

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RAYLI TAŞITLARIN BOJİ ŞASESİNDEKİ  
KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Mak. Müh. Mehmet AKBAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK  
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Salim ASLANLAR

EYLÜL 2004

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI TAŞITLARIN BOJİ ŞASESİNDEKİ  
KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mak. Müh. Mehmet AKBAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK

Bu tez 17/09/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet DEĞİRE  
Jüri Başkanı  
A. Ögün

Yrd. Doç. Dr. Salim AKSANKAR  
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ramazan HILMAZ  
Jüri Üyesi

## TEŞEKKÜR

Günümüzde doğal enerji kaynaklarının sınırlılığı daha güvenilir ve ekonomik olması demiryolu yolculuğunu diğer ulaşım araçlarından daha cazip hale getirmiştir. Demiryollarında yapılan güvenilir yolculuğun kalite ve sürekli olması için raylı taşıtlarda kullanılan bojilerin can güvenliği açısından çok önemli ve yüksek olduğu ön plana çıkmaktadır. Bunların sağlanması için boji malzemelerinin seçimi ve herhangi bir hasarda yapılacak kaynaklı bağlantıların sağlam olması gerekmektedir. Bu bakımdan kaynak sırasında seçilen parametrelerden elektrot, kaynak yöntemi ve kullanılan örtü veya koruma atmosferinin cinsi oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışmanın temelini farklı tip elektrot ve yöntemlerle birleştirilen bojilerin setrlik ve yorulma davranışları incelenmiş olup mikroyapı çalışmalarıyla desteklenmiştir.

Çalışmalarımın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında engin deneyimleriyle ve fikirleriyle beni aydınlatan rehberlik eden saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Selahaddin ANIK'a, Prof. Dr. Ahmet OĞUR'a, tez danışmanım Yrd. Doç Dr. Salim ASLANLAR'a, deneysel çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Met. Yük. Müh. Uğur ÖZSARAÇ'a, TÜVASAŞ Genel Müdürlüğü'nde bana yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve metoloğrafi çalışmalarında tezimin düzenlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Met. Yük. Müh. Elif OKTAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2004

Mehmet AKBAŞ

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

RAYLI TAŞITLAR VE İMALATI .....	5
2.1. Giriş .....	5
2.2. Raylı Taşıtlarda Titreşim .....	5
2.3 Raylı Taşıtlarda Kullanılan Bojiler .....	9
2.3.1 Schlieren boji şasesi .....	9
2.3.1.1. Schlieren bojinin sustalanması .....	10
2.3.1.2. Vagon boji irtibatı .....	11
2.3.1.3. Tekerlek takımı .....	11
2.3.1.4. Boji tekerlek takımı irtibatı .....	12
2.3.1.5. Boji çerçevesi .....	13
2.3.1.6. Schlieren boji şase ve beşik traverslerinin kaynaklı imalatı teknik şartnamesi .....	17
2.3.2. Y 32 boji .....	23
2.4. Raylı Taşıtlarda Kullanılan Kaynak Yöntemleri .....	26
2.4.1. MIG-MAG kaynağı .....	26



2.4.2. Gaz eritme kaynağı .....	27
2.4.3. Elektrik ark kaynağı .....	28
2.4.4. Boden kaynağı .....	28
BÖLÜM 3.	
YORULMA .....	29
3.1. Yorulma Tanımı .....	29
3.2. Kaynaklı Bağlantıların Yorulma Dayanımı .....	34
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	39
4.1. Kaynak Parametreleri ve Malzeme .....	39
4.2. Spektrometrik Analiz .....	40
4.3. Sertlik .....	41
4.4. Yorulma Deneyi .....	42
4.5. Mikroyapı Çalışmaları .....	44
4.5.1. Optik mikroskop incelemeleri .....	44
4.5.2. Tarama elektron mikroskobu .....	44
4.5.3. Çentik darbe deneyleri .....	44
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR .....	46
5.1. Sertlik .....	46
5.1.1. Rutil elektrotla ark kaynağı yapılan numunelerin mikrosertlik değerleri .....	46
5.1.2. Gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin mikrosertlik değerleri .....	48
5.2. Yorulma Sonuçları .....	49
5.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları .....	51
5.4. Mikroyapı İncelemesi .....	52
5.4.1. Optik mikroskop .....	52
5.4.2. Tarama elektron mikroskobu .....	56

BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	71



## SİMGELER LİSTESİ

$\sigma_{\text{ç}}$	Çekme dayanımı
$\sigma$	Gerilme
$\sigma_0$	Ortalama gerilme
$\sigma_r$	En büyük gerilme ile en küçük gerilme arasındaki fark
$\sigma_{\text{min}}$	Minimum gerilme
$\sigma_{\text{maks}}$	Maksimum gerilme
$\sigma_a$	Akma sınırı
EDS	Noktasal analiz

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Taşıt titreşim hareketleri .....	6
Şekil 2.2.	Konik tekerlekler takımının ağırlık merkezinin sinüzoidal hareketi .....	7
Şekil 2.3.	Boji çerçevesi .....	14
Şekil 2.4.	Boji çerçevesine dikey yükleme.....	15
Şekil 2.5.	Boji çerçevesi yanal kuvvetleri.....	16
Şekil 2.6.	Boji şasisinin ölçü kontrol şeması .....	20
Şekil 2.7.	Beşik Traversi ölçü kontrol şeması.....	21
Şekil 2.8.	Beşik susta alt traversi ölçü kontrol şeması .....	22
Şekil 2.9.	Y 32 bojisinden görünüm .....	25
Şekil 3.1.	Yorulmadaki kullanılan değişkenler .....	29
Şekil 3.2.	Wöhler eğrisi ve hasır çizgisi .....	32
Şekil 3.3.	Değişken bölgede yorulma dayanımı .....	33
Şekil 3.4.	Dalgalı bölgede yorulma dayanımı .....	33
Şekil 3.5.	Değişken yorulma dayanımı .....	33
Şekil 3.6.	Dalgalı yorulma dayanımı .....	34
Şekil 3.7.	Tam değişken eğilme, çekme ve burulmaya maruz standart çelik parçalarda S-N eğrileri .....	36
Şekil 3.8.	St 52-3 çeliğinde kaynaklı ve kaynaksız deney parçalarının eğme değişken yorulma dayanımı .....	37
Şekil 3.9.	Yüksek dayanımlı çeliklerde menevişleme sıcaklığına göre elde edilen çekme dayanımı .....	37
Şekil 3.10.	Kaynaklı bağlantıların süreli yorulma ve yorulma dayanımı .....	38
Şekil 4.1.	Yorulma deney numunesi ölçüleri .....	39
Şekil 4.2.	Spektrometre cihazı .....	40
Şekil 4.3.	Numunelerin mikrosertlik ölçüm noktalarının şematik gösterimi	41
Şekil 4.4(a).	Yorulma cihazının yan görünüşü .....	43

Şekil 4.4(b).	Yorulma cihazının üst görünüşü .....	43
Şekil 4.5(a).	Çentik Darbe deneyi cihazı.....	45
Şekil 4.5(b).	DIN 50120e göre ve ISO-V Çentikli deney numunesi.(Kırılma alanı $A=0,8 \text{ cm}^2$ .....	45
Şekil 5.1(a).	Rutil elektrotla ark kaynağı yapılmış numunede bölgelere göre sertlik değişimi .....	47
Şekil 5.1(b).	Rutil elektrotla ark kaynağı yapılmış numunenin kaynak bölgesinde alınan kaynak eksenli boyunca sertliğin değişimi ....	47
Şekil 5.2(a).	Gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen numunede bölgelere göre sertlik değişimi .....	48
Şekil 5.2(b).	Kaynak bölgesinde kaynak boyunca sertliğin değişimi .....	49
Şekil 5.3.	Kaynaksız, orijinal numunenin S-N eğrisi .....	49
Şekil 5.4.	CO <sub>2</sub> gazla kaynak yapılan numunelerin S-N eğrisi .....	50
Şekil 5.5.	Rutil elektrotlu yorulma sonucu .....	50
Şekil 5.6 .	Karışım gazla kaynak yapılan numunelerin S-N eğrisi .....	51
Şekil 5.7.	Charpy çentik darbe deneyi sonuçları .....	51
Şekil 5.8.	Isının tesiri altında kalan bölgeler (ITAB) .....	52
Şekil 5.9.	Kaynaklı bölge-ITAB arası geçiş .....	53
Şekil 5.10.	Esas metal-ITAB arası geçiş bölgesi .....	53
Şekil 5.11.	Kaynağın soğuması sırasında oluşan dendritik widmanstaeten yapı .....	54
Şekil 5.12.	Esas metale yakın olan ITAB içindeki dendritik widmanstaeten yapı .....	54
Şekil 5.13.	Esas metalin kaynak yapısı .....	55
Şekil 5.14.	Kaynaklı bölgenin merkezi .....	55
Şekil 5.15.	Soldaki ITAB'dan kaynağa doğru geçiş, kaynak bölgesi ve kaynak ağız formu sağ tarafta görülmektedir .....	56
Şekil 5.16.	CO <sub>2</sub> gazla kaynak yapılmış boji gövdesinden çıkarılan numunede yorulma sonucu oluşan kırık yüzeyinin SEM görüntüsü.....	57

Şekil 5.17.	Yukarıdaki SEM fotoğrafında görülen demir oksitin yorulma hasarı sonrası EDS görüntüsü .....	58
Şekil 5.18.	Kaynaklı boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde oluşan kırık görüntüsü .....	59
Şekil 5.19(a).	Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde çentik etkisi sonucu meydana gelen kırılmanın görünümü .....	59
Şekil 5.19(b).	Yukarıdaki kırığın büyütülmüş hali .....	60
Şekil 5.20(a).	Kaynaklı numunenin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyin genel görüntüsü .....	60
Şekil 5.20(b).	Kaynaklı numunenin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyin genel görüntüsü .....	61
Şekil 5.21(a).	Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle görüntüsü. Sağdaki farklı bölge Fe-Mn bileşiği .....	61
Şekil 5.21(b).	Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırık yüzeyinin görüntüsü .....	62
Şekil 5.22(a).	CO <sub>2</sub> gazla kaynaklı farklı bir boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde sünek kırılmaya uğramış numunenin kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle elde edilen SEM görüntüleri.....	62
Şekil 5.22(b).	Kaynaklı farklı bir boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde sünek kırılmaya uğramış numunenin kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle elde edilen SEM görüntüleri .....	63
Şekil 5.23.	Kaynaklı boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyinden alınan SEM görüntüleri .....	63
Şekil 5.24.	MİG yöntemi ile kaynaklı numunenin 500 MPa'da yorulma deneyinde oluşan hasarın görüntüsü .....	64

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Taşıt titreşim hareketleri ... ..	6
Tablo 3.1	Genel yapı çeliklerinin mekanik özellikleri .....	34
Tablo 4.1	Boji gövde profil malzemesinin kimyasal kompozisyonu .....	
Tablo 4.2	Kullanılan gaz altı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu ... ..	41
Tablo 4.3	Kullanılan kaynak elektrotunun kimyasal kompozisyonu ... ..	41
Tablo 5.1	Şekil 5.17'deki demir oksit partikülünün kimyasal içeriği ... ..	58



## ÖZET

Günümüzde raylı taşıtlar yolcu ve yük taşıma sektörlerinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle büyük şehir metropollerinde metro ve tramvay sistemleri toplu taşımada yaygın olarak kullanılmaktadır. Raylı taşıtların imalinde kaynak önemli bir yere sahip olup, bu araçların en önemli kısımları şase ve boji olarak adlandırılan yürüyen aksamlarıdır. Bojiler bu sistemlerde çok hasarın meydana geldiği yerler olup bakım ve onarımlarına diğer kısımlardakine nazaran daha çok önem verilmesi gerekmektedir.

Bu bojilerin (Schlieren, Görlitz ve Y32 tipi) kullanım ömürlerinin ne kadar olduğu tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, TCDD'nin kullanmakta olduğu Schlieren tipi bojilerin imalatında kullanılan malzemelerin kaynaklı ve kaynaklı olmayan bağlantılarından yorulma numuneleri hazırlanarak 300, 400 ve 500 MPa'lık gerilmeler altında yorulma davranışları incelenmiş olup, deney sonuçlarından Wöhler eğrileri çıkarılmış, mikroyapıları ve mikrosertlik değerleri incelenerek bojilerin kullanım ömürleri tahmin edilmiştir. Kaynak yöntemleri ile elektrot seçiminin malzemenin mikrosertlik değerlerini ve yorulma ömrünü etkilediği görülmüştür.



# **A STUDY ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WELDED CONNECTIONS OF BOGIE CHASSIS FOR RAILCARS.**

## **SUMMARY**

Today, railway vehicles have an important role in transportation area. Especially, subway transportation is commonly used in metropolitans as a public transportation. Welding is one of the most production system used in railway vehicles; and the walking parts called such as bogie and chassis are the most important parts. Bogies in this system are exposed to failure during service. Hence, its repair and maintenance is required more care.

The service lifes of these bogies, whose commercial names are Schlieren, Görlitz and Y32, are not expected and determined due to various factors affecting its service life. In this study, the fatigue behaviour of Schlieren type bogies used by TCDD was investigated for this reason, two types of specimens called original and welded were prepared and these were exposed to fatigue tests under 300, 400 and 500 MPa stresses. Then the S-N (Wöhler) curves of them were drawn as number of cycles vs. stres. In addition, the material characterization was done by evaluating microhardness values and metallographic examination. By doing so, the service life expectation of these bogies were tried to advise the customers. Selection of electrood and welding methods affect the microhardress and fatigue life of the bogie.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yolcuların diğer kara ulaşım sistemlerine raylı ulaşım sistemlerini tercih etmelerinin başlıca nedenleri arasında ekonomik ve güvenli yolculuk arzuları ilk sırayı almaktadır. Buna karşılık diğer taşıma sistemlerini tercih edenlerin gerekçelerinin başında hızlı ve konforlu yolculuk talebi gelmektedir. O halde raylı ulaşım sistemlerinin diğer ulaşım sistemleri ile rekabet edebilmesi için hızlı ve konforlu seyahat ortamının sağlanması, en önemli koşullardan biridir. Oysa mevcut raylı ulaşım sistemlerinde üst yapı ve taşıt özellikleri göz önüne alındığında hızın ve konforun birlikte yükseltilmesi önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü üstyapının özelliklerini iyileştirmek ve taşıtların yeteneklerini arttırmakla mümkündür, dönemeç yarıçaplarını büyütmek, ray düzgünlüklerini azaltmak gibi altyapı ile ilgili değişiklikler büyük maliyet gerektirir. Bu bakımdan mevcut üstyapı şartları altında hız ve konfor sorununa kısa vadeli bir çözüm olarak uygun taşıt dizaynı gösterilmektedir[1]. Taşıt hızının artırılmasında güç gereksinimi ve taşıt elemanlarının ve üstyapının mukavemet hesabı ve boyutlandırılması gibi konularda genellikle bir sorun yaşanmamaktadır. Burada asıl sorun, tekerlek ray etkileşimi sonucu ortaya çıkan çeşitli yönlerdeki dinamik zorlayıcı faktörlerin taşıt üzerindeki etkileridir. Bu zorlayıcı etkiler altında ray ve taşıt sisteminin dinamik davranışı incelenmelidir. Zira konfor şartları dikkate alındığında söz konusu zorlayıcı etkilere karşı taşıtın dinamik tepkisinin belli sınırları geçmemesi gerekir. Bu da taşıt süspansiyon sisteminin optimum dizaynını gerektirir.

Raylı taşıt tasarımı konusunda ülkemizdeki gelişmeler göz önüne alındığında geleneksel yöntemlerin terk edilmekte olduğu, bunun yerine yüksek performans ölçütlerini hedefleyen modern tasarım yöntemlerinin yaygınlaştığı görülür. Bu yeni tasarım yöntemleri ise çeşitli mühendislik analizlerini, dinamik simülasyon ve performans testlerini gerektirmektedir. Bu çalışmalara paralel olarak raylı taşıtların

çok önemli elemanlarından biri olan bojilerin özellikleri iyileştirilmekte ve yeni tasarımlar yapılmaktadır.

Bilindiği gibi kaynaklı birleştirme tekniği endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kaynaklı bağlantılarla meydana getirilen bir konstrüksiyon veya makine elemanı, üzerine gelen farklı türdeki yükleri taşımak zorundadır. Bu yükler çoğu zaman kaynaklı konstrüksiyona veya makine elemanına yönü ve büyüklüğü zaman içinde düzenli ya da düzensiz olarak değişerek etkimektedir. Tekrarlı gerilmeler altında yorulma hasarı riski taşıyan kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının ana metale göre önemli oranda düşük olması, tasarımda dikkat edilmesi gereken noktalardan en önemlisidir. Bu yüzden kaynaklı bağlantıların yorulma özelliklerinin geliştirilmesi, konstrüksiyonun yorulma ömrünün artırılması anlamına gelmektedir.

Yorulma olgusu ilk olarak 1829 yılında çelik zincirler üzerinde tekrarlı yüklerin etkisini araştıran W. A. S. Alber tarafından incelenmiştir. Yorulma dayanımı araştırmaları ise bugün bilinen adıyla S-N diyagramları da Augustus Wöhler tarafından bulunmuştur.

Frost ve arkadaşları 1974'te alın, dolgu ve nokta kaynağıyla birleştirilmiş düşük ve yüksek karbonlu çeliklerin yorulma dayanımlarını incelemiştir. Değişik çeliklerde metalurjik işlemler yaparak elde edilen yorulma dayanımları araştırmışlardır. Değişik kaynak tiplerinde yapılan araştırmada düz plaka, I kiriş, alın alına kaynaklanmış, I kiriş gibi yapılarda yorulma dayanımının kaynaklanmamış plakaya göre giderek düşüş gösterdiğini ortaya koymuşlardır [2].

Fuchs ve Stephens 1981 yılında bağlantı üzerine yaptıkları araştırmada kaynaklı bağlantıları incelemişlerdir. Çeşitli çelikler üzerinde denemeler yaparak olası yorulma çatlağı başlangıç noktalarını belirlemişler, kaynak eşik açısının yorulma dayanımına etkisini inceleyerek kaynakların yorulma dayanımını arttırmada dört temel yolu belirlemişlerdir. Bunlar doğru yöntemle kaynak yapmak, malzemenin mikroyapısını değiştirmek, geometrik süreksizlikleri yok etmek ve iç gerilimleri ortadan kaldırmaktır[3].

H. Reemsnyder 1981 yılında detaylı bir şekilde değişik kaynaklı yapılarda çatlak başlangıç noktalarını araştırmış ve kaynak eşiği , kaynak kökü ve kaynak bitiminin çatlak başlangıcı açısından riskli bölgeler olduğunu ileri sürmüştür[4].

Gerilme genliği, artık gerilmeler, gerilme yığılması, malzeme özellikleri, kaynak hataları ve büyüklüğünün yorulma davranışı üzerinde etkili olduğuna birçok araştırmacı tarafından dikkat çekilmiştir[5,6].

Salman 1987 yılında kaynak işlemi sonucunda oluşan artık gerilmeleri inceleyerek bunların sebepleri, etkileri ve ölçme teknikleri hakkında teorik bilgiler vermiş ve optik-mekanik ölçümler yaparak oluşan artık gerilmelerin boyutları ve yönlerini araştırmıştır[7].

H.K. Lee ve C.Y. Lin 1996 yılında kaynaktaki yüksek ısının artık gerilmelere etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre kaynakta kullanılan torçun genişliği ve kaynak sırasında ısının yükselmesiyle birlikte artık gerilmeler artmaktadır. Kaynak torçunun arkasındaki ısıtıcı torçun sıcaklığının değişmesi ısıl gerilmelere neden olmaktadır. Bu durum ise artık gerilmeleri çoğaltmaktadır. Ayrıca 304 tipi paslanmaz çeliklerde kaynak sonrası ısı uygulayarak gerilim giderme işlemi ITAB'daki genişliği artırmadığı gibi tane irileşmesine yol açmaktadır[8].

Chiarelli, ve arkadaşları [9] 1998 yılında MAG (metal active gas) yöntemiyle kaynaklanmış çeliklerde yorulma dayanımını incelemişlerdir. Fe510D1 çeliğiyle küçük ve büyük parçaların yorulma direncini, artık gerilmelerin ve kaynak işleminin etkilediğini belirlemişlerdir. Boyuna alın kaynağı yapılmış malzemenin çatlak yayılma testlerini yapmışlardır.

K. J. Kirkhope ve arkadaşları 1998 yılında yorulma dayanımını geliştirme tekniklerini araştırdılar. Bu teknikler kaynak dikiş geometrisini iyileştirme ve artık gerilme oluşturma/giderme yöntemleri olmak üzere iki ana grupta toplandı. Kaynak dikiş geometrisini iyileştirme yöntemleri olarak taşlama, yeniden eritme ve özel kaynak teknikleri incelendi. Çekiçle dövme, aşırı yükleme ile artık basma gerilmesi

oluşturma incelendi. Gerilim giderme tavlama ve titreşimli gerilim giderme yaparak artık çekme gerilmelerinin azaltılması incelendi. Aynı malzeme ve aynı yükleme şartlarında çekiçle dövme, bilya bombardımanı, taşlama ve yeniden ergitme metotlarında yorulma davranışlarında iyileşmeler belirlediler[10].

S.J Maddox [11] 2000 yılında kaynaklı yapıların yorulma dizayn kurallarını incelemiştir. Yorulma dizaynı belli yorulma ömürlerini karşılayacak şekilde yapılması gerekmekte ve bunu bazı faktörler etkilemektedir. Kaynak işleminin ektiği alanın genişliği ve aşındırıcı dış ortam özellikleri bu faktörlerdendir. Orantısız yükler altında yorulmada temel dizayn kuralları uygulanarak iyi sonuçlar alınmaktadır.

Bu literatür çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler ile Schlieren tip boji şasesinde çeşitli türlerde yapılan kaynak işlemlerinin malzemenin üzerindeki yorulma davranışı etkileri incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. RAYLI TAŞITLAR VE İMALATI**

### **2.1 Giriş**

Demir yollarında kullanılan vagon tipleri, yük vagonları ve yolcu vagonları olarak iki kısımda incelenebilir. Bunun yanında toplu taşımacılıkta metro vagonları da bulunmaktadır.

Yük vagonları üç gruba ayrılır:

- Katı yük vagonları,
- Sıvı yük vagonları,
- LPG yük vagonları.

Yolcu taşımada kullanılan vagonlar ise

- Kompartmanlı vagonlar
  - Koltuklu tip kompartmanlı
    - Kuşetli tip kompartmanlı
    - Yataklı tip kompartmanlı
- Yemekli vagonlar,
- Banliyö vagonları ve
- Pulman vagonlar olarak sınıflandırılabilir.

