaynak yöntemleri çoğunlukla sınıflandırılırken "elektrot, koruyucu gaz ve ark çeşiti referans" alınır. Elektrot çeşidine göre gazaltı kaynak yöntemleri ergiyen elektrot ve ergimeyen elektrot bazında sınıflandırılır. Ergiyen elektrotlar gerek arkın sürekliliğini gerekse ilave metal görevini icra ederler ve bu metod gazaltı metal ark kaynak yöntemine (GMAK) ismi verilir. Gazaltı metal ark kaynağında koruyucu gaz olarak hem inert hem de aktif gaz kullanılabilir. Dolayısıyla gazaltı metal ark kaynağı da kendi içerisinde "Metal İnert Gaz (MIG)" ve "Metal Aktif Gaz (MAG)" kaynağı olarak ikiye ayrılır. Ergimeyen elektrotla yapılan kaynakta ise elektrot malzemesi wolfram yani diğer bir deyişle tungstendir. Dolayısıyla bu yöntem gazaltı tungsten ark kaynağı (GTAK) olarak isimlendirilir.

3.1.1. MIG (Metal Inert Gas) kaynağı

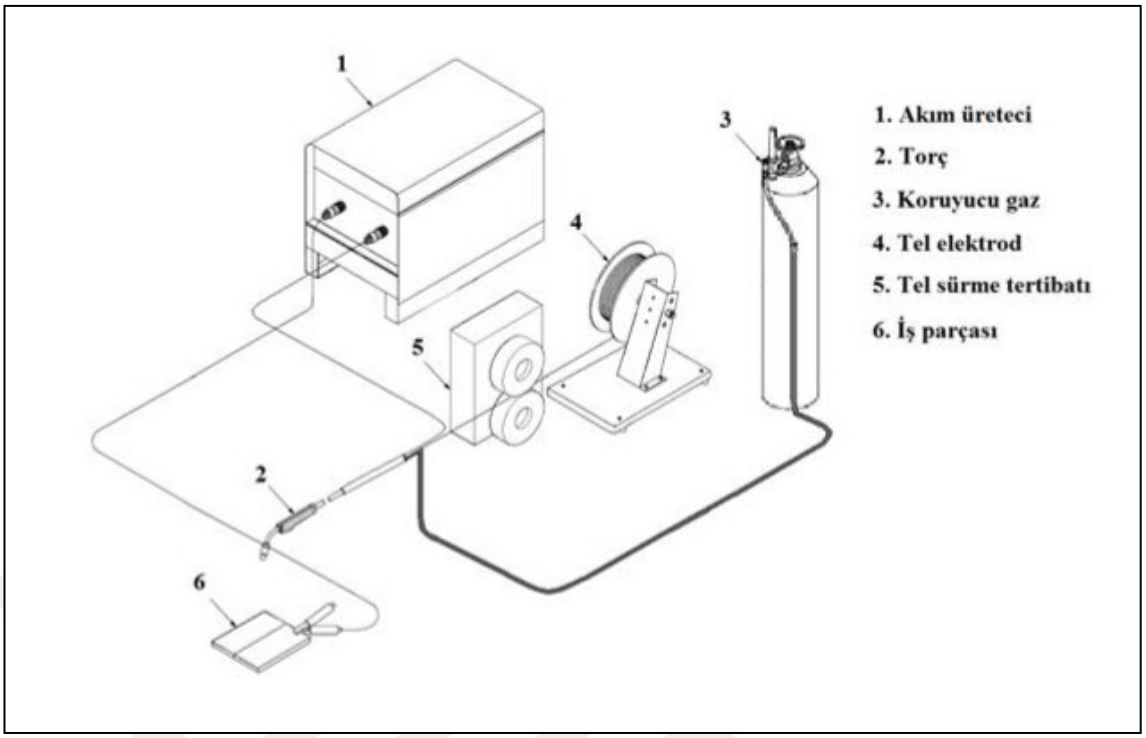
MIG-MAG kaynağında ark, aynı zamanda ilave metal görevini icra eden bir tel elektrot ile ana metal arasında gerçekleşir. MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon veya helyum gibi inert gazlar veyahut bunların karışımı kullanılırken MAG kaynağında koruyucu gaz olarak CO2 gibi bir aktif gaz kullanılır [27]. Belirtildiği üzere MIG ve MAG kaynak metodları çalışma mantığı ve donanım yönünden birbirinden farklı değildir. Sadece kullanılan koruyucu gaza göre tanımlama yapılır [25]. Piyasada MIG-MAG kaynağı genellikle gazaltı kaynağı tabiri ile ifade edilir. Diğer taraftan dolgu malzemesinin şeklini belirtmek amacıyla tel, işlevini vurgulama kaydıyla da elektrot tanımlaması yapılır [28].

Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının yüksek saflıkta (%99,99) olması beklenir. Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise argon gazına oksijen veya karbondioksit gazları karışımı kullanılır. Oluşan karışım oksijen itibariyle % 3-6 oranında

teşekkül ederken karbondioksit oranı % 5-13 aralığındadır. Karışımda oksijen bulunması, ergimiş durumdaki damlacıkların yüzeye daha kolay tutunmasını sağlar [27].

MAG kaynağı alüminyum ve alaşımları gibi oksitlenmeye iştahlı malzemelerin kaynaklanmasında kullanılmaz. Bu kaynak metodu genellikle çelik malzemelerin kaynaklanmasında kullanılır. MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekmektedir. Gaz içerisinde bulunan rutubet, kaynak dikişinde gözenek oluşumuna sebebiyet verir. Oluşan kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca CO2, sıvı haldeki demir ile birleşerek demiroksit bileşiğini oluşturur. Demiroksit ise mangan ve silisyum ile bir araya gelerek bu elementlerin kaybına neden olacağından kaynak metalinin bu elementlerce zengin olması beklenir [24].

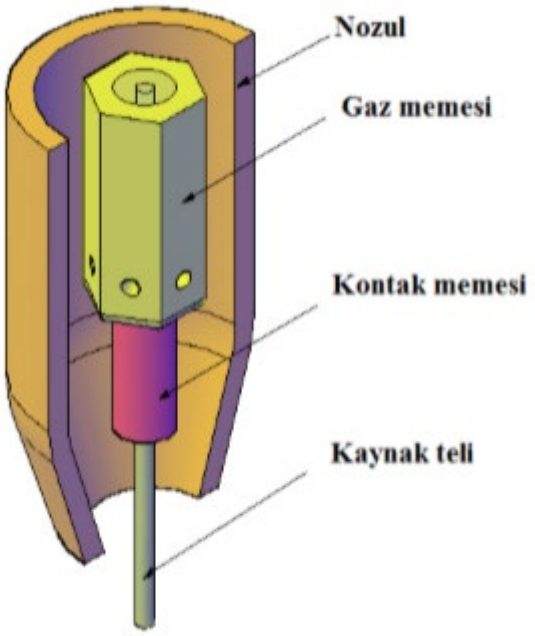
Şekil 3.1'de sistemin çalışma belirtildiği üzere MIG-MAG kaynağında tel elektrot bir tel sürme düzeneği yardımıyla tel makarasından kaynak bölgesine aktarılır. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektrota diğeri iş parçasına bağlanır. Bu sayede tel elektrot ile ana metal arasında elektrik arkı meydana gelir. Tel elektrot hem arkın sürekliliğini sağlar hem de ilave metal görevini icra eder. Koruyucu gaz elektrotun eş eksenli olarak bulunduğu bir kontak memenin içinden gelir ve arkı, ergiyen damlaları ve arkın altındaki eriyik halde bulunan kaynak banyosunu atmosferin olumsuz tesirlerinden korur [25].



Şekil 3.1: MIG-MAG kaynağının çalışma prensibi ve sistem bileşenleri

Tüm kaynak metodlarında olduğu gibi MIG-MAG kaynak metodunun da kendine özgü parçaları mevcuttur. Daha önceden de beliritildiği üzere MIG ve MAG kaynak parçaları aynı olup sadece koruyucu gaz farklılığı arz etmektedir. Donanımları itibariyle MIG-MAG kaynak metodunda başlıca parçaları kaynak torcu, torç bağlantı paketi, tel sürme tertibatı, kumanda tertibatı, akım üreteci ve koruyucu gaz tüpü bulunmaktadır.

MIG-MAG kaynağında torç, kaynak akımı, koruyucu gaz ve elektrotun kaynak bölgesine iletimini sağlar. Kaynak uygulamasında belirlenen akımın şiddetine ve kaynak metodunun otomatik veya yarı otomatik olma haline göre çeşitli şekil ve büyüklüklerde torçlar üretilmiştir. Torcun ark sıcaklığından kaynaklı ısınması engellemek maksadıyla. Soğutma sistemleri kullanılır. Düşük akımda yapılan uygulamalarda koruyucu gaz akımı ihtiyaç duyulan soğutmayı sağlamaktadır ancak yüksek akım şiddetinde yapılan çalışmalarda su ile soğutma sistemi gerekmektedir [29]. Aşağıdaki Şekil 3.2'de MIG-MAG kaynağımda kullanılan kaynak torcu gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Torcun kısımları

Şekil 3.2'da görüldüğü üzere torcun, oluşan ark ısısından en çok etkilenen parçaları gaz ve kontak memeleridir. Kontak memesi sıcaklığın yanı sıra hareket halindeki tele akım iletir ve yüksek akım şiddetinde kaynak banyosundan sıçrayan metal damlacıklarına maruz kalır ve kaynak telin kontak memeye yapışmasına neden olur. Yüksek sıcaklık aşınmayı tetiklediğinden dolayı telin geçtiği deliğin çapının büyümesine neden olur. Bu durum elektrik iletiminde düzensizliğe sebebiyet verir. Bu da doğrudan kaynak performansını olumsuz yönde etkiler. Kontak memesindeki aşırı ısınma, kaynak banyosuna olan uzaklık, kontak memesi malzemesi, koruyucu gaz türü, ark boyu, kaynak ağzının türü, iş parçası sıcaklığı ve iş parçasının ısı yansıtma özelliği gibi birçok nedene bağlı olarak meydana gelebilir [30].

Torç, kaynak makinasına içinde tel elektrot kılavuzunu akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve lüzumu halinde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını beraber tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortumla bağlanmıştır. Bu kalın hortuma "torç bağlantı paketi" adı verilmektedir. Torç bağlantı paketinin içerisinde yer alan akım kablosu kaynak akım üretecinin maksimum kapasitesine göre boyutlandırılmıştır. Çoğunlukla bakım gerektirmez ve üzerinde yer alan yalıtım katmanı tahrip olmadığı sürece kullanılır [29].

Tel sürme donanımı, teli makaradan çekip ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla arkın oluştuğu bölgeye sevk eden bir mekanizmadır. Çalışma prensibine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılsalar da çalışma prensibi açısından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik düzenek veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru vasıtasıyla gerçekleştirilir. Günümüzde daha çok bu ikinci sistem tercih sebebidir [29].

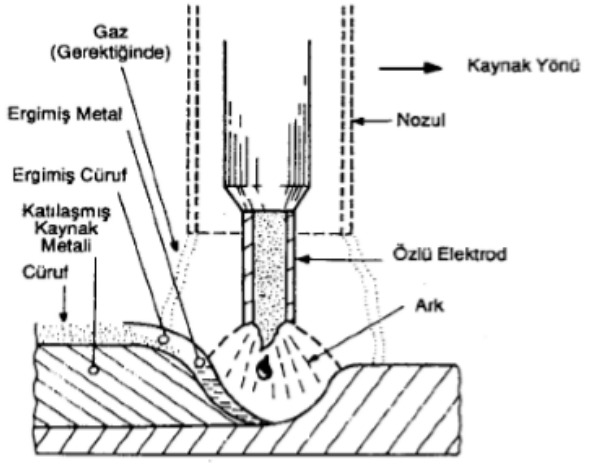
MIG-MAG kaynak metodunda en önemli donanımlardan birisi de kumanda tertibatıdır. Gerekli ayarlar yapılıp makinanın ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır halde, kaynağa başlamak için "yarı otomatik MIG-MAG makinalarında" torç üzerinde bulunan düğmeye basmak kâfidir. Bu anda, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark meydana gelir ve ark meydana geldikten bir müddet sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi durumundaysa, bu sıralamanın tersi oluşur. Güçlü ve büyük makinalarda bununla birlikte, soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da gene kumanda tertibatı tarafından sağlanır [29].

Ark kaynak metodlarında, metodun gerektirdiği tür, gerilim , voltamper, ve akım şiddeti karakteristiğinde elektrik akımı gerekir ve bu sebepten dolayı da her kaynak yöntemi için farklı tür ve büyüklükte akım üreteci geliştirilmiştir. Kaynaklama için gerekli optimum koşullardaki elektrik akımı iş yerinde özel bir jeneratör tarafından üretildiği gibi, şebeke akımının dönüştürülmesi ile oluşturulabilir. MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin karakteristiği, örtülü elektrot ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerinin ki gibi düşey karakteristikli olduğu gibi bunlardan çok farklı olan yatay karakteristikli tiplerde çok daha yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [29].

MIG-MAG kaynak metodunda kullanılan gazın, bütün işlem sürecinde yeterli miktarda, kesinti meydana gelmeden sürekli olarak kaynak bölgesine aktarımı koruyucu gaz donanımı tarafından sağlanmaktadır. Kaynak için ihtiyaç duyulan koruyucu gaz iki farklı sistem ile sağlanır. Bunlar basınçlı gaz tüpleri ve merkezi gaz dağıtım tertibatıdır. Ülkemizde MIG/MAG kaynağında koruyucu gaz sistemi olarak genellikle basınçlı gaz tüpü tercih edilmektedir. Bu durum ekonomiklik ve tedarik kolaylığı ile alakalıdır. Çünkü merkezi gaz dağıtım tertibatı, işletme içerisinde yoğun kaynak işi yapılmasından dolayı kullanım ortamı gerektirmektedir [29].

3.1.2. Özlü tel ile kaynağı

Özlü teller kaynak litaratüründe yeni ufuklar açmıştır. Özlü tel elektrot ile kaynak metodu temel olarak MIG-MAG kaynağında olduğu gibi çıplak tel (dolu tel) yerine içi öz diye isimlendirilen ve örtülü elektrotun örtüsü misyonunu alan bir madde ile doldurulmuş boru biçiminde elektrot kullanılan bir kaynak yöntemidir. Aşağıda Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Özlü tel elektrot ile kaynakta ark bölgesi [29].

