

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖN KAPLI ÇELİK SAÇLARIN
KAYNAK BAĞLANTILARININ YORULMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bülent AYDEMİR

57934

Ana Bilim Dalı : MAKİNA

Programı : KONSTRÜKSİYON

OCAK 1996

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖN KAPLI ÇELİK SAÇLARIN KAYNAK BAĞLANTILARININ YORULMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

F. G.
Yükseköğretim Kurulu
Doktora Danışmanlığı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

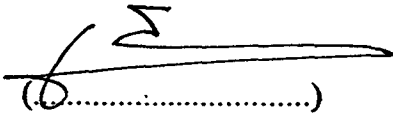
Bülent AYDEMİR

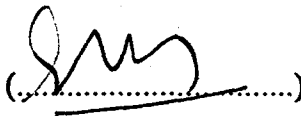
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Ocak 1996
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Şubat 1996

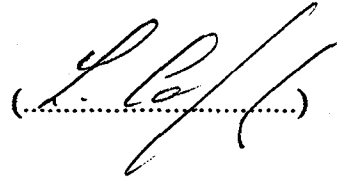
Tez Danışmanı
Doç.Dr. Erdiñç KALUÇ

Üye
Prof.Dr.Kutsal TÜLBENTÇİ

Üye
Prof.Dr.Levon ÇAPAN


(.....)


(.....)


(.....)

OCAK 1996

ÖZET

Son yirmi yıldır, otomobil karoserisi üretiminde yakıt ekonomisi önemli bir rol oynar. Bu amaçla, taşıt ağırlığını azaltmak için yüksek mukavemetli az alaşımli saclar kullanılır. Bunlara ilaveten otomobil karoserisinin korozyon direncini arttırmak amacıyla çeşitli kaplama yöntemleri uygulanır. Modern veya normal çelik saclar genellikle elektrik direnç nokta ve MAG kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilirler. Fosfatlanmış ve galvanizlenmiş sacların kaynağında kaplama tabakasının kaynak metaline ve ısıdan etkilenen bölgeye(ITAB) difüze olması bağlantının statik ve dinamik özelliklerini etkiler. Dolayısıyla kaplı çelik saclar kaplama tabakası kaldırıldıktan sonra kaynak edilir.

Bu çalışmada, öncelikle elektrik direnç ve MAG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin literatürdeki yorulma özellikleri incelenmiştir. Daha sonra fosfat kaplı sacların kaynağı kaplama kaldırılmadan elektrik direnç ve MAG kaynağı gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantılar yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Özellikle nokta kaynaklı numunelerin yorulma mukavemetlerinin MAG kaynaklılara nazaran yüksek oldukları görülmüştür. Yorulma çatlakları ilerlemesi ultrasonik C-tarama yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çatlakların kaynak mercimeğinin yakınındaki ITAB bölgesinden başladığı görülmüştür. MAG kaynaklı bağlantılarda da çatlakların ITAB'da erime çizgisi boyunca ilerlediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yorulma, Kaynak, Fosfat kaplama

ABSTRACT

In the last two decades, the fuel economy has played an important role in the manufacturing automobile body. For this reason, high strength low alloy steels were used for reducing the car weight. In addition to that, various coating processes were applied to steel sheets increase the corrosion resistance of the body. Modern or conventional steel sheets are commonly welded by using resistance spot welding and MAG welding processes. Diffusion of the coating materials e.g. phosphate or zinc in the weld metal and heat affected zone have been affected by static and dynamics properties of weldments. Consequently, coated steel sheets were welded after the removing the coating.

In this study, first fatigue properties of resistance spot was welded and MAG welded specimens in literature were surveyed. In the second step of the study, phosphate coated steel sheets were welded by using resistance spot welding process and MAG welding process without removing the coating. Fatigue tests were carried out on the specimens. Especially, it was shown that spot welded specimens have higher fatigue strength than MAG welded specimens. Fatigue crack growth was investigated by using ultrasonic C-scan process. It was shown that crack had started in the heat affected zone(HAZ) of weld nugget. In the MAG welded specimens, crack growth was also developed from the fusion line through the HAZ.

Key words: Fatigue, Welding, Phosphate coating

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler ile daha hafif, ekonomik ve yakıt tasarruflu bir taşıt üretimi gerçekleştirmek amacıyla, günümüzde az alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin ve hafif metallerin kullanımı artmıştır. Buna rağmen bir çok parçanın üretim ekonomisi ve servis emniyeti bakımından, çelik saclardan üretilmesinden vazgeçmek mümkün değildir. Karoseri üretiminde kullanılan sacların özelliklerini iyileştirmek amacıyla kaplama yöntemleri uygulanır. Bu kaplamalar, malzemeye dekoratif çekicilik, korozyon direnci ve gelişmiş mühendislik özellikler kazandırabilir. Kullanılan çelik sacların montajında genellikle elektrik direnç ve MAG kaynak yöntemleri uygulanır. Fosfatlanmış ve galvanizlenmiş sacların kaynağında, kaplama tabakası kaldırılarak kaynak yapılması yoluna gidilir.

Yaptığımız araştırmalar göstermiştir ki kaplama tabakası kaldırılmadan kaynak işlemi uygulaması üzerine literatür azdır. Hatta fosfat tabakası ile kaynak işlemi üzerine literatür bulunamamıştır. Bu yüzden literatür boşluğunu doldurmak amacıyla fosfatlanmış sacların kaplama tabakası kaldırılmadan kaynak edilerek yorulma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca yorulma sonucu kırılmış parçadaki hasar ultrasonik C-tarama yöntemi ile incelenmiştir.

Bu konuda, çalışmamı sağlayan sayın hocam Doç.Dr. Erdinç KALUÇ'a , deney numunelerini hazırlayan OTOSAN A.Ş. yetkililerine ve yorulma deneylerini gerçekleştirdiğim TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü Malzeme Bölümü yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ	1
2.OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KAROSERİ ÜRETİMİ İÇİN KULLANILAN ÇELİK SACLAR VE KAYNAĞI	11
2.1. Kaplamalı Saclar.....	11
2.1.1. Galvanizleme İşlemi ve Galvanizli Saclar	12
2.1.2. Fosfatlama ve Fosfatlı Saclar	15
2.2. Yüksek Mukavemetli Saclar.....	22
2.2.1. Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Üstünlükleri.....	23
2.3. Kaynak Yöntemleri.....	25
2.3.1.Kaynak kabiliyeti	26
2.3.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı	32
2.3.3. MAG (Metal Aktif Gaz) Kaynağı	38
3.KAYNAKLI SACLARIN YORULMA MUKAVEMETLERİNİN ARAŞTIRILMASI.....	47
3.1. Metalik Malzemelerin Yorulma Deneyi	47
3.2. Yorulma Dayanımının Saptanması	47
3.3. Yorulma Ömrü	50

3.4. Yorulma Dayanımının Smith Diyagramı İle Gösterilişi.....	50
3.5. Çeliklerin Yorulma Dayanımı Diyagramları.....	51
3.6. Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımı.....	53
Kısa Ömür	60
Uzun Ömür.....	61
Orta Ömür	61
4.KONUNUN ÖNEMİ ve ÇALIŞMANIN PLANLANMASI.....	67
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	69
6.DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ	75
KAYNAKLAR.....	88



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

- σ_Y : Yorulma dayanımı
- σ_G : Verilen bir σ_{ort} ortalama gerilmesi için bulunan yorulma dayanımının gerilme genliği
- $\sigma_{üst}$: Verilen bir σ_{ort} ortalama gerilmesi için bulunan yorulma dayanımının üst gerilmesi
- σ_{alt} : Verilen bir σ_{ort} ortalama gerilmesi için bulunan yorulma dayanımının alt gerilmesi
- σ_{ort} : Deneye esas olarak σ_{alt} alt gerilmenin alınması halinde bulunan yorulma dayanımının ortalama gerilmesi
- $2\sigma_G$: Gerilme alanı
- R : Gerilme oranı
- N : Kırılma çevrim sayısı
- $\sigma_{çy}$: Değişken çekme yorulma dayanımı
- σ_{by} : Değişken basma yorulma dayanımı
- σ_{ey} : Değişken eğme yorulma dayanımı
- $\sigma_{çbD}$: Çekme-basma değişken yorulma dayanımı
- σ_{eD} : Eğme değişken yorulma dayanımı
- σ_D : Değişken yorulma dayanımı
- σ_{Dal} : Dalgalı yorulma dayanımı
- σ_A : Akma sınırı
- σ_{eA} : Eğme akma sınırı
- τ_A : Burma akma sınırı
- τ_D : Burma değişken yorulma dayanımı
- τ_{Dal} : Burma dalgalı yorulma dayanımı
- ϵ : Bir uzama miktarı
- Me : Eğilme momenti
- f : Frekans
- MAG: Metal Aktif Gaz kaynağı
- YMAA: Yüksek Mukavemetli Az Alaşımli çelik
- HSLA : High Strength Low Carbon steel
- ASM : American Society of Metals

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çift fazlı, ince taneli yüksek mukavemetli ve karbonlu çeliklere ait gerilme, % uzama diyagramları.	4
Şekil 1.2. İnce taneli yüksek mukavemetli çelik saclardan üretilen otomobil karoseri parçaları.	6
Şekil 1.3. Yıllara göre yüksek mukavemetli çeliklerde mukavemet artışı ve bunun sonucu olarak taşıt ağırlığında yapılan tasarruf miktarı.	7
Şekil 2.1. Çinko kaplanarak boyanmış çelikte korozyon mekanizması.	14
Şekil 2.2. 10 sene kullanılmış bir taşıtta, yan kesit olarak, kapı kıvrımındaki oluşumlar.	14
Şekil 2.3. Yıllara göre yüksek mukavemetli çeliklerde mukavemet artışı ve bunun sonucu olarak taşıt ağırlığında yapılan tasarruf miktarı	23
Şekil 2.4. Çift fazlı, YMAA ve az karbonlu çelikleri ait "gerilme - % uzama" diyagramları.	24
Şekil 2.5. Çekme deneyi ile deformasyon sertleşmesinin (DS) ve fibrinlama sertleşmesinin (FS) belirlenmesi.	25
Şekil 2.6. DIN 8528'e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin şematik gösterilişi	27
Şekil 2.7. kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi	28
Şekil 2.8. Elektrik direnç kaynağının prensibi.	32
Şekil 2.9. Nokta kaynağında tipik sıcaklık dağılımı.	34
Şekil 2.10. Nokta kaynaklı bağlantıların çekme-makaslama dayanımının büyüklüğüne, kaynak akımının etkisi.	36
Şekil 2.11. Nokta kaynağında elektrot kuvveti ve kaynak akımı programı için örnek uygulamalar.	37

Şekil 2.12. Kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağı.	40
Şekil 2.13. CO ₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı.	42
Şekil 2.14. Kısa ark ve uzun ark ile yapılan MAG kaynağında akım şiddetinin damla geçişi ile değişimi.	43
Şekil 2.15. Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri.	44
Şekil 3.1. Wöhler eğrisi ve hasar çizgisi.	47
Şekil 3.2. Değişken çekme bölgesinde yorulma dayanımı, $\sigma_y = \sigma_G $ (Verilen σ_{ort} için)	48
Şekil 3.3. Dalgalı çekme bölgesinde yorulma dayanımı, $\sigma_y = \sigma_G $ (Verilen σ_{ort} için)	48
Şekil 3.4. Değişken yorulma dayanımı, $\sigma_D = \sigma_G $	49
Şekil 3.5. Dalgalı yorulma dayanımı, $\sigma_{Dal} = \sigma_G $ veya $ 2\sigma_G $	49
Şekil 3.6. Normalize edilmiş St 37 yapı çeliği.	51
Şekil 3.7. Normalize edilmiş St 42 yapı çeliği.	52
Şekil 3.8. St 52-3 çeliğinden kaynaklı ve kaynaklı deney parçalarının ileri-geri eğme zorlamaları altındaki σ_{eD} eğme değişken yorulma dayanımları.	54
Şekil 3.9. St 45/60 çeliğinden alın kaynaklı deney parçalarında σ_{cbD} çekme-basma değişken yorulma dayanımı ($2 \cdot 10^6$).	55
Şekil 3.10. Yüksek dayanımlı ıslah edilmiş N-A-XTRA 70 yapı çeliğinin yorulma dayanımı.	56
Şekil 3.11. Yüksek dayanımlı 40 SiNiCr 7.6 ıslah çeliğinde alın kaynağı bağlantısı ve ana malzemenin çekme dayanımlarının menevişleme sıcaklığı ile değişimi. 900 °C'dan yağda sertleştirme, elle elektrik ark kaynağı.	56
Şekil 3.12. K30 SiMnCr 4, 25 CrMo 4 ve 40 SiNiCr 7.6 çeliklerinde alın kaynağı bağlantısının çekme-basma yorulma dayanımı (Sınır Çevrim Sayısı $10 \cdot 10^6$).	57
Şekil 3.13. Yüksek dayanımlı K30 SiMnCr 4 ıslah çeliğinde alın kaynağı bağlantısı ve ana malzemenin çekme-basma değişken yorulma dayanımının, değişik yüzey işlemleri ile değişimi. Çekme dayanımı 120 kgf/mm ² .	57