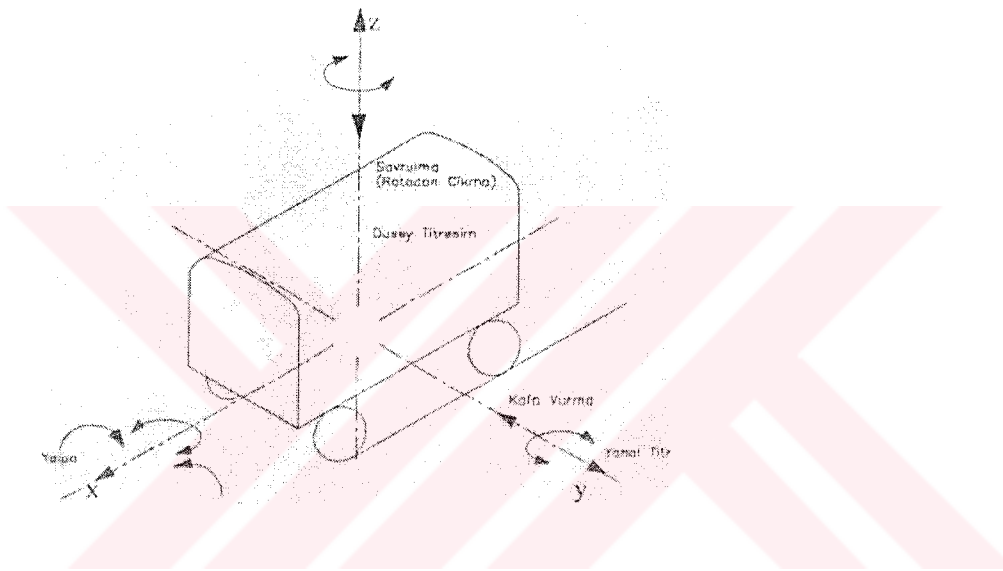
### **2.2 Raylı Taşıtlarda Titreşim**

Demiryolu araçlarındaki titreşimle ilgili problemler son derece karmaşıktır. Tamamen pürüzsüz ve düz bir hat üzerinde çalışan herhangi bir taşıt hemen hemen yoktur. Raylar üzerinde, hareket halindeki bir taşıtta değişik titreşim tipleriyle karşılaşılır. Bu titreşimler, Şekil 2.1'de görüldüğü gibi üçü doğrusal, üçü açısız

hareket olmak üzere üç eksenli koordinat sistemine göre sınıflandırılmaktadır[12]. Bu eksenler ve titreşim modları Tablo 2.1 'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Taşıt titreşim hareketleri [12]

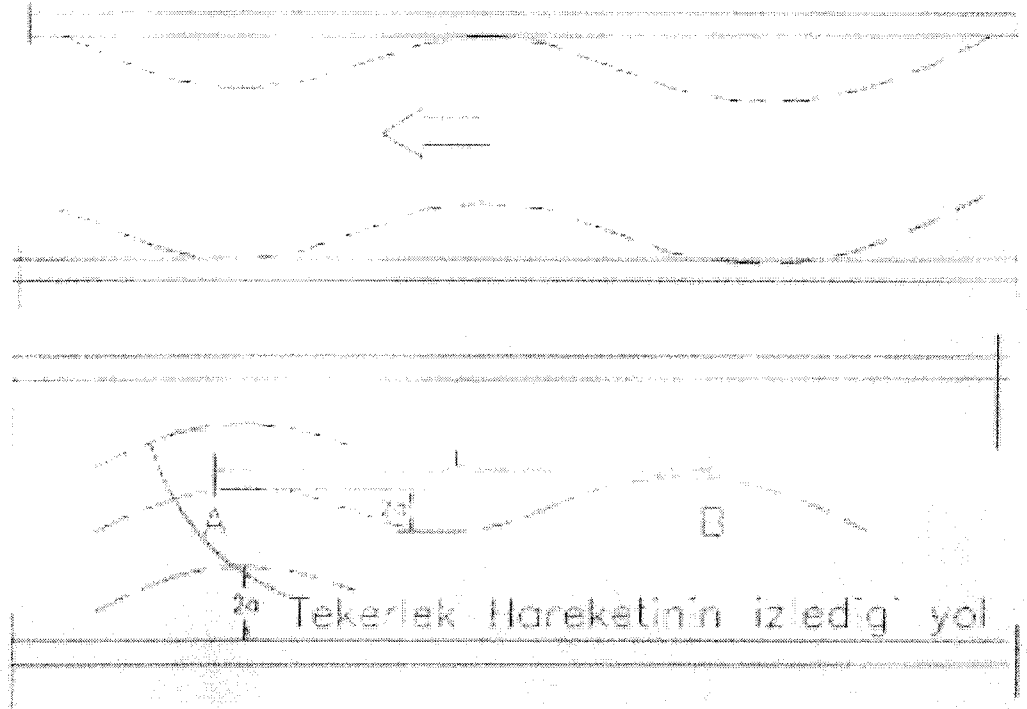
Eksen	Öteleme Hareketi	Dönme Hareketi
X	Boyuna Titreşim	Yalpa (Rolling)
Y	Yanal Titreşim	Kafa vurma (pitching)
Z	Düşey Titreşim	Savrulma (yawing)



Şekil 2.1. Taşıt titreşim hareketleri [12]

Demiryolu araçlarındaki titreşimlerin başlıca kaynağı çelik raylar üzerindeki çelik tekerleklerin darbesidir. Tekerleklerin kendi kendisini ortalaması için rayla temas eden yuvarlanma yüzeyleri konik torna edilir. Bu da raylı taşıt dinamiğinin en önemli problemlerinden biri olan sinüs hareketini oluşturur. Sinüs hareketi başladıktan sonra hıza bağlı olarak şiddetlenir, tekerlek flanşları raylara çarpar, hareket zig-zag haline dönüşür ve konfor oldukça azalır. Taşıt hızı ( $V$ ), dalga boyu ( $L$ ) ve periyoda ( $T$ ) bağlı olan bu sinüzoidal hareket Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Sinüs hareketine, yalpa ve savrulma hareketlerinin bileşimi şeklinde de bakılabilir. Sinüs hareketi, kendi kendini besleyen tipte bir titreşim hareketidir [12]





Şekil 2.2. Konik tekerlekler takımının ağırlık merkezinin sinüzoidal hareketi [13]

Tekerlek konikliğinin artmasıyla dalga boyu azalır, taşıt titreşim frekansı ( $f = V/L$ ) artar ve bu durum taşıtın kararsızlığına sebep olabilir. Buna karşılık oturma yüzeyi (yuvarlanma yüzeyi) mesafesi ne kadar fazla olursa, osilasyon dalga boyu o kadar fazla olur ve taşıt kararlılığı daha iyi olur. Ancak özellikle dönemeçlerden geçişte tekerlek oturma mesafesinin uzun olması problem oluşturur. Konikliğinin fazla olduğu tekerleklerde ise, sinüs hareketinin genliği ve yanal ivmesi daha büyük olur. Artan yanal ivmede konikliğinin etkisiyle düşey titreşimleri kolaylıkla başlatabilir. Sinüs hareketini önlemek üzere, taşıt gövdesi, boji yastığı ve merkezleme plakası arasındaki rotasyonel direnç artırılır. Böylece tekerlek takımının düşey eksen etrafındaki hareketi zorlaşır. Dolayısıyla sinüs hareketinin dalga boyu artar, frekansı düşer ve kritik bölgeden uzak kalınabilir. Diğer bir çözüm profil konikliğinin azaltılmasıdır. Başka bir çözüm de sisteme amortisör ilave edilmesidir. Ancak bu çözümlerin tamamı dönemeç hareketini zorlaştırır.

Ray elastikliği, ray yüzeyindeki düzgünsüzlükler ve ray bağlantılarındaki süreksizlikler düşey yöndeki titreşimlerin başlıca sebepleridir. Ray bağlantılarındaki



zig-zaglı bir birleştirme taşıtın yalpa, yanıl ve düşey titreşim modlarını uyarabilir. Bu durumda, oluşan titreşim hareketinin frekansı ray uzunluğu ve taşıt hızıyla orantılıdır. Eğer taşıt titreşim modlarından herhangi birinin tabii frekansıyla bu zorlayıcı frekans çakışırse rezonans meydana gelecektir. Rezonans durumundaki titreşim genliği, ancak uygun bir sönümleme ile kontrol edilebilir. Hatta söz konusu periyodik ray bozuklukları geometrik olarak müsaade edilebilir sınırlar içinde olsa bile, yeterli sönüm sağlanmadığında rezonans frekanslarını uyararak sistemin çalışmasını bozabilir. Bu da, taşıt süspansiyon sisteminde sönümün ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir.

Ayrıca, manevra, frenleme ve makas değiştirme gibi taşıtın çalışma özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan şok ve titreşimlerde konfor üzerinde çok olumsuz etkiler yapmaktadır[13].

Raylı taşıtlarda bu sebeplerle ortaya çıkan şok ve titreşimler, taşıtta bulunan yolcular ve yük üzerinde arzu edilmeyen etkiler oluşturmaktadır. Taşıt titreşimlerinin insanlar üzerindeki etkileri konfor kavramı altında incelenmektedir. Konforun değerlendirilmesinde titreşimi karakterize eden büyüklükler; genlik, frekans ve ivmedir. İnsanın titreşimi hissetmesi için taşıt titreşim ivmesi bir ölçü olarak alınmaktadır. Bu konuda insanlar üzerinde deneyler yapılmış ve titreşim ivmesinin insana etkileri incelenerek eğriler elde edilmiştir[14].

Raylı taşıtlarda oluşan titreşimler, yolcular ayakta seyahat ediyorsa zemin-ayak temasıyla, eğer oturuyorlarsa koltuklar vasıtasıyla iletilir. Bu yüzden raylı taşıtlarda insan vücudunun maruz kaldığı titreşimler tüm vücut titreşimleri kategorisinde değerlendirilir. Maruz kalınan titreşimin değerlendirilmesi için titreşim seviyesi insan vücudunun titreşim yüzeyi ile direkt temasta bulunduğu noktada ivme transduserleri ile algılanmaktadır. Demiryolu araçlarında konfor değerlerinin ölçülmesi için kullanılan iki metod vardır. Bunlar Sperling metodu ve ISO 2631/1 metodudur[15]. Sperling indeksine göre konfor değerleri, 1'den 5'e kadar hafif hissedilir ve aşırı rahatsız edici, uzun süre maruz kalmak zararlı sınırları arasında değerlendirilmektedir. Yöntem incelendiğinde, yanıl titreşimlere olan hassasiyetin dikey titreşimlerden daha fazla olduğu görülmektedir. ISO 2631/1 standardı insan

vücudunun 1- 80 Hz frekans aralığında maruz kalabileceği katı yüzeylerden vücuda iletilen titreşimlerin sınır değerlerim vermektedir. Bu sınır değerler konfor, çalışma verimliliği ve emniyet bölgeleri olarak sınıflandırılmış olup raylı taşıtlarda ivme, frekans, genlik, maruz kalma süresi ve titreşimin yönüne bağlı olarak ifade edilmektedir. Verilen eğrilerde; sabit bir frekansta ve belli bir sürede yolcuların tahammül edebilecekleri genlikleri ya da yine sabit bir frekansta ölçülen ivme değerlerine konfor sınırlarını aşmaksızın ne kadar süre dayanabilecekleri gösterilmektedir. Raylı taşıt konfor değerleriyle ilgili daha detaylı bilgi ilgili kaynaklardan alınabilir.

Sonuç olarak, titreşim konforunun sağlanabilmesi için titreşim seviyesinin standartlarda ön görülen seviyeye indirilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Önceki bölümde değinildiği gibi, raylı taşıtlarda titreşimin başlıca kaynağı tekerlek-ray teması sonucu ortaya çıkan dinamik zorlayıcı kuvvetlerdir. Sözü edilen konfor şartlarına ulaşabilmek için uygun süspansiyon sistemleri kullanılmalı ve dinamik kuvvetlerin taşıt gövdesine geçmesi önlenmelidir. Bu da süspansiyon sisteminin performansıyla ilgili olup, optimum süspansiyonu gerektirir.

### **2.3. Raylı Taşıtlarda Kullanılan Bojiler**

Raylı taşıtlarda kullanılan bojiler Schlieren, Görlitz ve Y 32 tipindedir.

#### **2.3.1. Schlieren boji şasesi**

Schlieren boji İsviçre Schlieren firmasının lisansı ile imal edilmektedir. 140 km/h sürat, 56 ton ağırlığında bir vagona göre dizayn edilmiştir.

Boji Karakteristikleri:

- İki dingilli, 2 kademeli sustalamalı,
- Bojiden Frenlemeli, Fren silindirli, Endirekt tesirli hava-fren tertibatlı
- Her bojide birer adet tek tesirli fren regülatörü
- 140 km/h sürate mukavim, 120km/h dan sonra her bojide birer adet dingil yatağı -
- Fren basınç ayarlayıcısı, her dingilde bir tane apleti önleme cihazı

- 120 km/h kadar KE1aSL Triblivalfi, 120 km/h den sonra KE2C-SL triblivalfi Fren donanımına kumanda eder.
- Bir dingilde km saati (vagonda bir tane) Bir dingil basında Alternatör irtibatı mevcuttur (vagonda bir tane). Alternatör olmayanlarda dinamo bojiye asılarak dingilden tahrik kayış kasnakla sağlanır.
- Normal Boji 5850 kg. Dinamolu 6150 kg.
- Bütün tren manivelaları boji üzerinde toplanmış durumdadır. Simering ve Çek vagonlarında fren manivelalarının bir kısmı fren regülatörü, el fren manivelaları vagon sandığı altında toplanmış durumdadır.

### 2.3.1.1. Schlieren bojinin sustalanması:

Schlieren boji iki kademedede sustalanmıştır:

- 1-Beşik sustalanması
- 2-Dingil sustalanması

- Beşik sustalanması:

Schlieren boji üzerine monte edilmiş bir yolcu vagonunda vagon sandığının ağırlığının bojiye intikali beşik traversi üzerinde bulunan yan yastıklar vasıtası ile olur.Yan yastıklar vasıtasıyla beşik traversine intikal eden yük komple beşik düzeni üzerinden menotlar vasıtası ile boji şasesine intikal eder.

Komple beşik düzeni; Beşik traversi alt kısmında iki adet helezon susta,susta taşıyıcısı ve susta taşıyıcısı ile beşik traversinin birbirine irtibatlandırılan dikey amortisörden meydana gelmiştir. Beşik taşıyıcısı (susta taşıyıcı) beşik traversi ile, beşik traversi de boji şasesine menot kolları ile irtibatlandırılmıştır.

Susta taşıyıcısının her iki yanında bulunan ikişer menotla boji şasesine asılmış olan beşik tertibatı kendisine verilen ismin özelliklerine de haiz olup helezon sustalar vasıtası ile süspansiyon görevi yaptığı gibi enine salınımlara da müsaittir. Schlieren boji beşiği 5 derece sağa, 5 derece sola doğru salınım yapma özelliğine de sahiptir. Beşik üzerinde bir de yatay amortisör mevcuttur. Yatay amortisörün bir ucu beşiğe

diğer ucu boji şasesine bağlıdır.

Beşik teferruatı içerisinde bulunan helezon sustalar 38 tona kadar olan vagonlarda 39 mm, 39 tondan itibaren 40 mm çapındadır.

-Dingil sustalanması:

Menotlar vasıtası ile boji şasesine intikal eden vagon ağırlığı buategres kayıtları üzerine geçirilmiş dingil sustaları vasıtası ile aksa iletilir.

Dingil sustaları her buategres için iki tane olup vagon ağırlığı 38 tona kadar 33 mm 39 tondan itibaren 34 mm çapındadır. Gerek beşik susta karakteristikleri gerek dingil susta karakteristikleri ekte bulunan 38 tonluk sustalama şemasında belirtilmiştir. Dingil sustalanmasında önemli olan bir husus buategres kayıtlarının özelliğidir. Buategres kayıtları adeta bir amortisör gibi çalışır. Boji şasesine kaynatılmış vaziyetteki kayıt gövdeleri sustaların sehimine bağlı olarak yağ çanakları içerisinde yukarı aşağı doğru çalışırlar. Yağ çanakları ile temasta olan kısımları kayııcılığı temin için bronzdan yapılmıştır. Kayıt gövdesinin uç kısımlarına küçük çaplı delikler açılmış olup yağ çanağı içinde bulunan yağ bu deliklerden kayıt gövdesi içine geçmektedir, normal duruma gelince de yine aynı deliklerden yağ çanağına akmaktadır.

### **2.3.1.2 Vagon boji irtibatı:**

Schlieren bojiye yolcu vagonu dört noktadan oturtulmuş ve göbek mili üzerine kaması takılarak emniyete alınmıştır. Yan yastıklar vagon sandığı üzerine kaynatılmış olup uç kısımları boji üzerinde içi yağ dolu bir hazne içerisinde serbest olarak duran bir küreye basmaktadır. Dönemeçlerde küreler yan yastıkla beraber hareket ederek bojiye göre vagon çeşitli durumlar alır, bu hareket merkezden itibaren 6°'den fazla açı yapamaz.. Gecmemesi için boji ve sandık üzerine tahdit patenleri konmuştur.

### 2.3.1.3 Tekerlek takımı:

Schlieren boji tekerlek takımı yuvarlanma dairesi çapı 920 mm, turyon eksenleri arası 1956 mm, turyon çapı 120 mm'dir. Çift sıra oynak makaralı rulmanla yataklanmış olup rulman tipi 22324C/C3' tür. Bu tip rulmanlar eksenel yöndeki ve radyal yöndeki yükleri birlikte taşımaktadır. Rulman üst bilezikleri radyal doğrultudan 2° sağa ve sola hareket etme kabiliyetine sahiptirler. Silindirik makaralı rulmanlara göre daha fazla ısınma yapmamaktadırlar. Rulmanlarda yağlama maddesi olarak EP2 süper gres kullanılmaktadır.

### 2.3.1.4 Boji tekerlek takımı irtibatı:

Schlieren boji tekerlek takımları üzerine rulmanlar sıkı geçmiş vaziyettedir. Labirent bileziği arka kapak tahdit bileziği rulmanlardan önce takılır. Rulmanlar 120°C'ye ısıtılarak takılır daha sonra buatagres rulman üzerine kaygan geçme olarak takılır, arka kapak, ön kapak dört civata ile müşterek olarak bağlanır. Ayrıca dingil basma rulman tahdit parçası 3 adet M 16 civata ile bağlanır. Bu şekilde buatagres montajı yapıldıktan sonra paralel duruma getirilen buatagres kulakları üzerine yağ çanakları içerisinde belli ölçüde yağ doldurulmuş vaziyette oturtulur, dış kısmına dingil sustaları geçirilerek yağ çanakları üzerine buatagres kayıtları dikkatlice oturtulur bu esnada tampon seviyesi ayarına etki eden yükseklik plakaları da susta altına ve susta üzerine konmuş olması gerekir. Daha sonra emniyet askıları bağlanır. Bu şekilde boji tekerlek takımı irtibatı sağlanmış olur.

Schlieren lisanslı bojilerde tekerlek çaplarının aşınmasından dolayı düşen tampon seviye ölçüleri, dingil sustalarının altına yarıçaptaki aşınma miktarı kadar bir sac plaka konmakla eski değerine çıkartılır.

Bu ölçü ayarı Simering ve Çek tipi bojilerde buatagres üzerindeki yaprak susta oturma yüzeyinin altına bir plaka ve dingil şandellerinden yapılır. Schlieren boji imalatında boji çerçevesi, beşik tertibatı ve menotlar St 52-3 çelik malzemeden imal edilmektedir. Bağlama elemanları da kaliteli imalat çeliklerinden yapılmaktadır. Baga ve pernolar sementasyon işlemine tabi tutulmaktadır.

### 2.3.1.5 Boji çerçevesi

#### Ağırlıklar

Vagonun brüt statik ağırlığı	$G = 56'000 \text{ kg}$
Sandığın brüt ağırlığı	$G1 = 44'000 \text{ kg}$
2 Besiler	$G2 = 12'000 \text{ kg}$
2 Beşik tarayıcısı	$G3 = 600 \text{ kg}$
2 Susta tarayıcısı	$G4 = 300 \text{ kg}$
8 Sustalar	$G5 = 320 \text{ kg}$
8 Beşik hareketi	$G6 = 120 \text{ kg}$

- Tamponlama İlavesi:

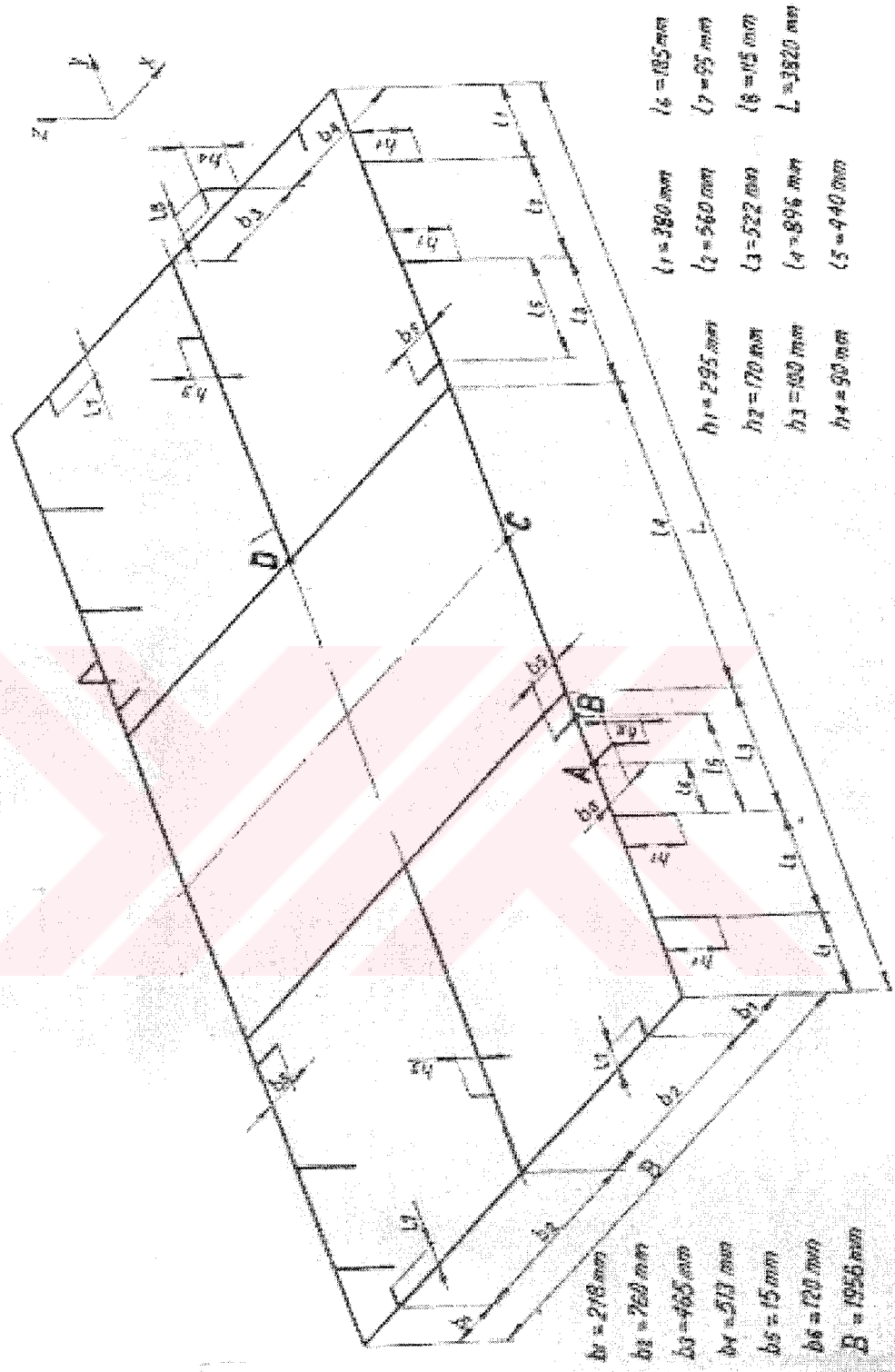
#### a) Sağlanmamış parçalar

Dikey	+ 40%	Brüt statik
Yatay (boyuna)	+ 20%	Brüt tekerlek yükü
Yatay (enine)	+ 30%	Brüt dingil yükü