Özlü tel elektrotlar, MIG-MAG tertibatı ile gaz kullanarak veya kullanmadan tatbik edilmektedir. Son zamanlarda bu tür elektrotların tozaltı metodunda de kullanılan türleri geliştirilmiştir [29].

Bu elektrotların sağladıkları üstünlükler şunlardır;

- Yüksek bir ergime hızına sahiptirler, dolayısı ile daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler,
- Küçük çaplı elektrotlar kullanarak her konumda kaynak uygulanabilir,
- Farklı tipteki özlü elektrotlar koruyucu gaz kullanımını gerektirmezler, bu da tertibatın basitleşmesine imkan tanır,
- Örtülü elektrotların tüm avantajlarına sahiptir buna karşın, tel kaybı tel değiştirme zaman kaybı gibi tahtitleri yoktur [29].

Özün görevleri şu şekildedir;

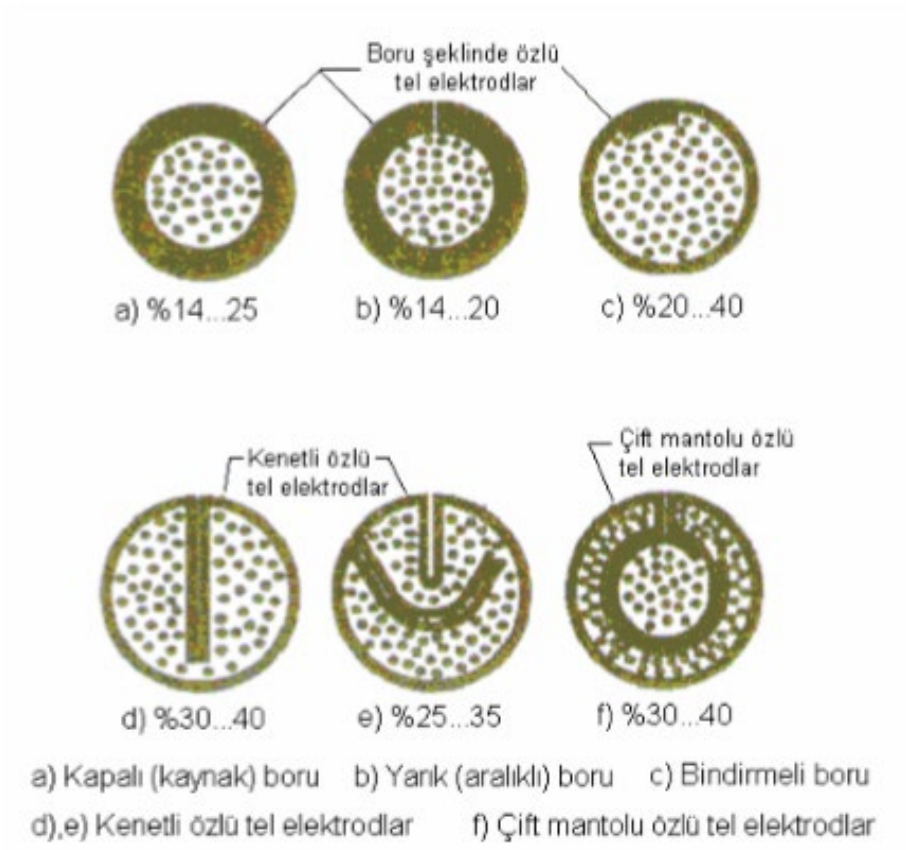
- Kaynak telinin kimyasal kompozisyonu ayarlayarak istenilen mekanik ve metalürjik nitelikleri ve korozyon direncini karşılamak,

- Teknolojik ya da iktisadi açıdan tel şekline getirilme imkânı bulunmayan bileşimlerde kaynak teli üretimine fırsat vermek,
- Lüzumu halinde kaynak bölgesi ve kaynak banyosunu atmosferin negatif etkilerine karşı muhafaza etmek,
- İçerdiği dekapanlar vasıtasıyla kaynak banyosunda tepkimeler yaratarak arzu edilmeyen katıların oranını minimuma düşürmek,
- Dikiş üstünde bir cüruf yaratarak, kaynak dikişine uygun bir form vermek ve soğuma esnasında kaynak dikişini korumak,
- Arkı dengeleyerek sakin oluşmasını sağlamak maksadıyla sıçrantıyı minimuma indirgemek [29].

Günümüzde özlü tel elektrotlar "kenetli" ve "dikişsiz (boru tipi)" olmak üzere iki şekilde imal edilmiştir. Kenetli özlü tel elektrotlar bir çelik bandın, bir dikişli boru imalat makinesindeki gibi rulolar arasından geçerek önce U biçiminde kıvrılması ve bu şekildeyken iç bölümüne toz haldeki özün (alaşım ve dekapan tozların karışımı) koyulması, yine aynı makinede ince bir boru şekline getirilmesi neticesinde imal edilir. Makineden çıkan bu boru özel çekme tezgâhlarında tel gibi çekilerek ya da haddelenerek istenilen çapa indirgenirken bununla birlikte iç tarafda özün iyice yayılıp sıkışarak boşluk kalmaması ve homojen bir biçimde yayılması da sağlanmış olur. Kenetli özlü tellerin banyoya daldırılarak bakırla kaplanma olasılığı yoktur [31].

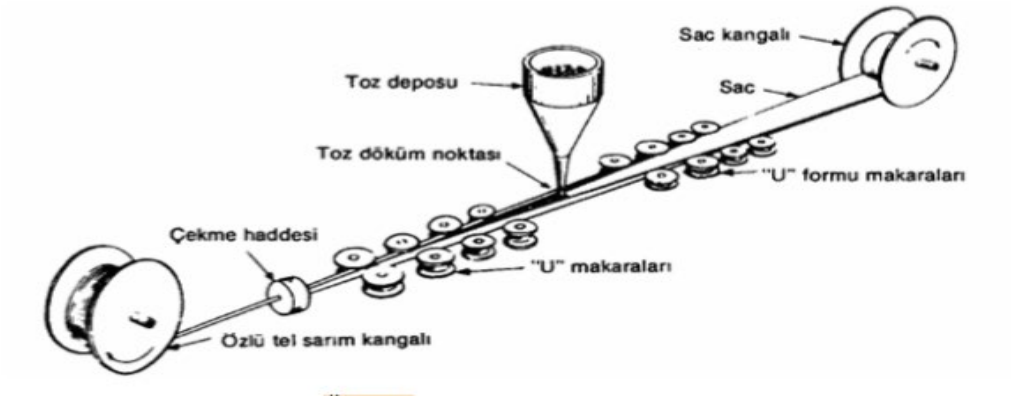
Dikişsiz (boru tipi) özlü tel elektrot imalatında, kalın bir boru içine özü meydana getiren maddelerle doldurulur ve sonra bu boru haddelenerek özlü tel elektrot çapına indirgenir. Bu tür özlü elektrotlar aynen çıplak (dolu) elektrotlar gibi bakır ile kaplanabilir [29].

Elektrot içindeki özün yüzde olarak ağırlık karşılığına dolgu derecesi denir [32]. Şekil 8'de özlü elektrotlarda en çok tercih edilen kesit şekilleri ve bunlarla ilgili dolgu kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Özlü elektrotlarda en çok tercih edilen kesit şekilleri ve dolgu kademeleri [33].

Özlü tel üretimindeki işlem ise görselleştirilerek aşağıdaki Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5: Özlü tel üretimi [34].

Boru şeklindeki özlü tellerin, kenetli şekildeki elektrodlara göre bazı üstünlükleri vardır:

- Kenetli formdaki birleşim mekanik olduğundan, arı atmosferin olumsuz etkilerine açıktır, ancak boru tipinde öz, dış ortama tamamıyla kapalı olmasından nem

kapma, bundan dolayı da örtülü elektrotlarda yapıldığı gibi kurutma yapılması mevzu bahis teşkil etmemektedir. Ayrıca kuvvetli nem afinitesine karşın bazik özlü elektrotlar bu yöntemle imal edilebilmektedir.

- Manto (dış metal kısmı) yüzeyi, kesitin atmosfere bütünüyle kapalı olması münasebetiyle tıpkı masif telde de olduğu gibi bakır kaplanabilmektedir. Bu şekilde depolama sırasında elektrodun dış yüzeyinde paslanma olmaz.
- Kenetli formdaki özlü tellerde manto mekanik olarak sıkıştırıldığından elektrod tel sürme makaralarının arasından ilerlerken deformasyona uğrayabilir ve manto açılarak toz dışarı dökülebilir. Bu durumda kaynak performansının düşmesine, telin torç içinde veya tel sürme makaraları arasında sıkışmasıyla dökülen tozun metalik aksamlarda korozyona neden olması riskini yaratır, ne var ki boru tipi özlü tellerde böyle riskler söz konusu değilidir.

Boru şeklindei özlü tellerde manto cidar kalınlığı, kenetli tipteki tellerdeki manto cidar kalınlığına göre daha kalın olduğundan, tel daha fazla akım şiddetlerine göğüs gelebilir, bu durum kaynakta yüksek nüfuziyet anlamına gelmektedir [35]. Özlü tellerde kullanılan özün muhteviyatına göre bazik , metal özlü ,ve rutil olmak üzere 3 farklı kategoride ele alınabilir [35]. Aşağıda Tablo 3.1'de MAG kaynak yönteminde kullanılan özlü tel türleri ve öz muhteviyatını meydana getiren bileşenler yer almaktadır.

Tablo 3.1: MAG kaynak yönteminde kullanılan özlü tel tipleri ve özlerini meydana getiten bileşenler [35].

Özlü tel elektrot tip	EN 758'e Göre Tanıtım Harfi	Mineral Komponent	Metalik Komponent
Rutil tip, yavaş katılaşan cüruf	R	$SiO_2, TiO_2, ZrO_2, MgO,$	$Fe, FeMn,$
Rutil tip, hızlı katılaşan cüruf	P	$SiO_2, TiO_2, ZrO_2, FeO, TiO_2,$	$Fe, FeMn, FeSi,$
Bazik tip	B	$TiO_2, CaO, CaF_2,$	$Fe, FeMn, FeSi$
Metal tozu dolgulu tip	M		$Fe, FeMn, FeSi$

Rutil özlü teller üstün kaynak kabiliyetleri ve göze hoş gelen kaynak dikişi sebebiyle kaynaklı yapı imalatcıları tarafından çok fazla tercih edilmektedir. Rutil öz, tıpkı rutil örtülü elektrotlarda da olduğu gibi yumuşak ve sakin bir ark, daha akışkan bir kaynak banyosuna imkan tanır ve düşük yüzey gerilimi münasebetiyle bütün akım aralığı boyunca kaynak teli ucundan kaynak banyosuna sprey arka benzeyen şekilde ince damlacıklar halinde geçer. Sıvı haldeki kaynak teli üstün bir ıslatma niteliğine sahiptir ne

var ki bu akışkan durum tek yönden kaynak pozisyonunda kök paso atılmasını güçleştirdiğinden bu gibi hallerde seramik ya da bakır altlık kullanılmasına lüzum bulunmaktadır [29].

Her durumda tatbik edilebilen, diğer bir manayla cürufu çabuk katılaşan rutil kompozisyonlu özlü tellerin geliştirilmesi neticesinde alışıla gelmiş rutil özlü elektrotların tatbik alanları bir hayli daralmıştır [29].

Bazik özlü tellerin kaynak dikişinin bilhassa düşük sıcaklıklardaki hem kaynak edildiği esnada hem de ısıl işlem sonrası yüksek tokluk özeliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılırlar. Alışıla gelmiş bazik özlü teller bilhassa farklı pozisyonlardaki kaynaklar için çok çok tercih edilmezler. Kısa ark boyu ile çalıştıklarından dolayı dikiş içinde cürufıklarının kalma riski bulunmaktadır ve nüfuziyet yeterince iyi değildir buna karşın kök pasoda köprü atma basittir ve altlık kullanımını gerektirmez [29].

Günümüzde geliştirilen yeni nesil ve faklı pozisyon kaynaklarına uyumlu bazik özlü tellerin daha yüksek gerilim ve akım dirençlerinde çalışmakta ve kaynak arkının kaynak bonyosuna iletimi sprey arka benzemektedir bu tür metal geçişlerine yarı sprey ark adı konmaktadır. Yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi neticesinde kaynak banyosu ve ark daha sıcak olduğundan dolayı nüfuziyet artmış, ergime hataları ve dikişte cüruf kalıntısı tehlikesi neredeyse ortadan kaybolmuş ve bunun neticesi olarak da düşük ısılarda yüksek mukavemete sahip, yüksek kalite kaynak dikişleri meydana gelmiştir [29].

Metal özlü elektrotların özünde arzu edilen alaşımlamayı sağlayacak miktar ve cinste metal tozlarıyla çok küçük miktarda arkı stabil kılan maddelere yer verilir. Bu tür özlü elektrotlarla kaynak sonrası dikiş üzerinde cüruf meydana gelmediğinden üst üste pasolar çekmek mümkündür ve -40 °C'ye değin tokluğunu muhafaza eden kaliteli kaynak dikişleri sağlanmaktadır. Metal özlü elektrotlar son zamanlarda alaşımlanmış masif tel elektrotlara sıkı bir rakip durumuna gelmişlerdir [29].

Yukarıda ifade edilen elektrotlardan faklı dolgu kaynağı ile paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan, MİG/MAG kaynağına uygun alaşımlı ve yüksek alaşımlı özlü tel elektrodlar bulunmaktadır. Bilhassa paslanmaz çeliklerin kaynağında tatbik edilen şeklin masif tele oranla önemli bir avantajı bulunmaktadır. Cürufun meydana gelişi ve koruyucu gaz ile çift koruma neticesi özlü tellerle gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında dikiş satıhlarının daha az oksitlenmesi ve rahatlıkla temizlenebilmesi sağlanmaktadır. Bu da

temizlik giderlerinin azalmasını sağlamaktadır [33]. Aşağıda Tablo 3.2'de EN 758'e göre özlü tel elektrot çeşitleri verilmiştir.

Tablo 3.2: EN 758'e göre özlü tel elektrot çeşitleri [33].