Şekil 3.14. St 45/60 çeliğinden kaynaklı ve enine delikler içeren deney parçalarında yapılan çekme-basma değişken yorulma deneyleri ile elde edilen Wöhler eğrileri.	58
Şekil 3.15. SAE 950 HSLA çeliğinin düz, çentikli ve nokta kaynaklı numunelerinin R= -1 için, S-N eğrisi.	60
Şekil 3.16. Düzlemsel eğilme deneyi standart numunesi ve deney sonuçları.	63
Şekil 3.17. Çelik sacların birleşiminin yorulma mukavemetine etkisi.	63
Şekil 3.18. Yüksek mukavemetli çelik sacların ark kaynağı ile birleştirilmesi sonucu yorulma mukavemetlerinin incelenmesi.	66
Şekil 3.19. Nokta kaynaklı bağlantıların yorulma mukavemetinin incelenmesi.	66
Şekil 5.1. Deney parçalarının kaplandığı fosfatlama tesisinin modeli.	69
Şekil 5.2. MAG kaynaklı deney numunelerinin oluşturulması.	72
Şekil 5.3. Standart deney numunesi	72
Şekil 5.4. Standart deney numunesi.	73
Şekil 6.1. Nokta kaynaklı numunelerin yorulma deneyi sonuçları	76
Şekil 6.2. MAG kaynaklı numunelerin yorulma deney sonuçları	77
Şekil 6.3. Nokta ve MAG kaynaklı numunelerin yorulma deneyi sonuçlarının karşılaştırması	78
Şekil 6.4. C-tarama resmi	82
Şekil 6.5. C-tarama resmi	83
Şekil 6.6. C-tarama resmi	84
Şekil 6.7. Yorulma sonucu kırılmış parçanın yandan görünüşü.	80
Şekil 6.8. C-tarama resmi	85
Şekil 6.9. C-tarama resmi	86
Şekil 6.10. C-tarama resmi	87

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. 1978 ve 1990 yıllarında A.B.D.'de üretilen araçların ortalama ağırlıklarına göre malzeme kullanımı.	2
Tablo 1.2. 1985 ve 1990 yıllarında A.B.D.'de üretilen araçların malzeme oranları değişimi.	2
Tablo 1.3. Metallerde mukavemet artırıcı yöntemlerin diğer özelliklere etkileri.	3
Tablo 1.4. Otomotiv endüstrisinde uygulama alanı olan yüksek mukavemetli çeliklerin gelişimi.	5
Tablo 2.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan sacların kimyasal özellikleri(Düzgün 1993).	11
Tablo 2.2. Japonya'da karoseri için kullanılan ön kaplı çeliklerin özellikleri.	13
Tablo 2.3. Fosfatlama Tipleri.(Ts 524)	17
Tablo 2.4. GM 980 X çift fazlı çeliğin mekanik özellikleri.	24
Tablo 2.5. Karbon eşdeğerine göre öntav sıcaklığı	29
Tablo 2.6. Elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin değerlendirilmesi	32
Tablo 2.7. Karbonlu çelik malzemelerin kısa ark boyu ile MAG kaynağında, kaynak karakteristikleri.	40
Tablo 3.1. Bazı yapı çelikleri için düzgün ve parlatılmış deney çubuklarında geçerli yorulma dayanımları (Ortalama değerler). Sınır Çevrim Sayısı 10.10^6 .	53
Tablo 3.2. Nokta kaynağı değişkenlerinin yorulma performansına etkisi (Davidson, 1983).	65
Tablo 5.1. St 37-2 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.	69
Tablo 5.2. MAG kaynağı uygulama parametreleri.	71
Tablo 5.3. Kullanılan tel elektrodun kimyasal bileşimi.	71

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir taşıt, yaklaşık olarak % 74-78 çelik, % 14-18 metal dışı malzemeler, % 3-5 demir dışı malzemeler ve % 3-5 dökme demir parçaların bir araya gelmesi ile oluşur (Onur, 1985). Günümüzde bu oranlar giderek değişirse de genelde taşıt üretiminde çeliğin önemi büyüktür. Genellikle, taşıtlarda SAE 1008 ve SAE 1010 kalitesinde çelik saclar kullanılır, ancak günümüzde bunların kullanımında belirli bir azalma görülmektedir.

Günümüzde, özellikle enerji fiyatlarındaki artış, üretim dallarında ekonomikliğin ön plana çıkmasına neden olmuştur. Bu önemli olay malzeme yelpazesinde yeni gelişmeleri teşvik etmiş, ağırlığın ekonomiye çok büyük etkisinin olduğu konstrüksiyonlarda daha ince kesitlere gidilebilmesini sağlayabilecek çelik ve diğer malzeme türlerinin geliştirilmesini zorlamış, araştırmacıları bu yöne sevk etmiştir.

Yaşanan son 20 yıl göstermiştir ki petrol, dünyanın ekonomisine yön veren, dikkatli kullanılması gereken stratejik ve tükenebilir bir maddedir; zaman zaman dünya politikasını da etkileyen, sıcak ve soğuk savaşlara yol açabilen petrolün, dünyamıza kestiği bir diğer fatura da çevre kirliliğidir. Özellikle son yılların üzerinde çok durulan, canlıların gittikçe daha çok etkilendiği bir konu olan ve dünyamızı ciddi bir biçimde tehdit eden çevre kirliliği, petrolün çeşitli alanlardaki kullanımında ekonomi kadar bizleri tasarrufa yönelten en önemli etkenlerden bir tanesidir.

Otomotiv endüstrisinin ilgi odağını oluşturan çeşitli taşıtlar, günümüzde petrolün tüketildiği en önemli alanlardan bir tanesidir. Öyle ki, gelişmiş ülkelerde kullanılan tüm enerjinin % 15'i özel taşıtlarda, % 24'ü eşya ve insan taşınımında kullanılmaktadır.

Taşıtlarda yakıt tasarrufu açısından yeni geliştirilebilen motor dizaynlarının yanında, hareket ettirilmesi gereken taşıt kütlesinin azaltılması da önemli konulardan birisidir. Zira, taşıt ağırlığı ile yakıt tüketimi arasında doğrusal bir ilişki vardır; taşıt ağırlığında yapılacak % 50'lik bir azalma % 35 dolayında bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu da göstermektedir ki taşıt ağırlığında % 10 mertebelerinde yapılacak bir azaltma dahi

büyük bir yakıt tasarrufu sağlayacaktır.

Tablo 1.1. 1978 ve 1990 yıllarında A.B.D.'de üretilen araçların ortalama ağırlıklarına göre malzeme kullanımı.

Malzeme	1978	1990
Çelik	955 Kg	635 Kg
Dökme demir	240 Kg	113 Kg
Alüminyum	52 Kg	91 Kg
Kompozit plastikler	79 Kg	136 Kg
Çinko	14 Kg	7 Kg
Toplam	1340 Kg	982 Kg

Taşıt ağırlığının % 50-60'ını çelik malzemelerin oluşturduğu göz önüne alınacak olursa, yeni gelişmiş ve geliştirilecek bu üstün özellikli modern çelikler, taşıt ağırlığının azalmasına dolayısı ile de yakıt tasarrufuna önemli katkılarda bulunmaktadır. Ağırlıkta tasarruf düşüncesi 1970'lerin ortalarında Amerikan otomobillerinde ortaya atılmış ve bu fikir yeni çelik türlerinin gelişmesini teşvik etmiştir. Bu gelişmeleri yansıtan değerler Tablo 1.1. ve 1.2.'de görülmektedir.

Tablo 1.2. 1985 ve 1990 yıllarında A.B.D.'de üretilen araçların malzeme oranları değişimi.

Çelik Türü	1985 (%)	1990 (%)
İnce taneli çelikler	15	20
Az karbonlu çelikler	55	40
Çift fazlı çelikler	20	30
Diğerleri	10	10

Taşıtlarda ağırlık azaltılması ancak ince kesitlere gidilebilmesine olanak veren yeterli dayanımdaki çelik türlerinin kullanılabilme olanağı ile olabilmektedir. Çeliğin mukavemetinin artırılabilmesi ise, günümüzde aşağıdaki yöntemlerin uygulanması sonucu olabilmektedir;

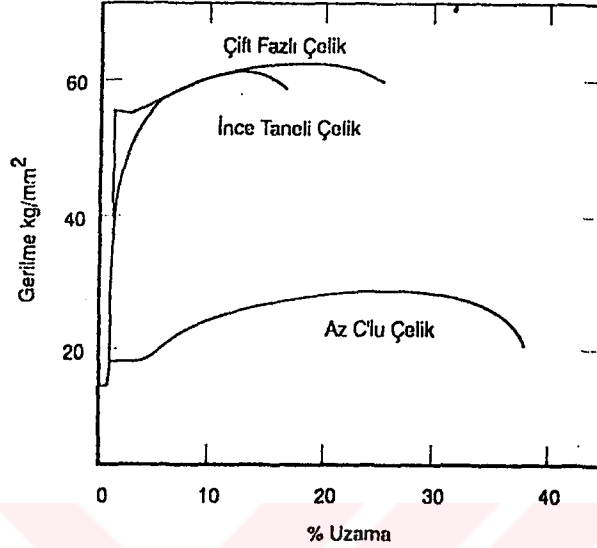
- Alaşımrama,
- Dönüşüm sertleştirilmesi,
- Ayrışma sertleştirilmesi,
- Soğuk şekil verme,
- Tane inceltme,
- Çift faz oluşturma,

Tablo 1.3. Metallerde mukavemet artırıcı yöntemlerin diğer özelliklere etkileri.

Yöntem	Mukavemet	Kaynak Kabiliyeti	Plastik Şekillendirilebilme Kabiliyeti
Alaşımrama	+	-	-
Dönüşüm sert	+	0	-
Ayrışma sert	+	-/0	-
Dispersiyon sert	+	0	-/0
Soğuk şekil verme	+	0	-/0
Tane inceltme	+	0	+/0
Çift faz oluşturma	+	0	+/0

+: İyileştirme, -: Kötüleşme, 0: Etkisiz

Tablo 1.3'den de anlaşılacağı üzere tane inceltme ve çift faz oluşturma dışında; diğer yöntemlerle de, yüksek akma mukavemeti elde edilmekte ancak süneklikte önemli düşüşler görülmekte, kırılma ve çentik-darbe duyarlılığı artmaktadır, dolayısı ile malzemenin plastik şekil değiştirme (biçimlendirme) yeteneği azalmaktadır.



Şekil 1.1. Çift fazlı, ince taneli yüksek mukavemetli ve karbonlu çeliklere ait gerilme, % uzama diyagramları.

Taşıtlarda özellikle kaporta, tampon gibi elemanlarda çok önemli olan biçimlendirilebilirlik özelliği ve ayrıca yukarıda sayılan yöntemler ile mukavemetlendirilmiş çeliklerin pahalılığı, bunların uygulanabilirliğini ortadan kaldırmış veya kısıtlamıştır. Ancak gerek ince taneli ve gerekse çift fazlı, gerektiğinde mikro alaşımlandırılmış çeliklerin yüksek mukavemetlerinin yanısıra tokluklarının da yüksek olması, daha iyi bir korozyon direnci göstermeleri ve ayrıca düşük karbon ve alaşım elementi içeriklerinden dolayı kaynak kabiliyetlerinin de iyi olması, bu çelikleri taşıt yapımında ön plana itmiştir (Şekil 1.1).