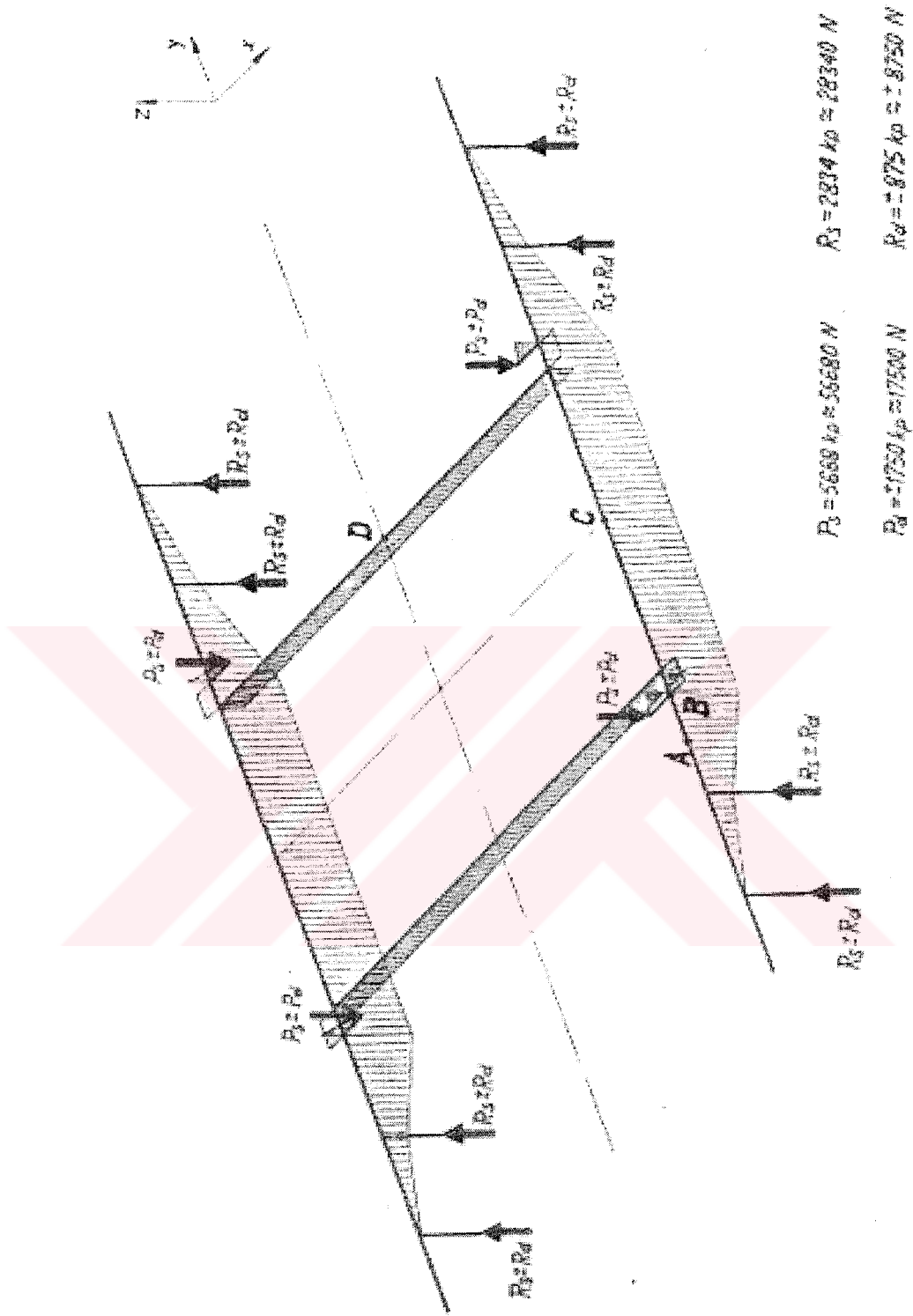
#### b) İlk susta kademesi parçaları

Dikey	+ 25%	Brüt statik
Yatay (boyuna)	+ 20%	Brüt tekerlek yükü
Yatay (enine)	+30%	Brüt dingil yükü



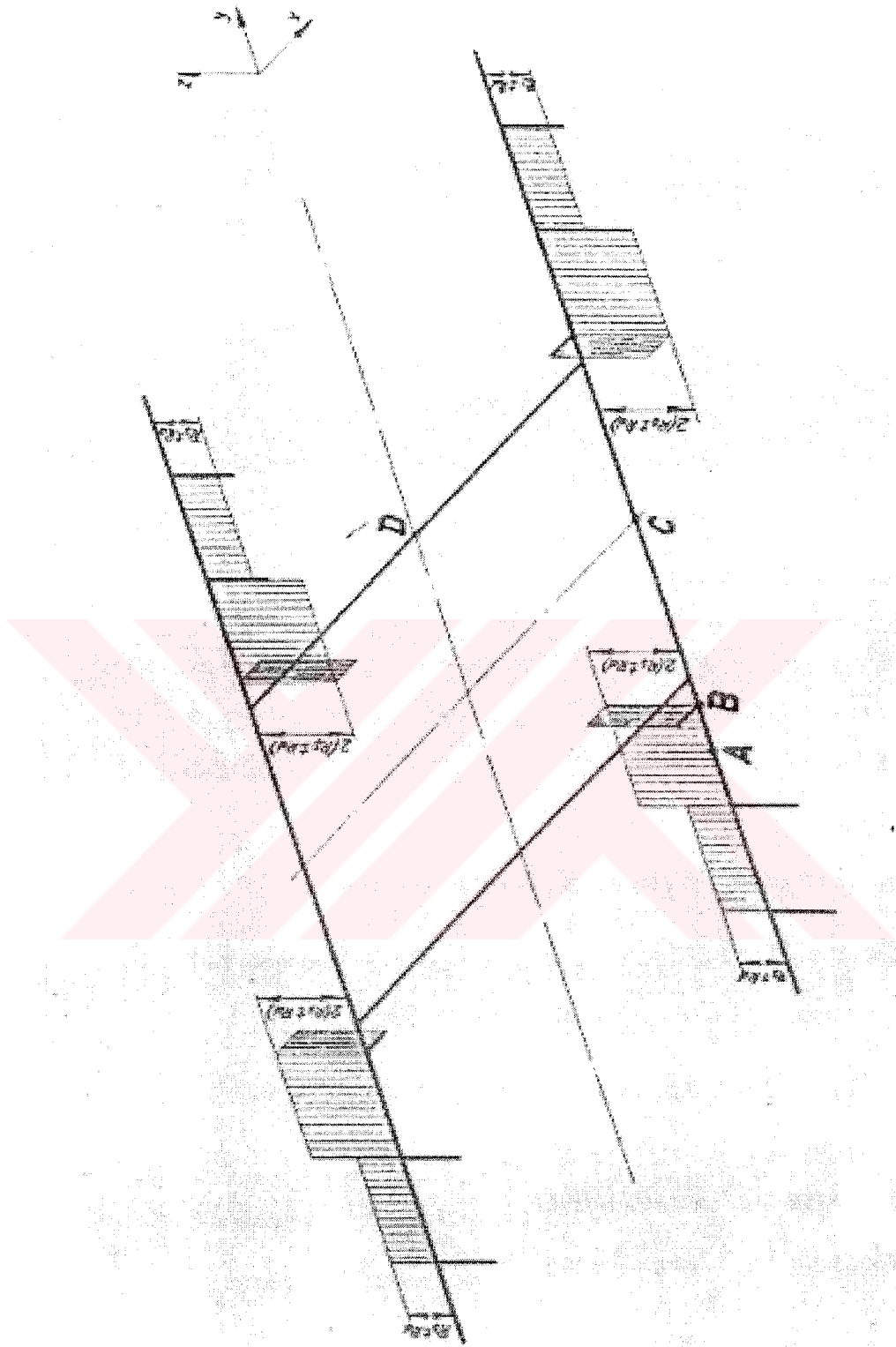


Şekil 2.3. Boji çerçevesi



Şekil 2.4. Boji çerçevesine dikey yükleme.





Şekil 2.5. Boji çerçevesi kayma kuvvetleri.

### 2.3.1.6 Schlieren Boji, Şasi ve Beşik Traverslerinin Kaynaklı İmalatı teknik Şartnamesi:

#### 1- Konu:

Bu teknik şartname, Schlieren tipi bojilerin kaynaklı çelik konstrüksiyon parçalarının yan sanayide imal ettirilmesi ile ilgili asgari genel ve teknik konuları içine alır.

#### 2 Teknik Özellikler:

2.1- Yüklenici -firmalar aşağıda isimleri belirtilen kaynaklı konstrüksiyon komple parçaları imal edeceklerdir:

- a- Boji şasesi :1065,04.475
- b- Beşik traversi : 578.634
- c- Beşik susta alt traversi :57H 6s35

2.2- İmal edilecek 1065,04, 475 no'lu boji şasesinin toplam miktarının yarısında 578.68 nolu el freni parçası kaynatılacak., yarısında kaynatılmayacaktır.

2.3- 1065.04,475 no'lu resimde kaynaklı olarak gösterilen 1065.04.606 no'lu alternatör askı sportu detay resme göre imal edilecek, fakat boji şasesine kaynatılmayacaktır. 1065.04.606 no'lu parçanın miktarı da imal edilecek şase miktarının yansı kadar olacaktır.

2.4 Boji şasesi ve beşik imalatında kullanılan, oksiasetlenen veya plazma ile alevle kesme işlemine tabi tutulan tüm çelik parçaların alevle temas eden kısımları talaşlı imalat yöntemi ile veya taşlanarak esas metal elde edilinceye kadar temizlenecek yanmış metal cürufları kaynak öncesi mutlaka uzaklaştırılacaktır.

2.5- Kaynaklı imalat yöntemiyle imal edilecek komple parçalar mutlaka imalat standlarında imal edileceklerdir. Boji şasesi, beşik traversi, beşik susta alt traversi için EK-1, EK-2 ve EK-3' te verilen kontrol yapıtları imalatı tamamlanan her boji şasesi için gerekli ölçümler yapı tarak yüklenici tarafından doldurulacak ve TÜVASAŞ Kontrol Ekibine verilecektir. Sözkonusu ölçüler çabuk ölçmeyi sağlayacak referans masterlarla yapılacaktır.

2.6- İmalat için gerekli her türlü stand yüklenici tarafından tasarlanıp imal edilecektir. Üretime geçmeden önce tüm imalat standları TÜVASAŞ tarafından

incelenecek, onay verildikten sonra üretime başlanacaktır, imalat standlarını TÜVASAŞ'ın temin etmesi halinde, üstlenici firma TÜVASAŞ'tan temin ettiği standların doğruluğunu da kesinlikle kontrol edecektir.

2.7- Bojilerde kullanılan kaynaklı konstrüksiyon parçaların imalatında gaz altı kaynak yöntemi kullanılacaktır. Kaynakta 1.2 mm çapında AWS Class E 71.T1 7000 veya SG2 tipi tel kullanılacaktır.

2.9- Kaynaklı imalatı tamamlanan kaynaklı konstrüksiyon parçalardan boji şasesi, beşik traversi ve beşik susta alt traversinde bulunan ve talaşlı imalat yöntemiyle delinmesi ve işlenmesi gereken yatay ve düşey bütün delikler ve yatak yuvaları v.s. en azından nümerik kontrollü bir freze tezgahında parça sökülmeden sadece 1 defa bağlanarak yapılacaktır.

2.10 - Kaynaklı konstrüksiyon yöntemiyle imal edilen tüm çelik parçalar boya öncesi (Sa 2 ½) yüzey kalitesi elde edilinceye kadar kumlanarak yüzeydeki tüm pas, kir ve cüruf tabakaları temizlenecektir. Kumlama sonucu temizlenemeyen lokal pas, kir vb. cüruf tabakaları mekanik yollarla ikinci defa ele alınarak uzaklaştırılacaktır.

2.11- Kaynaklı konstrüksiyon parçaların yüzeylerinde, kumlama işlemi sonucu oluşan pas ve cüruf tozları kuru pamuklu bezlere silinerek veya vakumlu emiciler kullanılarak giderilecektir. Bu amaç için basınçlı hava kullanılmayacaktır.

2.12- Kaynaklı konstrüksiyon çelik parçalar çift komponentli epoksi astar boya ile (TTŞ 44.177) en az 80 µ kalınlığında çift kat olarak fırında (yaklaşık 60°C'de 1.5 saat süreyle) boyanacaktır. Boyama işlemi kullanma işleminden sonra en fazla 8 saat içerisinde yapılacaktır.

2.13- Tüm sökme ve takma, montaj, ölçü alma, markalama gibi işlemler niteliğine uygun olarak geliştirilmiş özel takım, aparat, ölçü aleti ve standlar yardımı ile yapılacaktır. Örnek olarak, klasik şerit metre kullanılarak ölçü alma kabul edilebilir değildir. TÜVASAŞ kontrol ekibinin isteklerinin ve tavsiyelerinin uygulanması esastır.

Kaynak işçiliğinin yapılması, uygun boya metodunun tatbiki gibi detay koşulların uygulanması TÜVASAŞ kontrol ekibinin talimatları doğrultusunda yapılacaktır. TÜVASAŞ gerekli gördüğü konularda yüklenici firmayı ikaz etme, boji imalatı ile ilgili hatalı uygulamalara müdahale etme hakkına sahiptir.

3.8- Yüklenci firmalar, boji şasisi ve beşik kirişlerinin imalatında kalifiye usta kaynakçılar kullanmak zorundadırlar. Gerekirse, TÜVASAŞ yüklenci firmalardan sertifikalı kaynakçılar kullanılmasını isteyecektir.

3.9- Şartnamenin bütün maddelerine aynı numara sırasını kullanarak mutlaka cevap verilecektir.

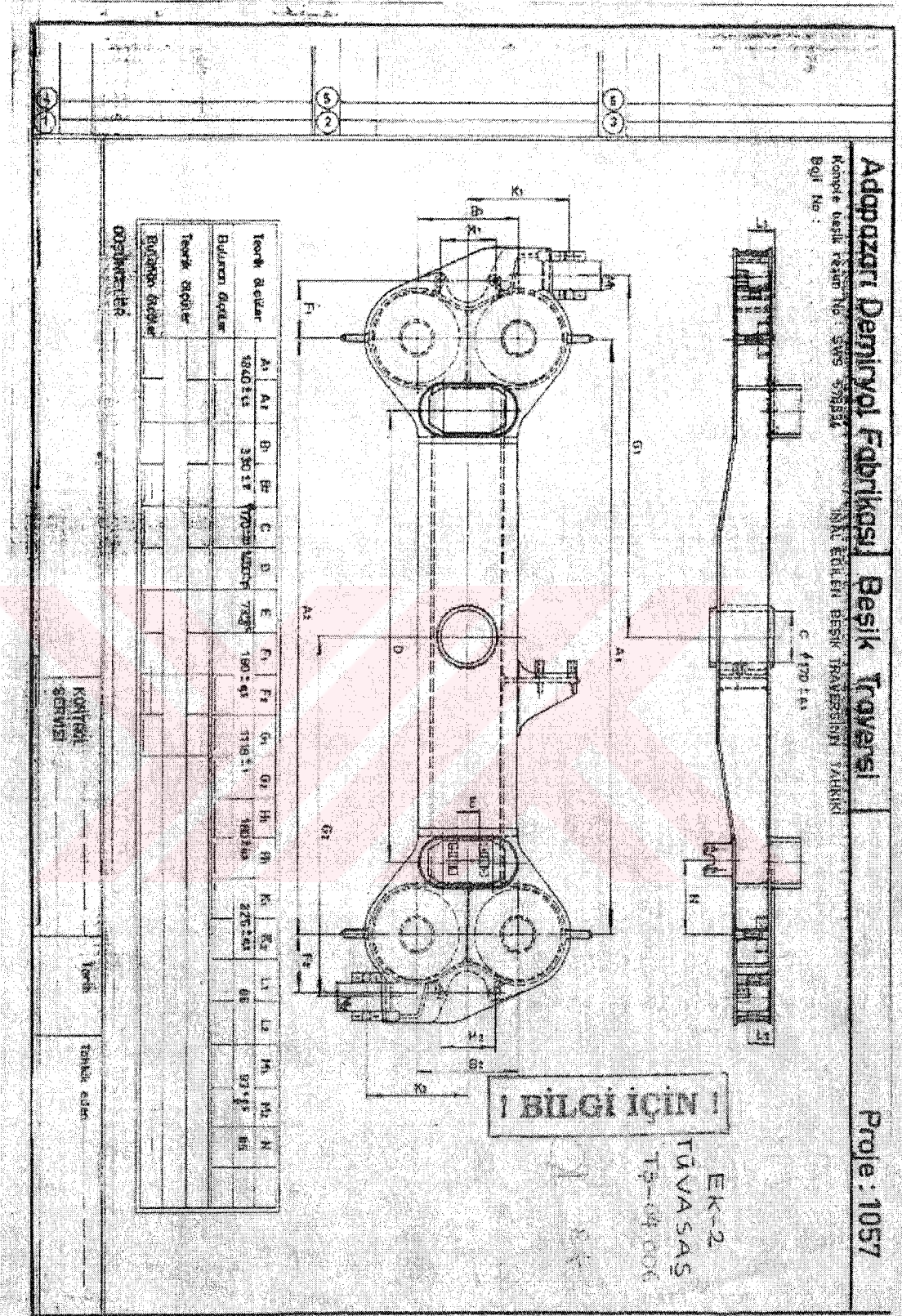
3.10 Numune Kontrolü:

Yüklenci firmalar seri üretime geçmeden önce, imal ettikleri ilk el frenli ve el frensiz boji kaynaklı konstrüksiyon komple parçaları TÜVASAŞ'a teslim edecektir. TÜVASAŞ tarafından verilecek onaydan sonra seri üretime geçilecektir.

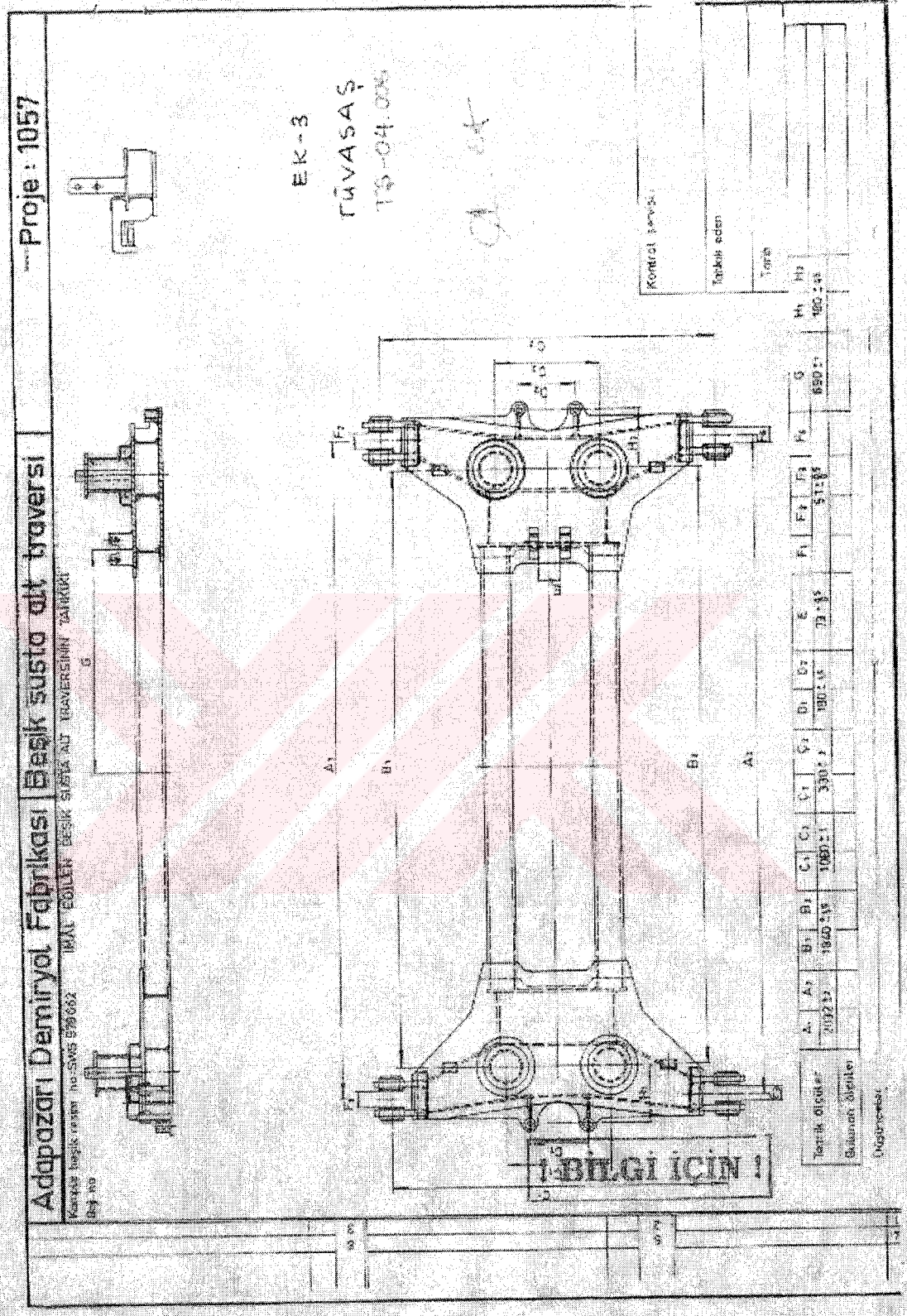
3.11- Şartname ve ekleri ücreti mukabili yüklenci firmalara temin edilir. İlk etapta genel şartname (TTS 04.006) ve 1065.04.475 (boji şasesi), 578.634 (beşik traversi) ve (Beşik susta alt traversi) no'lu komple resimler firmalara ücretsiz olarak verilecektir. Yüklenci firmalar tarafından konu incelendikten sonra kesin olarak fiyat teklifi vermek isteyen firmalara ücreti karşılığı diğer detay resim ve şartnameler verilecektir.







2.7. Beşik Traversi ölçü kontrol şeması.



Şekil 2.8. Beşik susta alt traversi ölçü kontrol şeması

### 3.2. Y 32 Bojisi

Esas itibariyle SNCF'nin Coreil treni için tasarlanmış olan Y 32 bojisi bugüne kadar de Dietrich firması tarafından 4.000 adet üretilmiş olup bin adedi Belçika, Hollanda, Portekiz, Fas ve Gabon'a ihraç edilmiştir.

Y32 bojisinin geliştirilmesine esas olan prensip "kontrollü serbestlik" konusundaki modern teorilerin bir ürünüdür. Eklentilerin rasyonel yerleştirilmesi ve süspansiyonlanmamış kitlelerin hafifletilmesinden doğmuştur.

Bu prensibin uygulanması bu bojiye mükemmel bir konfor ve yüksek hızlara (yan titreşimleri önleyici amortisörler kullanılmaksızın saatte 200 km/h) mükemmel bir şekilde uyum imkanı sağlamıştır. Basit dizaynı da bakımını kolaylaştırdığı gibi özel şartlara da fevkalade bir şekilde uyulanabilmektedir.