Tanıtım Harfi	Cüruf Özellikleri	Tek Pasolu (S) ve Çok Pasolu (M) Kaynak	Koruyucu Gaz
R	Rutil esaslı, yavaş katılaşan cüruf	S ve M	C ve M2
P	Rutil esaslı, hızlı katılaşan cüruf	S ve M	C ve M2
B	Bazik cüruf	S ve M	C ve M2
M	Metal tozlu dolgulu	S ve M	C ve M2
V	Rutil veya bazik/florür	S	Yok
W	Bazik/florür, yavaş katılaşan cüruf	S ve M	Yok
Y	Bazik/florür, hızlı katılaşan cüruf	S ve M	Yok
S	Diğer tipler		
C→CO2, M2→EN 439 'a göre M2 gaz karışımı			

Özlü tel elektrotları, kesit şekillerinden farklı olarak kendinliğinden korumalı özlü teller ve gaz korumalı özlü teller olmak kaydıyla iki ana başlık altında toplanmaktadır [33].

Gaz korumalı özlü tel elektrotlar karbondioksit (CO_2) ya da argon içeren karışım gazlarla kaynak yapılabilmektedir. İstenilen kalitede kaynak dikişi elde edebilmek maksadıyla koruyucu gazın seçiminde özlü tel imalatçılarının tavsiyelerine riayet etmek gerekir. Her tip özlü elektrot yanlız belli bir koruyucu gaz ile iyi neticeler vermektedir [33].

MAG kaynak yöntemine uyumlu özlü teller, daha iyi bir dikiş görüntüsü için, iyi tokluk sonuçları ve birleştirme hatalarının oluşma ihtimalinin meydana gelme eğiliminin daha düşük olması nedeniyle sanayinin pekçok dalında kullanılmaktadır. Zor pozisyonlardaki kaynakta sağlamış olduğu ekonomik avantajlardan ötürü gemi imalatında ve çelik yapılarda kullanımı gitgide fazlalaşmaktadır [33].

Kendinden korumalı özlü elektrotlarda, öz kaynak sırasında yanarak banyoyu havanın zarar veren etkilerinden muhafaza edecek gazı sağlayan birtakım maddeler ihtiva etmektedir. Dolayısıyla bir harici koruyucu gaza ihtiyaç bulunmaz [35].

Kendinden korumalı elektrotların şimdiye kapalı kesitli borular biçiminde uygulaması yoktur. Az alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında MAG-kaynağı yerine gazdan tasarrufta bulunmak maksadıyla kendiliğinden korumalı özlü tellerin kullanımı hatalıdır. Zira özlü teller çıplak tellere nazaran fiyatlı olmasından ötürü karlı değildir. Özlü tellerle

yapılan kaynak, otomasyona uygunluğu, yüksek verime sahip ve yüksek ergime gücüne olması sebebiyle daha çok örtülü çubuk elektrotlarla uygulanan kaynaktan daha az maliyetli olmakta ve git gide onun yerini almaktadır. Bilhassa rüzgâra karşı da daha az duyarlılık göstermesi ve hesaplı olması sebebiyle açık havada şantiye koşullarında günbegün artan miktarlarda kullanılmakta ve örtülü çubuk elektrotlarla rekabette bulunmaktadır. Çoğunlukla makine, araba ve gemi imalatında, boru hatlarının ,çelik konstrüksiyonlarda, küresel gaz depolarında ve köprülerin inşasında yararlanılmaktadır [33].

Mag Kaynağinda Kullanılan Özlü Tel Elektrotlar İle Çıplak Tel Elektrotların Karşıiaştırılması

MAG kaynak yönteminde kullanılan özlü tellerin çıplak elektrotlara göre bazı üstünlükleri vardır. Bu üstünlüklerin başlıcaları şunlardır;

- MAG kaynağı özlü elektrotları, CO_2 gazının altında, masif teller göre daha sakin ve sıçramadan yanar, bu şekilde sıçramayla meydana gelebilecek metal kaçağının önüne geçtiği gibi bu sıçrantıların temizlenmesi için gereken ekstra işçilik maliyetinde de tasarruf edilmiş olur.
- Kaynak dikişinin şekli ve görünüşü, çıplak masif teller ile yapılana göre daha muntazam olup, uygun kaynak parametreleri belirlendiği takdirde yanma oluğu ve çentiği oluşumunun önüne geçilmektedir, bu üstünlüğü de özdeki cüruf oluşturucu elemanlara borçluyuz.
- Özlü tellerde, aynı çaptaki masif tellere oranla aynı akım ve voltaj değerlerinde daha büyük akım yoğunlukları ile çalışıldığından dolayı daha fazla yüksek ergime gücü ile tel sürme ve kaynak hızları elde edilir [35].

Özlü tellerle uygulanan ark kaynağı, örtülü çubuk elektrotlarla uygulanan ark kaynağına göre birçok üsütünlüğe sahip olup, gazaltı ve tozaltı kaynak metodlarına göre de bazı taraflar yönünden avantajlıdır. Bu avantajların belli başlı bazıları aşağıda ifade edilmiştir [35].

- Yüksek akım yoğunluğu, ergime gücü ve kaliteli kaynak metali,
- Pürüzsüz düzgün ve mükemmel bir dikiş görünüşü,
- Kolaylıkla mekanize edilebilmesi

- Bir takım özlü tellerle yapılan kaynak uygulamalarına gaz korumasına ihityaç duyulmaz. Bu da donanımın daha basit bir hal almasına olanak verir.
- Örtülü elektrotların sahip olmuş olduğu tüm avantajlara sahiptir.
- Örtülü çubuk elektrotla ark kaynağına nazaran daha az iç gerilme ve çarpılma,
- Öze eklenen alaşım elementleri vasıtasıyla her ana malzeme için arzu edilen özellikte kaynak dikişi oluşacak formda elektrot üretilebilmektedir,
- Bu avantajlarıyla birlikte özlü tel ile ark kaynak uygulamalarının dezavantajları da vardır. Bunlar:
- Alandan atılması icap eden cüruf meydana getirir,
- Özlü teller aynı kilodaki masif elektrotlara kıyasla daha maliyetlidir.
- Kullanılan donanım, çubuk elektrotla ark kaynak uygulamasına göre daha kopmlike ve daha pahalıdır. Ne var ki fazlalaşan verim bu durumu dengelemektedir.
- Tozaltı ve gazaltı kaynak metodlarına göre daha fazla kaynak dumanı oluşur

Özlü tel elektrotların sunduğu avantajlar son yıllarda kullanıcılar tarafından daha çok tercih sebebi olmuş ve daha fazla kullanılması münasebetiyle de fiyatları da makul bir seviyeye inmiştir. Genellikle korozyona dayanıklı veya sert dolgu tabaka ile kaplama uygulamalarında bu elektrotlar bugün rakipsiz hale gelmiştir ve birleştirme kaynak uygulamalarında sıfırın altı sıcaklıklarda bile daha tok kaynak metalinin istenildiği hallerde ön plana geçmişlerdir; çünkü bazik örtülü elektrotlar ile sürekli tel elektrotların üstün özeliklerini beraberce sunmaktadırlar [31].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde atıflar, alıntılar ve dipnotların nasıl olması gerektiği hakkında bilgi verilecektir.

4.1. Kullanilan Malzemeler

Çalışmamızda kullanılmak üzere 480-540 HBW sertlikte, 5mm ve 7mm kalınlığında Armox 500T zırh çeliği, OTOKAR Savunma Sanayi AŞ.' den temin edilerek, Sakarya'da bulunan Özkan Mak.San.Tic fabrikasında farklı parametrelerde MİG gazaltı kaynak metodu ile birleştirilmiştir. Kullanılan kaynak telleri olarak GEKA 307 kaynak teli ve ESAB Ok Tubrodur 200 od marka özlü tel kullanılmıştır. Kullanılan Armox 500T zırh çelik malzemesinin kimyasal özellikleri Tablo 4.1'de mekanik özellikleri ise Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Armox 500T zırh çelik malzemesinin kimyasal özellikleri (%).

C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Cr(%)	Ni(%)	Mo(%)	B(%)
0,32	0,4	1,2	0,010	0,003	1,01	1,81	0,7	0,005

Tablo 4.2: Armox 500T zırh çelik malzemesinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı Rp 0,2 MPa	Çekme Dayanımı Rm MPa	Uzama % 5	Sertlik HBW	Charrby Darbe Enerjisi (-40 ^{0}C)
Armox 500T	1250	1450-1750	8	480-540	32J

TS EN ISO 17633 standardına uygun "Esab Ok tubodur 200 Od'' marka 1,6mm çapında özlü tel ile "GEKA 307" marka 1,2mm çapında masif tel kullanılmıştır. Söz konusu ilave metallere ait kimyasal özellikler tablolar halinde sıralanmıştır. Aşağıda Tablo 4.3'da GEKA 307 marka 1,2mm çaplı masif kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.3: GEKA 307 kalite 1,2 Masif kaynak telinin kimyasal ve mekanik analizi

Malzeme: GEKA	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni
307 kalite 1,2mm kaynak teli	0.1	0.7	6.0	19.0	9.0
307 kalite 1,2mm kaynak teli mekanik özellikleri	Akma Dayanımı (N/mm²)	Çekme Dayanımı (N/mm²)	Çentik darbe dayanımı (J)	Uzama (%))	((Lo=5do)
	480	630	50	40	

İkinci kullanılan "Esab Ok tubodur 200 Od'' marka 1,6mm çapında özlü telin kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıda Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

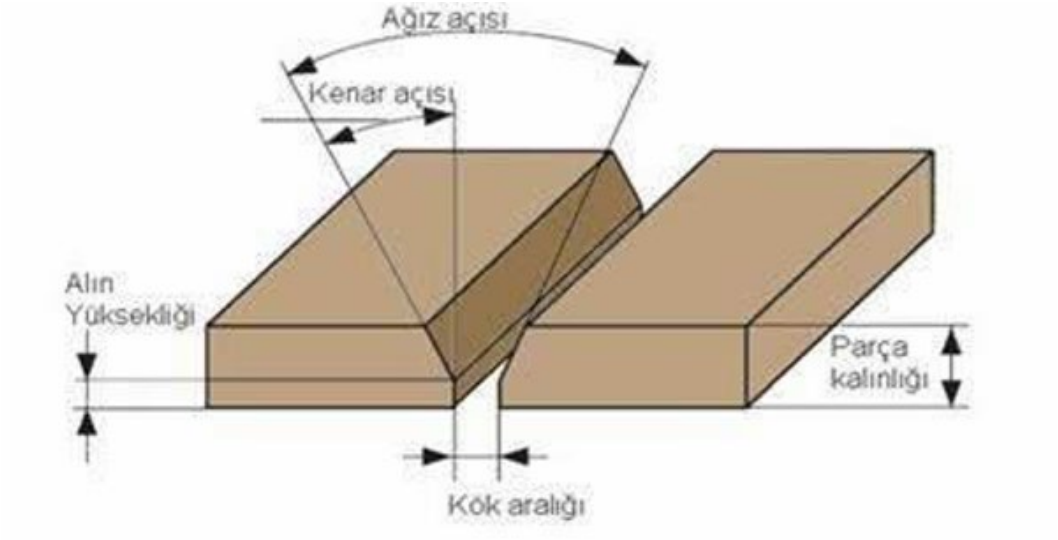
Tablo 4.4: Esab OK Tubrodur 200 od 1,6 özlü kaynak telinin kimyasal ve mekanik analizi

Malzeme	Mn	C	Si	Ni	Cr
Esab OK Tubrodur 200 od 1,6 Özlü kaynak teli	5.12	0.026 %	0.48	8.7	19.1
Esab OK Tubrodur 200 od 1,6 Özlü kaynak teli mekanik özellikleri	Akma Dayanımı (N/mm²)	Çekme Dayanımı (N/mm²)	Çentik darbe dayınımı (+20°) J	Uzama ((Lo=5do) (%))	
	420	620	80	40	

4.2. Metod

4.2.1. Kaynak işlemine hazırlık

Deneylerde kullanılmak üzere 4 adet 5mm kalınlığında 6 adet 7mm kalınlığında TS EN ISO 15614'e göre 150x300mm ebatlarında olmak üzere toplam 10 adet plaka haddeleme yönü göz önünde bulundurularak lazer tezgâhında kestirilmiştir. Şekil 4.1'de belirtilen ölçülerde kaynak ağzı açılmıştır.



Şekil 4.1: Kaynak ağzı ve plaka ölçüleri

7 mm kalınlığında 6 adet ve 5 mm kalınlığında 4 adet numune kestirilmiştir. Kesilen 10 adet plaka ikili gruplar halinde kaynatılmak üzere eşleştirilmiştir. 5 farklı kaynak numunelerinin deneysel kaynak parametreleri tablo halinde aşağıda sıralanacaktır. Aşağıda Tablo 4.5'de N1 fiziksel parametreleri verilmiştir.

Tablo 4.5: N1 kodlu test numunesinin fiziksel parametlreleri

N1	mm / °
Kalınlık	5
Ağız Açısı	120
Kök Aralığı	1
Alın Yüksekliği	2
En X boy	150X300

Fiziksel parametreleri Tablo 4.6'de belirtilen numunenin kaynak ağızı açılarak kaynağa hazır hale getirilmiştir. Aşağıda Şekil 4.2'de EN ISO 15614'e göre hazırlanmış N1 kodlu numune gösterilmektedir.



Şekil 4.2: EN ISO 15614'e göre hazırlanmış N1 kodlu numune gösterilmektedir.

N1 numunesi gibi diğer numunelere de sırayla aynı işlemler yapılmıştır. Bir sonraki numunenin kaynak parametreleri belirlenerek tablo haline getirilmiştir. Aşağıda N2 numunesinin fiziksel parametreleri aşağıda Tablo 4.6'de gösterilmektedir.

Tablo 4.6: N2 numunesinin fiziksel parametreleri gösterilmektedir.

N2	mm / °
Kalınlık	7
Ağız Açısı	60
Kök Aralığı	1,6
Alın Yüksekliği	2
En X boy	150X300

Kaynak parametrelerine göre kaynak ağzı açılmıştır. Bir sonraki numune N3 fiziksel parametreleri aşağıda Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7: N3 kodlu numunesinin fiziksel parametreleri gösterilmektedir.

N3	mm / °
Kalınlık	7
Ağız Açısı	120
Kök Aralığı	1,6
Alın Yüksekliği	2
En X boy	150X300

Kaynak parametrelerine göre kaynak ağzı açılmıştır. Bir sonraki numune N4'nin fiziksel parametreleri aşağıda Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.8: N4 kodlu numunenin fiziksel parametreleri verilmiştir.