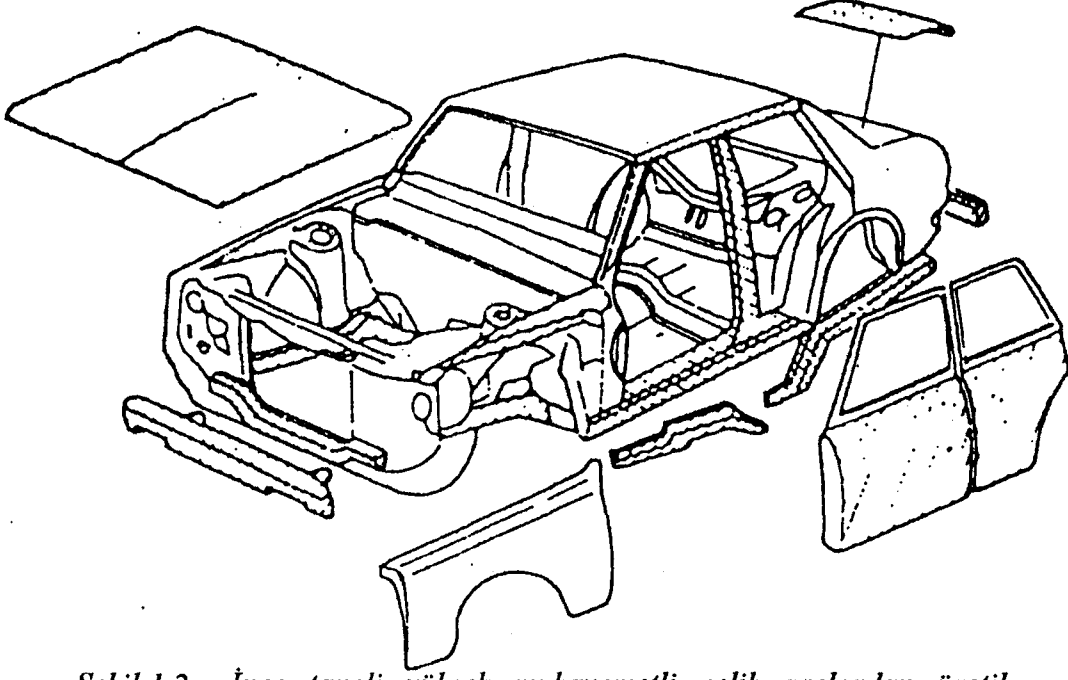
Taşıt üretimindeki bu gelişmeler, oldukça kalın kesite sahip az karbonlu yumuşak çelikleri bu modern çelikler ile yer değiştirmeye zorlamış ve kaporta, tampon, kapı panelleri, tekerlek jantı, koltuk çerçevesi gibi presle biçimlendirilebilen; biyel kolları, krank milleri, direksiyon bağlantı parçaları gibi dövülebilen parçalarda modern çelikler kullanıma girmiştir.

Tablo 1.4. Otomotiv endüstrisinde uygulama alanı olan yüksek mukavemetli çeliklerin gelişimi.

Yıllar	Parçalar
1972	Motor gömlekleri (gövdeleri)
1974	Tampon ve destek parçaları
1974	Kapı kirişleri
1976	Dış paneller
1976	Ön ve arka paneller
1978	Gövde konstrüksiyon parçaları
1978	Süspansiyon parçaları
1978	Çamurluk ve çerçeve aksamı
1980	Yeniden dizayn edilmiş konstrüksiyon parçaları

Otomotiv endüstrisinde uygulama alanı olan yüksek mukavemetli çeliklerin taşıt üretimindeki hızlı gelişimi Tablo 1.4'de özetlenmektedir. Şekil 1.2'de de ince taneli yüksek mukavemetli çelik saclardan üretilen otomobil karoseri aksamı görülmektedir (Tülbentçi vd, 1994).

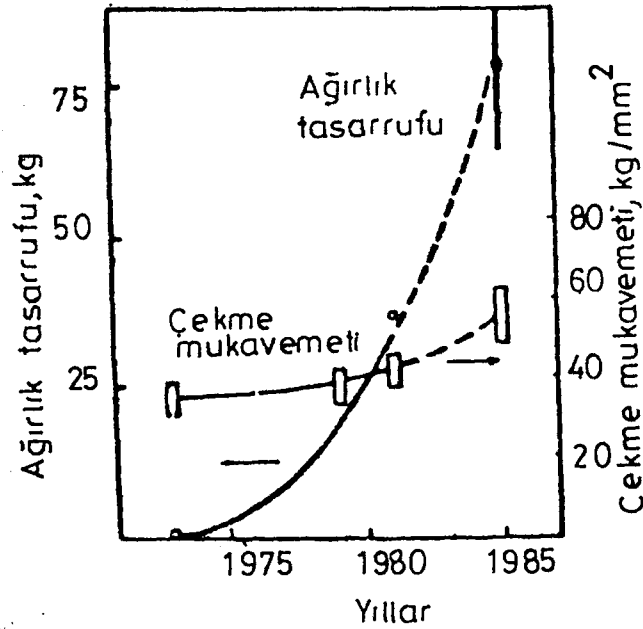
Yüksek mukavemetli sacların kullanılması ile çeşitli taşıt parçalarının mukavemetinde herhangi bir kayıp olmaksızın, daha ince saclardan üretimi mümkün olmaktadır. Sözgelimi yüksek mukavemetli çeliklerin bir grubu olan, yüksek mukavemetli az alaşımlı (YMAA) çeliklerden kalınlığı % 10-15 daha ince karoseri panelleri yapılması halinde, toplam taşıt ağırlığında 32-45 kg'lık azalma olmaktadır.



Şekil 1.2. İnce taneli yüksek mukavemetli çelik saclardan üretilen otomobil karoseri parçaları.

Yüksek mukavemetli az alaşımlı çeliklerin biçimlenebilme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle, 1975 yılı sonlarına doğru otomotiv endüstrisinde çift fazlı çelikler (dual-phase steels) kullanılmaya başlanmıştır. Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde çekme mukavemeti 40 kg/mm^2 den 100 kg/mm^2 ye kadar değişen çeşitli çift fazlı çelik üretimi yapılmaktadır.

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri gibi presle biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında çift fazlı çeliklerin kullanılmasıyla sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının % 10'una ulaştığında yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve taşıt daha ekonomik hale gelmektedir. Sözelimi çift fazlı çeliklerden üretilmiş tamponun ağırlığı, mukavemette ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın % 25-35 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak % 12 (330 mm. çapındaki jantın ağırlığı 0,91 kg. azaltılması halinde) seviyesindedir (Kayalı vd, 1985).



Şekil 1.3. Yıllara göre yüksek mukavemetli çeliklerde mukavemet artışı ve bunun sonucu olarak taşıt ağırlığında yapılan tasarruf miktarı.

Taşıtlarda yüksek mukavemetli çeliklerden, çift fazlı çeliklerden, alüminyumdan ve plastikten imal edilmiş parçaların kullanılması her geçen yıl artmasına rağmen bir çok parçanın üretim ekonomisi ve servis emniyeti bakımından, çelik saclardan üretilmesinden vazgeçmek mümkün değildir.

1970'lerde başlayan daha hafif, ekonomik ve enerji tasarruflu araçları üretme çalışmaları otomotiv endüstrisinde kullanılan metalik kaplamaların kullanım felsefesini de etkilemiştir. Çeliklerin yerine daha hafif metal veya plastikleri kullanma çalışmaları yanında taşıt tasarımcılarının estetik zevki etkileyen yönlendirmeleri de metalik kaplamaları gittikçe daha fonksiyonel olarak kullanımını ön plana çıkarmıştır.

Metal kaplamalar, üzerine kaplandıkları malzemeye dekoratif çekicilik yanında korozyon direnci ve gelişmiş mühendislik özellikleri (sertlik, süneklik, mukavemet, aşınma direnci, elektrik ve manyetik özellikler gibi) kazandırabilirler. Kaplama bu amaçlardan bir veya birkaçını sağlamak için yapılır.

Taşıtların boya kabiliyetlerinin, bilhassa görünüm, parlaklık gibi özelliklerinin müşteri

cezbetmekteki etkisi herkes tarafından bilinmektedir. Bu durum sadece taşıtlara özgü olmayıp buzdolabı, çamaşır makinası, elektrik süpürgesi gibi ev eşyaları için de geçerlidir.

Taşıtın kullanımı sırasında boyasının bozulmaması yani karoserinin korozyona uğramaması markanın piyasadaki prestijinin artmasını sağlar. Bu nedenle korozyon ile mücadele otomotiv endüstrisinin en önemli uğraşlarından biri olmuştur.

İşte çelik yüzeylerinin boyamaya hazırlanmasında ve korozyon dirençlerinin artırılmasında fosfat kaplama işlemi uygulanır.

Demir yüzeylerinin paslanmaya karşı, fosfat kaplama ile korunması fikri, 100 sene kadar önce ortaya atılmıştır. Fosfatlama tekniğini ilk geliştiren araştırmacılar Coslett ve Richard adındaki mühendislerdir. Coslett, 1906 yılında seyreltilmiş sıcak fosforik asit içine, demir çelikten yapılmış eşyaları daldırarak, korozyonun önlenmesi üzerine patent almıştır. 1911 yılında ise Richard daha kullanışlı ikinci bir fosfat kaplama yöntemi bulmuştur.

Başlangıçta yalnız çelik parçalar fosfatlanarak, onların paslanmaya ve diğer etkenlere karşı korunması sağlanmıştır. Coslett tarafından ileri sürüldüğü gibi, fosfatlanmış olan yüzeylere boya daha iyi yapışmaktadır. Boyanmamış makina parçaları da fosfatlandıktan sonra yağlanarak uzun süre depolandıklarında veya nakilleri sırasında paslanmamaktadır.

Makina imalatında, fosfatlama yapılan parçaların soğuk şekillendirilmesi sırasında, parçaların kayma direnci de azalmaktadır. Bunun için daha önceleri, birbiri üzerinde kayan makina parçaları kalaylanmıştı. Bu metodun pahalı olması nedeniyle, birbiri üzerinde kayan yüzeylerin fosfat kaplanmasına ilgi artmış ve fosfatlama yöntemi geliştikten sonra, kalaylamaya ve diğer yöntemlere göre, mangan-demir-fosfat içeren tabakanın yağ emmesi ve tutması bakımından teknik üstünlüğü olduğu görülmüştür (Gürleyik, 1987).

1980'li yıllardan sonra artan taşıt üretimi ile fosfat kaplama giderek yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. 1985'de otomotiv endüstrisinin kullandığı fosfatlama çözeltisi yılda 25.000 ton'un üzerindedir (Çakır, 1985).

Otomobil üretiminde yaklaşık 700 adet preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 adet talaş kaldırılarak işlenmiş parça; civata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma ve en çok da kaynak yoluyla birbirine bağlanmaktadır. Toplam kaynaklar, yaklaşık olarak 5.000 nokta kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışığından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır (Tülbentçi vd. 1989).

Taşıt üretiminde, alışlagelmiş malzeme ve konstrüksiyonlarda, bağlantıları geniş ölçüde nokta kaynağı ve elektrik ark kaynağı yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri de bu sanayi kolunda giderek önemini artırmaktadır.

Otomotiv endüstrisi talebin artması ile bir yandan pazar rekabet şartlarına ayak yudurabilmek için kaliteyi düşürmeksizin üretimde ekonomik olmak, diğer yandan hızla artan gereksinimlere karşılık verebilmek için üretim miktarını artırmak zorundadır. Bu da üretim yöntemlerinde bir optimizasyona ve sonuç olarak da otomasyona gitmekle gerçekleştirilebilir.

Kaynak teknolojisi taşıt üretiminde önemli bir yer kapladığından bu alanda otomasyona geçilmesi büyük firmalar için önemlidir. Kaynak yöntemleri içerisinde otomasyona en uygunu nokta kaynağıdır. Bu yöntemin montaj hatlarında kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş kaynak makinası türleri vardır. Hatta bazı otomobil fabrikalarımızda nokta kaynakları ve diğer işlemler robotlar tarafından yapılmaktadır.

Bazı durumlarda nokta kaynağı ile birleştirme yapılamamakta veya yapılan kaynak istenen özellikleri sağlayamamaktadır. Bu gibi durumlarda elektrik ark veya gaz altı kaynak yöntemleri diğerlerine göre tercih edilirler. Günümüzde otomasyona daha yakın olan gaz altı kaynak yöntemleri daha geniş kullanım alanına sahiptirler.

Otomobil karoseri üretiminde, özellikle korozyona direnç istenen yerlerde, kullanılan kaplı saclar da direnç nokta ve MAG kaynak yöntemleri ile birleştirilirler. Bu konuda daha önce yapılan araştırmalar sonucu literatürde fosfatlanmış sacların kaynağı için "kaplama tabakası kaldırılarak kaynak yapılır" diye belirtilmektedir (Metals Handbook 1971).

Ülkemizdeki otomobil ve imalat sektöründeki genel uygulamada saclar kaplanmadan

kaynak edilir ve daha sonra fosfatlama veya diğer kaplama işlemleri gerçekleştirilir. Ancak yurtdışındaki üretimlerde galvanize saclar kaynak edilirler ve çinko tabakası daha sonra tamir edilir. Eskişehir'de kurulu OTOSAN A.Ş.'nde ise yapılan uygulama, fosfatlı saclardaki kaplamanın kazınarak kaynak işleminin yapılmasıdır. Kaynak yöntemi olarak da bindirme nokta kaynağı ve köşe birleştirmelerde MAG kaynak yöntemi uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan ve kaynak ile birleştirilmiş çelik saclar üzerine yapılmış yorulma deneyleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemenin yanısıra, fosfatlı otomobil saclarında fosfatlama sonrası tabaka kaldırılmadan kaynaklı bağlantılar gerçekleştirilerek bu konuda literatürdeki boşluğu doldurmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaç ile, fosfatlanmış parçanın farklı yöntemlerle kaynak (Nokta, MAG) edilmesi sonucu yorulma mukavemetinin değişimi incelenmiştir. Deney numuneleri mümkün olabildiğince işletme şartlarında hazırlanmıştır. Çalışmada yorulma deneyinin seçilme nedeni olarak, taşıtların seyahat esnasında titreşimlerden dolayı daha çok yorulma olayına maruz kalmaları ile açıklanabilir.