Y32 boji esas itibariyle aşağıdaki elemanlardan oluşan çift süspansiyon katlı bir bojidir:

Hareket dizisi:

- Şasi,
- Amortisman tertibatı ve tamponlarıyla birlikte primer süspansiyon,
- Kapalı dingiller,

Sekonder süspansiyon:

- Yaylar,
- Dikey ve transversal amortisörleri ve sınırlayıcıları,
- Yalpalama önleyici tertibat,

Karoser/boji bağlantı tertibatı:

- Bağlantı traversi,
- Çeki düzeni,

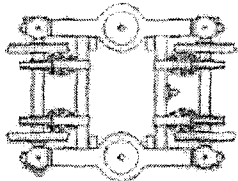
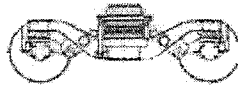
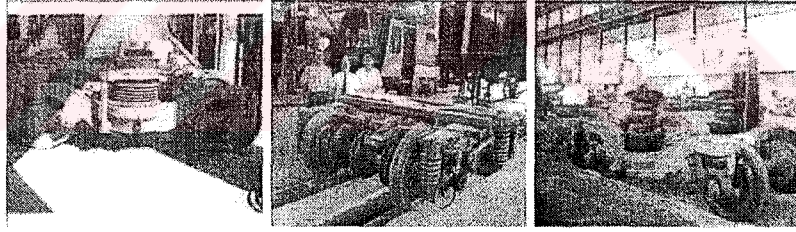
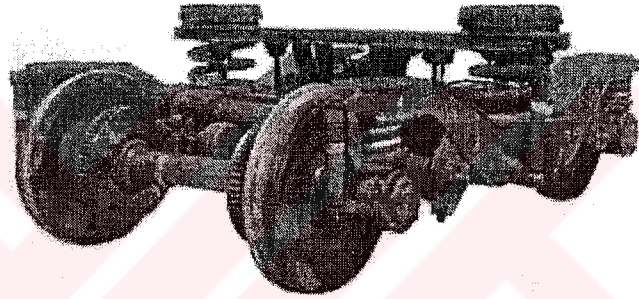
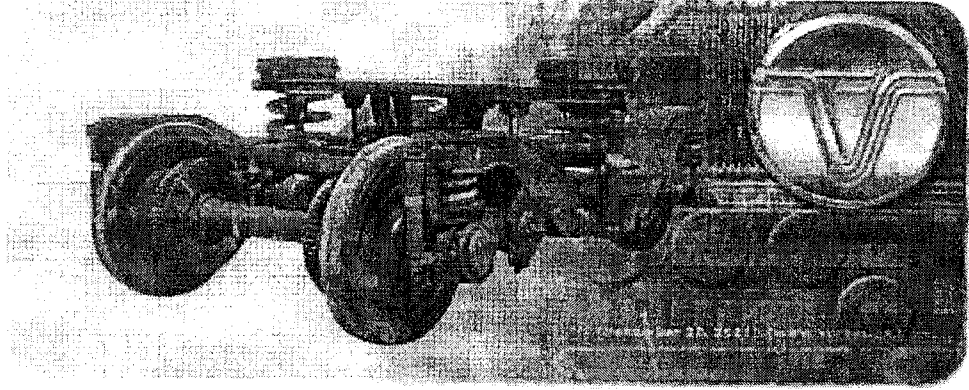
Fren donanımı.



Ana boyut karakteristikleri de aşağıdaki gibidir:

- İki dingil arası mesafe 2.560 mm
- şasi açıklığı 2.000 mm
- Primer süspansiyon açıklığı 2.000 mm
- Sekonder süspansiyon açıklığı 2.000 mm
- Tekerlek çapı Yeni 920 mm  
Aşınmış >840 mm
- Ağırlık 5.980 kg





Şekil 2.9. Y32 bojisinden görünüm

## 2.4. Raylı Taşıtlarda Kullanılan Kaynak Yöntemleri

### 2.4.1. MIG-MAG kaynağı

MIG kaynağı, soy gaz atmosferi altında eriyen elektrotla yapılan bu gaz altı kaynağı türü SIGMA kaynağı olarak da bilinir. Soy gaz olarak genellikle, argon gazı kullanılmaktadır. MIG sembolü, Metal Inert Gas ifadesinin baş harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur.

MIG kaynağı ile hemen hemen bütün malzemelerin kaynaklanması mümkündür. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında yalnız doğru akım kullanılır ve otomatik olarak ilerleyen kaynak teli, daima pozitif kutuba bağlanır. Bakır ve alaşımlarının kaynağında gerekli durumlarda 200 ila 400°'lik bir ön tavlama tatbik edilir. Kaynak işlerinin doğru akımla ve elektrot pozitif kutba bağlanarak yapılır. Paslanmaz çeliklerin MIG usulü ile kaynaklanması, büyük üstünlük sağlar. Çünkü erimiş metal ile hava arasındaki reaksiyonlar sebebi ile kayıplar önlenmektedir.

MIG kaynak donanımı aşağıdaki kısımlardan ibarettir.

- a- Bir doğru akım membaı.
- b- Bir kaynak tabancası.
- c- Çıplak elektrot ile, kaynak akımı, suyun girişı ve çıkışını sağlayan hortum şeklindeki iletkenler.
- d- Kaynak telinin hareketini sağlayan tertibat. Kaynak yerine gelen çıplak telin hareketi ve ilerleme hızının ayarı bu tertibatla sağlanır.
- e- Kaynak akımının geçişini, soğuma suyunun devreye girişini, argon gazının akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda cihazı.
- f- Basınç düşürme manometresi ve ölçü aleti ile techiz edilmiş bir adet basınçlı argon tüpü

Mükemmel bir erime özelliğine ancak yüksek akım yoğunluğuyla çalışıldığı zaman

erişilir. Bu akım yoğunluğu da arkın duruma bağlı olarak 60-150 Amper / mm arasında değişir. Yüksek akım şiddeti derin bir nüfuziyet sağlar. Bu husus 20 mm kalınlığa kadar ağız açmadan kaynak yapma üstünlüğü verir.

MAG kaynağı, CO<sub>2</sub> gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan bu kaynak yöntemine Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinden yararlanarak MAG adı verilmiştir.

Kısa devre halinde akımı sınırlayan reaktanslı akım üreteçleri geliştirilerek kısa ark boyu ile çalışarak sıçrama minimuma indirgenmiş, ince çaplı elektrot kullanabilme olanağı sağlamıştır. Bu şekilde her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu artırılmış ise de arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yolunun artması arkı yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde ve önceleri sadece CO<sub>2</sub> kullanılmıştır. Günümüzde gereken hallerde arkın yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO<sub>2</sub>'e argon karıştırıp kullanılmaktadır; karışım oranı % 75 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimde koruyucu gazlar ile spreylenmiş ark yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave ederek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, kalın çaplı elektrotlarla her pozisyonda çalışılabilmekte ve çok düzgün kaynak dikişleri elde edilebilmektedir[16].

#### 2.4.2 Gaz eritme kaynağı

Kaynak için gerekli ısının biri yanıcı diğeri yakıcı olan gazların yapılması ile oluşan alevden faydalanılarak yapılan kaynağı gaz eritme kaynağı adı verilir. Yakıcı gaz olarak büyük ekseriyetle oksijen kullanılır. Yanıcı gaz olarak ise aşağıdaki gazlar kullanılmaktadır:

Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Havagazı
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	Bütan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	Benzin ve Benzol buharı
Metan (CH <sub>4</sub> )	Propan Bütan karışımı (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	

### 2.4.3. Elektrik ark kaynağı

Ark, kızgın bir katottan yayınan elektronların yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde oluşur. Bu bombardıman çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasını sebep olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi meydana gelir. Ortaya çıkan toplam enerjinin %85'i ısı ve %15'i ışık enerjisine dönüşmektedir.

Pratikte kaynak arkının gücü 0,3 ile 160 kW ve ısı eşdeğeri de 70 ile 40.000 cal/sn arasında değişir. Ark demeti katodik leke (elektrodun negatif ucu) ve anodik krater (elektrodun pozitif ucu) arasında dağılır. Katodik leke ve anodik kraterde meydana gelen sıcaklık, kullanılan elektrot malzemesi ve arkın meydana getirildiği çevreye bağlı olarak değişmektedir[16].

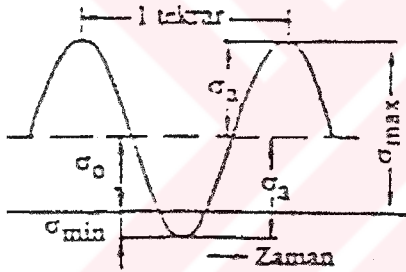
### 2.4.4. Boden kaynağı

Boden kaynağı, tekerlek takımlarının yuvarlanma dairesi çaplarının aşınması ve işletme şartlarının altına düşmesi durumunda aşınan yan cidarına yapılan kaynaktır. Bu kaynak, 1,6 mm çapında, 2,4 çapında iki kaynak teli ve CO<sub>2</sub> gazı yardımı ile yapılır.

## BÖLÜM 3. YORULMA

### 3.1 Yorulma Tanımı

TS 1487'ye göre yorulma tekrarlayan gerilmeler ya da deformasyonlar sonucunda metallerde meydana gelen özellik değişimlerinde oluşan çatlama veya kopma olarak tanımlanmaktadır. Kısaca yorulma, tekrarlı gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler sonucu kırılma olarak tanımlanabilir. Yorulma ömrü kırılmaya kadar uygulanan tekrar sayısıdır. Yorulmada kullanılan tanımlamalar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



$\sigma_0$ : ortalama gerilme  $\sigma_g$  : genlik gerilmesi  
 $R = \sigma_{max} / \sigma_{min}$  : gerilme oranı

Şekil 3.1 Yorulmadaki kullanılan değişkenler

Çevrim: Wöhler eğrisinde (gerilme-zaman) periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasıdır.

Maksimum- minimum gerilme: gerilme periyodundaki en büyük ve en küçük gerilmedir.

Ortalama gerilme: en büyük ve en küçük gerilmenin aritmetik ortalamasıdır.

Gerilme genliği: en büyük ve en küçük gerilmenin farkının yarısıdır.

Gerilme oranı: bir periyottaki en küçük gerilmenin en büyük gerilmeye oranıdır.

Ayrıca yorulma zorlaması büyüklüğü ve yönü düzenli ve düzensiz şekilde sürekli değişen kuvvet ya da momentlerin (eğme, burma) etkimesi olarak tanımlanmıştır.



Değişken zorlamaların altında kırılma, malzemenin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde oluşabilir. Bu durum ‘yorulma kırılması’ olarak adlandırılır[5]. Sonsuz çevrimde kırılmaya neden olmayan en yüksek gerilme ‘yorulma dayanımı’ olarak tanımlanır. İşletme şartlarında çalışan bir makine parçası değişken zorlamalar altındadır. Yapılan araştırmalar, zorlamanın değerinin malzemenin statik deneylerde saptanan mukavemet değerlerinden çok daha düşük olduğunu göstermiştir. Kullanılan malzemenin düzgün yüzeyli ve parlatılmış deney parçaları yardımıyla bulunan yorulma dayanımının çok altında kalmasına rağmen makine parçalarının yine hasara uğradığı gözlenmiştir. Buradan hareketle yapılan deneysel çalışmalarda şekil, yüzey durumu, kuvvet iletimi, makine parçasının bulunduğu ortam ve malzemenin iç yapısı gibi değişik iç ve dış etkenlerin yorulma dayanımını değiştirdiği, dolayısıyla bu etkenleri dikkate almadan bulunan yorulma dayanımı değerlerinin dayanım hesaplarında aynen kullanılmayacağı anlaşılmıştır[17].

Yorulma zorlamasında yükün en alt ve üst sınır değerlerinin büyüklüğü önemlidir. Birimin zamandaki çevrim sayısı düşük ise (saatte birkaç çevrim) veya malzemenin ısınmasına neden olmayacak şekilde düşük ısı yorulma ömrünü etkilemez. Burada yorulma ömrü kırılma meydana gelinceye kadar tekrarlanan çevrim sayısıdır. Kuvvet ya da moment aynı büyüklükte fakat biri çekme diğeri basma türünde iki sınır değer arasında değişken yorulma dayanımı değerleri ‘0’ ile belirli bir sınır arasında değişen kuvvet ya da moment durumunda dalgalı zorlama ve malzeme açısından dalgalı yorulma dayanımı değeri adını alır. Yorulma zorlaması sadece dış kuvvetlerin değil, örneğin sıcaklık farkları nedeni ile oluşan iç kuvvetlerin etkisiyle de meydana gelebilir[17,18].

Kırılmanın meydana gelmesi için önce yorulma çatlağının oluşması gerekir. Parçanın şekli, yüzey kalitesi, ortamın korozif etkisi, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, malzeme hatası, mikroyapının heterojen olması gibi nedenlerden ötürü gerilme yığılması oluşur. Bu gerilme yığılmasının olduğu bölgeler çatlağın başladığı bölgelerdir. Bundan başka montaj hataları da yorulma hasarının oluşmasında etkindir. Kaynak işlemi gerçekleşirken yapılan hatalar yorulma çatlaklarının oluşumunun nedenlerinden

birdir[17,18,19].

Malzemeye etkiyen zorlama sürekli artan bir şekilde devam ettiğinde şekil değiştirme tek yönlüdür. Yorulma zorlamasında kuvvet ya da moment dolayısıyla şekil değiştirme sürekli yön değiştirerek artma-azalma gösterir.

Şekil değiştirme malzemenin elastoplastik yapısında karşılanabildiği ölçüde tehlikeli değildir. Ancak plastik şekil değiştirmeler (kalıcı şekil değiştirme) kristal kafesin çarpılması ile değil kafesin değişik bölümlerinin yeni bir denge durumu sağlanıncaya kadar ötelenmesi yoluyla oluşur. Kafes yapılarının birbirlerini ötelemelerine kayma adı verilir[17].

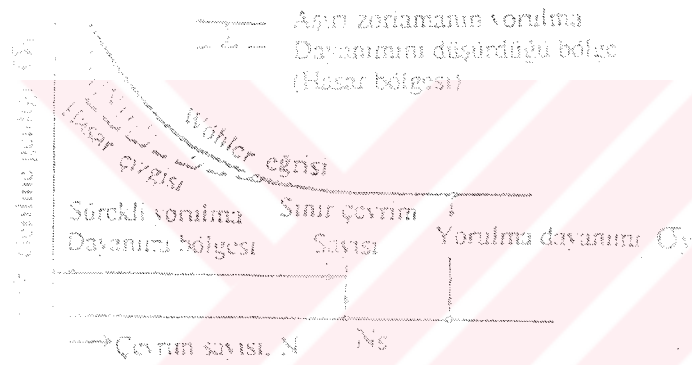
Makine parçalarının yorulma ömrü, başlangıç yorulma çatlaklarının alt değerlerinin kritik ölçüye ilerlemesi için gerekli olan çevrim sayısının toplamı olarak tanımlanır. Yorulma kırılması dört aşamada gerçekleşir. Çatlak oluşumu, çatlak kayma bandında ilerlemesi, çatlak ilerlemesi ve kalan kısmın aniden kırılmasıdır. Parçanın şekli, yüzey kalitesi, ortamın korozif etkisi, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, malzeme hatası mikroyapının düzensiz olması gibi nedenler gerilme yığılması oluşturur. Yorulma kırılması, gerilme yığılması olan noktalarda meydana gelir. Gerilme yığılması olan bölgede aşırı zorlamayla birlikte çatlak oluşumu başlar. Çevrimle birlikte zaman içinde çatlak ilerler ve kırılma gerçekleşir[18].

Sonsuz sayıda yük tekrarını kırılmadan veya aşırı şekil değişimine uğramadan taşıyabilen bir yapı elemanı, yorulmaya karşı dayanıklıdır denir. Taşınabilir en büyük anma gerilmesi genliği de yapı elemanının yorulma dayanımı olarak adlandırılır. Bir yapı elemanının yorulma dayanımı sadece bir malzeme özelliği olmayıp bunun yanında parçanın büyüklüğü, biçimi ve üretim şekline bağlı olduğundan, anma gerilmesi ile verilen yorulma dayanımı, belirli bir biçim ve yüzey kalitesindeki parçanın konstrüktif dayanımı şeklinde de tanımlanır[17].

İlk bilimsel yorulma araştırması 1852-1870 yılları arasında Alman demiryolu



mühendisi August WÖHLER tarafından yapılmıştır. Birkaç farklı malzeme için deneyleri, büyük ölçüde demiryolu aksları üzerinde ve eğilme, burulma olarak tekrarlanan yüklerle geliştirdi. WÖHLER eğrileri (S-N diyagramı) diye bilinen yöntemi geliştirdi ve yorumladı. Bu yöntemde malzeme için ve yüzey kalitesi açısından aynı olan deney parçaları ayrı ayrı değişik zorlama seviyelerine maruz kalarak kırılır. Kırılma olayı meydana gelinceye kadar çevrim sayıları saptanır. Bir deney serisinde 6 ile 10 adet deney parçası kullanılır. WÖHLER yönteminde deney serisindeki tüm parçalar için ortalama gerilme orta, alt gerilme sabit tutularak her deney için ayrı ayrı gerilme genliği seçilir. Zorlamalar uygulanarak kırılma çevrim sayısı beklenir. Bu deney sonucunda uygulanan gerilme genlikleri ile kırılma çevrim sayıları bir eğri ile ifade edilebilir. Şekil 3.2'de demir esaslı malzemelere ait tipik bir Wöhler eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.2. Wöhler eğrisi ve hasar çizgisi [17]

Şekilde yer alan hasar çizgisinden maksat yorulma dayanımı üzerinde bir zorlamanın daha sonra parçada yorulma dayanımına eşit bir zorlamada kırılma meydana gelmemek koşuluyla en çok kaç çevrim sayısı taşınabileceğini göstermesidir.

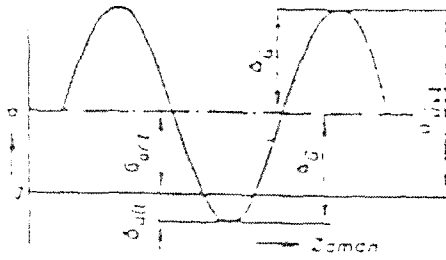
Gerilmenin yönü ve büyüklüğüne göre yorulma dayanımına ait çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır[17]:

- Değişken bölgede yorulma dayanımı: ortalama gerilme sıfırdan farklı ve gerilme genliğinden daha küçüktür. Alt ve üst gerilmeler ters işaretlidir ( $-1 < R < 0$ ). Şekil 3.3'te değişken çekme bölgesinde yorulma dayanımı için zorlama durumu gösterilmektedir.
- Dalgalı bölgede yorulma dayanımı: ortalama gerilme sıfırdan farklı ve gerilme genliğinden daha büyüktür. Alt ve üst gerilmeler aynı işaretlidir ( $0 < R < 1$ ). Şekil 3.4'te

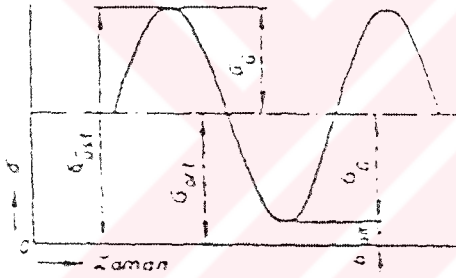
dalgalı çekme bölgesinde yorulma dayanımı için zorlama durumu gösterilmektedir.

c) Değişken yorulma dayanımı: ortalama gerilme her zaman sıfırdır, yani gerilme eşit, ancak ters işaretli iki sınır değeri arasında değişir. Bu nedenle genliğin maksimum değeri alt ve üst gerilmelere eşit olup  $R = -1$ 'dir (Şekil 3.5).

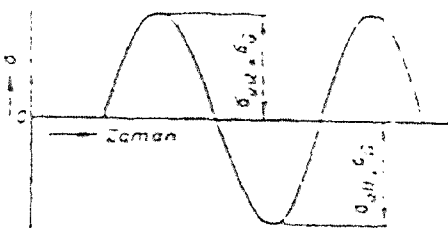
d) Dalgalı yorulma dayanımı: gerilme genliği ortalama gerilmeye eşittir. Alt gerilme  $\sigma_{alt}$  sıfır, dolayısıyla  $R = 0$ 'dır (Şekil 3.6)



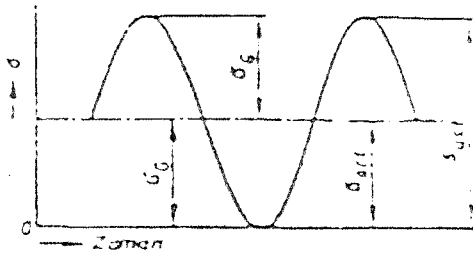
Şekil 3.3. Değişken bölgede yorulma dayanımı  $\sigma_y : |\sigma_G|$  (verilen  $\sigma_{ort}$  için) [17]



Şekil 3.4. Dalgalı bölgede yorulma dayanımı  $\sigma_y : |\sigma_G|$  (verilen  $\sigma_{ort}$  için) [17]



Şekil 3.5. Değişken yorulma dayanımı  $\sigma_D : |\sigma_G|$  [17]



Şekil 3.6. Dalgalı yorulma dayanımı  $\sigma_{Dal} : |\sigma_G|$  veya  $=|2\sigma_G|$  [17]

### 3.2 KAYNAK BAĞLANTILARININ YORULMA DAYANIMI

Günümüzde endüstrinin hemen hemen her alanında kaynak bağlantıları kullanılmaktadır. Kaynak bağlantılarıyla elde edilen konstrüksiyonlar dinamik ve/veya statik zorlamalarla birlikte yorulma zorlamaları altında gösterdikleri davranış biçimleri de önem kazanmaktadır.

Kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarını etkileyen bir çok parametre vardır. İlk bakışta gerilme yığılması (çentik etkisi), kaynak biçimi, çevrim sayısı, kaynak kalitesi, konstrüksiyonun dış biçiminin etkisi sayılabilir. Bunların dışında ana metalin kaynak kabiliyeti, yüksek ısı girdisi, bazı kaynak yöntemleri için dolgu metalinin saflığı, ve dayanımı etkiler.

Kaynaklı konstrüksiyonlarda genellikle kullanılan malzemeler genel yapı çelikleridir. Tablo 3.1'de genel yapı çeliklerinin akma sınırı çekme dayanımı ve eğme değişken Yorulma dayanımları verilmiştir.

Tablo 3.1. Genel yapı çeliklerinin mekanik özellikleri [17]

Akma Sınırı	Çekme Dayanımı	Eğme Değişken Yorulma Dayanımı	
$\sigma_a$	$\sigma_c$	$\sigma_{eD_1}$	$\sigma_{eD_2}$
Çelik Türü	kgf/mm	kgf/mm	kgf/mm
St 34	20...23	34...42	16...20
St 38	22...25	38...47	17...22
St 42	24...28	42...52	20...25
St 52-3	34...42	50...64	28...35

Tabloda bulunan St 52-3 çeliği aslında akma sınırları 55 kgf/mm , kopma dayanımları da 65 kgf/mm' ye ulaşabilecek yüksek dayanımlı yapı çeliklerinden sayılır. Yüksek dayanımlı yapı çelikleri de genel yapı gibi normalize edilmiş durumda kullanılırlar. Yüksek dayanımlar az miktarda alaşımlama ( örneğin Mn,Mo,Cr ile ) karbür yapıların katılması (V,Ti) veya azot ile sağlanır.

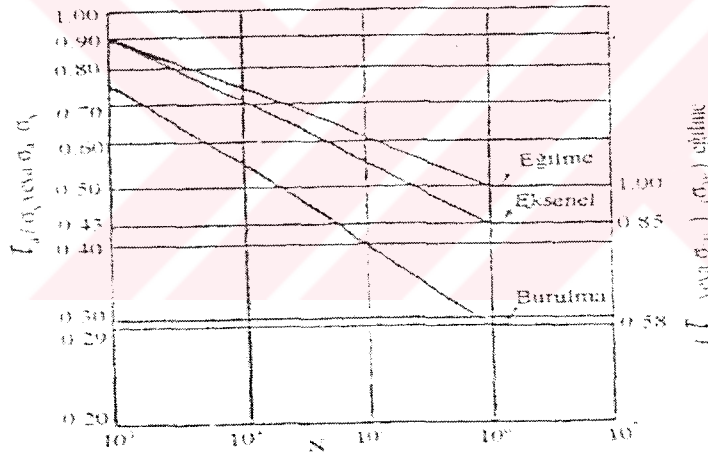
Yüksek dayanımlı yapı çelikleri için karakteristik olan dayanım sınırlarına ulaşmak ve aynı zamanda yeterli bir kaynak kabiliyeti sağlamak için ıslah edilmiş yapı çeliklerinin kullanılması zorunludur. Bu çelikler kimyasal bileşimleri bakımından düşük karbonludur ve katılan alaşım elemanları sınırlıdır. Yüksek dayanımlı ıslah edilmiş yapı çeliklerien çok %0,2, özel durumlarda %0,25 karbon içerirler, Alaşım elemanlarının (örneğin Mn, Cr, Ni, Mo) toplamı çoğunlukla %2'nin altındadır; bunlara ayrıca tane büyümesi engelleyen ( V, Ti, Nb, Al, N, Zr) ostenit dönüşümünü geciktiren (B,N) ve tav sırasında kararlılığı arttıran elementler (V,Nb, Cu) az miktarda katılır. Yatı mamullerin ısı işleme, su verme ve bunu takip eden 600-700 °C arasında bir tavlama şeklinde, üretildikleri çelikhane veya haddehanelerde yapılır.