N4	mm / °
Kalınlık	7
Ağız Açısı	120
Kök Aralığı	1,6
Alın Yüksekliği	2
En X boy	150X300

Kaynak parametrelerine göre kaynak ağzı açılmıştır. Bir sonraki numune N5'nin fiziksel parametreleri aşağıda Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

Tablo 4.9: N5 kodlu numunenin fiziksel parametreleri gösterilmektedir.

N5	mm / °
Kalınlık	5
Ağız Açısı	90
Kök Aralığı	1
Alın Yüksekliği	2
En X boy	150X300

4.2.2. Kaynak uygulamaları

Kaynak tatbikleri, askeri maksatlı zırh çeliklerine tatbik edilen balistik kaynak metodları standardı olan MIL STD 1185 ve SD-X12140D baz alınarak uygulanmıştır. Esas metalden yapılan kesim ve eşleştirme uygulamasından sonra numune yüzeylerinde bulunan oksit ,yağ ve kir gibi kaynak başarısını negatif yönde etkileyebilecek materyallerden kumlama yapılarak temizlenmiştir. Çalışmamız için TS EN ISO 9692-1 standardına baz alınarak hazırlanan "V" ve kök alın yüksekliği hazırlanmıştır. Kaynak ağzına sahip numuneler aşağıda parametreleri verilen MİG kaynak metodu ile alın kaynağı olacak şekilde gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak Sakarya'daki Özkan Endüstri Makina Sanayi Ticaret Limited Şirketi'nde birleştirilmişlerdir.

MİG kaynak yöntemiyle birleştirme için kullanılan 'Panasonic YD-500AF2' marka kaynak makinası aşağıda Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3: MİG Kaynak yönteminde kullanılan ‘Panasonic YD-500AF2’ kaynak makinası gösterilmektedir.

Kaynak işlemi hatasız olması için kaynak robotu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kaynak uygulamasında kullanılan kaynak robotunun çalışma alanından bir fotoğrafı aşağıda Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



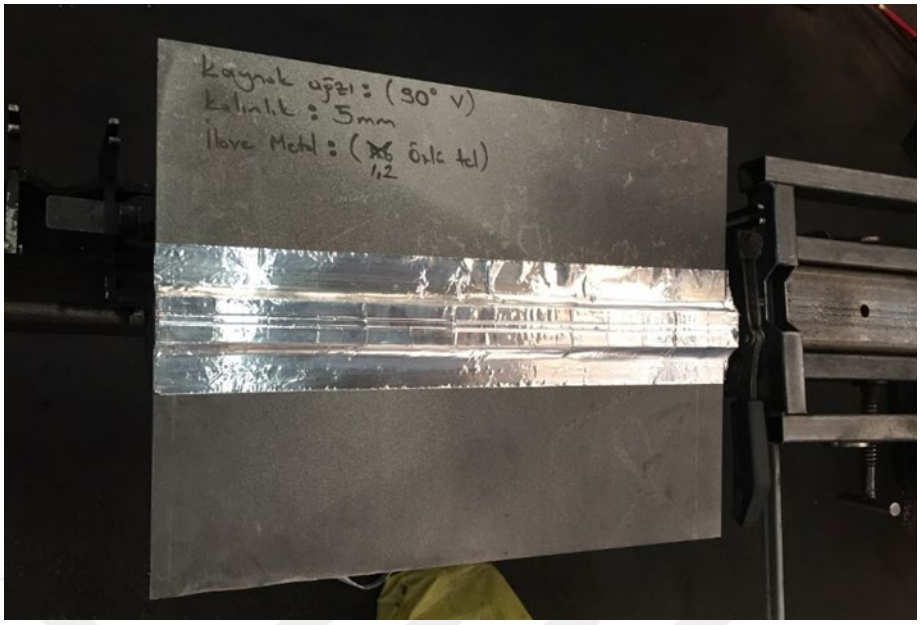
Şekil 4.4: Uygulamada kullanılan Panasonic kaynak robotu.

Kaynak uygulaması sırasında numunelerin kaynaklanabilmesi için numunelere ve kaynak robotunun çalışma sistemine göre kaynak fikstürü yaptırılmıştır. Uygulamada kullanılacak kaynak fikstürü aşağıda Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



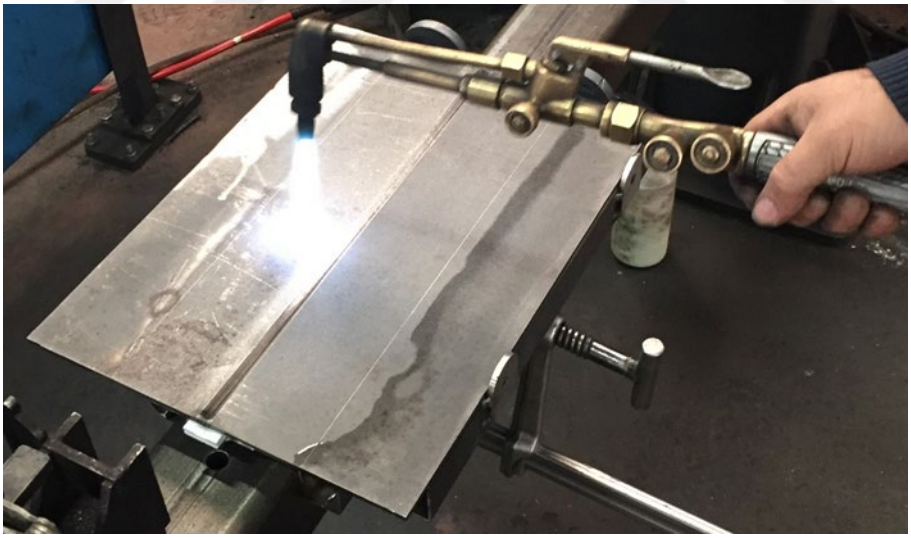
Şekil 4.5: Uygulamada kullanılan kaynak fikstürü gösterilmektedir.

Kaynak uygulamasında seramik altlık kullanılması kaynağın kalitesini iyi yönde etkilemesinden dolayı bu çalışmada da seramik altlık uygulaması uygun görülmüştür. Seramik altlık kaynak sırasında numunenin arkasına eriyik metalin taşmamasını sağlamaktadır. Seramik altlık uygulanması aşağıda Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Seramik Altlık Uygulaması

Seramik altlık uygulaması da gerçekleştikten sonra numuneler kaynaktan bir önceki işlem olan ön tav işlemine tabi tutulmuştur. Örnek ön tav işlemi aşağıda Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7: Kaynak numunelerine uygulanan ön tav işlemi gösterilmektedir.

4.3. Kaynak İşlemi

Kaynak hazırlıkları tamamlan numuneler MIG kaynak metodu ile kaynatılmaya hazır durumdadır. Numunelerin kaynak parametreleri kaynak teli, amper, voltaj, ön tav, kaynak

hızıdır. N1, N2, N4, N5, N7 kodlu numunelerin kaynak işlemi için belirlenen kaynak parametreleri aşağıda Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: Numunelerinin kaynak parametreleri gösterilmiştir.

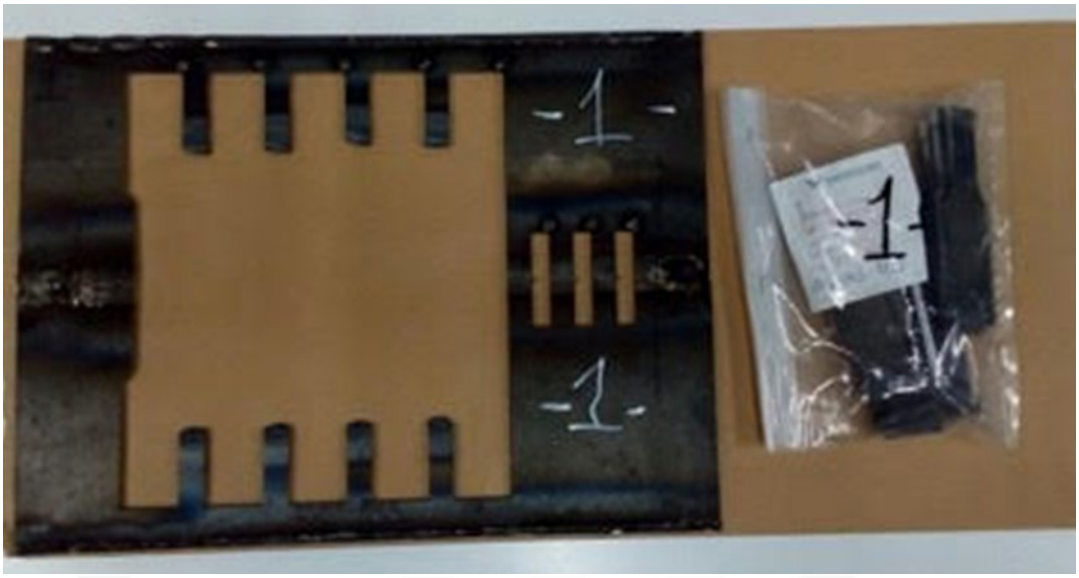
		NUMUNE KODLARI				
		N1	N2	N3	N4	N5
PARAMETRELER	Kalınlık (mm)	5	7	7	7	5
	Kaynak Teli (mm)	1,6	1,6	1,6	1,2	1,2
	Amper (A)	260	350	330	180	140
	Voltaj (V)	24,6	31,2	29,9	26,6	21,5
	Ön Tav (°C)	100	200	160	100	-
	Kaynak Hızı (mm/dk)	150	220	750	200	210

Kaynak parametreleri belirlendiği üzere numuneler 'Panasonic YD-500AF2' marka kaynak makinası ve robotuyla, kaynak işlemleri sırasıyla yapılmıştır. Kaynak işleminden önce malzemeler kumlama işlemi ile temizlenmiştir. Kaynak işlemi oda sıcaklığında 20°C de gerçekleştirilmiştir. Örnek numune kaynağı aşağıda Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Örnek numune kaynağı gösterimektedir.

Yukarıda Şekil 4.8'da görülmekte olduğu üzere kaynak işlemi yapılan malzemeler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. İşlem 5 numune içinde aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynakları bitmiştir. Soğuma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi bu şekilde tamamlanmıştır. Sonuç bölümüne geçmeden önce numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi işlemi için numunelerin kesilmesi gerekmektedir. Çekme, eğme ve çentik darbe testi için gerekli ölçülerde kesilen numune örnekleri aşağıda Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: N1 kodlu numunenin mekanik test için kesilmiş ve paketlenmiş görseli gösterilmektedir.

Yukarıdaki Şekil 4.9'da gösterildiği gibi diğer N2, N3, N4, N5 numuneleri de kesilerek paketlenip çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri için TUVASAŞ (Türkiye Vagon Sanayi A.Ş) firmasına gönderilmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri Sonuçlar kısmında incelenecektir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bir önceki bölümde numunelerin kaynak hazırlıkları ve kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde kaynak Numunelerinin kaynak işlemine tepkileri ve kaynak işleminden sonraki mekanik özelliklerinin sonuçları irdelenecektir. Numunelerden biri N6 koduyla adlandırılmıştır. N6 kodu verilen numunenin fiziksel özellikleri; kalınlık: 5mm, kaynak ağzı: 90° V, kaynak teli: 1,2 mm 307 masif tel Amper: 140A Voltaj: 22.5V Ön Tav: yapılmamıştır Hız: 210 mm/dk olarak ayarlanmış olup, test numunelerinin lazer kesiminde plaka kaynak dikişinden boydan boya çatlayarak kırılmıştır. Bunun sebebi kaynak işleminden önce ön tav yapılmama durumu gözlemlenmiştir. Ön tav yapılan diğer N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin başarı ile lazer kesim işlemi yapılmıştır.

Çalışmadaki numunelerin çekme, eğme ve çentik darbe testleri sırasıyla incelenmiştir. Test sonuçları tablolar halinde belirtilmiştir.

5.1. Çekme Testi

Numunelerin ilk olarak çekme testi gerçekleştirilmiştir. Çekme testi Sakarya TÜVASAŞ(Türkiye Vagon Sanayisi Anonim Şirketi) şirketinde 'Mekanik Test Laboratuvarı' içerisinde TS EN ISO 4136:2012 standardında 69743 operatör sicil numaralı Kadir Korkmaz tarafından 'INSTRON 300DX' cihazı ile, 23°C gerçekleştirilmiştir. Çekme makinesi aşağıda Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Testi yapılmış çalışmadaki, numune malzemesi: Armox 500T, mamul biçimi: kaynaklı plaka şeklindedir. Çekme testi yapılan numunelerin mekanik özellikleri aşağıda Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

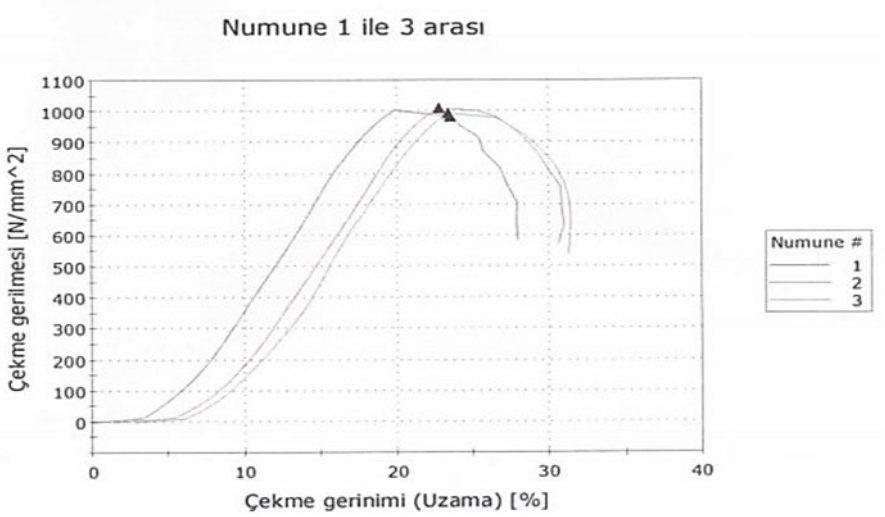


Şekil 5.1: ‘INSTRON 300DX’ çekme testi cihazı gösterilmiştir.