Son olarak da, tahribatsız muayene yöntemlerinden olan ultrasonik C-tarama yöntemi ile yorulma sonucu parçada oluşan hasar ve çatlakların parça içerisindeki durumu da araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KAROSERİ ÜRETİMİ İÇİN KULLANILAN ÇELİK SAÇLAR VE KAYNAĞI

2.1. Kaplamalı Saclar

Taşıtların boya kalitelerinin, özellikle görünüm, parlaklık gibi özelliklerinin müşteri cezbetmekteki etkisi herkes tarafından bilinmektedir. Bu durum sadece taşıtlara özgü olmayıp buzdolabı, çamaşır makinası, elektrik süpürgesi gibi ev eşyaları için de geçerlidir.

Taşıtların kullanımı sırasında boyanın bozulmaması yani karoserinin korozyona uğramaması markanın piyasadaki prestijinin artmasını sağlar. Bu nedenle korozyon ile mücadele otomobil imalatçılarının en önemli uğraşlarından biri olmuştur.

Tablo 2.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan saçların kimyasal özellikleri(Düzgün 1993)..

Standart	C	Mn	P	S	Si	N	Al
SAE 1008	0,10	0,25-0,50	0,040	0,050	0,10	-	-
SAE 1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050	0,10	-	-
SAE 1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050	0,10	-	-
St 37-2	0,17	-	0,050	0,050	-	0,009	-
St 44-2	0,21	-	0,050	0,050	-	-	0,020

Metalik kaplamalar, üzerine kaplandıkları malzemeye dekoratif çekicilik yanında, korozyon direnci ve gelişmiş mühendislik özellikleri (sertlik, süneklik, mukavemet, aşınma direnci, elektrik ve manyetik özellikler gibi) kazandırabilirler. Kaplama bu amaçlardan bir veya birkaçını sağlamak için yapılır.

Otomotiv endüstrisinde genelde SAE 1008 ve SAE 1010 kalitesinde saclar kullanılır. Teknolojik gelişmeler ile otomotiv endüstrisinde daha yüksek mukavemetli saclar da kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan bazı sacların kimyasal özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu saclarda, yukarıda bahsedilen amaçları gerçekleştirebilmek için metalik kaplamalar uygulanır.

Metalik kaplama yöntemi olarak üç yöntem rastlanır:

1. Sulu çözeltilerden akım uygulanması ile (Elektrolitik yöntem).
2. Sulu çözeltilerden redükleyici kimyasal maddeler yardımı ile (Akımsız kaplama).
3. Fiziksel metal kaplama yöntemleri.

Gerek korozyona direnç gerekse dekoratif ve mühendislik açısından en geniş potansiyele sahip yöntem ise "elektrolitik" yöntemdir. Bakır-nikel-krom, çinko, kadmiyum, sert krom, kalay kaplama gibi otomotiv endüstrisinin temel kaplama uygulamaları bu yöntemlerle yapılır.

Akımsız olarak, plastik üzerine bakır, nikel kaplama yaygın olarak uygulanır.

Sıcak daldırma yolu ile çeliğin çinko kaplanması ve fosfat kaplanması yapılabilmektedir (Çakır, 1985).

2.1.1. Galvanizleme İşlemi ve Galvanizli Saclar

Otomotiv endüstrisinde galvanizli sac kullanımı eskilere dayanır. Sıcak daldırma yöntemi ile yapılan kaplamalar oto karoserini katodik olarak korozyondan korurlar. Bu uygulama bugün de önemini korumaktadır.

Çinko kaplanan çelik saclar uzun süre ısıtılınca yüzeydeki çinko tabakası tümü ile çinko-demir alaşımı haline dönüşür. Böylece daha kolay boya kabul eden bir yüzey elde edilir.

Tablo 2.2.'de Japonya'da kullanılan çeliklerin özellikleri verilmiştir. Bu ülkenin otomotiv endüstrisinde galvanizli çelikler yaygın olarak kullanılmakta iken son yıllarda da yüksek mukavemetli çeliklere geçiş yaşanmaktadır (Miyoshi, 1991).

Galvanize çeliklerde, yüzey tipi ve delik tipi olarak iki şekilde korozyon meydana gelebilir.

Tablo 2.2. Japonya'da karoseri için kullanılan ön kaplı çeliklerin özellikleri.

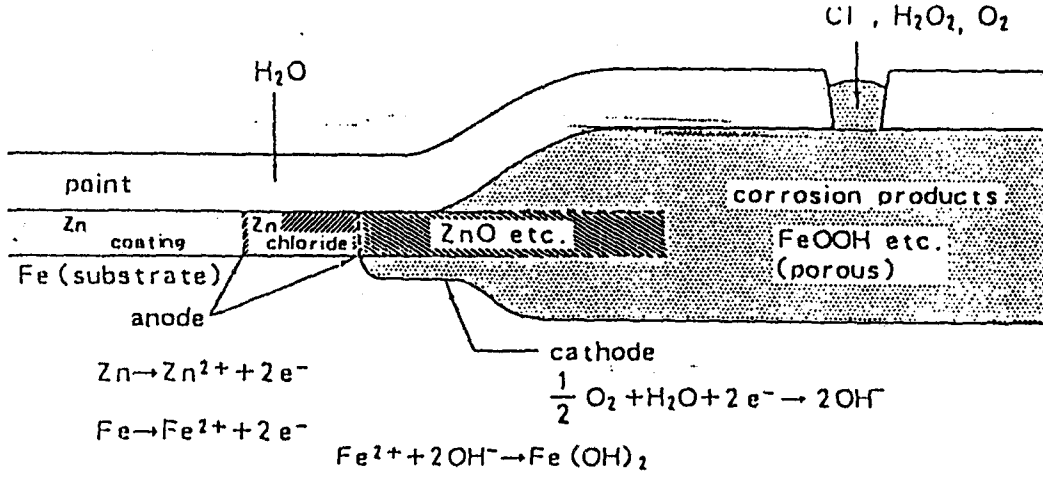
Kategori	Dizayn	Ön Kaplama Tabakası	Kaplama Ağırlığı (g/m ²)
Sıcak daldırma	Saf Zn	Zn	60-120
	Galvanizleme	Zn-Fe	30-90
Sıcak daldırma ve elektrolitik	Çift	Fe-15Zn/Zn-Fe, Fe-P/Zn-Fe	3/45-90
Elektrolitik	Saf Zn	Zn	10-30
	Çift Zn-Fe	Fe-15Zn/Zn-15Fe	3/20
	Zn-Ni	Zn-11Ni	20-40
Elektrolitik ve boyama	Organik bileşim	Organik film/Zn-11Ni	1 µm/20-30
	Organik bileşim	Organik film/Zn-11Ni	5,5 µm/15

Yüzey tipi korozyon genelde çift taraflı çinko kaplı çeliklerde gövdenin dış yüzeyindeki kısmında meydana gelir. Taşıtın kullanımı esnasında dış boyada hasar meydana gelirse, boya kusurundan hasar başlar ve boya filmi altında yayılır. Bu bölgedeki kimyasal reaksiyonlar Şekil 2.1'de verilmiştir.

Boya filmi altındaki hacim belli bir değere ulaştınca boya tabakasında kabarcık oluşumuna sebep olacaktır.

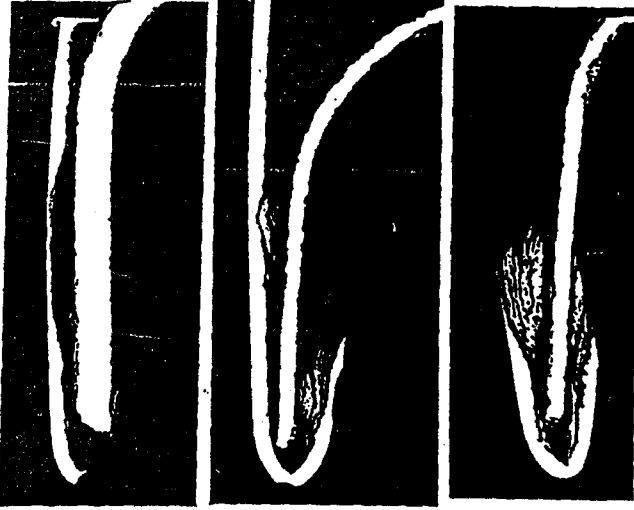
Delik tipi korozyonda genellikle gövdeye sonradan monte edilen kıvrılarak şekillendirilmiş kapı, yan paneller gibi kısımlarda görülür. Bir kıvrımdaki küçük bir boşluğu boya ile kaplamak çok zordur ve dahası uzun periyot için bu bölgeye suyun, nemin nüfuziyetini önlemek de zordur. 10 sene kullanılmış bir arabanın kapı

kıvrımındaki yenmenin yan kesiti Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Burada 3 önemli nokta vardır:



Şekil 2.1. Çinko kaplanarak boyanmış çelikte korozyon mekanizması.

1. İçteki panelde değil, dıştaki panelde delinme olmaktadır.
2. Delik içten dışa ilerlemektedir.
3. Boşluk, korozyon ilerlemesi ile genişleyecektir.



Şekil.2.2. 10 sene kullanılmış bir taşıtta, yan kesit olarak, kapı kıvrımındaki oluşumlar.

Galvanizli eliklerin ekillendirilebilirliklerinin ve kaynak kabiliyetlerinin kötü olduğu söylenebilir (Miyoshi, 1991).

2.1.2. Fosfatlama ve Fosfatlı Saclar

2.1.2.1. Fosfatlama

Fosfatlama, elik parçalarının korozyondan korunmaları ile aşınma, karıncalanma ve çürümeye karşı dirençlerini arttırmak ve soğuk ekillendirilmelerini kolaylaştırmak için kullanılan ve parça yüzeylerinde genellikle metal bileşikli fosfattan bir tabaka oluşturan yöntemdir.

Fosfatlama tekniğinin kurucuları Coslett ve Richard'dırlar. Coslett 1906 yılında, seyreltilmiş sıcak fosforik asit içine, demir ve çelikten yapılmış eşyaları daldırarak korozyonun önlenmesi üzerine patent almıştır. 1911 yılında da Richard, kullanışlı ikinci bir fosfat kaplama yöntemini buldu. Richard kaplamada, sulandırılmış fosforik asit ile mangandihidrojenfosfat kullanmıştır.

Başlangıçta yalnız elik parçalar fosfatlanarak, onların paslanmaya ve diğer etkenlere karşı korunması sağlanmıştır. Coslett tarafından ileri sürldüğu gibi, fosfatlanmış olan yüzeylere boya daha iyi yapışmaktadır. Boyanmamış maml makina parçaları da, fosfatlandıktan sonra yağlanarak uzun süre depolandıklarında veya nakilleri sırasında paslanmaktadırlar.

Makina imalatında, fosfatlama yapılan parçaların soğuk şekillendirilmesi sırasında, parçaların kayma direnci de azalmaktadır. Bunun için daha önceleri, birbiri üzerinde kayan makina parçaları kalaylanmıştı. Bu metodun pahalı olması nedeniyle, birbiri üzerinde kayan yüzeylerin fosfat kaplanmasına ilgi artmıştır. Fosfatlama metodu geliştirildikten sonra, kalaylamaya ve diğer metotlara göre, mangan-demir-fosfat içeren tabakanın yağı emmesi ve tutması bakımından teknik üstünlüğü olduğu görülmüştür.

2.1.2.2. Kimyasal ve Fiziksel Esaslar

2.1.2.2.1. Reaksiyon Denklemleri

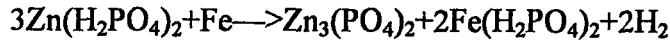
Çeliğin (veya çinko, kadmiyum, alüminyum ve bunların alaşımlarının) fosfatlanması sırasında yüzey daha ziyade çinkonun veya manganın primer fosfatlarıyla sulandırılmış zayıf fosfor asidi ile işleme tabi tutulur.

Banyonun asit miktarı, sistem dengede kalacak şekilde seçilir. Asit ile yapılan ilk dağlama sırasında serbest fosfor asidinin bir miktarı kristalleştiğinden, sistemin denge durumu da bozulur.

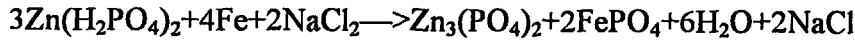
Fosfatlama işleminde tabaka olarak, çinkofosfat, çinkokalsiyumfosfat veya manganfosfat tabakalarının oluşumu sağlanabilir. Fosfatlama eriyiği, anyon yanında yani katyonun büyük bir kısmı olarak, örneğin çinko, kalsiyum veya mangan gibi çözünmüş şekildeki fosfatlama bileşiklerini içerir.