Yorulmada eksenel, eğilme eve burulma olmak üzere başlıca üç temel yükleme vardır, Yorulma sınırı eksenel eğilme ile saptandığından, pratikteki eğilme yükleri için tashihe gerek yoktur. Ancak tam değişken eksenel yüklemeye( = 0) maruz parlatılmış deney parçalarının yorulma sınırı, eğilmeye maruz deney parçalarının yorulma sınırının %85'i kadardır. Parlatılmış parçaların tam değişken burulmadaki = 0) yorulma sınırı ise eğilmedeki sınırın %58'kadardır [4]. Üç tip yüklemeye maruz parlatılmış çeliklerdeki S-N eğrileri şekil 3.7'de verilmiştir.

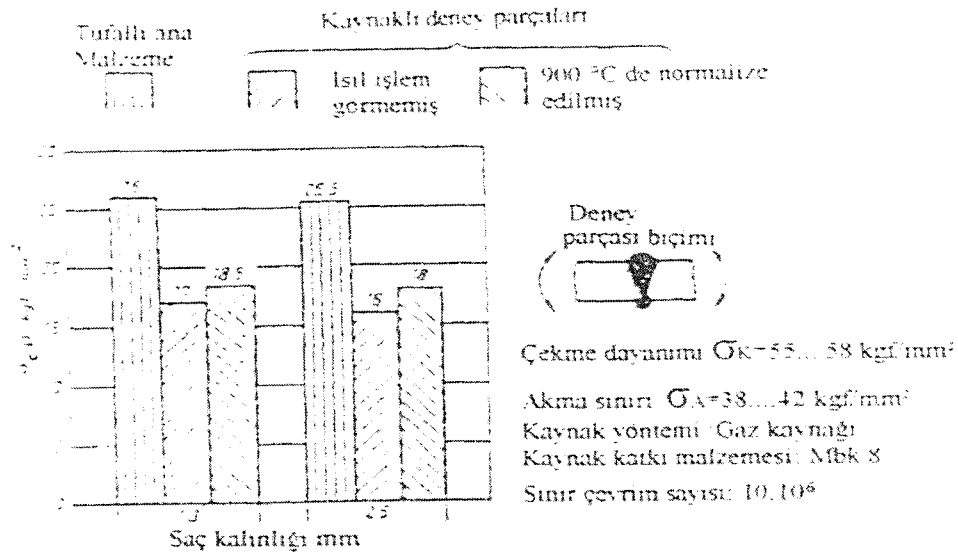
Şekil 3.8'de görüldüğü gibi St-52-3 çeliğinde parçanın saç kalınlığına ve kaynak Sonrası uygulanan gerilim giderme tavlamaşı uygulanmış malzemelerin eğme Değişken yorulma dayanımları verilmiştir. Saç kalınlığına göre gerilim genliği sınırı

17-18,5 kgf/mm<sup>2</sup> ile 16-18 kgf/mm arasındaadır.

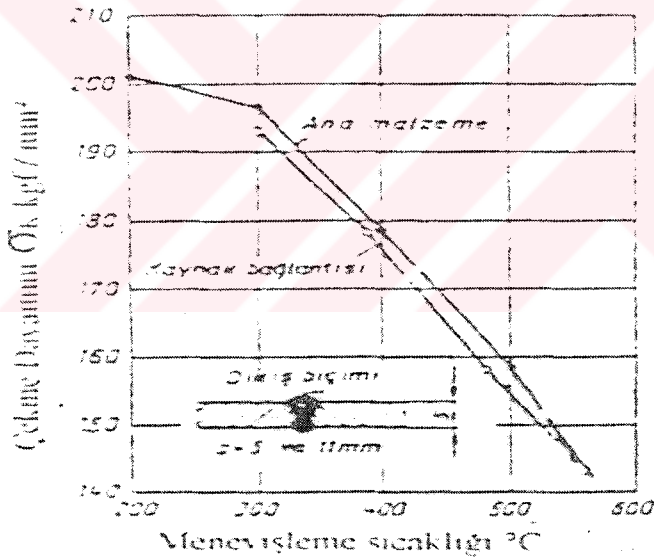
Kaynak bağlantılarının yorulma dayanımlarının geliştirilmesi genellikle kaynak sonrası yapılan işlemlerle sağlanır. Ancak elektron ışın kaynağında kaynak öncesi, dayanımı geliştirmek için işlem uygulanabilir. Kullanılan çelik malzemenin türüne göre ön ısıtma, kaynak sırasında sıcak tutma v.b önlemler alıp uygun kaynak yöntemi ve katkı maddesi seçerek çok yüksek statik dayanım değeri elde edilmesine rağmen yorulma dayanımları söz konusu olduğunda bu önlemler ancak dalgalı yorulma bölgesinin üst kısmında, yani ön gerilmelerin yüksek olduğu durumlarda anlam taşımaktadır. Yüksek dayanımlı 40 Si NiCr 7.6. ıslah çeliğinde elektrik ark kaynağı kullanılarak yağda sertleştirme yapılarak elde edilen çekme dayanımı değerleri görülmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. Tam değişken eğilme, çekme ve burulmaya maruz standart çelik parçalarda S-N eğrileri [18]

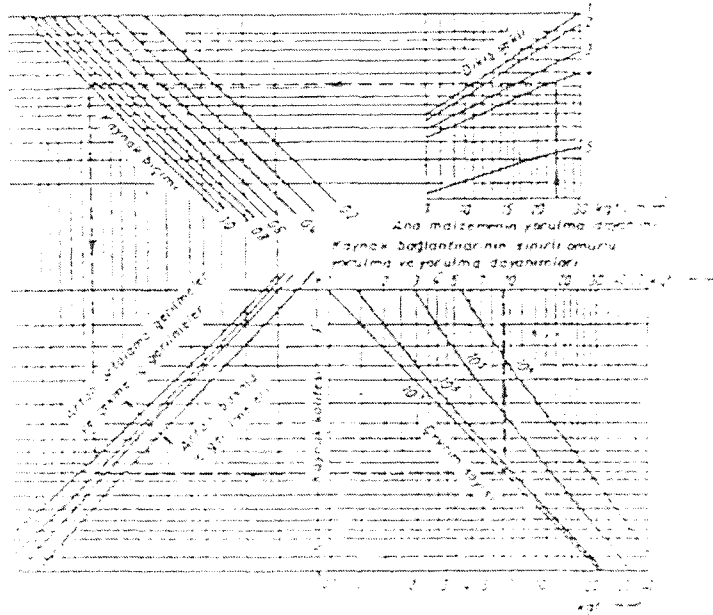


Şekil 3.8. St52-3 çeliğinde kaynaklı ve kaynaklız deneş parçalarının eğme değışken yorulma dayanımı [17]



Şekil 3.9. Yüksek dayanımlı çeliklerde meneşleme sıcaklığına göre elde edilen çekme dayanımı [17]

Ne tür malzeme olursa olsun kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarını etkileyen bir çok parametre vardır. İç gerilmeler, boyut etkisi yüzey kalitesi ve yüzeyin mekanik özellikleri artık gerilmeler, korozyon, kaynak yöntemi, dikiş şekli başlıca sebeplerdir. Şekil 3.10'da kaynaklı bağlantıların süreli yorulma ve yorulma dayanımlarını göstermektedir.

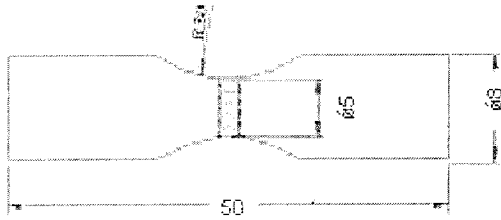


Şekil 3.10. Kaynaklı bağlantıların sürekli yorulma ve yorulma dayanımları [17]

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Kaynak Parametreleri ve Malzeme

Yorulma deneyinde kullanılan numuneler St 52-3 tipi çelikten yapılan kutu profilden 30x50x8 mm boyutlarında iki adet malzemenin V-kaynak ağzı açılarak alın alına MAG kaynağı yönteminde birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmede kullanılan kaynak yöntemleri ve kaynak parametreleri aşağıda belirtilmiştir. 1.2 mm. çaplı, SG 2 kodlu özlü kaynak teli kullanılmış koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanılmıştır. 12 m/dak. kaynak hızı, 120 A kaynak akım şiddeti kaynak parametreleri seçilmiştir. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılan kaynaklı birleştirmede hazırlanan numuneler ise 150 A kaynak akım şiddeti, 24 V kaynak gerilimi ve 3,25 tipi FOX-SÜMER rutil elektrot kullanılmıştır. MİG-MAG kaynak yönteminde ise; 1.0 mm. çaplı, SG 3 tipi gaz altı kaynak teli ile gaz karışımı %80 CO<sub>2</sub>+ %20 Ar gazı kullanılmış olup 12 m/dak. kaynak hızı, 180 A kaynak akım şiddeti ve 26 V kaynak gerilimi seçilmiştir. Kaynakla birleştirilen parçalardan numuneler çıkarılarak torna tezgahında aşağıda gösterilen şekil 4.1 de TSE de belirtilen ölçülere uygun yorulma numuneleri hazırlanmıştır:



Şekil 4.1. Yorulma deney numunesinin ölçüleri



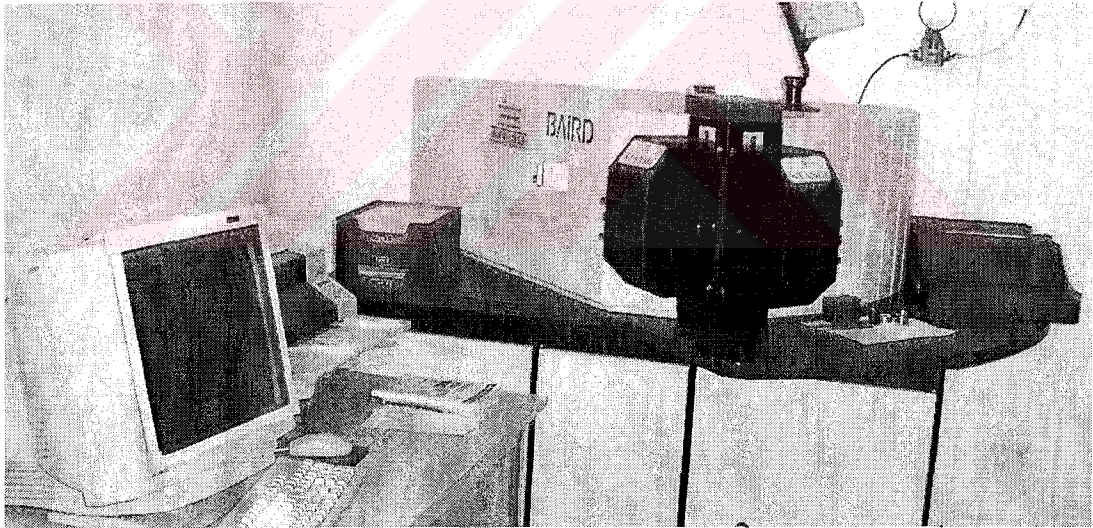
## 4.2. Spektrometrik Analiz

Boji gövdelerinden alınan numuneler kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi için spektrometrede analiz edilmişlerdir. Optik emisyon Baird marka 13 element ölçülen bu spektrometrede yapılan analizlerin sonucu aşağıda Tablo-4.1’de verilmiştir. Üç ölçümün matematiksel ortalama değerleri alınarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Boji gövde profil malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Numune	C, %	Cr, %	Si, %	Ni, %	Mn, %	Co, %	Mo, %	Al, %	Cu, %	Nb, %	V, %	P, %	S, %
BOJİ	0.254	0.264	0.123	0.066	0.653	0.011	0.042	0.029	0.169	0.008	0.003	0.018	0.006

Spektrometrik Baird marka ,16 element kapasiteli Analizler cihazının fotoğrafı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Spektrometre Cihazı

Kullanılan gaz altı kaynak teli ve kaynak elektrodunun kimyasal kompozisyonları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan gaz altı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu

Kaynak Teli	C, %	Si, %	Mn, %	Cu, %	P, %	S, %
SG 2	0.08	0.8	1.5	0.30	0.022	0.025
SG 3	0.09	1.0	1.7	0.30	0.023	0.025

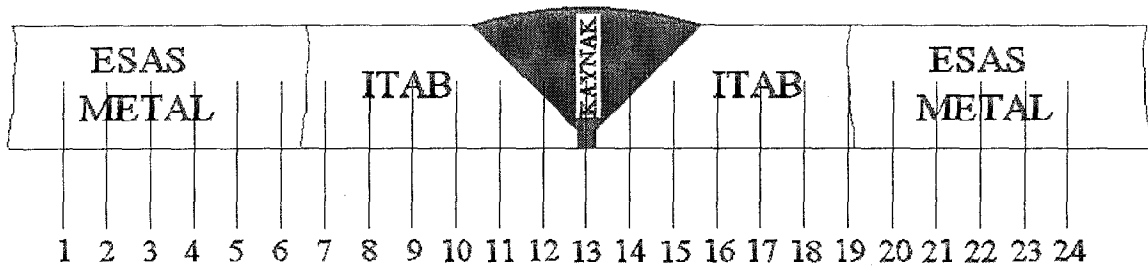
Tablo 4.3. Kullanılan kaynak elektrodunun kimyasal kompozisyonu

Kaynak Elektrotu	C, %	Si, %	Mn, %
FOX SÜMER	0.07	0.2	0.5

### 4.3. Sertlik

Sertlik değerlerinin belirlenmesi için Kaynak bölgesinden tel erozyonu kullanılarak çıkarılan numunelerin sertlikleri bu kaynak bölgesinin sağdan sola ve yukarıdan aşağıya doğru yönlerde Şekil 4.3'de grafik olarak şekli verilen numulardan 0.5 cm. aralıklarla mikro-sertlikleri alınmıştır. Sertlik ölçümlerinde TIME THV 501-E marka mikro-sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Aşağıdaki şekilde şematize edildiği üzere esas metalden başlayarak, sırasıyla Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB), kaynak bölgesi, tekrar ITAB bölgeleri ve esas metal bölgesi olmak üzere bir hat boyunca mikro-sertlik değerleri tüm numuneler için ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Numunelerin mikro-sertlik alınan noktalarının şematik gösterimi

#### 4.4. Yorulma Deneyi

Yorulma deneyleri DENISON 7615 tipi yüksek çevrimli deney cihazında 300, 400 ve 500 MPa'lık gerilmeler uygulanarak yapılmıştır. Bu cihaz üç tip yorulma deneyini gerçekleştirebilecek biçimde tasarlanmıştır. Bunlar;

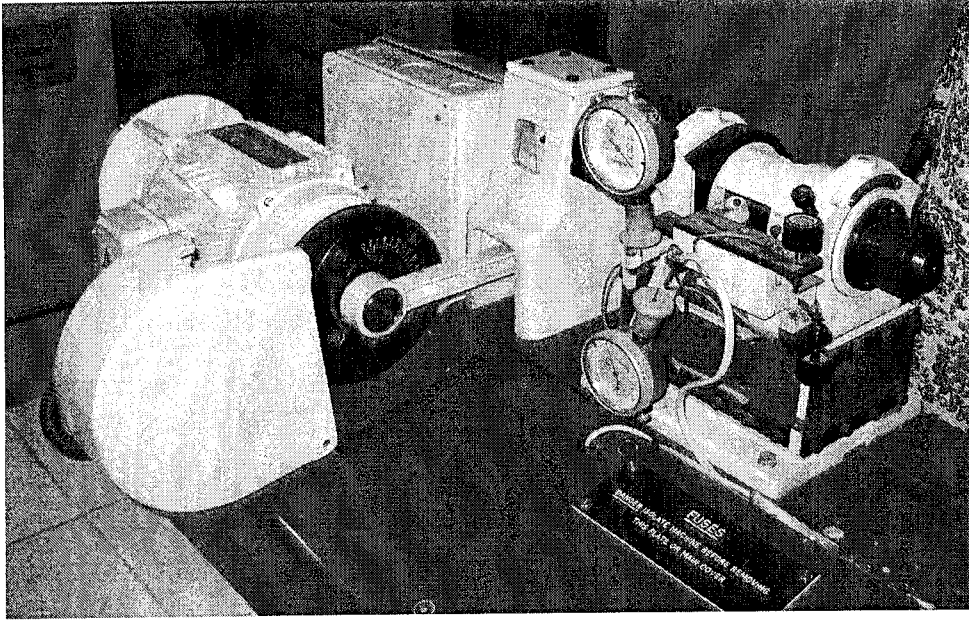
- 1) Burma
- 2) İleri geri eğme
- 3) Eğme ve burmadır.

Cihazın sahip olduğu üç adet dinamometre, istenilen momentin, dolayısıyla burma, eğme ve eğme+burma gerilmelerinin numune üzerine uygulanmasını sağlar. Bu dinamometrelerin kapasiteleri:

- 1) ~30 Nm
- 2) ~10 Nm
- 3) ~ 3 Nm olarak verilmiştir.

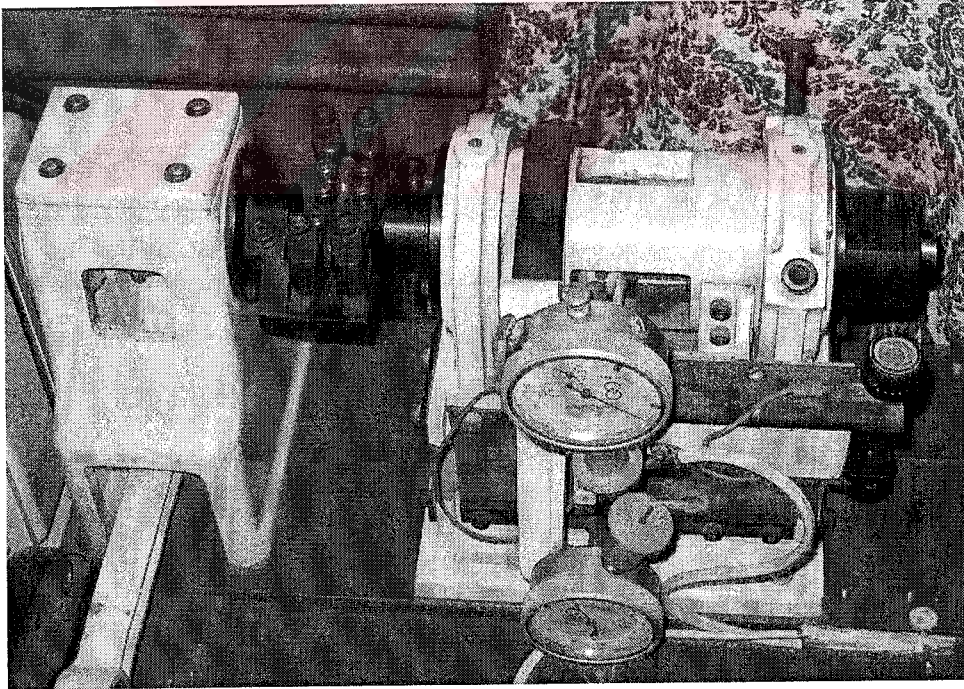
Bu çalışmada, ileri geri eğme modülünde ve ~10 Nm kapasiteli dinamometre kullanılarak yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.4 (a) ve 4.4 (b)'de yorulma deneylerinin yapıldığı deney cihazı görülmektedir.





a)

Şekil 4.4(a). Yorulma cihazının yandan görünüşü



b)

Şekil 4.4(b). Yorulma cihazının üstten görünüşü

## 4.5. Mikroyapı Çalışmaları

### 4.5.1. Optik mikroskop incelemelri

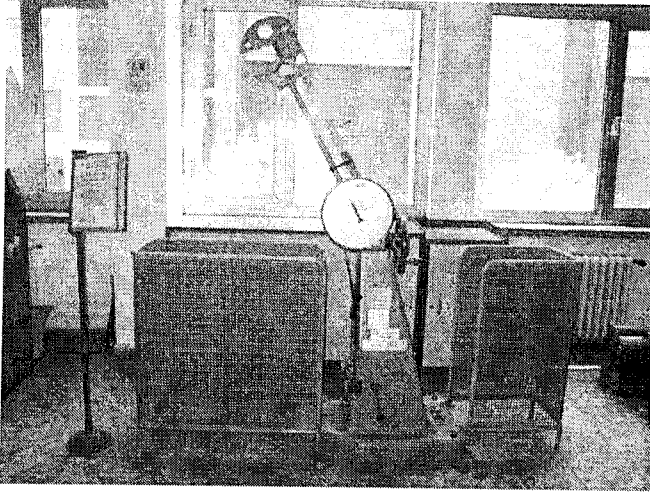
Bu çalışmada, orijinal boji gövdesinden alınan numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Aynı inceleme V- kaynak ağzı açılmış, alın kaynaklı bağlantılar için de yapılmıştır. Struers Prontopress 2 marka cihazda bakalite alınan numuneler sonra sırasıyla 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grit SiC zımpara ile zımparalandı daha sonra üzerinde  $Al_2O_3$  bulunan bez ile parlatılıp % 2'lik Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Mikroyapı incelemesinde Olympus PME 3 marka optik mikroskop kullanılmıştır.

### 4.5.2. Tarama elektron mikroskoku (SEM)

Kaynaklı bağlantıların yorulma deneylerinde, yorulma hasarı sonucu oluşan kırılmaların detaylı incelenmesi için Tarama Elektron Mikroskoku ile analizler yapılmıştır. Numunelerin JEOL JSM-5600 marka Tarama Elektron Mikroskopunda kırılma yüzeylerinin mikroyapı fotoğrafları çekilmiş, yüzeylerde rastlanan yabancı partiküllerin noktasal analizleri yapılmıştır.