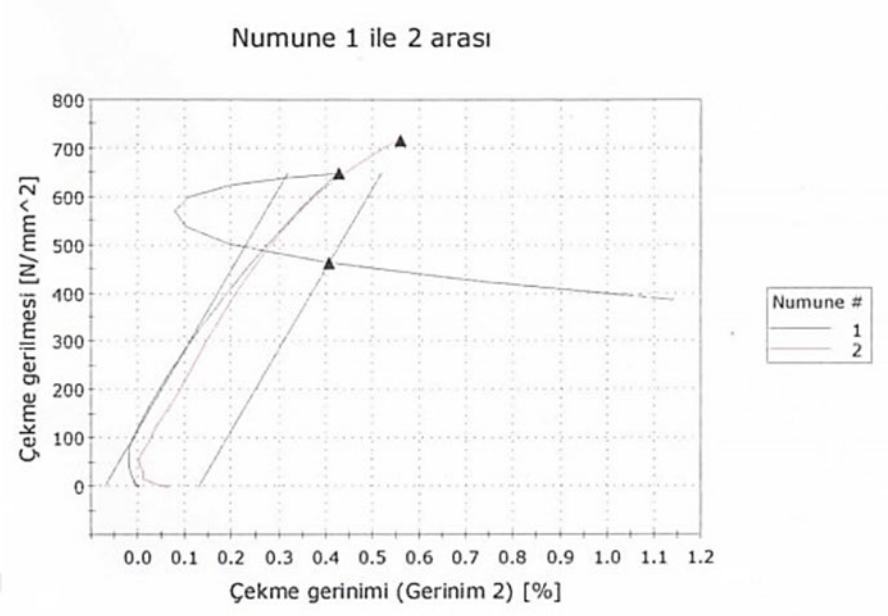
Tablo 5.1: Deney numunelerinin çekme testi gösterilmiştir.

Numune Numarası	Ebat, Kesit Alanı mm^2)	*Akma Gerilmesi* (N/mm^2)	Max.Çekme Gerilmesi (N/mm^2)	F_{Maks} (N)	Kopma Yükü (N)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Kırılma Konumu
N1-1	100	900.84	1003.06	100306.00	98252	2.0	2.98	Kaynak
N1-2	100	901.46	1010.98	101098.60	101098,6	2.4	2.18	Kaynak
N1-3	100	898.89	993.93	99393.62	99393.62	2.6	1.29	Kaynak
N2-1	140	463.52	648.62	90807.11	-	0.42	0.81	Kaynak
N2-2	140	481.12	716.88	100364.10	-	0.50	0.81	Kaynak
N2-3	-	-	-	-	-	-	-	-
N3-1	140	561.91	609.12	85276.82	80501	2.0	2.41	Kaynak
N3-2	140	841.89	852.08	11929.35	119292.3	6.0	11.80	Kaynak
N3-3	-	-	-	-	-	-	-	-
N4-1	140	757.16	897.08	125591.67	124555.5	2.0	1.92	Kaynak
N4-2	140	854.54	953.98	133558.43	133558.4	2.0	0.48	Kaynak
N4-3	140	846.78	927.90	129906.24	129906.24	2.0	1.28	Kaynak
N5-1	100	831.70	832.15	83215.81	83215.81	2.0	2.98	Kaynak
N5-2	100	1001.87	1002.41	100241.14	98002.12	2.2	3.66	Kaynak
N5-3	100	940.62	941.57	94157.21	94157.21	2.0	2.33	Kaynak

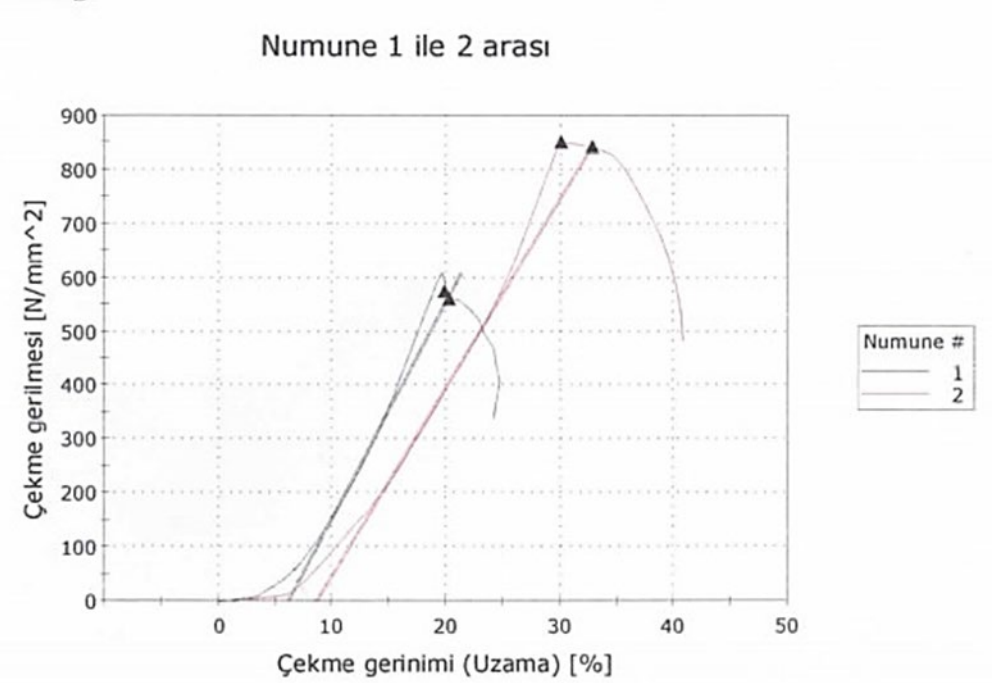
Yukarıda numunelerin çekme testleri sıralanmıştır. Numunelerin çekme grafikleri Şekil 5.2-5.9 aşağıda sırasıyla verilmiştir.



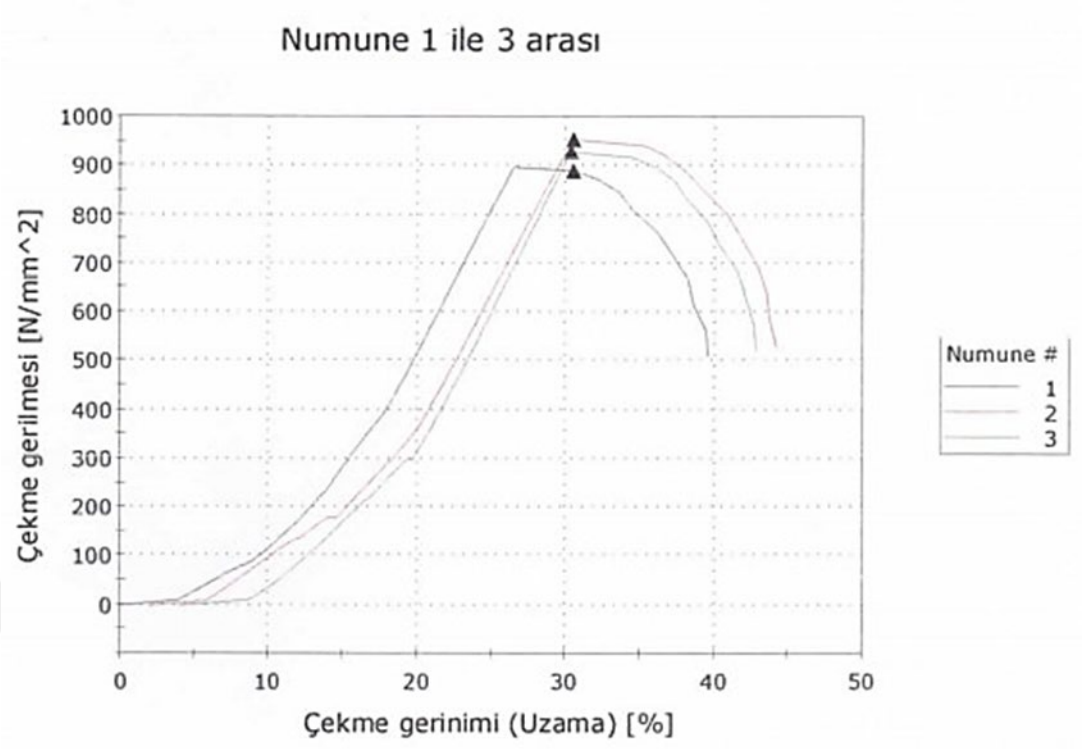
Şekil 5.2: N1 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir.



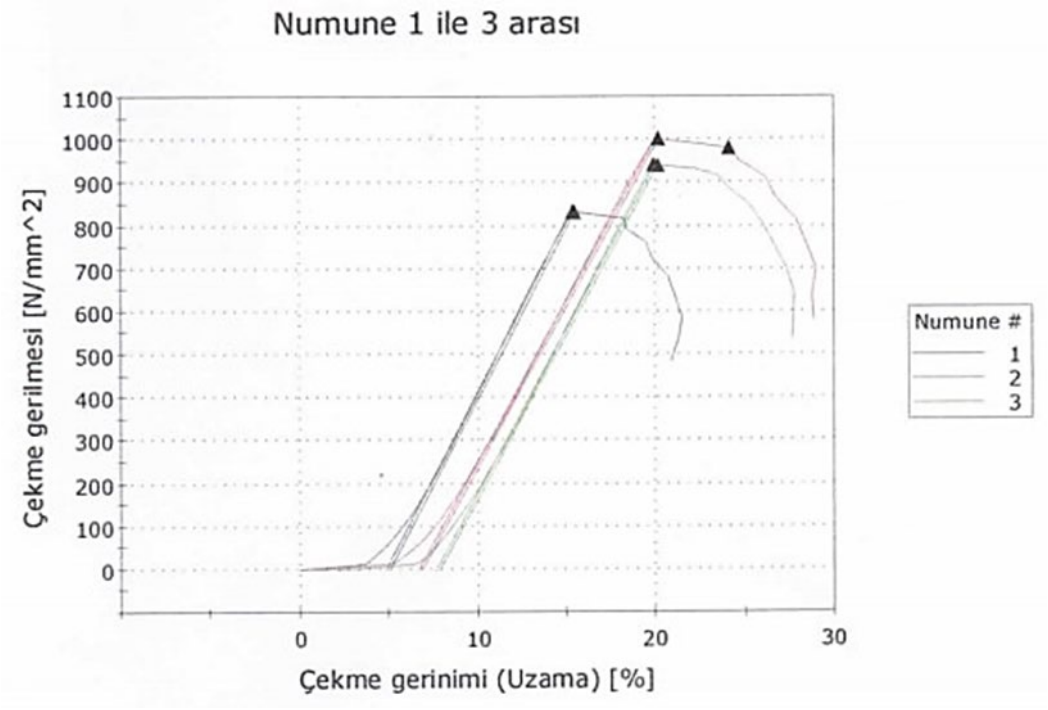
Şekil 5.3: N2 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir.



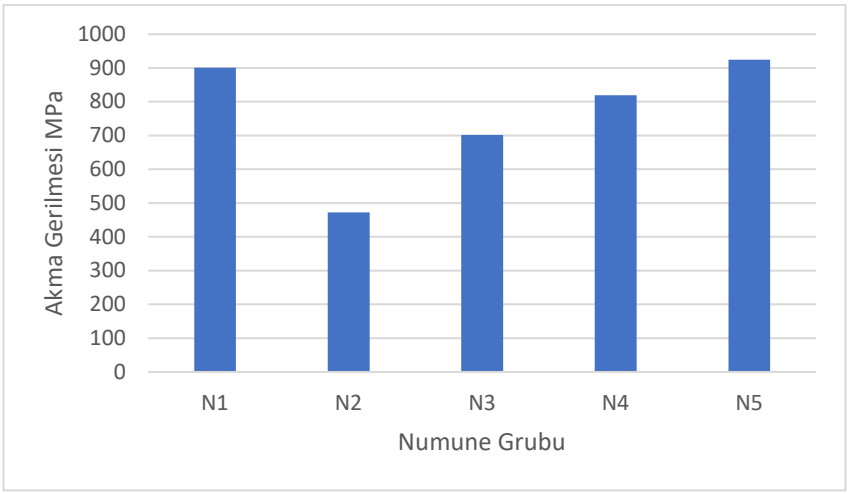
Şekil 5.4: N3 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir.



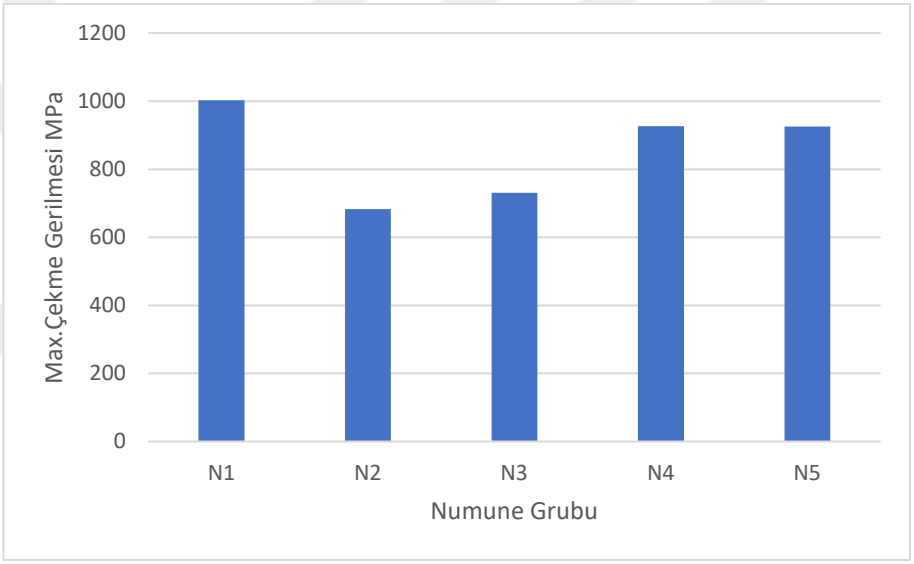
Şekil 5.5: N4 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir.