Kimyasal olarak bu bir asitle dağlama reaksiyonu olmakta ve bunun üzerinde de, fosfor kristalleri ayrılmaktadır. Bu olayın kimyasal denklemi şu şekildedir;

Oksidasyon maddesiz olarak:



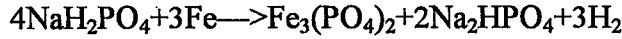
Oksidasyon maddesi ile:



Demir üzerindeki çinkofosfat tabakasının kimyasal ve kristallografik yapısı Hureaulith minerallerinin ($[\text{MnFe}]_5.\text{H}[\text{PO}_4]_4.4\text{H}_2\text{O}$) manganfosfatı tabakasının mineralhopeite benzer ($\text{Zn}_3[\text{PO}_4]_2.4\text{H}_2\text{O}$) şeklinde fosfophi (Phosphophyllit) ($\text{Zn}_2\text{Fe}[\text{PO}_4]_2.4\text{H}_2\text{O}$) içinde büyümesidir. Genellikle 1,5 g/m² ağırlığındaki tabaka, parlak griden siyaha kadar değişen renklere görünür.

Soğuk haddelenmiş çelikler için ana bileşim elemanı, alkalifosfat ve serbestfosfatasidi olan fosfatlama çözeltileri önem kazanmıştır. Bu banyo çözeltileri, çelik yüzeyinde

yaklaşık olarak şu şemaya göre reaksiyon yapmaktadır:



Aynı zamanda ince bir demir oksit tabakası da birlikte ayrışır. Çözeltilerin bileşimlerine bağlı olarak, yüzey örtüleri, çeşitli renklerde görünürler. Bu tabakanın büyük bir kısmı teriter demir II fosfat olan Vivianit ($\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)'dan oluşur. Tabakanın ağırlığı ekseriya 1 g/m^2 'nin altındadır.

2.1.2.2.2. Fiziksel Özellikleri

İşlem yapılan metal üzerinde fosfat kristallerinden oluşan tabaka metale çok iyi bağlıdır ve en ağır mekanik zorlanmalara dayanabilir. Fosfatlama ile malzemenin, yorulma mukameveti, dinamik mukameveti ve sertliği değişmez.

Çizelge 2.3. Fosfatlama Tipleri. (Ts 524)

Tip	Kaplama Ağırlığı g/m^2		Bileşim	Kullanıldığı Yerler
	Alt Sınır	Üst Sınır		
1A Çok kalın	7,5	-	Mangan ve/veya demir fosfat	Koruma maddeleri ile birlikte aşınma ve karıncalanmaya karşı direnç sağlamada
1B Kalın	7,5	-	Çinko fosfat	Koruma maddeleri ile birlikte soğuk şekillendirmedeki yağlanma maddesini iletmede
2 Orta	4,5	7,5	Çinko ve/veya diğer fosfatlar	Boyanın altında, şekil değişimi olmayan parçalarda ve küçük soğuk şekillendirmelerde yağlanma maddesini iletmede
3 İnce	1,5	4,5	Çinko ve/veya diğer metal fosfatlar	Organik kaplama altında genel amaçlar için
4 Çok İnce	0,2	1,5	-	Korozyona direnç gereksiniminin daha az olduğu yerlerde veya organik kaplamalardan sonra en fazla şekillendirilebilme için

Metalik olmayan fosfat kaplama, bölgesel oluşan elemanlarla elektrik geçirmeyen izolasyon maddesi olarak etki yapar ve ayrıca korozyonu da önler.

Fosfat tabakası kapılar yapıdadır. İçinde sayısız çok ince gözenekler bulunur. Kalın tabakalarda bunlar, bütün yüzeyin yaklaşık % 0,1'i, ince tabakalarda ise % 1'i kadardır.

Tabakının gözenekleri yağlayıcı maddeleri çok iyi bir şekilde emerek depo ederler.

Fosfatlanan çelik yüzeyleri, parlak yüzeylere göre, 13 kere daha fazla yağı tutabilirler.

Fosfatlama tabakası 0,2-20 µm kalınlıkları arasında olmak üzere birbirinden farklı 100 ayrı kalınlıkta olabilir . Bu nedenle, kullanım amacına göre ekonomik ve teknik olarak istenilen fosfat tabakası kalınlığı için seçim yapılır ve fosfatlama işlemi ona göre ayarlanır.

2.1.2.2.3. Tabaka Oluşumuna Etkileme

- Fosfatlama maddesi
- Oksidasyon maddesinin (hızlandırıcı) konsantrasyonu
- Parçanın banyo sıcaklığının

uygun seçimi ile fosfatlama süresi olayın ceryanı ve tabakanın oluşumu isteğe ve amaca göre ayarlanır.

Boyama için yapılan hazırlıkta ince ve iyi örten tabakanın oluşması için gayret gösterilir. Ekonomik nedenlerle metodun hızlı yapılması önem taşır. Çeşitli fosfatlama kapları DIN 50942'de normlaştırılmışlardır.

2.1.2.2.4. Hızlandırıcılar

Fosfatlama tabakası oluşturan, primer reaksiyon sırasında oluşan hidrojen gazı, çelik yüzeyinde gaz kabarcıkları şeklinde toplanmakta ve kaplama tabakasının oluşumunu geciktirmektedir. Fosfatlama çözeltisi içine katılan oksidasyon maddelerinin etkisi ile, hidrojen gazı oluşumu sırasında hemen su haline dönüştürülür ve işlem süresi 30-60 dakikadan (uzun süreli banyo) bir dakika ve daha az süreye kadar kısaltılabilir (kısa süreli banyolar).

Hızlandırıcılar, yalnız işlem süresini kısaltmakla kalmaz, aynı zamanda kimyasal maddelerin kullanma miktarı ve banyonun ısıtılmasındaki enerji ihtiyacını azaltır. Bunlar bazı hallerde, hatta 50 °C sıcaklığın altında bile, fosfatlamayı olanaklı kılar. Ancak azalan sıcaklıkla fosfatlama süresi de uzamaktadır.

2.1.2.3. Fosfat Tabakasının Meydana Getirilişi

2.1.2.3.1. Yöntemin Tekniği

Fosfatlama işlemi, üç veya dört ana işlem kademesinde yapılır.

- Temizleme (Bazı hallerde aktifleyici ön yıkama)
- Fosfatlama ve
- Son işlem

Kademeler arasında bir önceki çözeltinin artıkları, soğuk su ile yıkanılarak temizlenir.

2.1.2.3.2. Temizleme

Fosfatlama kimyasal bir işlem olduğunda etken çözeltinin fosfatlanacak parça yüzeyini hızla, kusursuz ve homojen olarak ıslatması gerekir. Parça yüzeylerindeki yağ, gres pas, tufal ve benzeri yabancı maddeler homojen bir reaksiyonu engellediği gibi banyonun kimyasal özelliğini ve kaplama kalitesini de bozar. Bu nedenle fosfatlanacak parçanın yüzeyi iyi bir şekilde temizlenmelidir. Kaba kristalli kaplamalar genellikle iyi sonuç vermez. Temizlenmiş parçalar soğuk veya sıcak su ile yeterince yıkanmalı, temizlik maddelerinden de tam olarak arındırılmalıdır.

Fosfatlanacak parçaların yüzeyindeki gres, yağ ve benzeri maddeler, uygun temizleme maddeleri (trikleretilen, perkleretilen, alkali yağ çıkarma maddesi veya temizleyici emülsiyon) ile giderilmelidir.

Organik maddelerle en uygun şekilde yağdan temizleme, özel aygıtlarla yapılır. Yağ çözen maddeler buharla birlikte uygulanmalıdır. Sıvı organik maddeler kullanıldığında, yağ temizleme iki aşamada yapılır. Birinci aşamada yağın kabası giderilir. İkinci aşamada ise taze çözelti kullanılarak yağın kalan kısmı çıkarılır.

Pas, tufal ve benzeri maddelerden, parça yüzeyleri asitle silinerek kum veya çelik kumu püskürtülerek temizlenir. Metal fırça ile fırçalanarak parçaların; klorik asit, fosforik asit veya sülfürik asit ile dağlamalarında yüzeyler oluşan hidrojenle çok lekelenmemelidir. Kum veya çelik kumu püskürtme ile temizlemede de yüzey çok zedelenmemelidir.

Metal fırça ve kum püskürtme ile temizlenen yüzeylerdeki yabancı maddeler ise mekanik olarak temizlenmelidir.

2.1.2.3.3. Aktifleştirme

Eğer çelik yüzeyi kuvvetli alkalilerle temizlenirse veya asitle dağlanırsa, bundan sonra yapılacak fosfatlamada, yalnız çok iri ve kapalı olmayan bir tabaka oluşur ve bu kaplama yetersiz kalabilir. Bu nedenle fosfatlamadan hemen önce seyreltilmiş titan fosfat ile, aktifleştirme ön yıkaması yapılır. Böylece çelik yüzeyinde, kristalleşme çekirdekleri oluşturulur ve böylece kapalı ince kristalli fosfat kaplama yapılabilir.

2.1.2.3.4. Fosfatlama

Fosfat tabakasının arzu edilen kullanılış gayesine göre, en ekonomik şekilde istihsal edilebilmesi için, kullanılması gerekli primer fosfat çözeltisi içinde seyreltilmiş fosfor asidi ile çözülmüş kimyasal katkıları da kesinlikle bulunmalıdır.

Fosfatlama; daldırma, püskürtme veya haddelme ile, özel hallerde ayrıca el ile veya yakma ile yapılır. Yöntemin seçimi ile fosfatlama maddesi, parçalara yapılan fosfatlamadan aranılan şartlar ve parça sayısı, parça şekli ve büyüklüğüne bağlıdır.

Banyo sıcaklığı 20 °C-100 °C arasında seçilebilmektedir. Kaplama süresi ise normal durumlarda 2-10 dakika, özel durumlarda da 10-60 dakika olmalıdır.

Banyo sıcaklığı, fosfatlama süresi, kimyasal bileşim ve parçanın ısı işlemi, parça yüzeyinin işleme kalitesi ve elde edilmesi istenilen tabaka kalınlığı ile bağlantılıdır. Sayılan bu faktörler işletme şartlarında deneme ile tespit edilmelidir.

Fosfatlanacak parçalar, fosfat banyosuna asılır veya tel sepetler içinde banyoya

daldırılır veya tamburlar içinde yatay konumda kaplanır.

Tambur usulünde kaplama ince dokulu olur. Tamburlama daha ziyade küçük parçalara uygulanır. Küçük parçalarda dış vidalar varsa bu vidaların zedelenmemesi için parçalar tel sepetlere konulmalıdır.

Yavaş dönen tamburlarda parçaların hareket etmelerine ve banyonun her tarafını yalamasına dikkat edilmelidir. Giriş ve çıkış delikleri bulunmayan parçaların fosfatlanması gerekirse, parçaların banyoya verilmeleri sırasında deliklerdeki havanın tamamen çıkması sağlanmalıdır.

Ağır parçaların banyoya daldırılabilmesi için özel bir asma ve yürütme düzeni bulunmalıdır. Püskürtme usulünde fosfat çözeltisi püskürtme memeleri yardımı ile yüzeyleri temizlenmiş parçalar üzerine püskürtülmelidir.

Elektrolitik usulde ise banyoya akım verilmeden önce parçalar, akım veren iletkene temas etmeyecek şekilde asılmalıdır.

2.1.2.4. Son İşlem

2.1.2.4.1. Hızlandırılmış Fosfatlamadan Sonraki Yıkamalar

Hızlandırılmış fosfatlama uygulanmış bütün parçalar en az iki kez yıkanmalıdır. Sonuncu yıkama sıcak su banyosunda yapılmalıdır.

2.1.2.4.2. Fosfatlanmış Yüzeylerin Görünüşü

Fosfatlanmış yüzeyler çok kristalli olmayıp mat bir görünüme sahip olmalıdır. Yüzeylerde fosfatlanmış yama ve leke şeklinde kısımlar bulunmamalıdır.

Fosfatlanmamış yüzeyleri basit olarak belirlemek için şüphe edilen yüzeyler tırnak ile çizilir. Tırnak ile çizildiğinde fosfatlanmış yüzeyler mat ve donuk, fosfatlanmamış yüzeyler ise parlak bir görünüm alır.

Fosfatlanacak parçaların bazı yerlerinde tufal mevcut ise ve asitle temizlemede bu kısımlar diğer kısımlara nazaran daha az temizlenmiş ise fosfatlamadan sonra o

kısımlar farklı görünüşte olurlar. Farklı mekanik işlemden geçmiş parçaların fosfat tabakaları da farklı görünüşte olurlar. Bu farklı görünüş fosfatlama tabakasının niteliğin bozmaz(Gürleyik 1987).