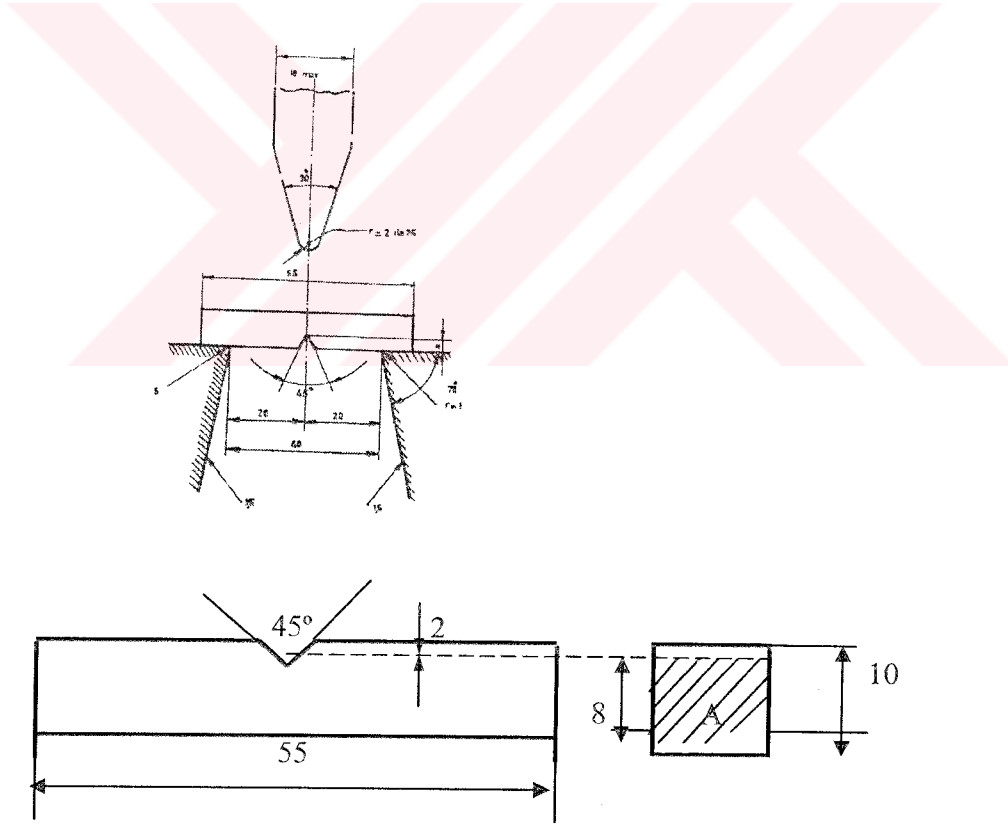
## 4.6. Çentik darbe deneyleri

Numunelerin dinamik bir zorlanma altında kırılması için gereken enerji miktarlarının bulunması için çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Charpy darbe deneyi, yatay ve basit giriş halinde iki mesnede yaslanan numunenin çentikli tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçe darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisiyle numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir. Deneyler KARL FRANK marka, 0-150 J kapasiteli çentik darbe cihazında yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.5(a)'da çentik darbe numunesinin cihaza yerleşim şekli ve Şekil 4.5(b)'de ise numunenin standart ölçülerde hazırlanmış şekli görülmektedir.



a)

Şekil 4.5(a). Çentik Darbe deney cihazı

Şekil 4.5(b). DIN 50120e göre ve ISO-V Çentikli deney numunesi.(Kırılma alanı  $A=0,8$   $cm^2$ )



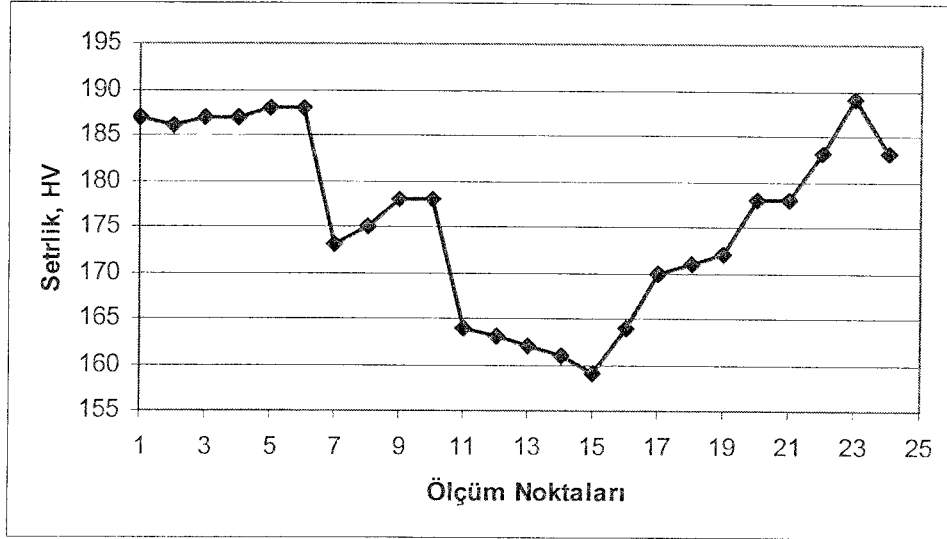
## **BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

### **5.1. Sertlik**

Şekil 4.3 belirtildiği gibi esas metalden başlayarak, sırasıyla Isının Tesiri Altında kalan Bölge (ITAB), kaynak bölgesi, tekrar ITAB bölgeleri ve esas metal bölgesi olmak üzere bir hat boyunca mikro-sertlik değerleri tüm numuneler için ölçülmüştür.

#### **5.1.1. Rutil elektrotla ark kaynağı yapılan numunelerin mikrosertlik değerleri**

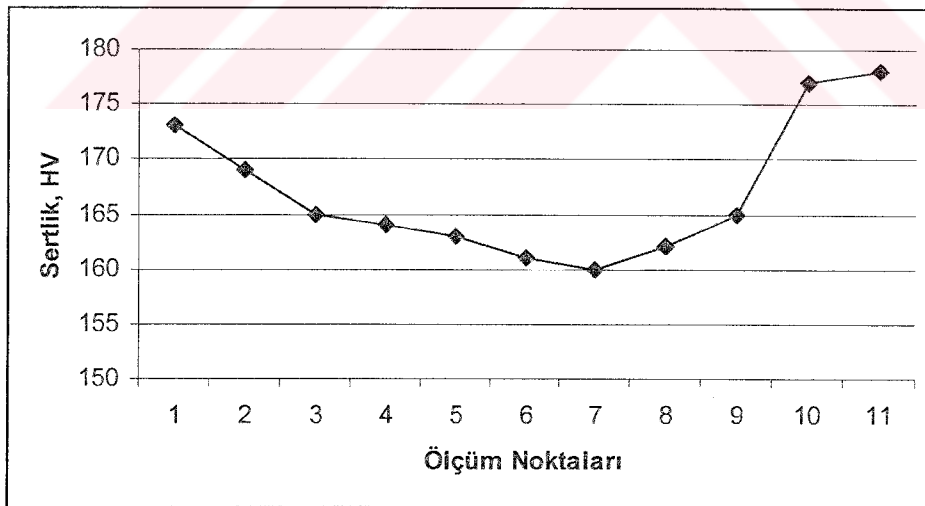
Rutil elektrot kullanılarak ark kaynağı yapılan numunelerin yukarıda belirtildiği şekilde ölçülen sertlik değerleri aşağıda Şekil 5.1(a)'da verilmiştir. Bu değerlere göre rutil elektrotla birleştirilen kaynaklı numunenin yatay doğrultuda esas metal, ITAB, kaynak bölgesi, ITAB ve esas metal bölgelerinden alınan sertlik değerlerine göre çıkarılan sertlik profilleri aşağıda Şekil 5.1(a)'da gösterilmiştir. Ölçümler Vickers ölçeğinde alınmıştır. Burada 1-6 arası esas metal bölgesi, 7-10 noktaları arası Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), 11-16 noktaları arası kaynak bölgesi, yine 17-21 noktaları arası ITAB ve 22-24 noktaları arası esas metal bölgesidir. ITAB birden fazla olabilmektedir. Bu çalışmada da birden farklı ITAB bölgesi tespit edilmiş olup bu ayrımlar Mikroyapı bölümünde, mikroyapı fotoğrafları üzerinde detaylıca irdelenecektir.



a)

Şekil 5.1(a). Rutil elektrotla ark kaynağı yapılmış numunede bölgelere göre sertlik değişimi

Bu değerlerin haricinde numunelerin kaynak bölgelerinden dikey doğrultuda, Şekil 4.3'de belirtildiği gibi mikrosertlik değerleri alınmıştır. Gösterilen 11 nokta da kaynak bölgesinin içindedir. Bu sonuçlar kullanılarak kaynak bölgesinin sertlik profili çıkarılmış ve aşağıda Şekil 5.1(b)'de gösterilmiştir.



b)

Şekil 5.1(b). Rutil elektrotla ark kaynağı yapılmış numunenin kaynak bölgesinde kaynak eksenine boyunca sertliğin değişimi

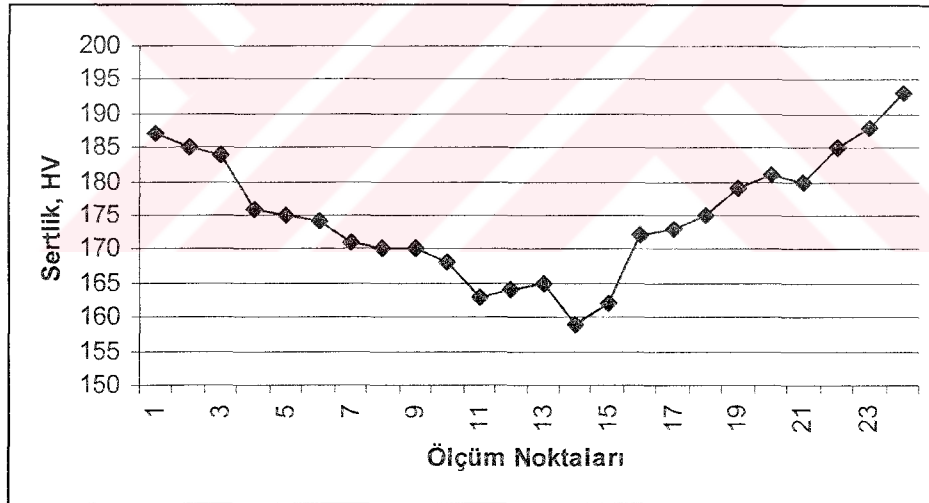


### 5.1.2. Gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin mikrosertlik değerleri

Boji gövdelerinin gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilerek hazırlanan numunelerin mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.

Gazaltı kaynak yöntemiyle elde edilen numunelerin, bu değerlere göre yatay doğrultuda esas metal, ITAB, kaynak bölgesi, ITAB ve esas metal bölgelerinden alınan sertlik değerlerine göre çıkarılan sertlik profilleri aşağıda Şekil 5.2(a)'da gösterilmiştir.

Ölçümler Vickers ölçeğinde alınmıştır. Burada 1-3 noktaları arası esas metal bölgesi, 4-10 noktaları arası ITAB, 11-15 noktaları arası kaynak bölgesi, yine 16-21 noktaları arası ITAB ve 22-24 noktaları arası esas metal bölgesidir. ITAB birden fazla olabilmektedir. Bu çalışmada da birden farklı ITAB bölgesi tespit edilmiş olup bu ayrımlar Mikroyapı bölümünde detaylıca irdelenecektir.

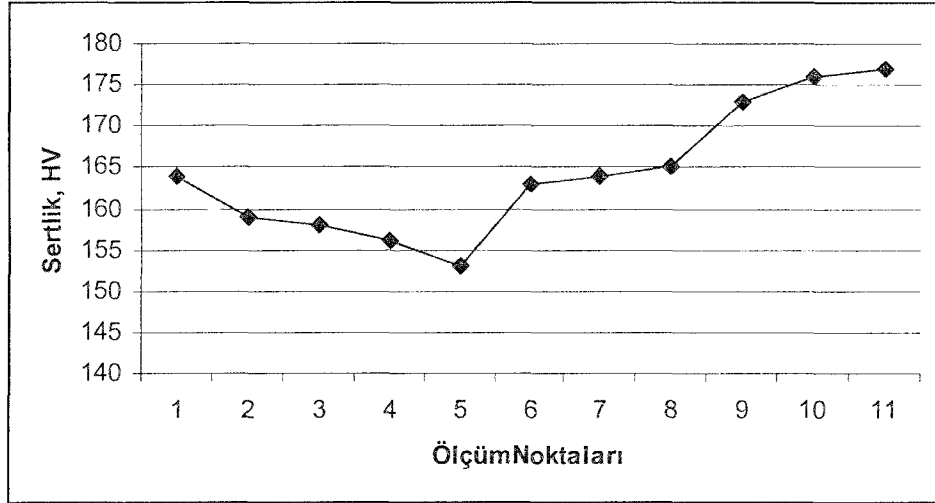


a)

Şekil 5.2(a). Gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen numunede bölgelere göre sertlik değişimi

Bu değerlerin haricinde numunelerin kaynak bölgelerinden dikey doğrultuda mikrosertlik değerleri alınmıştır. Gösterilen 11 nokta da kaynak bölgesinin içindedir.

Bu sonuçlar kullanılarak kaynak bölgesinin sertlik profili çıkarılmış ve aşağıda Şekil 5.2(b)'de gösterilmiştir.

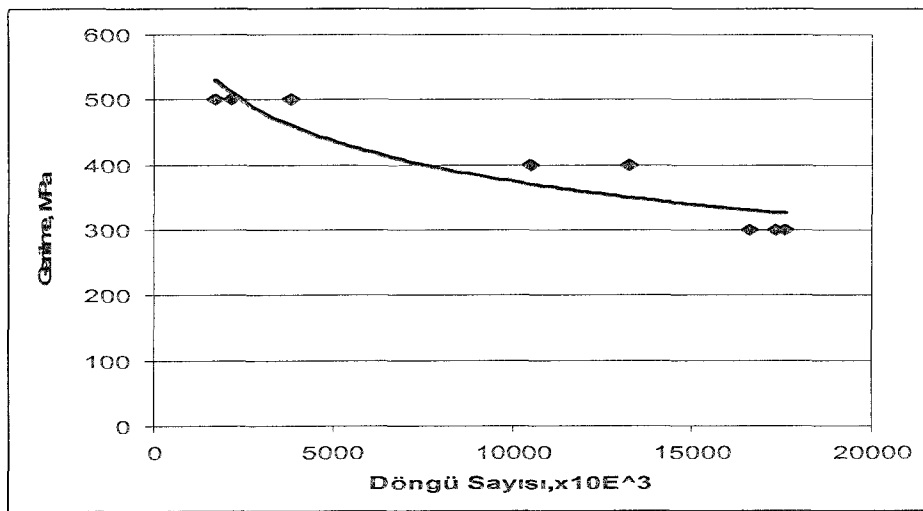


b)

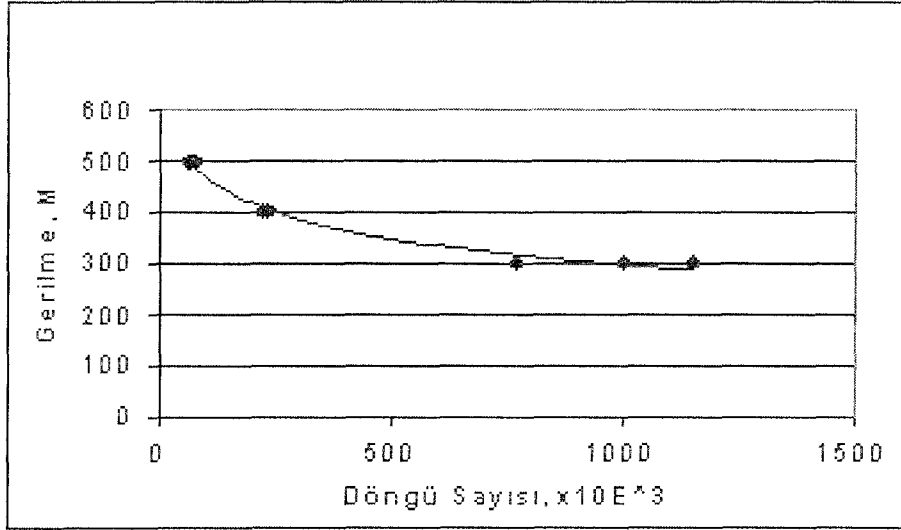
Şekil 5.2(b) . Kaynak bölgesinde kaynak boyunca sertliğin değişimi

## 5.2. Yorulma Sonuçları

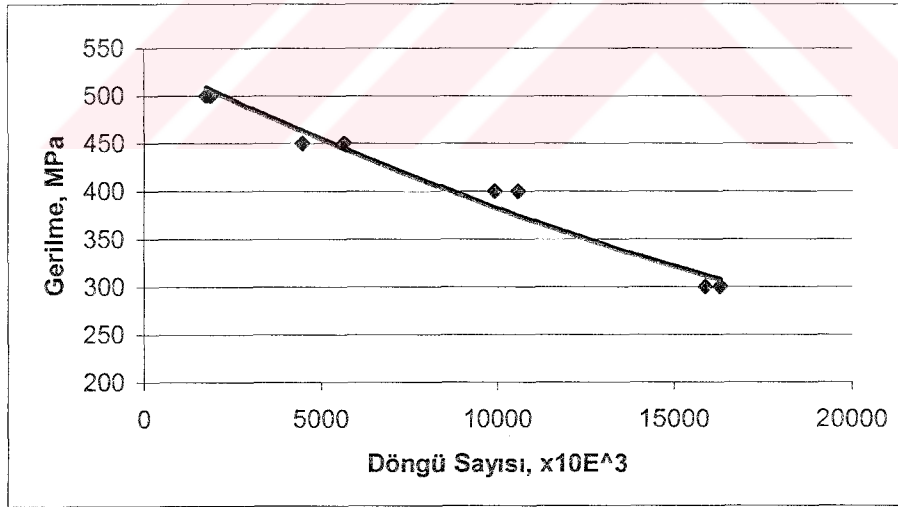
Boji gövdelerinden çıkarılan ve standart ölçülere göre hazırlanan yorulma numuneleri ile 300, 400 ve 500 MPa'lık gerilme aralıklarında yorulma deneyleri yapılmış olup sonuçlar ve bu sonuçlar kullanılarak elde edilen Wöhler (S-N) Eğrileri aşağıda Şekil 5.3, Şekil 5.4 Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



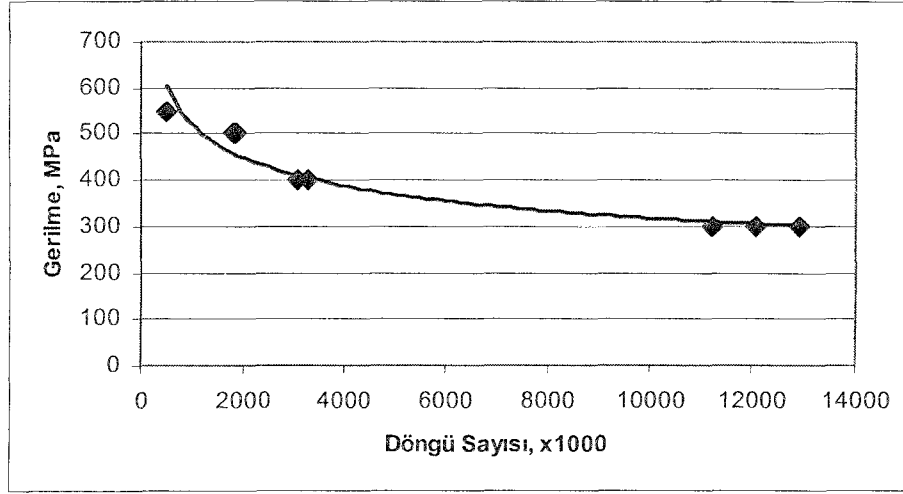
Şekil 5.3. Kaynaksız Orijinal numunenin S-N Eğrisi



Şekil 5.4. CO<sub>2</sub> gazla kaynak yapılan numunelerin S-N Eğrisi



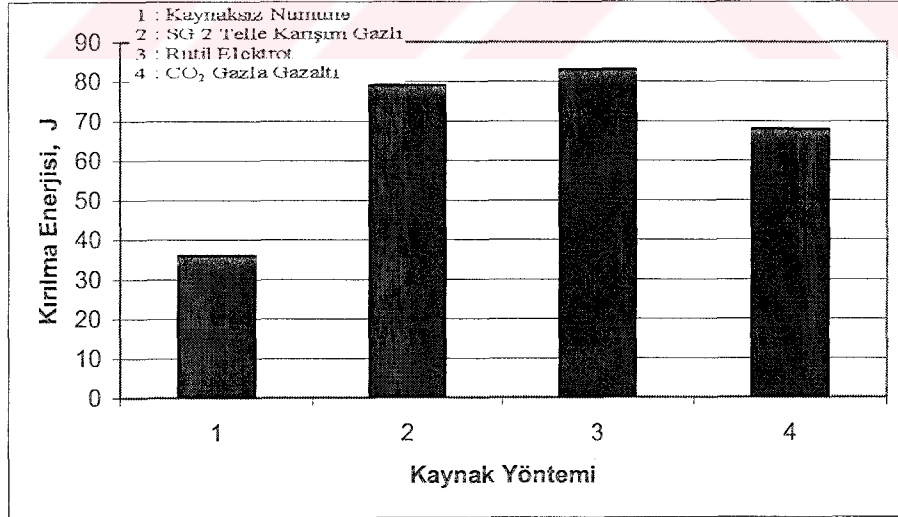
Şekil 5.5. Rutil elektrotlu yorulma sonucu



Şekil 5.6. Karışım gazla kaynak yapılan numunelerin S-N Eğrisi

### 5.3 Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Boji gövdelerinden Şekil 4.5(b)'de belirtildiği gibi hazırlanan numunelerle Charpy Çentik Darbe deneyleri yapılmıştır. Kırılma Enerjileri, Joule olarak her bir numune için ölçülmüş, sonuçlar aşağıda Şekil 5.7'de verilmiştir.



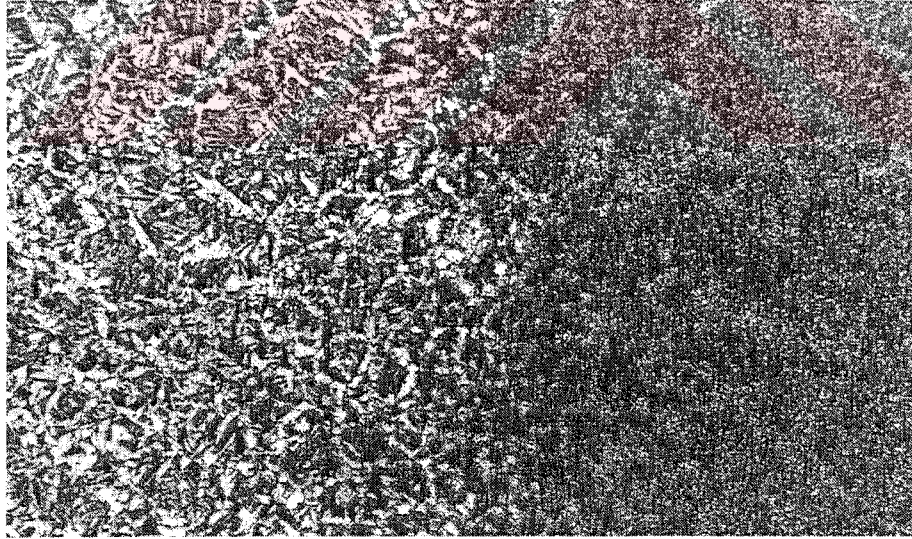
Şekil 5.7. Charpy çentik darbe deneyi sonuçları.

## 5.4. Mikroyapı İncelemesi

### 5.4.1. Optik mikroskop

Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de kaynak bölgesinden alınan fotoğraflar gösterilmiştir. Fotoğraflardan anlaşıldığına göre tipik bir ITAB bölgesi görünmektedir. Bu durum önceki çalışmalarla uyumludur[16].