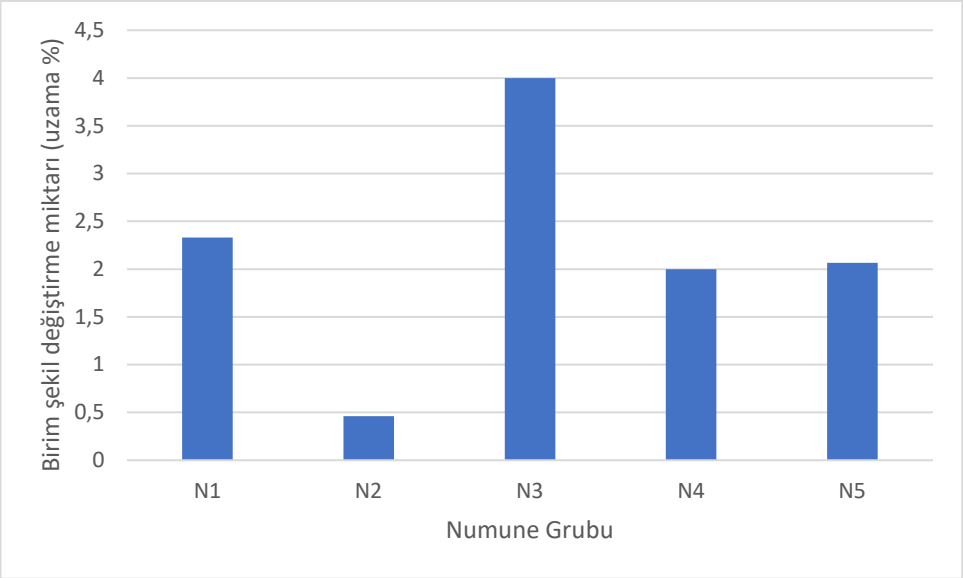
Şekil 5.6: N5 kodlu numunenin çekme grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.7: Numunelerin Akma Gerilmelerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.8: Numunelerin Max. Çekme Gerilmelerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.9: Numunelerin Birim şekil değiştirme miktarlarının karşılaştırılması.

5.2. Eğme Testi

Numunelerin ikinci olarak eğme testi gerçekleştirilmiştir. Eğme testi Sakarya TÜVASAŞ(Türkiye Vagon Sanayisi Anonim Şirketi) şirketinde 'Mekanik Test Laboratuvarı' içerisinde TS EN ISO 5173:2010/A1 standardında 69743 operatör sicil numaralı Kadir Korkmaz tarafından 'INSTRON 300DX' cihazı ile 23°C gerçekleştirilmiştir. Eğme testi makinesi aşağıda Şekil 5.10'da gösterilmektedir. gerçekleştirilmiştir. Testi yapılmış çalışmadaki, numune malzemesi: Armox 500T, mamul biçimi: kaynaklı plaka şeklindedir. Eğme testi yapılan numunelerin deney parametreleri aşağıda Tablo 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10: 'INSTRON 300DX' Eğme testi cihazı gösterilmektedir.

Tablo 5.2: Deney numunelerinin eğme testi parametreleri gösterilmektedir.

Numune Numarası	Test Tipi	Boyut (mm)	Mandren Çapı (mm)	Mandrenler Arası Mesafe (mm)	Eğme Açısı $(°)$	Kırılma Konumu
N1-1	TFBB	5	12	26	180	RED
N1-2	TRBB	5	12	26	180	RED
-	-	-	-	-	-	-
N2-1	TFBB	5	12	30	180	RED
N2-2	TRBB	5	12	30	180	RED
-	-	-	-	-	-	-
N3-1	TFBB	5	12	30	180	RED
N3-2	TRBB	5	12	30	180	RED
-	-	-	-	-	-	-
N4-1	TFBB	5	12	30	180	RED
N4-2	TRBB	5	12	30	180	RED
-	-	-	-	-	-	-
N5-1	TFBB	5	12	26	180	RED
N5-2	TRBB	5	12	26	180	RED
-	-	-	-	-	-	-

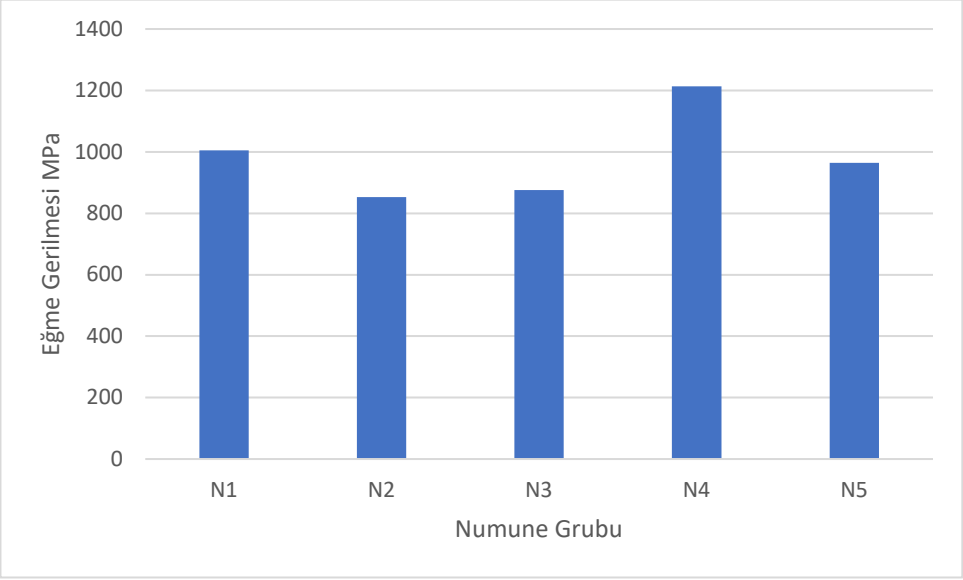
Yukarıda numunelerin eğme test sonuçları görülmektedir. Numuneler eğme testinden red almıştır. Numunelerin malzemesi Armox 500T mekanik özellikleri itibari ile çok gevrek makro yapıya sahip malzemedir. Kaynak işleminden sonra malzemedeki sertlik değerleri artmaktadır. Bu sebeple çok gevrek hale gelen numuneler eğme testlerinde başarısız olarak kırılmışlardır. Yukarıda tabloda tüm malzemelerin red aldığı görülmektedir.

Fakat numunenin mekanik değerleri aşağıda Tablo 5.3'da gösterilmektedir.

Tablo 5.3: Eğme testi mekanik sonuçları gösterilmektedir.

Numune Numarası	F_{Maks} (N)	Eğme Gerilmesi Maksimum Yük (MPa)	Eğme Uzaması Maksimum Yük (mm)	Sonuç
N1-1	11788.4	1016.7	4.19813	KEP: TFBB BAŞARISIZ
N1-2	12672.3	1092.9	10.14855	KÖK: TRBB BAŞARISIZ
N2-1	20576.5	905.4	6.66941	KEP: TFBB BAŞARISIZ
N2-2	18181.7	800	3.51731	KÖK: TRBB BAŞARISIZ
N3-1	18263.3	803.7	5.08382	KEP: TFBB BAŞARISIZ
N3-2	21517	946.8	6.41872	KÖK: TRBB BAŞARISIZ
N4-1	30904	13599.9-1359.9 mu	6.36654	KEP: TFBB BAŞARISIZ
N4-2	24255.3	1067.3	3.96780	KÖK: TRBB BAŞARISIZ
N5-1	9376.8	808.7	6.8183	KEP: TFBB BAŞARISIZ
N5-2	12987.4	1120.1	21.06316	KÖK: TRBB BAŞARISIZ

Yukarıda eğme testi deney sonuçları sıralanmıştır. Malzemenin gevrekliğinden dolayı eğme testine olumlu yanıt verememiştir. Yine de tablolar hainde detaylı mekanik özellikler verilmiştir. Numunelerin Birim şekil değiştirme miktarlarının karşılaştırılması aşağıda Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11: Numunelerin Birim şekil değiştirme miktarlarının karşılaştırılması.

5.3. Çentik Darbe Testi

Numunelerin son olarak eğme testi gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe testi Sakarya TÜVASAŞ(Türkiye Vagon Sanayisi Anonim Şirketi) şirketinde 'Mekanik Test Laboratuvarı' içerisinde TS EN ISO 148-1 - TS EN ISO 9016 standardında 69743 operatör sicil numaralı Kadir Korkmaz tarafından 'INSTRON SI-1K3' cihazı ile Charby test numuneleri ile 24°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Test cihazı aşağıda 5.12'de gösterilmiştir. Çentik darbe testi yapılan numunelerin deney parametreleri aşağıda Tablo 5.4'da gösterilmiştir.

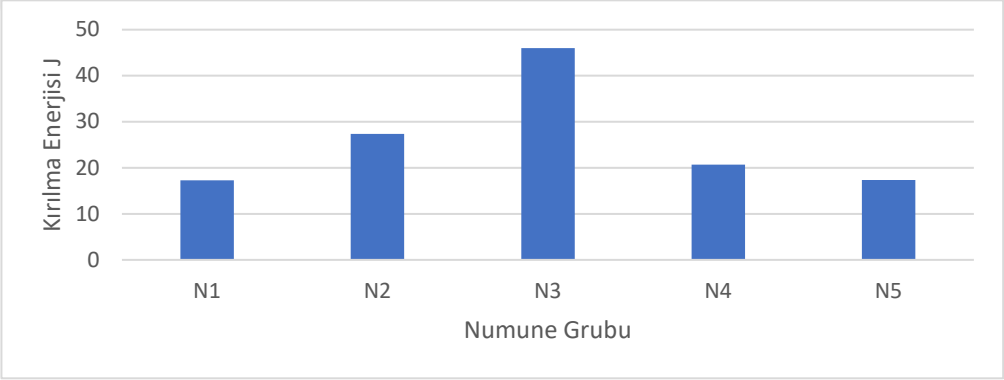


Şekil 5.12: INSTRON IMPACT SI-1K3 çentik darbe test cihazı gösterilmektedir.

Tablo 5.4: Numunelerin çentik darbe testi sonuçları gösterilmektedir.

Test Parçası	Çentik ve Bölgesi Yeri	Numune Ebatı (mm)	Çentik Tipi	Test Sıcaklığı $(°C)$	Sonuç (J)	Ortalama/ joule (J)
N1-1	Kaynak	5x10x55	V	24	20	17.33
N1-2	Kaynak	5x10x55	V	24	20	
N1-3	Kaynak	5x10x55	V	24	12	
N2-1	Kaynak	7x10x55	V	24	28	27.33
N2-2	Kaynak	7x10x55	V	24	28	
N2-3	Kaynak	7x10x55	V	24	26	
N3-1	Kaynak	7x10x55	V	24	46	46
N3-2	Kaynak	7x10x55	V	24	46	
N3-3	Kaynak	7x10x55	V	24	46	
N4-1	Kaynak	7x10x55	V	24	20	20.66
N4-2	Kaynak	7x10x55	V	24	20	
N4-3	Kaynak	7x10x55	V	24	22	
N5-1	Kaynak	5x10x55	V	24	18	17.33
N5-2	Kaynak	5x10x55	V	24	18	
N5-3	Kaynak	5x10x55	V	24	16	

Yukarıda numunelerin çentik darbe test sonuçları verilmiştir. Çentik darbe testleri 24°C sıcaklıkta TS EN ISP 148-1 ve TS EN ISO 9016'da tarif edilen metot ve tariflere göre yapılmıştır. Numunelerin Kırılma Enerji miktarlarının karşılaştırılması aşağıda Şekil 5.13'da verilmiştir.



Şekil 5.13: Numunelerin Kırılma Enerji miktarlarının karşılaştırılması

BÖLÜM 6. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Bu çalışmada iki farklı kaynak teli kullanılarak MİG kaynak yöntemi uygulandı. 150x300mm ebatlarında 10 plakadan oluşan iki adet plakanın kaynaklanmasıyla oluşan 5 adet numune test plakası hazırlandı. Hazırlanan 14 plakaya TS EN ISO 9692-1'e göre işleme merkezinde kaynak ağzı açıldı. Kaynak yüzeyinde bulunan ve kaynak performansına olumsuz etki eden yağ, kir ve pasın giderilmesi maksadıyla kumlama yapıldı. Özlü tel ve masif tel kullanılarak belirtilen parametrelerde kaynak işlemi gerçekleştirildi. Kaynak işleminden sonra tahribatlı testler için her plakadan üçer adet test numuneleri lazer kesim prosesiyle hazırlandı. Hazırlanan test numuneleri tahribatlı muayene için laboratuvara teslim edildi. Numunelere Akma dayanımı, Çentik darbe dayanımı, Eğme ve Makro testleri uygulandı. Bölüm 5'te uygulanan eğme, çekme, çentik darbe test sonuçları verildi. Bu bölümde numunelerin değerlendirilmesi ve tartışmaları yapılacaktır. Ve değerlendirmeler makro testleriyle desteklenecektir.

6.1. Çekme Testi Sonuçları Değerlendirmesi

Öncelikle numunelerin çekme testleri değerlendirilerek inceleme yapılmıştır. Çekme testleri numunelerin akma dayanımını belirlemiştir. Akma dayanımı, çekme deneyi sırasında numunenin elastik şekil değişimi sınırının bitip plastik şekil verme kısmına henüz girmeden oluşan sınır değerdir. Bu değer bize malzemenin dayanımı hakkında bilgi vermektedir. Akma değeri malzemenin mukavemeti konusunda bilgi verebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan 5 ve 7mm kalınlığındaki numunelerin 7mm kalınlığa sahip malzemenin akma değerinin 5mm kalınlığındaki numunelerden fazla olması aşikârdır. Değerlendirme kısmında bu kalınlık farkı göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

5mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 5mm'lik numunelerden akma dayanımı en yüksek numune belirlenmiştir. N5-2 kodlu numune 1001.82 MPa akma dayanımına

sahiptir. Bu değer çalışmanın en yüksek akma değeridir. 5mm'lik numunelerin en dayanıklısı N5-2 numunesidir.

7mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 7mm'lik numunelerden akma dayanımı en yüksek numune belirlenmiştir N4-2 kodlu numune 854.54 MPa akma dayanımına sahiptir. Bu değer 7mm'lik numunelerin en yüksek akma değeridir. 7mm'lik numunelerin en dayanıklısı N4-2 numunesidir.

Akma dayanımı: N5-2 > N4-2 şeklinde ifade edilebilmektedir.