2.2. Yüksek Mukavemetli Saclar

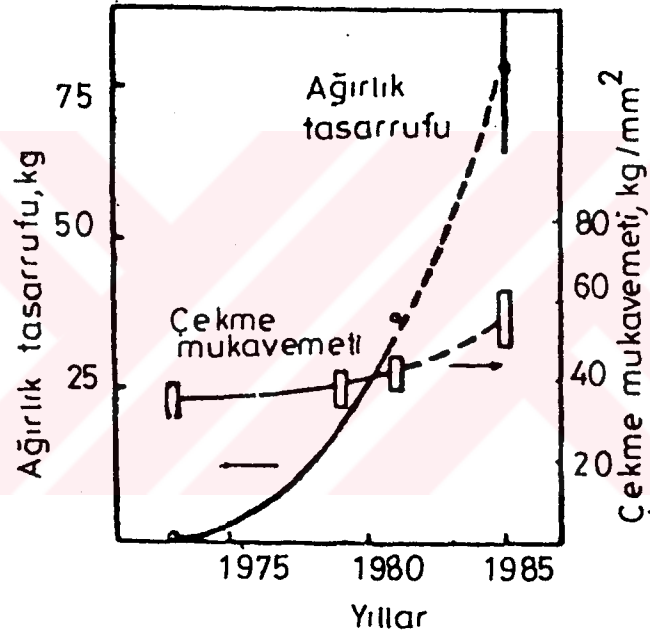
1972 yılından itibaren taşıtlarda az karbonlu çelikler yerine, her yıl artan oranlarda yüksek mukavemetli çelikler kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sebebi yapılan bilimsel araştırmalar sonucu, yüksek mukavemetli çeliklerin mukavemetlerinin her geçen yıl artırılmasıdır. Böylece çeşitli otomobil parçalarının mukavemetinde herhangi bir kayıp olmaksızın, daha ince saclardan üretimi mümkün olmaktadır. Taşıt ağırlığının yaklaşık % 60'ını çeliklerin oluşturduğu düşünülürse, yüksek mukavemetli çelik sacların kullanılması ile, taşıt ağırlığında önemli bir miktarda azalma sözkonusu olmaktadır.

Sözgelimi yüksek mukavemetli çeliklerin bir grubu olan, yüksek mukavemetli az alaşımlı (YMAA) çeliklerden kalınlığı % 10-15 daha ince karoseri panelleri yapılması halinde, toplam taşıt ağırlığında 32-45 kg'lık azalma olmaktadır. Ayrıca tampon, tampon destekleri, motor gövdesi, süspansiyon parçaları gibi çeşitli otomobil parçalarının YMAA çeliklerden yapılması, daha hafif tekerlek jantı, fren ve süspansiyon sistemi, vs. kullanılmasına yol açacağından taşıt ağırlığında ilave bir tasarrufa sebep olmaktadır.

YMAA çeliklerin biçimlenebilme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle, 1975 yılı sonlarına doğru otomotiv endüstrisinde çift fazlı çelikler (dual-phase steels) kullanılmaya başlanmıştır. Az karbonlu ve YMAA çeliklere, ferrit matriks içinde % 20'den daha düşük oranda martensit adacıklarının bulunduğu bir mikroyapı kazandıracak özel bir ısı işlem uygulanarak üretilen çift fazlı çelikler hem yüksek mukavemete ve hem de yüksek süneklığe sahip olduklarından, otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg) çekme mukavemeti 40 kg/mm²'ye kadar değişen çeşitli çift fazlı çelik üretimi yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak genellikle sürekli tavlama (continous annealing) ve haddeleme (hot-strip mill rolling) metodları kullanılmaktadır. Diğer bir üretim metodu olan ve soğuk

haddelenmiş saclara uygulanan kutu tavı (batch annealing) metodu ise, henüz gelişme aşamasında olduğundan çok dar bir uygulama alanına sahiptir.

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri gibi presle biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında çift fazlı çeliklerin kullanılmasıyla sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının % 10'una ulaştığında, yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve taşıt daha ekonomik hale gelmektedir. Sözgelimi çift fazlı çeliklerden imal edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemette ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın % 25-35 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak % 12 (330 mm. çapındaki jantın ağırlığı 0,91 kg. azaltılması halinde) mertebesindedir



Şekil 2.3. Yıllara göre yüksek mukavemetli çeliklerde mukavemet artışı ve bunun sonucu olarak taşıt ağırlığında yapılan tasarruf miktarı.

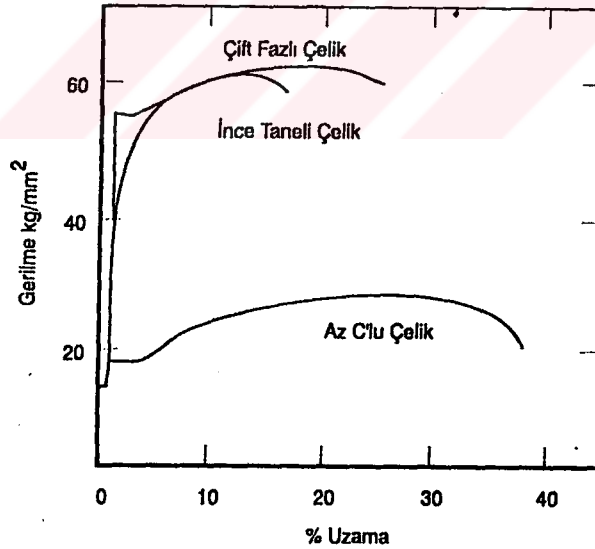
2.2.1. Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Üstünlükleri

Çift fazlı çeliklerin özellikleri ABD'deki en büyük otomobil üreticisi firma olan General Motors tarafından belirlenmiştir. Çift fazlı çeliklerin özelliklerinden biri düşük (akma mukavemeti/çekme mukavemeti) oranına (yaklaşık 0,5-0,6) sahip olmalarıdır. Bu çeliklerde ilk deformasyon sertleşmesi hızı yüksek olup, akma mukavemeti ilk %

3'lük şekil. değişimi sonucu 35 kg/mm^2 den 55 kg/mm^2 ye ulaşır. Deformasyon sertleşmesi hızının yüksek olması, biçimlendirilen parçaların çok az deformasyona uğrasalar bile, yüksek mukavemete sahip olacaklarını belirtir. Aynı çekme mukavemeti değerlerinde YMAA çeliklerin % 18-20, çift fazlı çeliklerin % 30 toplam uzama göstermeleri çift fazlı çeliklerin daha sünek olduklarını belirtmektedir. Bu çeliklerde elastik deformasyondan plastik deformasyona geçiş sürekli olmakta, YMAA ve az karbonlu çeliklerde olduğu gibi akma uzaması meydana gelmektedir. Çift fazlı YMAA ve az karbonlu çeliklerin "gerilme - % uzama" diyagramları Şekil 2.4'te görülmektedir.

Tablo 2.4. GM 980 X çift fazlı çeliğin mekanik özellikleri.

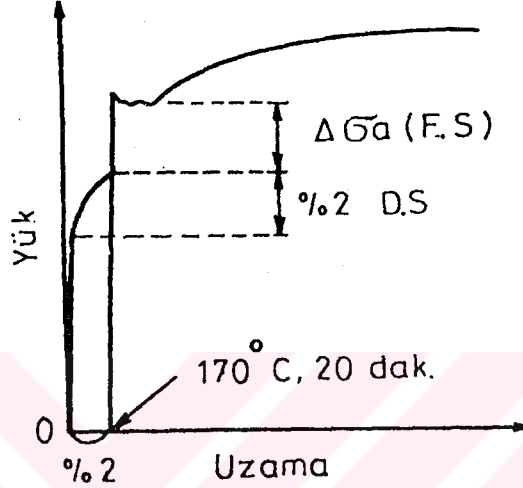
Özellik	Minimum veya Maksimum Değer	Ortalama Değer
% 0,2 Akma Mukavemeti	$38 \text{ kg/mm}^2 \text{ max.}$	35 kg/mm^2
% 3 Uzamadaki Mukavemet	$48 \text{ kg/mm}^2 \text{ max.}$	55 kg/mm^2
Çekme Mukavemeti	$62 \text{ kg/mm}^2 \text{ min.}$	65 kg/mm^2
Toplama Uzama	% 27 min.	% 30



Şekil 2.4. Çift fazlı, YMAA ve az karbonlu çelikleri ait "gerilme - % uzama" diyagramları.

Malzemelerin mukavemetleri arttıkça biçimlenebilme kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Biçimlendirilen otomobil parçalarından beklenen özelliklerden biri de, bunların darbelere karşı direnç göstermeleridir. Darbe direnci, sac kalınlığına ve akma

mukavemetine bağlıdır. Sac kalınlığının artırılması taşıtın ağırlığının artmasına sebep olduğundan darbe direncinin artırılmasında tek yol akma mukavemetini artırmaktır. Çift fazlı çeliklerin akma mukavemeti, soğuk biçimlendirme sırasında oluşan deformasyon sertleşmesine ilaveten biçimlendirilen parçaların boyanmasından sonra yapılan boya kurutma işlemi sırasında oluşan fırınlama sertleşmesi (bakehardening) nedeniyle de artar.



Şekil 2.5. Çekme deneyi ile deformasyon sertleşmesinin (DS) ve fırınlama sertleşmesinin (FS) belirlenmesi.

Otomotiv endüstrisinde, biçimlendirilen saclar boyandıktan sonra, 170 °C sıcaklığındaki fırınlarda 20-30 dak. kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sonucu akma mukavemetinin artması gerçekte bir deformasyon yaşanması olup, "fırınlama sertleşmesi" olarak isimlendirilir. Şekil 2.5'teki "Yüksek Uzama" diyagramından görüldüğü gibi, çift fazlı çeliklerde akma uzamasının tekrar ortaya çıkmasına sebep olan fırınlama sertleşmesi deformasyon sertleşmesine eklenerek, bu çeliklerden yapılmış çeşitli otomobil parçalarını darbelere karşı daha dirençli yapmaktadır.

2.3. Kaynak Yöntemleri

Otomotiv endüstrisinde çelik saclardan üretilen parçaların birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı durumlarda nokta kaynağı ile birleştirme mümkün olmamaktadır. Bu durumlarda elektrik ark veya gaz altı kaynak yöntemleri diğerlerine göre tercih edilmektedir. Günümüzde, hızlı ve kaliteli

kaynakla gerçekleştirilebilen ve ayrıca otomasyona da uygun olan gaz altı kaynak yöntemi daha geniş kullanım alanına sahiptir. Gaz altı kaynak yöntemleri içerisinde, kullanılan gazın ucuzluğu sebebiyle ekonomik bir yöntem olan MAG (Metal Aktif Gaz) yöntemi ayrıca tercih edilmektedir. Bu kısımda otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan elektrik direnç nokta ile MAG kaynağından bahsedilecektir. Ama öncelikle kaynak kabiliyeti konusundan bahsedilecektir.