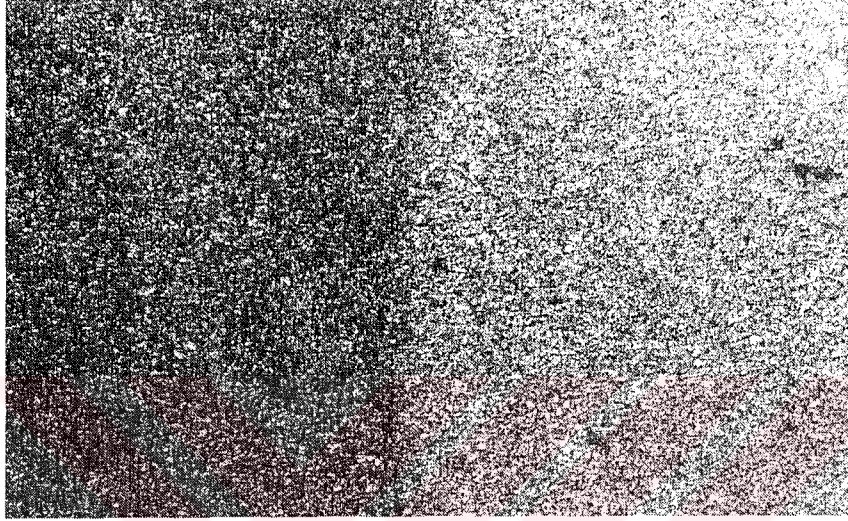
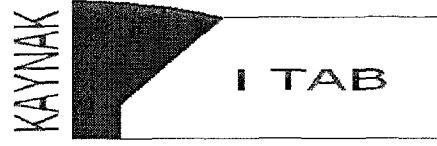
Hızlı soğumadan dolayı kaynak metali şekillerden de görüldüğü gibi ince taneli yapıya sahip olmaktadır. Bu durum kaynak metalinden esas metale doğru gidildikçe taneler irileşmekte ve yapı dentritik görünümde widmanstaetten yapı şeklindedir. Bu durumda litaretürle uyumluluk içindedir[16]. Kaynak bölgesinde meydana gelen tane yapı farklılıkları malzemenin mekanik özelliklerini etkilemekte meydana gelen gerilmeler sonucunda kaynak edilen boji malzemesinin yorulma dayanımını özellikle azaltmaktadır.



Şekil 5.8. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgeler(ITAB)

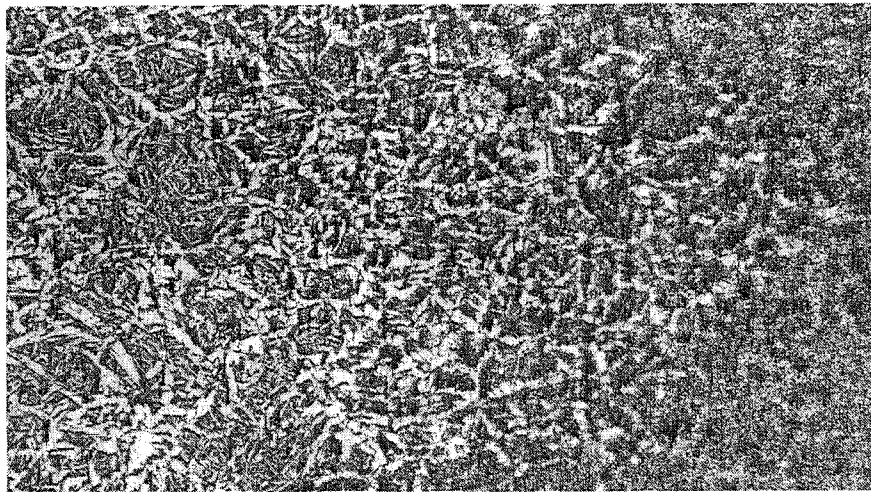
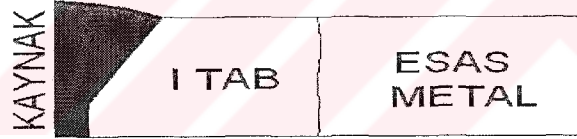
X 500





Şekil 5.9. Kaynaklı bölge-ITAB arası geçiş.

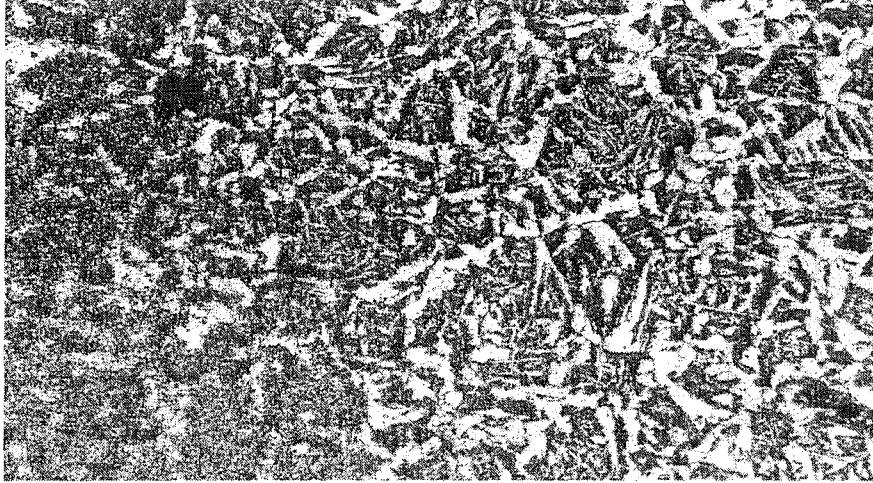
X 100



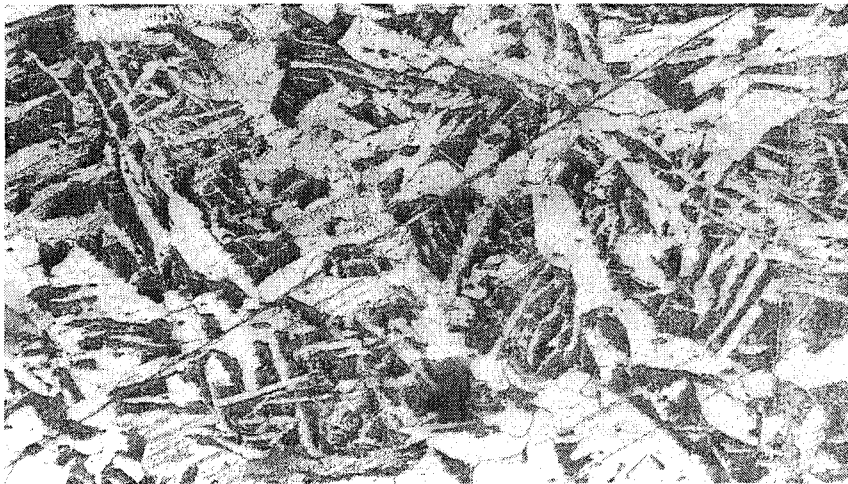
Şekil 5.10. Esas metal-ITAB arası geçiş bölgesi

X1000



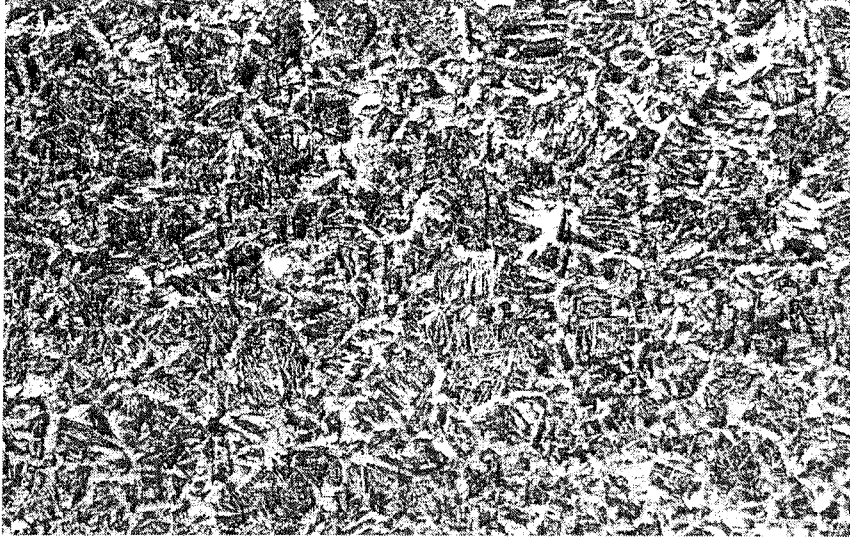


Şekil 5.11. Kaynağın soğuması sırasında oluşan dendritik widmanstaetten yapı X 50



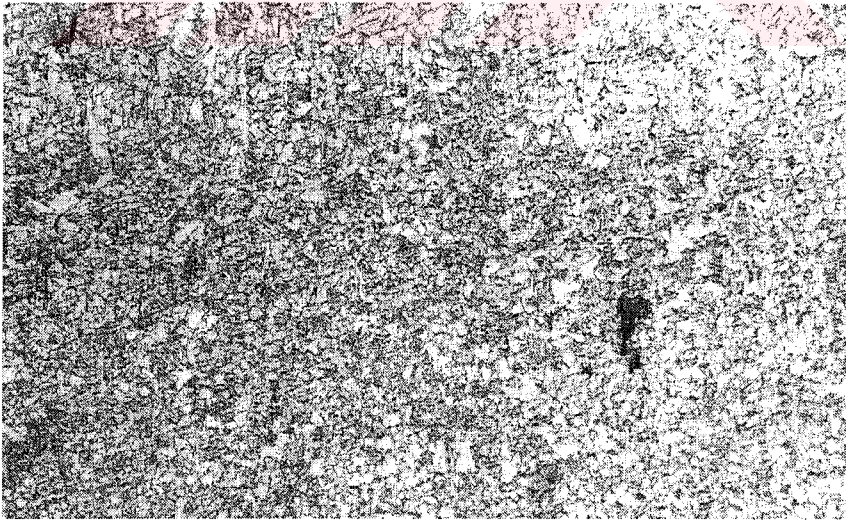
Şekil 5.12. Esas metale yakın olan ITAB içindeki dendritik widmastaetten yapı

X 200



Şekil 5.13. Esas metalin matriks yapısı

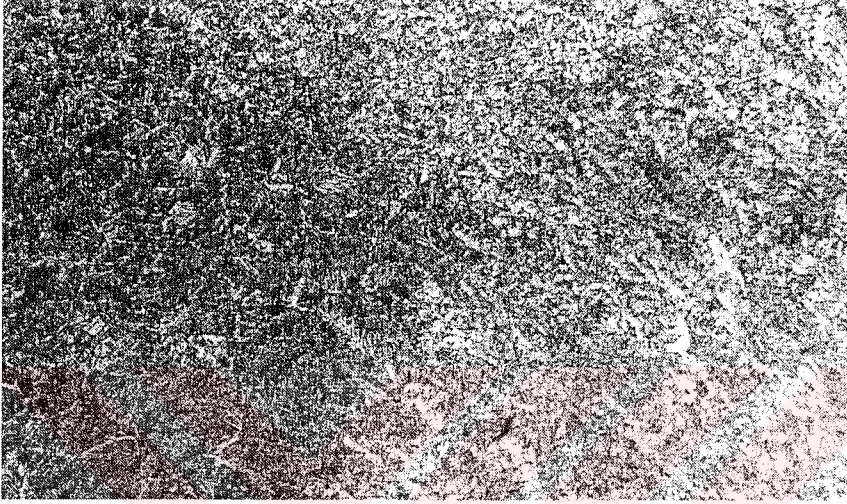
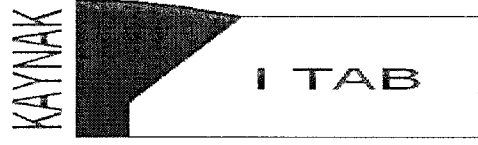
X 50



Şekil 5.14. Kaynaklı bölgenin merkezi

X 50



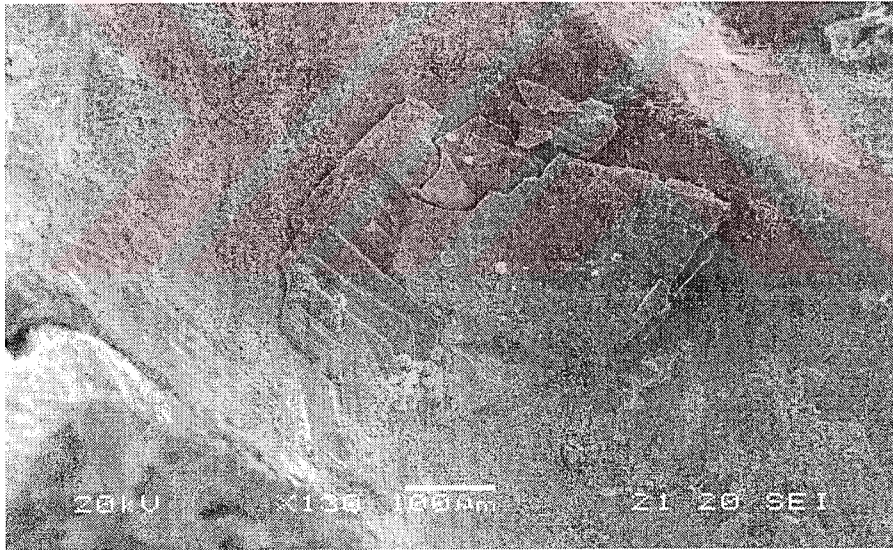


Şekil 5.15. Soldaki ITAB'tan kaynağa doğru geçiş. Kaynak bölgesi ve kaynak ağız formu sağ tarafta görülmektedir. X 50

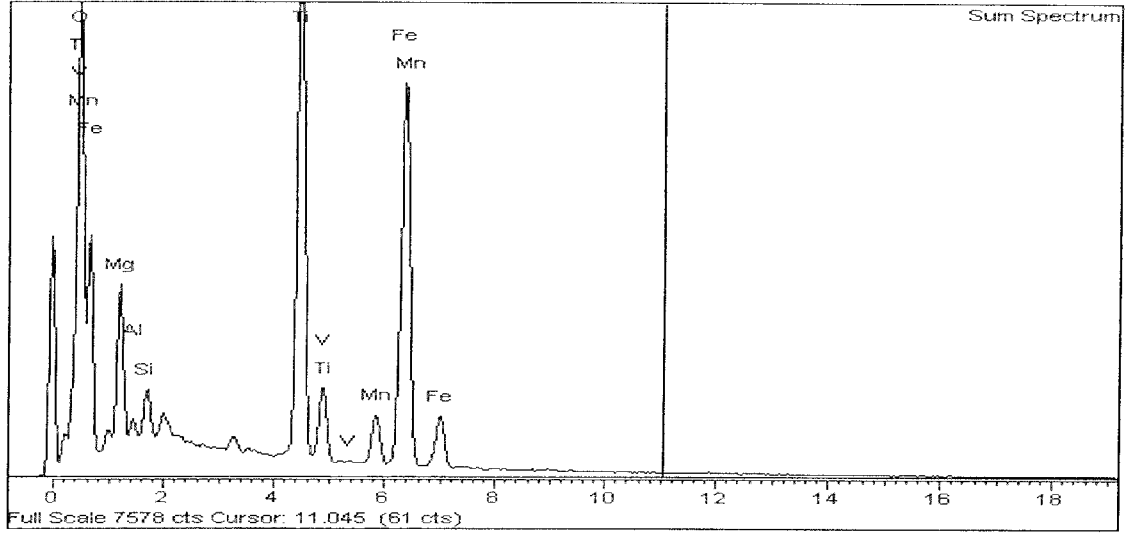
#### 5.4.2.Tarama elektron mikroskobu (SEM)

Kaynak edilen boji malzemelerinde ortaya çıkan yorulma dayanımlarının açıklanmasını kolaylaştırmak için tarama elektron mikroskobu çalışmaları yapılmış ve Şekil 5.16'da CO<sub>2</sub> gazı kullanılarak kaynak yapılan boji malzemesinden çıkarılan numunede yorulma sonucu oluşan kırk yüzeyin mikroyapı fotoğrafı verilmiştir.Bu mikroyapıda yapılan EDS incelemesinde burada oluşan partikülün Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğunu ispatlamaktadır(Şekil 5.17). Şekil 5.18'de kaynaklı boji malzemesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde oluşan çatlaklar görülmektedir.Bu görüntü 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde tarı gevrek davranış göstermektedir. Şekil 5.19(a) ve (b)'de kaynaksız orijinal boji malzemesinin 400MPa'da yapılan yorulma deneyini göstermektedir.Yorulma deneyindeki yorulma kırılmasının görüntüsü verilmektedir.Bu fotoğraflarda daha sünek bir yapı görülmektedir. Şekil 5.21(a) ve(b)'de farklı tarama elektron mikroskobunda

yorulma deneyi sonucu oluşan kırık yüzeyin görüntüsü verilmektedir. Kaynaksız orijinal boji malzemesinin 500MPa'da yapılan yorulma deneyinde daha sünek bir yapı göstermektedir. Şekil 5.22(a) ve (b)'de farklı metodlarla çekilen kaynaklı bji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırık yüzeyindeki görüntüleri verilmektedir. Bu görüntülerden anlaşıldığı gibi geçiş çizgileri görülmektedir. Şekil 5.22(b)'de yapılan malzemenin daha sünek bir yapı görülmektedir. Şekil 5.23'de kaynaklı boji malzemesinin yorulma deneyi sonucu kırık yüzeyden alınan görüntüsünden anlaşıldığı gibi daha yüksek yüklerle yapılan deneylerde daha gevrek bir yapı göstermektedir. Şekil 5.24'de belirtilen MIG,MAG yöntemiyle yapılan kaynaklı numunenin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde oluşan çatlaklar görülmektedir. Bu çatlaklar dinamik zorlanmalar altında yapılan yorulma deneyinde daha düşük yorulma dayanımları göstermektedir. Bu durumda malzeme herhangi bir deformasyona uğramadan çatlak oluşarak kırılmaktadır.



Şekil 5.16. CO<sub>2</sub> gazla kaynak yapılmış boji gövdesinden çıkarılan numunede yorulma sonucu oluşan kırık yüzeyinin SEM görüntüsü.



Şekil 5.17. Yukarıdaki SEM fotoğrafında görülen demir oksit'in yorulma hasarı sonrası EDS görüntüsü.

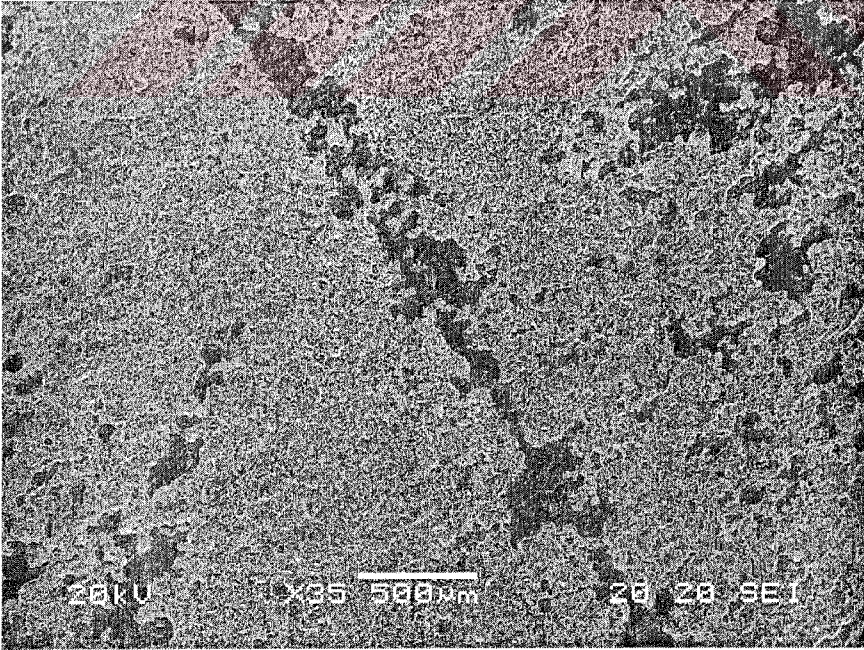
Tablo 5.1. Şekil,5.17'deki demir oksit partikülünün kimyasal içeriği

Element	App Conc.	Intensity Corrn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
O K	275.75	0.6446	47.40	0.43	72.25
Mg K	20.30	0.4701	4.78	0.08	4.80
Al K	2.42	0.5607	0.48	0.04	0.43
Si K	7.05	0.6863	1.14	0.04	0.99
V K	1.26	0.9158	0.15	0.06	0.07
Mn K	20.73	0.8390	2.74	0.08	1.22
Fe K	345..31	1.7748	43.31	0.43	20.24
Totals			100.00		





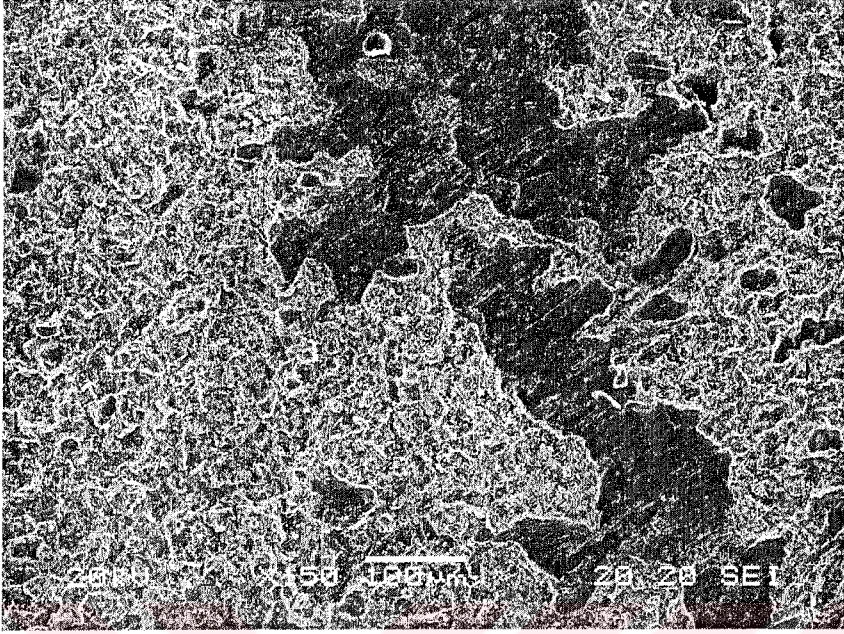
Şekil 5.18. Kaynaklı boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde oluşan kırık görüntüsü.



a)

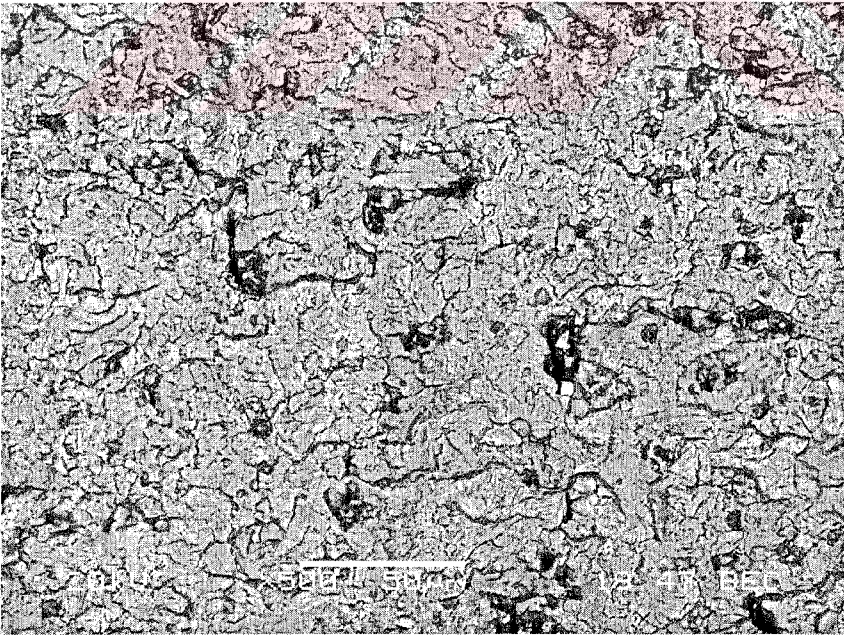
Şekil 5.19(a). Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde çentik etkisi sonucu meydana gelen kırılmanın görünümü.





b)