Akma dayanımları incelenen numunelerin çekme değerlerinin incelenmesinde çekme dayanımının değerlendirmesi yapılmıştır. Çekme dayanımı, numunenin kısaca malzemenin çekmeye karşı gösterdiği kuvvettir. Bu kuvvetin maksimum değeri, parçanın boyun verme diye tanımlanan üniform olmayan kesit daralmasının başladığı andaki kuvvettir. Numunelerin kalınlıklarına göre çekme dayanımlarının incelenmesi aşağıda irdelenecektir.

5mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 5mm'lik numunelerden maksimum çekme dayanımı en yüksek numune belirlenmiştir. N1-2 kodlu numune 1010.98 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu değer çalışmadaki en yüksek çekme dayanımı değeridir. 5mm'lik numunelerin en dayanıklısı N1-2 numunesidir.

7 mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 7mm'lik numunelerin maksimum çekme dayanımı en yüksek numune belirlenmiştir. N4-2 kodlu numune 953.98 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu değer 7mm'lik numunelerin en yüksek çekme dayanımı değeridir. 7mm'lik numunelerin en dayanıklısı akma dayanımında da olduğu gibi N4-2 kodlu numunedir.

Çekme dayanımı: N1-2 > N4-2 şeklinde ifade edilebilmektedir.

Akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımları incelenen numunelerin uzama(%) değerleri incelenmiştir. Uzama değeri, numunenin çekme işlemi sonundaki oluşan boyun ilk boydan farkının, numunenin ilk boyuna bölünmesi ve 100 ile çarpılması sonucundaki değerdir. Numunelerin kalınlıklara göre uzamalarının incelenmesi aşağıda irdelenecektir.

5mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 5mm'lik numunelerin maksimum uzama(%) değeri en yüksek numune belirlenmiştir. N1-3 kodlu numune %2.6 uzama

değerine sahiptir. Bu değer çalışmadaki en yüksek uzama değeridir. 5mm'lik numunelerin en sünek olanı N1-3 kodlu numunedir.

7mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 7mm'lik numunelerin maksimum uzama (%) değeri en yüksek olan numune belirlenmiştir. N3-2 kodlu numune %6 uzama değerine sahiptir. Bu değer çalışmadaki en yüksek uzama değeridir. 7mm'lik numunelerin en sünek olanı N3-2 kodlu numunedir.

Uzama (%): N1-3 > N3-2 şeklinde ifade edilebilmektedir.

Kopma yüküne göre en yüksek dayanıma sahip numune belirlenmiştir. Kopma yükü numunenin kopmaya göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanır. Numunelerin kalınlıklara göre kopma yükü incelemeleri aşağıda irdelenecektir.

5mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 5mm'lik numunelerin kopma yükleri belirlenmiştir. N1-2 kodlu numune 101098.6 N kopma yükü değerine sahiptir. Kopmaya karşı en dirençli 5mm'lik numunedir.

7mm'lik numune: Tablo 5.4'de görüldüğü üzere 7mm'lik numunelerin kopma yükleri en yüksek numune belirlenmiştir. N4-2 kodlu numune 133558.4 N kopma yükü değerine sahiptir. Bu değer aynı zamanda çalışmanın en yüksek kopma yükü değeridir. 7mm'lik numunelerin kopmaya karşı en dirençli numune N4-2 kodlu numunedir.

Kopma yükü: N4-2 > N1-2 şeklinde ifade edilebilmektedir.

6.2. Eğme Testi Sonuçlarinin Değerlendirmesi

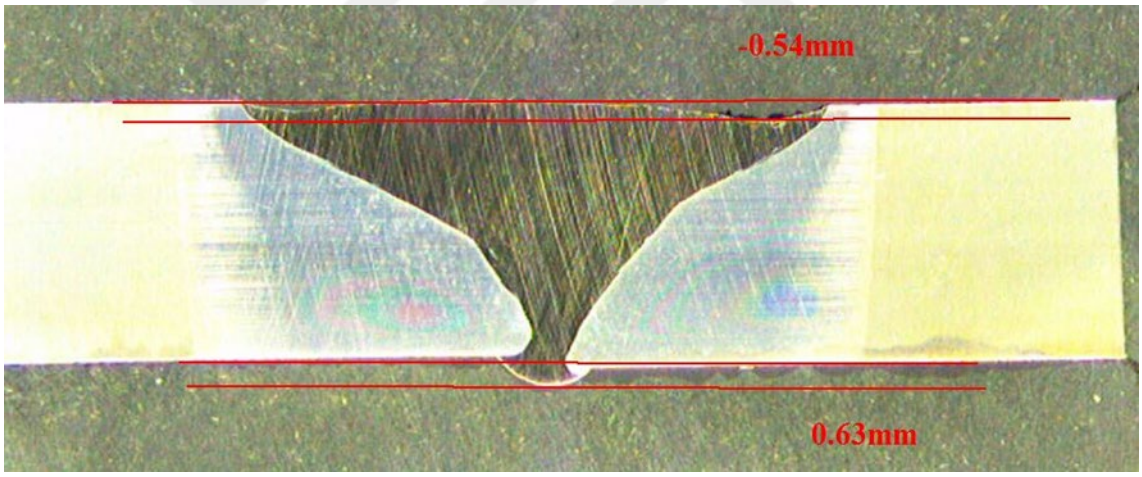
Numunelerin eğme testleri sonuçları Bölüm 5'te incelenmiştir. 5mm ve 7mm'lik numuneler için eğme testleri genel itibari ile başarısız sonuçlanmıştır. Bunun sebebi zırh çeliği olan Armox 500T malzemesinin çok gevrek bir malzeme olmasından dolayıdır. Gevrek olan malzeme kaynak yapıldığında hızlıca ısıtılıp soğutulduğundan dolayı da daha da sertleşir. Sertleşen malzeme eğme testine cevap vermekte zorlanarak test numunesi kırılır. Eğme testi değerleri yine de çalışmada göz önünde bulundurulacaktır.

Eğme testi numunelerinin maksimum kuvvet, eğme gerilmesi, eğme uzaması olarak kırılmadan önceki dayanabileceği değerlerin incelenmesi irdelenmiştir. Tablo 5.4'de eğme testleri sonuçları incelenmiştir. Maksimum kuvvet, N4-2 kodlu numunenin 24255.3 N değeridir. N4-1 kodlu numune 13599.9 N maksimum eğme gerilmesine sahiptir. N5-2

kodlu numune 21.06316 mm maksimum uzama değerine sahiptir. Değerler kayıt altına alınmıştır fakat deney başarısız olarak nitelendirilmiştir.

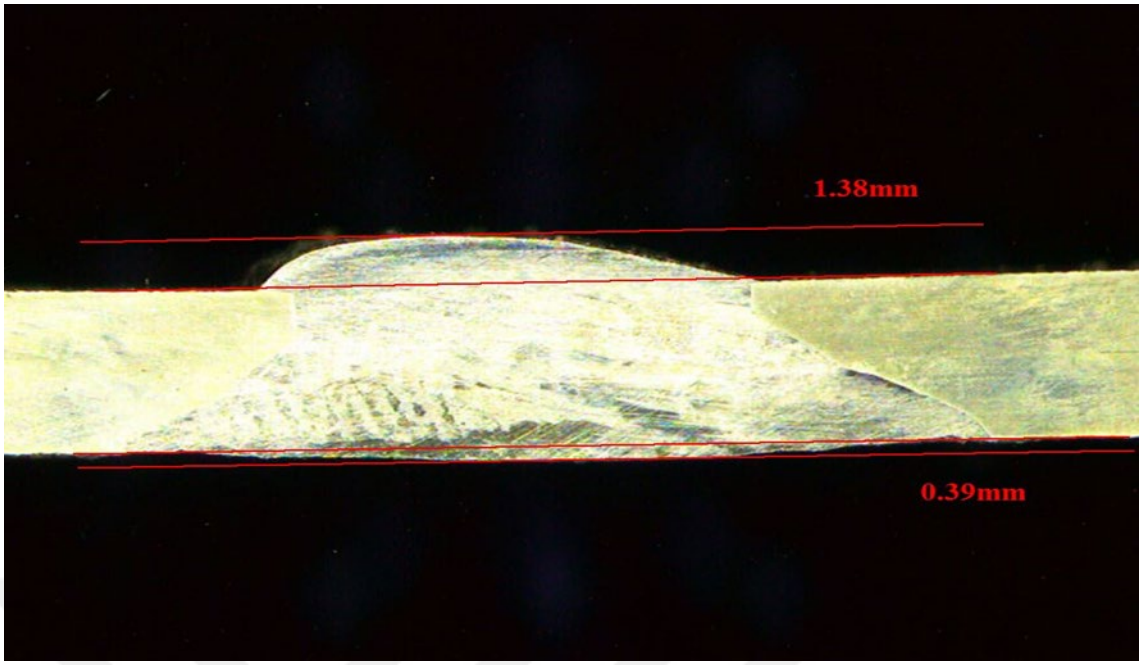
6.3. Çentik Darbe Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Numunelerin çentik darbe testi sonuçları bölüm 5'te incelenmiştir. Charby çentik darbe testi sonuçları incelenmiştir. Çentik darbe testinde malzemenin darbeye karşı göstermiş olduğu direnç belirlenmektedir. Çalışmanın konusu olan zırh çeliklerinde de darbe dirençlerinin yüksek olması beklenmektedir. Tablo 5.4'de görüldüğü üzere N3 ana kodlu N3-1, N3-2, N3-3 numuneleri en başarılı numuneler olmuştur. Bunun sebebi 7mm'lik kalınlığa sahip olmalarıyla birlikte kaynak kesit alanın en küçük olanı olmasıdır. N3 numunesinin makro testleri yapılarak kaynak kesit alanın makro fotoğrafları incelenmiştir. N3 numunesinin makro kaynak kesit fotoğrafı aşağıda Şekil 6.1'de gösterilmektedir.

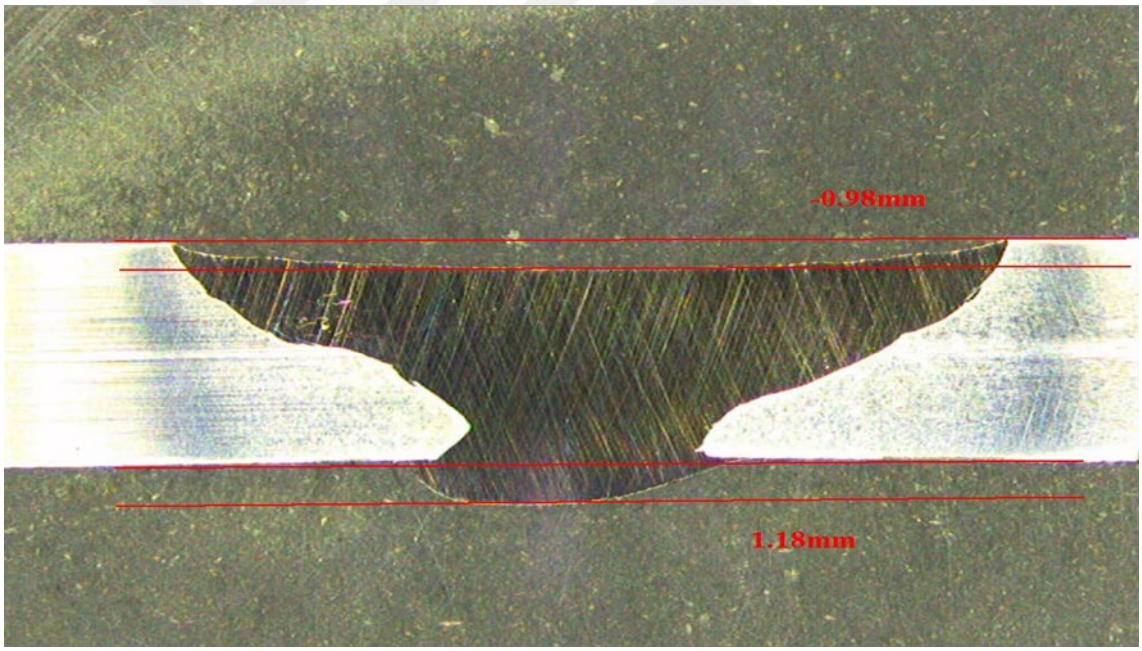


Şekil 6.1: N3 numunesinin makro fotografı gösterilmektedir.

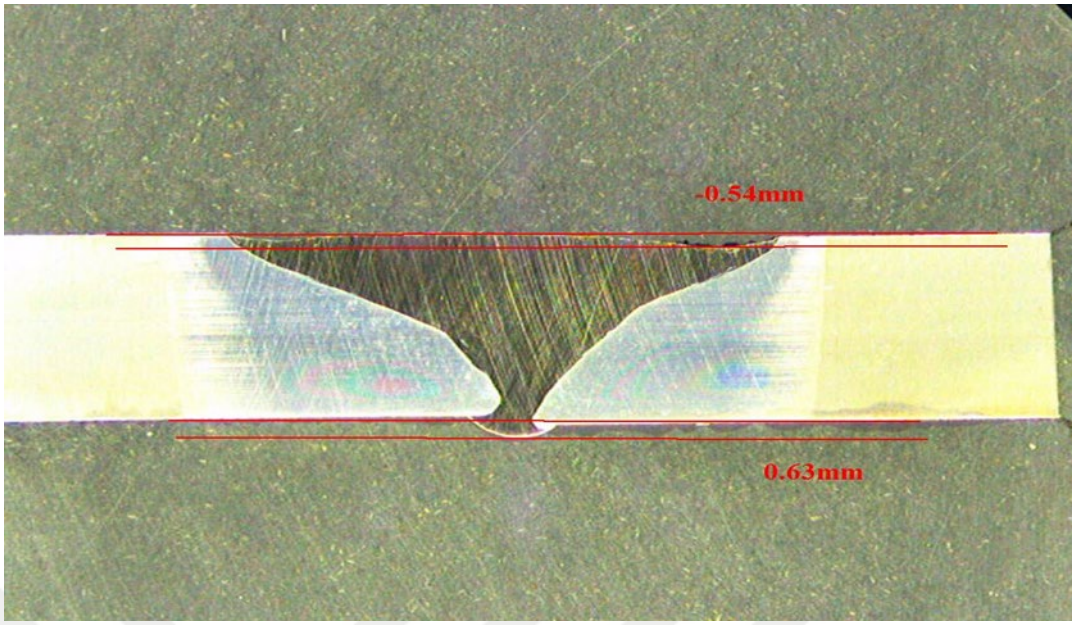
Yukarıda N3 numunesinin kaynak kesitine bakıldığında 0.54mm'lik küçük bir kaynak çökmesi ve numunenin arkasında ise 0.63mm'lik kaynak kökü çıktığı görülmektedir. Numunenin genel kaynak kesit alanı diğer numunelere göre azdır. Charby çentik darbe testi sonuçlarında ortalama 46 J enerji sönümlediği görülmüştür. Yapılan üç numunenin de test sonucu 46 J çıkmıştır. Bu test sonucuna göre darbe sönümlemesi en iyi numune N3 numunesi olduğu görülmüştür. Aşağıda numunelerin kaynak kesitinin makro testlerinin görüntüleri sırasıyla Şekil 6.2-6.6'da verilmiştir.