2.3.1.Kaynak kabiliyeti

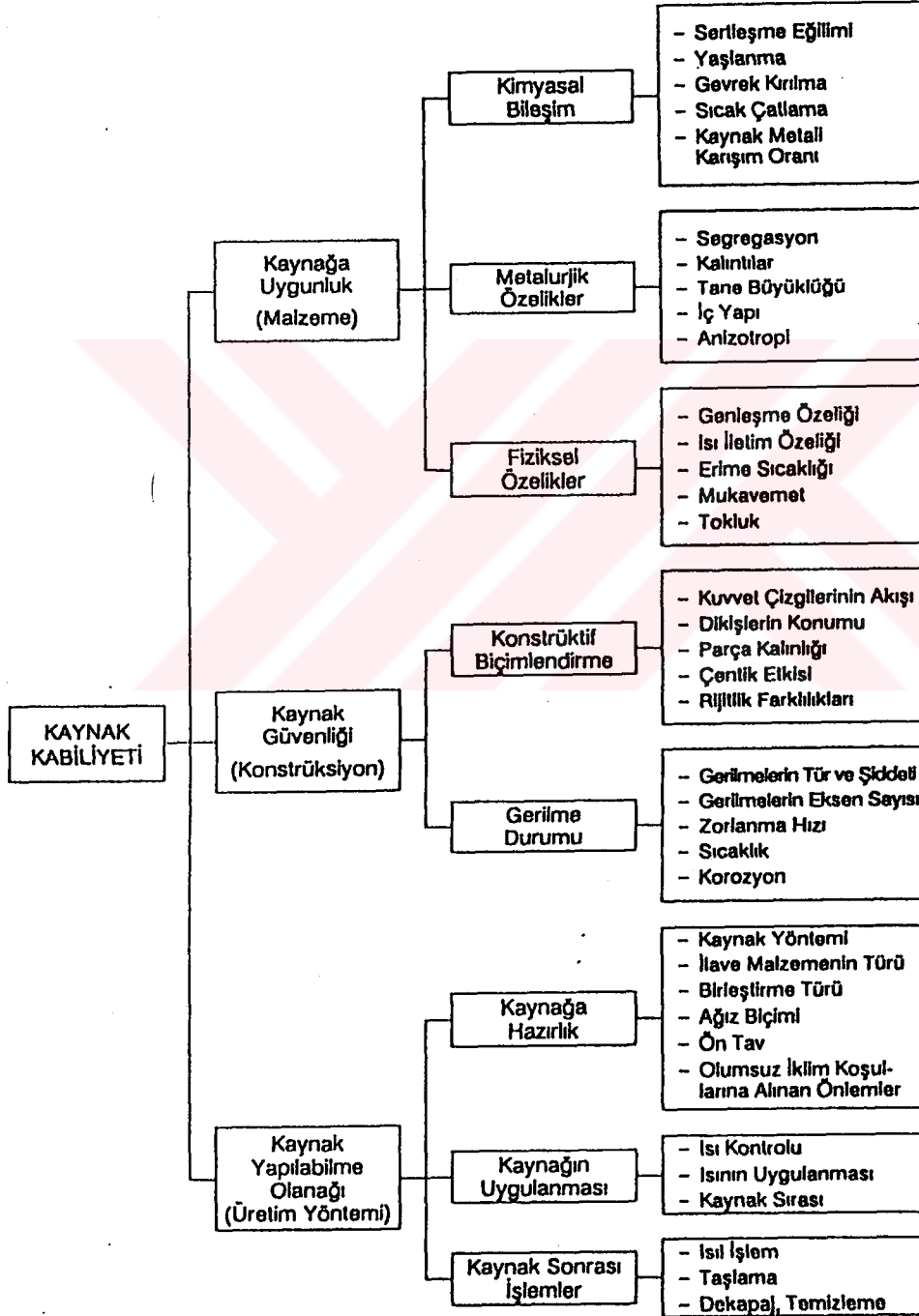
İmalat tekniğinde gaye yalnızca malzemeleri birleştirilmesiyle parça elde edilmesi değildir. Aynı zamanda yapılan parçanın çalışma şartlarında bozulmaması ve görevini yerine getirmesi gerekir. Bu sebepten, kaynaklı bağlantılardan da bazı esasları yerine getirmesi istenir. Söz konusu esasların gerçekleşme derecesi, kaynaklanan malzemenin "kaynak kabiliyeti " olarak değerlendirilir.

Kaynak kabiliyeti kesin ve kantitatif olarak ifade edilebilen bir özellik olmayıp, karmaşık bir anlam taşır. Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün (IIW-IIS) IX no'lu Kaynak Kabiliyeti Komüsyonu kaynak kabiliyetini şöyle tarif etmektedir: "Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir maksat için bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır. "

Yukarıdaki tariften de anlaşıldığı üzere, kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağlı bir özellik değildir. Aynı zamanda, kaynak usulüne ve kaynaklı konstrüksiyona da bağlıdır. Bir malzemenin yüksek kaynak kabiliyetine sahip olması; kaynak şartları geniş bir aralıkta değişirken hiçbir tedbire gerek kalmadan, tatminkar bir kaynak kalitesinin elde edilmesi demektir. Düşük derecede kaynak kabiliyeti ise tatminkar bir netice alabilmek için özel tedbirlere ihtiyaç olduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulması gerektiğini ifade eder.

Kaynak kabiliyetinin derecesini belirten özellikler malzemenin tipine göre değişir.

Mesela birçok çelik malzemenin kaynağında iyi mekanik özellikler elde etmek istenirken, ostenitik paslanmaz çeliklerde ısının tesiri altındaki bölgenin korozyona dayanıklı olması istenir. Kaynak kabiliyeti deyimi kaynağa elverişlilik, konstrüksiyonun kaynak emniyeti ve imalatta kaynak yapabilme kavramlarını içine alır. Bu kavramlarda malzeme, imalat usulü ve konstrüksiyonun etkisi altındadır. Bu etkiler şekil 2.6 ve 2.7'da şematik olarak gösterilmektedir.

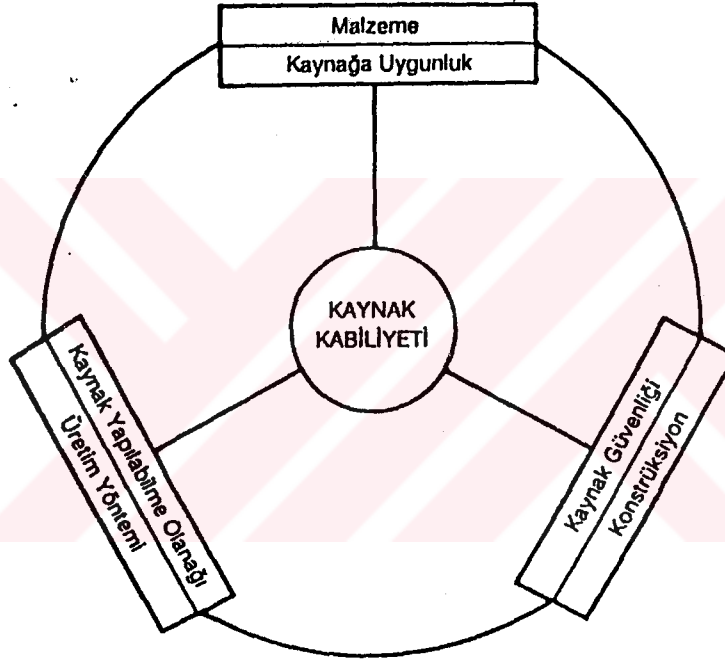


Şekil 2.6. DIN 8528 'e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin şematik gösterilişi

Bir malzemenin kaynak kabiliyetinden söz edebilmek için en azından aşağıdaki iki şart gerçekleşmelidir:

- a-) Parçaların belirli bir kaynak usulü ile birleştirilebilmesi mümkün olmalıdır.
- b-) Kaynak edilen malzeme, maruz kalacağı zorlamalara dayanmalıdır.

Bir konstrüksiyonun kendisinden beklenenleri sağlaması malzeme konstrüksiyon imal usulü ve işletme zorlamaları gibi faktörleri tesiri altındadır. Hatalı bir durum ortaya çıktığı çıktığı zaman, bütün kusur malzemeye yüklenemez.



Şekil 2.7. Kaynak kabiliyetinin malzeme , üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi (DIN 8528)

Diğer faktörlerde göz önüne alınmalıdır. İyi tasarlanmış bir konstrüksiyon, seçilen malzeme ile bir dereceye kadar gerçekleştirilebilir. Fakat bu konstrüksiyonun bekleneni tam olarak verebilmesi için, uygun bir imal usulünün de seçilmesi gerekir.

Çeliklerin kaynak kabiliyetlerini incelediğimizde alaşımsız veya hafif alaşımlı yüksek mukavemetli bir çeliğe iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptir diyebilmek için aşağıdaki iki şartın bir arada bulunması gerekir:

- a-) Kaynaktan önce ve sonra iyi bir süneklığe sahip olmalıdır.

b-) Kaynak metali esas metal ile karıştığı zaman , gevrek olmayan bir kimyasal bileşim sağlamalıdır.

Yapı çeliklerinin kaynağında kaynağın neticesine tesir eden en önemli faktör esas metalin bileşimidir. Bilhassa bileşimindeki karbon ve manganez oranı kaynak kabiliyeti bakımından çok önemli olup maksimum miktarları sınırlandırılmıştır. Mesela; gazı alınmış çelikler için İsveç'te maksimum karbon oranı %0.25 olarak tavsiye edilmiştir. ABD de ise bu sınır %0.30'a çıkarılmış ve daima ön tav önerilmiştir. Manganez ve diğer alaşım elemanlarının kaynak kabiliyeti üzerindeki tesirleri, karbon cinsinden ifade edilerek "Karbon eşdeğeri" terimi ortaya atılmıştır. Karbon eşdeğerinin çok çeşitli şekilde ifadeleri vardır. Milletlerarası Kaynak Cemiyetinin karbon eşdeğeri aşağıdaki ifadeyle verilmektedir:

$$\%Ceş = \%C + (Mn/6) + [(Cr+Mo+V)/5] + [(Ni+Cu)/15]$$

Ceş formüllerinin geçerli olabilmesi için çelikteki alaşım elementleri sınırları şu şekildedir:

$$C < \%0.5 , Mn < \%1 , Cr < \%1 , Ni < \%3.5 , Mo < \%0.6$$

Bir yapı çeliğine uygulanacak ön tavlama karbon eşdeğeri ile belirten bir takım formüller varsada en garantisi hiç formül kullanmadan aşağıdaki tavlama değerini uygulamaktır (Anık 1991a):

Tablo 2.5. Karbon eşdeğerine göre ön tav sıcaklığı.

<u>Karbon eşdeğeri (%)</u>	<u>Öntavlama sıcaklığı (C°)</u>
0.45'den az	Normal atmosferde
0.45–0.60	100–200
0.60'dan büyük	200–350

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri tamamen çeliğin bileşimi ile ilgili olup, kaynağa uygulanan enerji, kaynak ağızı formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Bunlar, soguma hızını birinci derecede etkileyen ve dolayısıyla ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan iç yapıyı da belirleyen faktörlerdir.

Örneğin, 20mm. kalınlığında ve karbon eşdeğeri %0.45 civarında olan bir çelik ön tavlama yapılmadan kaynak edildiğinde Uluslararası Kaynak Enstitüsü(IIW) tarafından kritik sertlik derecesi diye kabul edilen 350HV'den daha sert bir ısının tesiri altında kalan bölge(ITAB) göstermektedir. Aynı parça 100°C'lik ön tav uygulanarak kaynatıldığında, ısı tesiri altında kalan bölgenin sertliği hemen kritik sertlik değerinin altına düşmektedir. Bu olayı gözönünde bulundurarak Daniel Seferian, parça kalınlığının, soğuma hızına olan etkisini de içeren bir ön tavlama sıcaklığı tespit formülü önermektedir. Buna göre ön tavlama sıcaklığı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$T_{\text{öntav}} = 350 (C_{\text{eş}} - 0.25)^{1/2}$$

$$C_{\text{eş}}' = C_{\text{eş}}(1+0.005d)$$

d: mm. olarak sac kalınlığı

Yalnız bu formülde Seferian kendi geliştirdiği aşağıdaki karbon eşdeğeri ifadesini kullanmaktadır:

$$360 C_{\text{eş}} = 360 C + 40 (Mn+Cr) + 20 Ni + 28 Mo$$

Çeliklerin sıcaklık ve zaman karşısında davranışlarını gözönünde tutarak, kaynak kabiliyetleri bakımından şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- a-) İyi kaynak kabiliyetine sahip olan çelikler (Karbon eşdeğeri %0.45'den küçük)
- b-) Orta derecede kaynak kabiliyetine sahip olan çelikler (Karbon eşdeğeri 0.45 ila 0.60 arasında)
- c-) Kötü derecede kaynak kabiliyetine sahip çelikler (Karbon eşdeğeri 0.60'dan büyük)(Anık 1991b)

Elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyeti için şunlar söylenebilir: Elektrik direnç kaynağında, birleştirilecek parça malzemenin cinsine göre elektrik akımının geçişine büyük bir direnç gösterir. Bunun sonucu olarak, parçalar ısınır. Ohm kanununa göre ısıya dönüşen elektrik enerjisi aşağıdaki ifade ile belirlenir:

$$N_s = I^2 \cdot R$$

Burada; N_s : Isı enerjisine dönüşen elektrik enerjisi

I : Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti

R : Kaynak yapılan parçanın elektrik direnc

Yukarıdaki ifadede, elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin malzemenin cinsine bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Elektrik direncinin düşük olması; ortaya çıkan ısı miktarını azaltacağından, kaynak yapılmasını güçleştirir. O halde; elektrik iletkenliği yüksek bir malzemenin kaynak kabiliyeti, elektrik iletkenliği düşük malzemeye göre daha kötüdür. Elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin tarif edilmesinde malzemenin ısı iletkenliğinin ve erime noktasının da gözönüne alınması gerekmektedir.