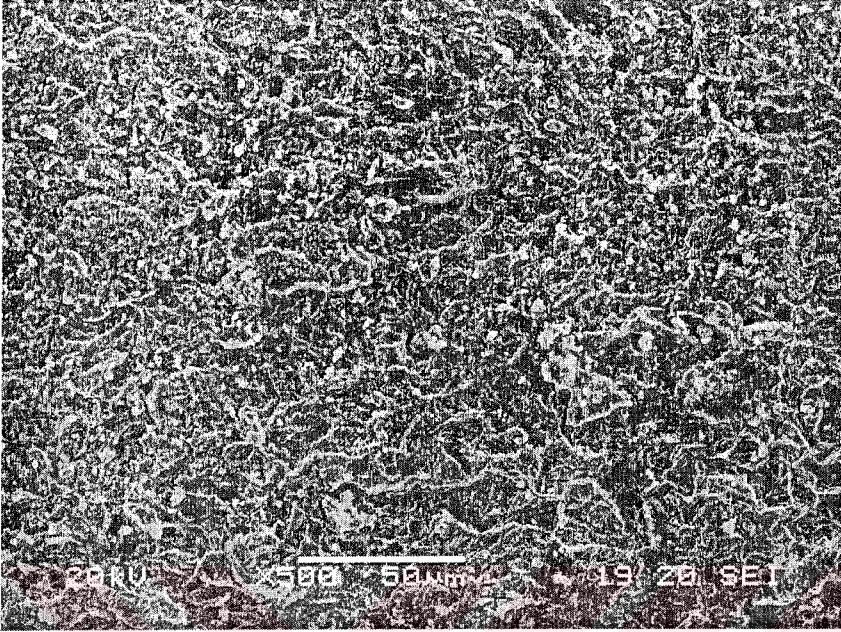
Şekil 5.19(b). Yukarıdaki kırığın büyütülmüş hali.



a)

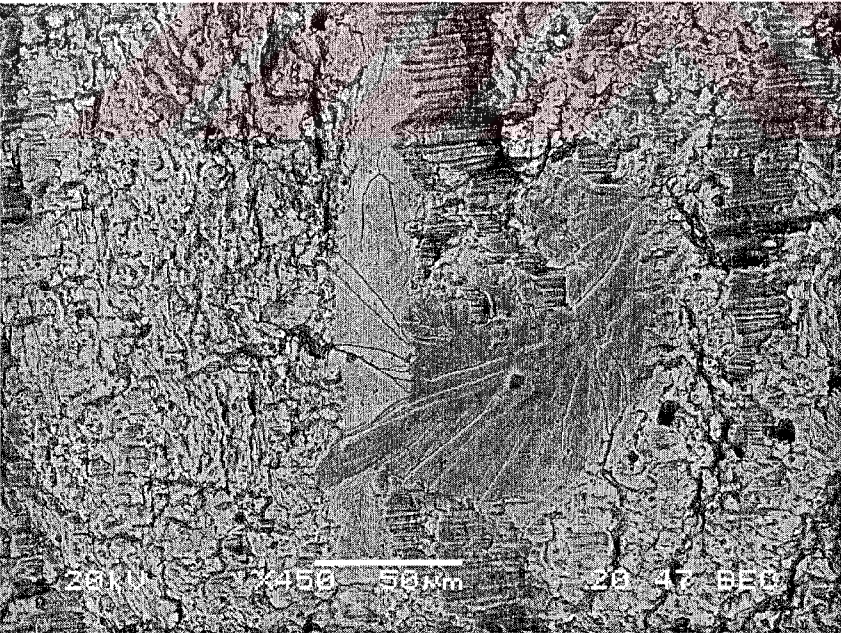
Şekil 5.20(a). Kaynaklı numunenin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyin genel görüntüsü.





b)

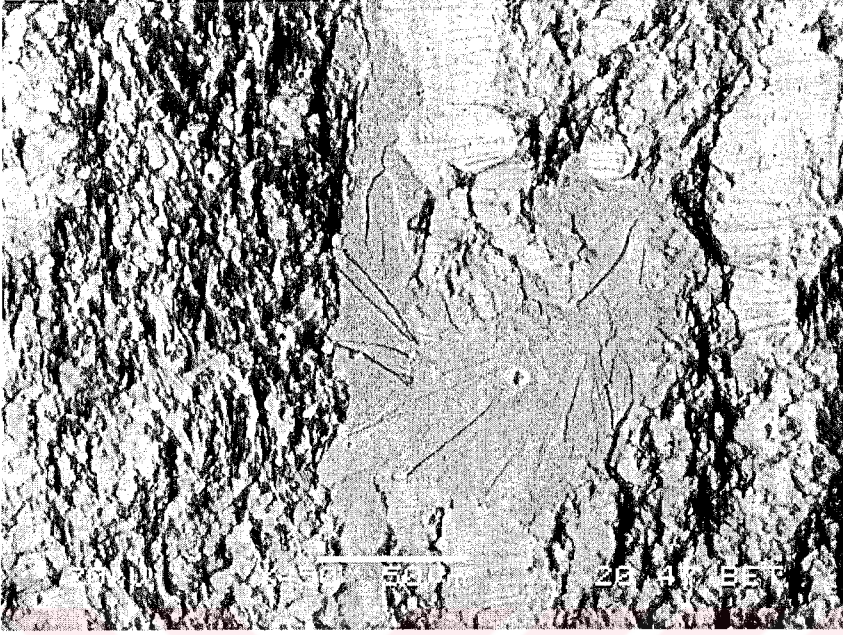
Şekil 5.20(b). Kaynaklı numunenin 400 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyin genel görüntüsü.



a)

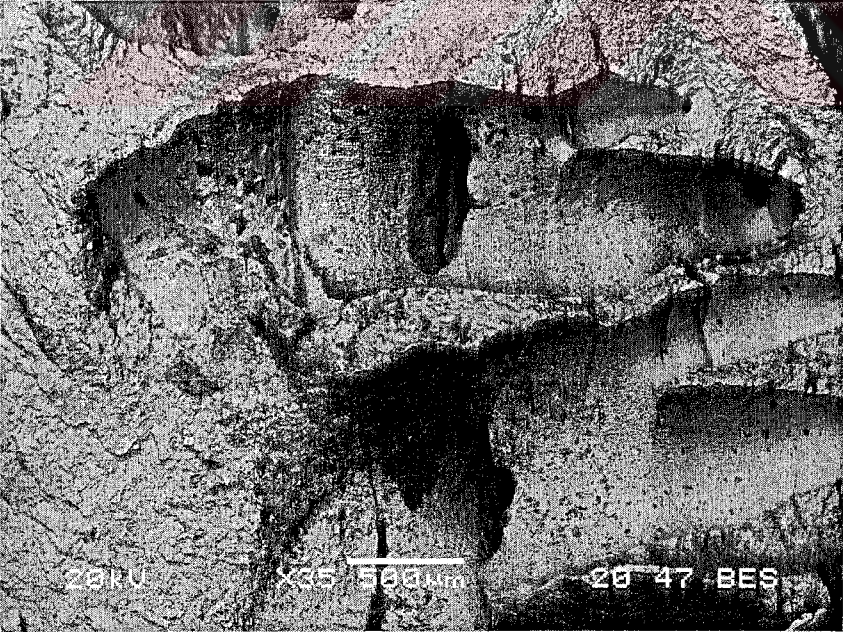
Şekil 5.21(a). Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle görüntüsü. Sağdaki farklı bölge Fe-Mn bileşiği.





b)

Şekil 5.21(b). Kaynaksız, orjinal boji malzemesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde kırık yüzeyinin görüntüsü.



a)

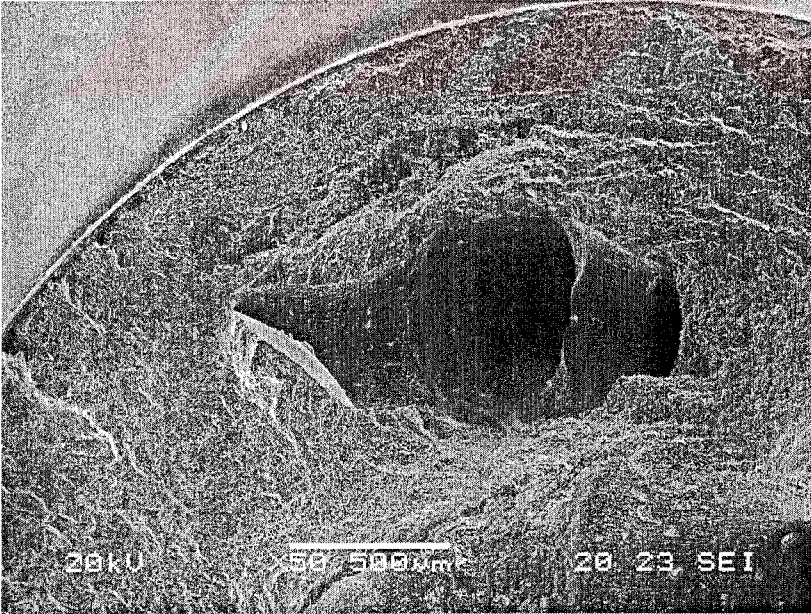
Şekil 5.22(a). CO<sub>2</sub> gazla kaynaklı farklı bir boji numunesinin 500 MPa'da yapılan yorulma deneyinde sünek kırılmaya uğramış numunenin kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle elde edilen SEM görüntüleri.



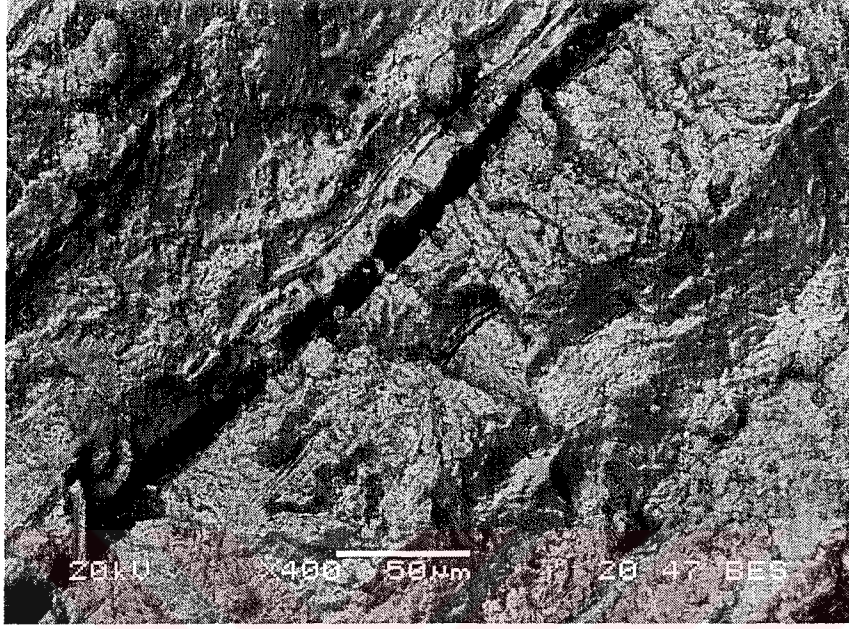


b)

Şekil 5.22(b). Kaynaklı farklı bir boji numunesinin 500 MPa’da yapılan yorulma deneyinde sünek kırılmaya uğramış numunenin kırık yüzeyinin değişik tarama biçimleriyle elde edilen SEM görüntüleri.



Şekil 5.23. Kaynaklı bir boji numunesinin 500 MPa’da yapılan yorulma deneyinde kırılmış yüzeyinden alınan SEM görüntüleri.



Şekil 5.24. MIG yöntemi ile kaynaklı numunenin 500 MPa'da yorulma deneyinde oluşan hasarın görüntüsü.



## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile T.C. Devlet Demiryolları'nın vagon aksamalarında kullanılan boji olarak adlandırılan yürüyüş takımlarının kullanım sırasında zamanla meydana gelen hasarlarını önceden görebilmek ve bojilerin kullanım sürelerini önceden belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Schlieren tipte bojilerin şase kısımları incelenmiştir.

Hazırlanan numunelerden esas metal-ITAB-kaynak bölgesi-ITAB-esas metal biçiminde bir sıra boyunca sertlik değerleri alınmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemi rutil elektrotla ark kaynağı ve bir gazaltı kaynak yöntemi olan MAG kaynağı biçiminde iki farklı metotla gerçekleştirilmiştir. Rutil elektrotla yapılan kaynakta esas metalde 186-187 HV sertlikle başlanırken kaynağa doğru ilerledikçe 173-174 HV sertlik değerli bölgeye gelinmiştir. Daha sonra mikroyapı ve tane boyut farklılığı da tespit edilen bu bölgeler farklı ITAB bölgeleri olarak adlandırılabilir. Daha sonra kaynaklı bölgenin içinden ölçüm alınmış, burada 164 HV değerleri ölçülmüştür. Kaynaktan çıktığımızda yine 170-178 HV aralığında değişen ITAB bölgelerine rastlanılmış ve en son yine 183-189 HV değerleriyle sertlik taraması bitirilmiştir. Aynı numunenin sırf kaynak bölgesi yukarıdan aşağıya da taranmıştır. Burada da 173-169 HV değerleriyle düşey doğrultuda sertlik düşüşü görülmüş, tam kaynağın merkezinde 161 HV'lik değerle en düşük sertlik değerine erişilmiştir.

MAG kaynaklı numunede de aynı güzergahlarda sertlik taramaları yapılmıştır. 187-185 HV değerlerini takiben ITAB diye adlandırdığımız iki farklı bölgede sertlikler 171-174 HV değerlerine düşmüş kaynak bölgesinde bu değer 162-163 HV'ye inmiştir. Düşey doğrultuda kaynak bölgesinde yapılan taramada ise 164 HV'ler mertebesinde sertlik değerleri ölçülmüş, kaynağın tam merkezinde ise 159 HV ile en düşük değer okunmuştur.

Yorulma sonucu oluşan hasarlar malzemeleri kullanılamaz hale getirmektedir. Bojilerin yorulma hasarından dolayı kırılması veya kullanılamaz hale gelmesi birincil olarak insan can güvenliğini tehdit etmektedir. Yolcu taşıyan vagonlar bu bojilerin üzerine oturtulmaktadır. Yolculuk sırasında yorulma sonucu ani olarak karşılaşılabilecek kopma ve kırılmalar direkt kazalara yol açabilir. İkincil olarak hasarlı bojilerin yenileriyle değiştirilmesi hem zaman hem işgücü hem de para kaybıdır. Bunların sık periyotlarda olması zararları da arttıracaktır.

Boji gövdelerinden çıkarılan St 52-3 malzemeler CO<sub>2</sub> gazı ve karışım gaz (%80 CO<sub>2</sub> ve %20 Ar ) ile SG 2 özlü tel kullanılarak gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu yolla elde edilen numunelerin optik mikroskopta ve tarama elektron mikroskobunda (SEM) mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Şekil 5.8'de karışım gazla kaynak yapılan numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü görülmektedir, sağdaki ince taneli koyu renkli bölge kaynak bölgesidir. Sola doğru gidildikçe farklı bir bölgeye geçilmektedir, bu durum tane boyutunun artmasından anlaşılmaktadır. Kaynak işlemi sırasında yüksek ısı girdisinden dolayı içyapıda genleşmeler olmakta ve ITAB olarak adlandırılan nispeten iri taneli bir bölge ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.9'de kaynak bölgesiyle ITAB arası bir geçiş bölgesi görülmektedir. Esas metalin mikroyapısı kaynak işleminden önceki yapısını korumakta olup ferritik-perlitik bir yapı gözlenmiştir. Kaynak edilen birleşme bölgesi esas metale uzak olduğundan ısı bu kısımlara kadar ilerleyememiş, yapıda tane değişimi gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde hızlı soğuma nedeniyle dendritik yapı meydana gelmiştir. Bu yapının 50 ve 200 büyütmelerdeki mikroyapı görüntüleri Şekil 5.11 ve 5.12'te görülmektedir. Şekil 5.15'de V kaynak ağzı açılmış bir numuneye kaynak yapılmış olduğu görülmektedir. Burada ITAB'dan kaynak bölgesine doğru bir geçiş söz konusudur. Şekillerin üzerine numunenin hangi bölgesinden alındığına dair bir şema konulmuştur.

Tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntülerine bakıldığında Şekil 5.16'da CO<sub>2</sub> ile kaynak yapılmış boji gövdesinden alınmış yorulma numunesinin orta kısmında Demir oksit parçacığına rastlanmıştır. Demir oksit malzemenin mikroyapısında sürekliliği bozduğundan dolayı yorulma kırılmasını hızlandırmaktadır. Yapılan EDS analizi de bu



durumu ispatlamaktadır. Şekil 5.18’de boji numunesinin 500 MPa’da yapılan yorulma deneyinde yüzeyde derin ve geniş bir yive rastlanmıştır. Yorulma kırığı buradan başlamış ve ani olarak ilerlemiştir. Yüzeyinde boylu boyunca göze çarpan bir yarık bu numunenin tahmin edilenden çok daha önce yorulma hasarına maruz kalarak yorulma dayanımı azalttığı görülmüştür. Boji malzemesi genelde gevrek davranış göstermektedir. Şekil 5.21(a)-(b)’de yorulma kırığı yüzeyinin tam ortasından akarak plastik deformasyona uğramış bölge görülmektedir ve kırılma buradan başlamıştır. Sol kısım herhangi bir şekilde ısıdan etkilenmemiş bölgesidir. Görüntünün en sağında ise bozulmuş bölge vardır. Yorulma ile yüzeyde oluşan bu yırtılma görüntüleri değişik tarama yöntemleri ile görüntülenmiştir. Değişik etkenler hasarın oluşmasına önemli rol oynamaktadır. Tamir edilen bojilerin çalışma sırasında meydana gelen titreşim yorulmanın temel sebebidir.

Boji gövdelerinden çıkarılan ve standart ölçülere göre hazırlanan yorulma numuneleri ile 300, 400 ve 500 MPa gerilme aralıklarında deneyleri yapılmış olup elde edilen veriler ışığında Wöhler (S-N) eğrileri çizilmiş, yorulma dayanım sınırı tesbit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre hiç kaynak işlemi uygulanmamış orijinal numune 300 MPa’da 16 milyonlar mertebesinde döngü sayısına eriştiği halde kırılmamıştır. Literatürde sonsuz döngüden bahsedebilmek için minimum 15 milyon döngü yapılması gerektiği bildirilmektedir[17]. Bu nedenle kaynaksız numune için yorulma dayanım sınırı 300 MPa olarak bulunmuştur. CO<sub>2</sub> ile kaynak yapılmış numunelerin Wöhler (S-N) eğrileri de benzer şekilde çizilmeye çalışılmıştır. Fakat bu numuneler çok erken yorulma hasarına uğradıkları bunlara ait bir yorulma dayanım sınırı tespit edilememiştir. 300 MPa’da 1 milyonlar mertebesinde kırılmalar meydana gelmiştir. Rutil elektrotla kaynak edilmiş numune daha uygun sonuç vermiştir. 300 MPa’da 15 milyon döngü sayısını geçtikten sonra kırılmayla sonuçlanan yorulma hasarı gözlenmiştir. Yorulma dayanım sınırı 300 MPa’dır denilebilir. En iyi sonuçlarda bu rutil elektrodla ark kaynağı yapılmış numunelerde elde edilmiştir. Karışım gazla kaynak yapılmış numuneler ise 300 MPa değerinde 15 milyon döngü sayısına erişmeden kırılmışlardır. Bu yüzden yorulma dayanım sınırı söylenemez. 300 MPa’ın altında birkaç gerilme değerinde de deneyler tekrarlandığında ise kesin bir yorulma dayanım sınırı değeri verilebilecektir.

Bütün yorulma deneyleri için standart deney sayısı literatürde 8-16 arasında verilir.

Kaynaksız numunenin, karışım gazlı numunenin, rutil elektrotla ark kaynağı yapılmış numunenin ve CO<sub>2</sub> ile gaz altı kaynağı yapılmış numunenin Charpy çentik darbe deneyleri yapılarak kırılma enerjileri tesbit edilmiştir. 83 J değeri ile rutil elektrotla ark kaynağı yapılan numune kırılma tokluğu en iyi olan numunedir. Kaynaksız orijinal boji gövde malzemesi ise 36 J değeri ile kırılma tokluğu en düşük olan numunedir. Bunun nedeni kaynak işleminin yapıda bir tavlama etkisi oluşturmasıdır. Bu kısa süredeki ısı girdisi yapıyı sünekleştirmektedir. Aksine orijinal numune genelde gevrek davranış göstermekte ve bojilerin tavlama ısıl işlemi boji malzemesini daha sünek hale getirmekte ve kırılma enerji değerini yükseltmektedir. Dolayısıyla günümüzde kullanılan bojilerin vagonlarda yürüme elemanı olarak kullanılmadan önce uygun bir ısıl işleme tabii tutulması gerekli olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] ERZİ, İ., "Raylı Taşıt Yapımında Taşıt Dinamiği Açısından Gelişmeler", RAYTAŞ '89 Adapazarı, 1989.
- [2] FROST, N. E., MARSH, K. J., POOK, L. P., "Metal Fatigue", Clarendon Press, London, 1974.
- [3] FUCHS, O. H., STEPHENS, I. R., "Metal Fatigue in Engineering", The University of Iowa, Stanford University, 1981.
- [4] REMSNYDER, H., "Fatigue of Mechanically Fastened Joints", Bethlehem Steel Corporation, 1981.
- [5] JUTLA, T., "Fatigue and Fracture Control of Weldments", Caterpillar Inc., 1981.
- [6] LAWRENCE, F. V., DIMITRAKIS, S.D., MUNSE, W.H., "Factors Influencing Weldment Fatigue", University of Illinois at Urbana-Champaign, 1981.
- [7] SALMAN, S., "Kaynak İşlemi Sonucunda Artık Gerilmeler ve Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, 1987.
- [8] LEE, H. K., LIN, Y. C., "Effect of Welding Parameters on the Residual Stress by the Parallel Heat", Welding Department of Industrial Education, College of Technology, National Changhua University of Education, Taiwan, Elsevier, 1998.
- [9] CHIARELLI, M., LANCIOTTI, A., SACCHI, M., "Fatigue Resistance of MAG Welded Steel Elements", International Journal of Fatigue, Elsevier, 1998.
- [10] KIRKHOPE, K. J., BELL, R., CARON, L., BASU, R. I., MA, K.T., "Weld Detail Fatigue Life Improvement Techniques", Part 1, Marine Structures, Elsevier, 1998.
- [11] MADDOX, S. J., "Fatigue Design Rules for Welded Structures", TWI, Cambridge, U.K., 2000.
- [12] MUNDREY, J. S. "Railway Track Engineering", Mc Graw-Hill Publishing Company United, New Delhi, 1988.

- [13] CYRILL, M. H. ve CHARLES, C. E., "Shock and Vibration Handbook", Volume 3, Mc GRAW-HILL, New York, 1961.
- [14] YÜKSEK, İ., "Taşıt Titreşimlerinin Optimizasyonu", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Şubat 1995.
- [15] ÇAKIR, K., GÜNEY, B. ve ALPİN, K., "Raylı Taşımacılıkta Konfor", Mühendis ve Makine, TMMOB, Sayı:408, Ocak 1994.
- [16] ANIK, S., "Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar", 1991.
- [17] TAUSCHER H, Çeviren ARAN, A., GÜLEÇ, Ş., "Yorulma Dayanımı" MBEAE Matbaası, Gebze 1983.
- [18] BARLAS, İ., "Hasar Analizi", İTÜ Kütüphanesi, 1993.
- [19] AKKURT, M., "Makine Elemanları", Cilt 1, Birsen Yayınevi,1996.



## ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya’da tamamladı. 1985 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Sakarya Meslek Yüksekokulu’nu bitirdi. 1986-2001 yılları arası TCDD Genel Müdürlüğü’nde görev yaptı. 1996 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü’ne girdi. 1999 yılında mezun oldu. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında TÜVASAŞ Genel Müdürlüğü’ne geçiş yaptı. Halen TÜVASAŞ Pazarlama Dairesi’nde Satış Sonrası Hizmetler Şube Müdür Vekili olarak görev yapmaktadır.