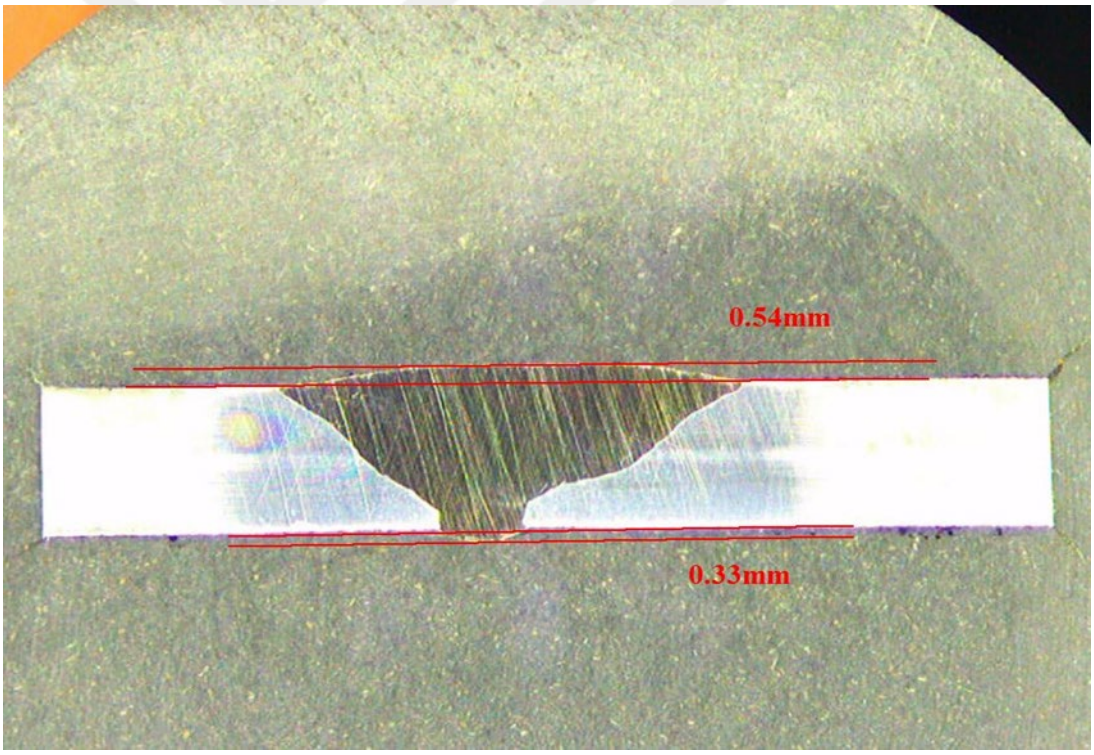
Şekil 6.2: N1 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmektedir.



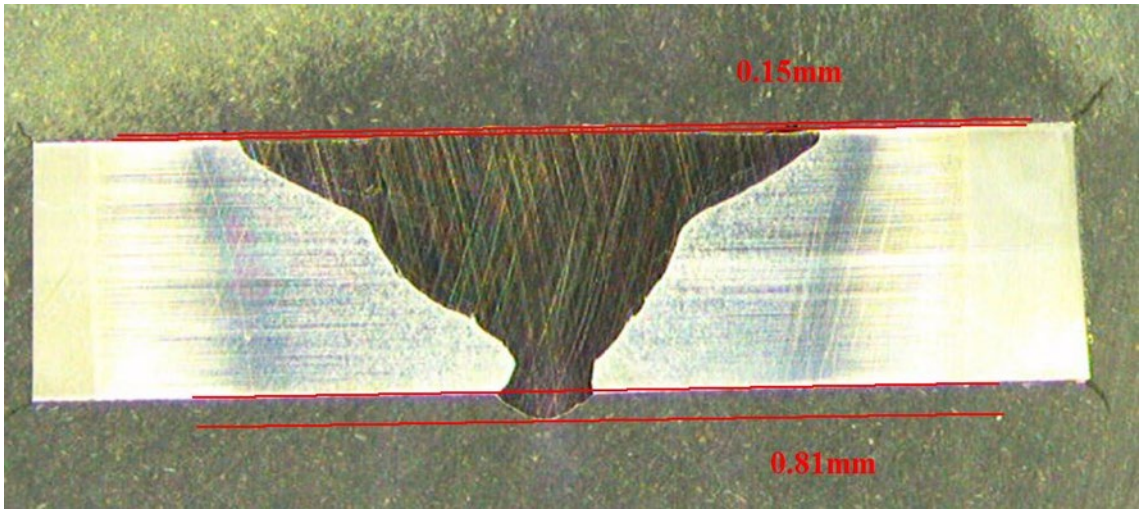
Şekil 6.3: N2 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmektedir.



Şekil 6.4: N3 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir.



Şekil 6.5: N4 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir.



Şekil 6.6: N5 nolu numuneye ait makro yapı gösterilmiştir.

Aşağıdaki bölüm 7'de yapılan çalışmanın genel sonuçları maddeler halinde verilmiştir.

BÖLÜM 7. SONUÇ

1. Tüm numunelerin çekme testlerinde beklenildiği gibi kopma dolgu metalinden olmuştur. Bunun sebebi dolgu metalinin mekanik özellikleri zırh çeliğinden zayıf olmasıdır.
2. Numunelerin çekme testlerinde kalınlık arttıkça akma gerilmesinde düşüş, çekme gerilmesinde artış gözlemlenmiştir.
3. Çentik darbe testlerinde kalınlık arttıkça sonuçlarda yükselme meydana gelmiştir. N3'de en yüksek çentik darbe değerine görülmüştür. Bu sonuç bize özlü tel ile yapılan kaynağın masif tele göre dinamik yükler altında daha yüksek kuvvetlere dayanabileceğini göstermektedir.
4. Çentik darbe testlerinde özlü tel ile kaynak işlemleri yapılmış numuneler, diğer parametrelerinde etkisiyle daha iyi sonuç vermiştir.
5. Özlü tel ile yapılan kaynak uygulamasında özlü telin masif tele göre daha stabil ve yumuşak bir ark yapısı sağladığı buda daha kolay bir kaynak yapılmasına imkân tanıdığı görülmüştür.
6. Yapılan çalışmada özlü tel ile yapılan kaynakların masif tele göre genel olarak daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 8. İRDELEME

Bu çalışmanın icrasında karşılaştığım sorunların en başında, özlü telin maliyetinin çok yüksek olması nedeniyle Türkiye'deki hiçbir tedarikçi firmada bulunamaması ve telin yurtdışından tedarik edilmesi münasabetiyle tedarik süresinin uzun olması.Kaynak uygulamalarını yaptığım firmanın yoğun iş temposu sebebiyle kaynak robotunun ve operatörünün uygun olduğu zamanın beklenmesi.

Bu konuda bundan sonra farklı kaynak yöntemleriyle (Örn:Plazma kaynak) kaynak uygulamaları yapılıp sonuçları incelenebilir.Zaman ve şartların uygun olması halinde bu çalışmada elektron miroskobunda makro yapı incelenebilirdi.Numunelerin ITAB bölgesinden sertlik değerleri alınıp karşılaştırma yapılabilirdi.

KAYNAKÇA

[1] P. M. Cunniff, 18th Int. Symp on ballistics, 1999.

[2] https://pbs.twimg.com/media/DwPYfrqXcAYtEhI.jpg., Erişim Tarihi: 28 06 2020.

[3] T. Baykara, Çağdaş savunma teknolojilerindeki ileri malzemeler ve Türkiye için değerlendirme, %1 içinde *Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu*, ankara, 1997.

[4] T. Demir, *Metal Ve Katmanlı Zırh Malzemelerin 7,62mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımların İncelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, 2008.

[5] H. Atapek, Ş. Karagöz ve A. Yılmaz, Zırh Çelikleri ve Geliştirilmesi, %1 içinde *3. Savunma Teknolojileri Kongresi*, Ankara, 2006.

[6] Ş. Karagöz, Zırh Çelikleri, %1 içinde *Zırh Teknolojileri Semineri*, ., 2005.

[7] Ş. Karagöz ve H. Atapek, *Bor Katkılı Zırh Çeliklerinin Kırılma Davranışı,* İstanbul: 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 2007.

[8] https://topwar.ru/uploads/posts/2014-01/1389449988_106953_original.jpg. Erişim Tarihi: 28 06 2020.

[9] E. Bahçe, *A1-5005 malzemesinin delinmesinde çapak oluşumunaetki edenkesme parametrelerinin incelenmesi,* 2011.

[10] C. Evci, *Seramik Kompozit Zırh sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi,* Gazi Üniversitesi, 2009.

[11] H. S. Atapek, *Çeliklerin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karekterizasyonu,* Kocaeli Üniversitesi: 2006.

[12] https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/P27.pdf. Erişildi: 28 06 2020.

[13] Ş. Karagöz, Ş. H. Atapek ve A. Yılmaz, *Zırh Çeliklerinde Perforasyon ve Balistik Korumanın Anlaşılması Açısından Fraktografik Etüd,* Metal Dünyası, 2008.

[14] Kirkaldy, J. S. Thompson ve B. A. Beganir, Volume 1: Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys, %1 içinde *ASM Handbook*, 1993, pp. 303-304.

[15] E. C. Bain ve H. W. Paxton, *Alloyin Elements in Steel,* .: American Society for Metals, 1961.

[16] Ş. Karagöz, H. Atapek ve A. Yılmaz, Isıl işlemlerle Çeliklerin Zırh Malzemesi Olaral Geliştirilmesi, *Military Science and İntelligence,* cilt ., no. 20, pp. 42-45, 2007.

[17] https://www.serdarkorkut.com/2017/05/10/celiklerde-isil-islem/. Erişim Tarihi: 28 06 2020.

[18] S. Ranganath ve J. Subrahmanyam, Ballistic testing and evaluation of seramic composites, %1 içinde *Defence Metallurgical Research Laboratory*, India, 1998.

[19] S. Gençoğlu, Zırh teknolojisindeki gelişmeler, *Savunma Sanayi Müsteşarlığı Dergisi,* no. 5, pp. 58-67, 2008.

[20] C. Evci, Seramik kompozit zırh sistemlerinin kara platformu uygulamaları, balistik performansa ve penetrasyona etki eden yapısal parametreler, *4. Savunma Teknolojileri Kongresi Değerlendirme Bildirileri,* cilt 2, pp. 69-80, 2008.

[21] K. Tellioğlu, *Seramik zırh plakası üretimi,* Afyonkarahisar: Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

[22] G. Arslan, F. Kara ve S. Turan, Bor karbür - A1 kompozitlerinin üretimi ve karekterizasyonu, %1 içinde *Savunma Teknolojileri Kongresi*, Ankara, 2002.

[23] B. A. Gama, T. A. Bogetti, B. K. Mahfuz ve J. W. Gillespie, Modelling and similation of dynamic behaviour of EPDM rubber under stress wave loading, *Proceeding of Mathematics and Computers in Mechanical Engineering,* 1999.

[24] S. Anık, Kaynak Tekniği El Kitabı, İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 1991.

[25] S. Anık ve M. Vural, Gazaltı Ark Kaynağı, İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 1996.

[26] Miller;, Guidelines For Gas Metal Arc Welding, U.S.A: 154 557B, 2010.

[27] S. Anık, Kaynak Tekniği El Kitabı, İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 1991.

[28] B. G. Eryürek, Gazaltı Ark Kaynağı, %1 içinde *Kaynak Teknolojisi*, İstanbul, Askaynak, 2007, pp. 47-120.

[29] K. Tülbentçi, MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, İstanbul: Arctech, 1998.

[30] https://mafiadoc.com/c4200-gmaw-welding. Erişim Tarihi: 2020.

[31] E. Kaluç, Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1, Kocaeli: MMO, 2004.

[32] S. Anık, S. E. Anık ve M. Vural, 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İstanbul: Birsen, 2000.

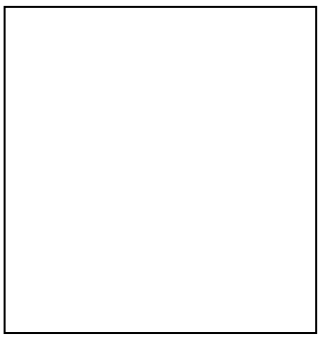
[33] A. Gülsöz, Özlü Tel Elektrotların Önemi ve Kaynak Özellikleri, Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, ., 2000.

[34] H. B. Cary, Modern Welding Technology, %1 içinde *Prentice Hall*, ., 1989.

[35] B. Gülbahar, Özel Elektrotlar ve Uygulama Alanları, *Mühendis ve Makine,* cilt ., no. ., pp. 28-35, 1991.

[36] A. Gülsöz, Özlü Tel iel.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Erhan YORGUN

Doğum Tarihi ve Yeri : [redacted]

E-posta : [redacted]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2007, Dicle Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Öğretmenliği
- **Lisans** : 2015, Gedik Eğitim Vakfı, Uluslararası Kaynak Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2018-Halen, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisasnsüstü Eğitim Estitüsü, İmalat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM :

- 2008-2015 Türk Silahlı Kuvvetleri Ulşatırma Kıdemli Üsteğmen olarak görev yaptı.
- 2015-2018 yılları arasında sakarya Duman Otomotiv firmasında 1 yıl paslanmaz üretim sorumlusu , 2,5 yılda kalite Müdürü olarak çalıştı.
- 2019-2020 yılları arasında Akyapak Makine Sanayi AŞ. firmsında Kalite Müdürü olarak çalıştı.
- 2021 - Halen Türk Silahlı Kuvvetleri Ulaştırma Kıdemli Yüzbaşı rütbesinde Bölük Komutanı olarak görev yapmaktadır.