Isı iletkenliğinin yüksek olması, kaynak için gerekli ısı yoğunlaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebepten ısı iletkenliği yüksek bir malzemenin elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyeti düşük olmaktadır. Diğer taraftan erime noktasının yüksek olması, kaynak için gerekli ısı miktarını arttırmaktadır.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı malzemenin elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve erime noktası gözönüne alınarak elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyeti aşağıdaki ifadeyle verilebilir:

$$S = \frac{10^4}{\alpha \cdot \lambda \cdot t_e}$$

Burada; S: Kaynak kabiliyeti faktörü

α : Elektrik iletkenliği

λ : Isı iletkenliği

t_e : Erime noktası

Yukarıdaki ifade ile bulunan kaynak kabiliyeti faktörlerine göre elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyeti aşağıdaki biçimde değerlendirilir:

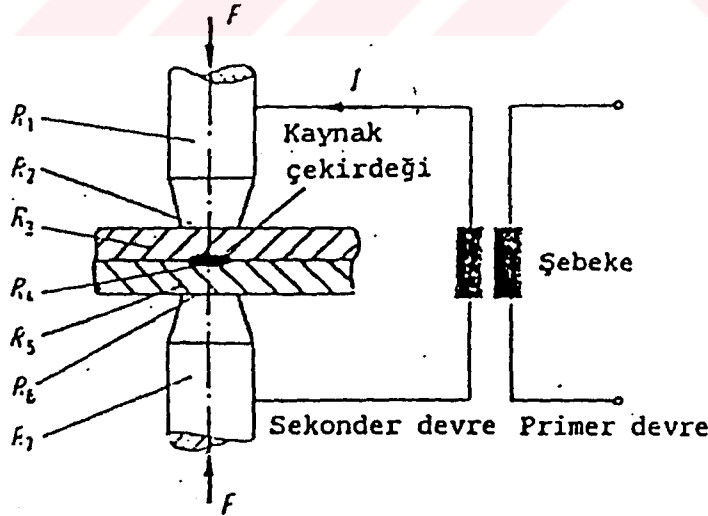
Tablo 2.6. Elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin değerlendirilmesi

<u>Kaynak kabiliyeti faktörü</u>	<u>Kaynak kabiliyetinin durumu</u>
0.25'e kadar	Kötü
0.25-0.75 arası	Yeterli
0.75-2.0 arası	İyi
2.0'den yukarı	Çok iyi

Bu tabloya göre değerlendirme yapıldığında saf bakırın kaynak kabiliyeti çok kötü iken ($S=0.18$) bakır alaşımı olan pirincin ($S=3.2$) ve karbonlu çeliklerin ($S=9.3$) kaynak kabiliyeti çok iyidir (Anık 1991).

2.3.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Elektrik direnç kaynağı, elektrotlar arasında basınç altında birarada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Elektrik direnç kaynağının prensibi.

R_1, R_2, R_5, R_7 : Malzeme dirençleri.

R_3, R_4, R_6 : Temas dirençleri.

F : Elektrot kuvveti.

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinasından sağlanır. Gerekli basınç ve elektrot kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir.

I akımı, R omik direncinin t süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak J birim ısı açığa çıkar:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Burada $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$ 'dir. Yani sekonder devredeki toplam dirençtir.

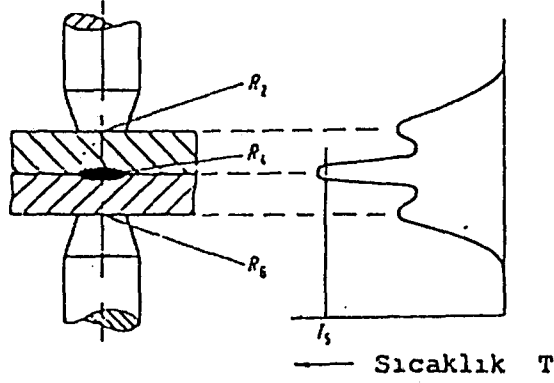
Bu dirençler:

- Malzeme dirençleri: Elektrotlara ait R_1 , R_7 ve iş parçalarına ait R_3 , R_5 , dirençleri,
- Temas dirençleri: Elektrot-malzeme (R_2 , R_6) ve malzeme-malzeme (R_4) direnci.

Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve değişken değildir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlı olarak değişir.

Kaynak sırasında R_4 , en büyük ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu ise, I kaynak akımının, t kaynak süresinin ve F elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. R_2 , R_4 , R_6 temas dirençleri bağlantının kalitesine etki eder.

Şekil 2.9'da şematik olarak direnç kaynağındaki ısı dağılımı verilmektedir. R_4 kaynak bölgesindeki sıcaklık, malzemenin t_e erime sıcaklığının üzerine çıkar. Burada sıvılaştıran malzeme, kaynak sonrasında kaynak çekirdeğini oluşturur.



Şekil 2.9. Nokta kaynağında tipik sıcaklık dağılımı.

R_2 ve R_6 temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, iyi ısı ileten elektrot ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Yüzeylerdeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması gerekir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına, elektrot bağlantısına ve bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar.

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli koşul, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesidir. Örneğin bakırın yüksek ısı iletim kabiliyeti, direnç kaynağında çok kötü kaynak özelliğine neden olur. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, örneğin çelikte sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Ancak su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özelliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alışılma en düşük seviyede tutulur.

Yüzey pürüzlülüğü, elektrik akımının tüm temas yüzeyi yerine sadece birbirine değen pürüz yüzeylerinden geçmesine neden olur. İki yüzey arasındaki temas direnci, birleştirilecek malzemelerin yüzey pürüzlülüğünden ileri gelen daralma ve yüzey film dirençlerinin toplamıdır. Temas direnci; akım yoğunluğuna, elektrot kuvvetine, sıcaklığa ve birleştirilecek malzemelerin deformasyon özelliklerine bağlı olarak akım süresinin dörtte biri kadar bir süre etkili olur.

Yetersiz elektrot kuvvetleri, temas direncinin düzensiz dağılımına neden olmaktadır.

Bu ise, farklı kaynak akımlarına yani farklı kaynak noktası dayanımlarına neden olur.

Aynı davranış, örneğin oksitli yüzeylerde de sözkonusudur. Yeterince büyük elektrot kuvvetlerinde ince yüzey tabakaları hafifçe ezilmekte ancak elektrot temas yüzeyi büyük olmaktadır.

Sac kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot temas yüzeyinin seçimi şu şekilde yapılır:

1. Sivri, düz, eksantrik ve kesik koni uçlu elektrotlar

$$s < 3 \text{ mm. için } d_n = 5\sqrt{s}$$

$$s > 3 \text{ mm. için } d_n = 2s + K$$

$$s < 7.5 \text{ mm. için } K = 2$$

$$s > 7.5 \text{ mm. için } K = 3$$

Burada s , sac kalınlığı (mm) ve d_n , elektrot çapı (mm)'dir.

2. Küresel uçlu elektrotlar

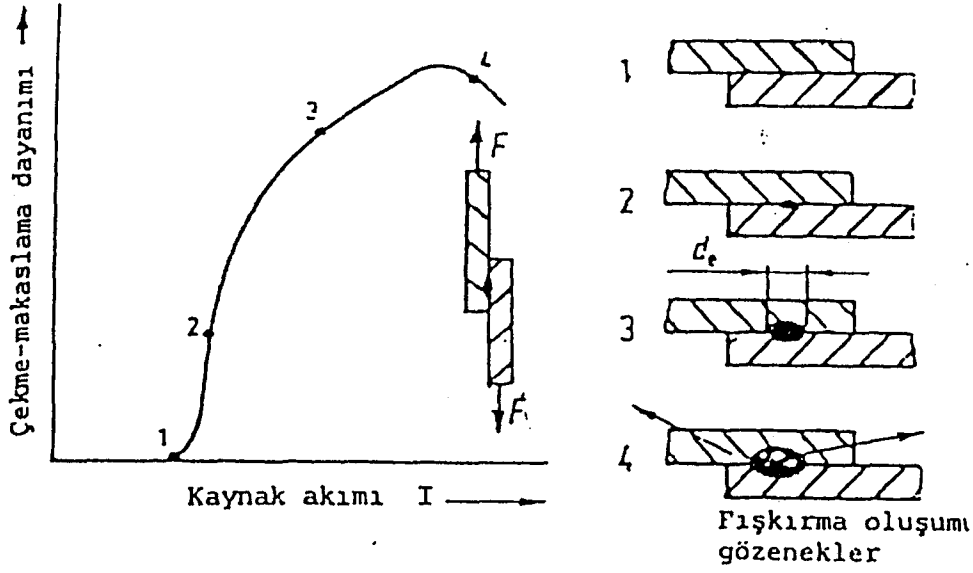
$$r = k_1 \cdot s + k_2$$

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik için $k_1 = 20$ $k_2 = 50$

Alüminyum ve alaşımları için $k_1 = 60$ $k_2 = 20$

Burada r , küresel ucun çapı, s , sac kalınlığı ve k_1 , k_2 malzeme sabitleridir.

Sabit sekonder gerilimde kaynak akımı, artan dirençle ve artan endüktivite ile azalmaktadır. Sekonder devredeki kol açıklığının büyüklüğüne ve bunun içindeki manyetikleşebilen malzemelere bağlı olarak, endüktivite değişik değerler alabilmektedir. Kaynak bağlantısına etki eden, olabildiğince sabit kaynak akımı, sadece sabit direnç ve endüktivite ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.10. Nokta kaynaklı bağlantıların çekme-makaslama dayanımının büyüklüğüne, kaynak akımının etkisi.

Şekil 2.10de kaynak akımının çekme-makaslama dayanımına etkisi görülmektedir. Belirli değerlerin altında kalan ısı enerjisi, istenen bağlantıyı oluşturamaz. Çok fazla kaynak akımı ise, kısmi sıvı metal fıskırmalarına, gözenek ve çatlak oluşumuna ve çekme-makaslama dayanımının düşmesine neden olmaktadır.

Yüksek ısı iletimi durumunda, gerekli ısı miktarını kısa sürede üretmek yerine, daha düşük gücü daha uzun süre uygulamak daha uygun olmaktadır. Kaynak süreleri, kaynak akımı süresince birkaç periyottan başlayarak kalın kesitli parçalarda azami birkaç saniyeye kadar ulaşır.

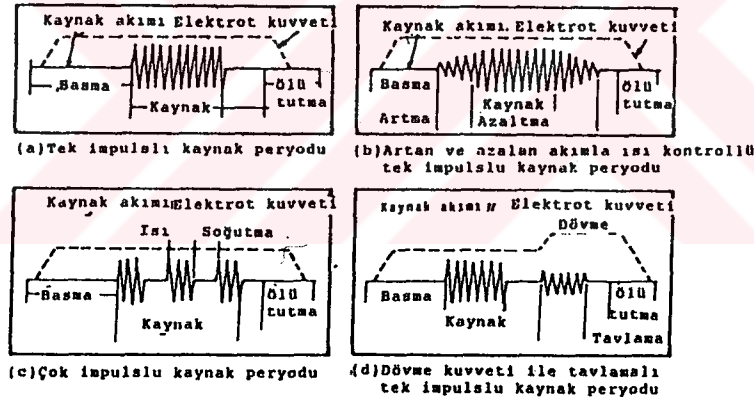
Artan kaynak süresi, kaynak bölgesindeki erimiş metal miktarını büyütmede, ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge) büyümekte ve yumuşamış malzeme miktarı artmaktadır. Böylece fıskırma oluşumu, gözenek oluşumu ve malzeme yüzeyinin elektrot ucuna gelen kısmında istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. 3 mm'den kalın iş parçalarında sürekli etkiyen kaynak süresi yerine, kısa süreli impulslarla çalışmak daha doğru olmaktadır. Böylece kaynak yerinde ısı yükselmekte, malzeme-elektrot temas noktasında iyi ısı ileten ve suyla soğutulan elektrotta ısı alınmakta ve kaynak çekirdeği çevresinde yüksek sıcaklıklara erişmiş bir bölge oluşmaktadır.

Nokta kaynağı elektrotlarında, düşük dayanım nedeniyle saf bakır çok nadir

kullanılmaktadır. Bakır, krom, gümüş, berilyum, molibden ve diğer metaller ile alaşımlandırılmaktadır. Bu tür bir alaşımlandırma, yüksek sıcaklıklarda büyük dayanımlar sağlar. Elektrot şekil ve ölçüleri ısı iletimini, akım yoğunluğunu, temas direncini ve kaynak çekirdeğini belirlemektedir. Düz uçlu elektrot, düz yüzeylerin kaynağında kullanılmaktadır. İnce oksit tabakalarının parçalanması ve ilk temasta büyük akım yoğunluklarının eldesi gerektiği durumlarda ise küresel uçlu elektrotlar kullanılmaktadır.

Kaynak süresini uzatabilmek için elektrotlar esas olarak su ile soğutulur. Elektrot temas yüzeyinin büyümesi akım yoğunluğunu azaltır. Elektrot uçlarının düz şekilde tutulması için zımparalama ve cilalama uygulanır. Böylece elektrot ile iş parçası arasındaki temas dirençleri mümkün olduğunca düşük tutulur.

Elektrik ve elektronik kumanda donanımları, kaynak akımının ve elektrot kuvvetinin Şekil 2.11'deki gibi uygulanmasına olanak tanır.



Şekil 2.11. Nokta kaynağında elektrot kuvveti ve kaynak akımı programı için örnek uygulamalar.

Nokta kaynağı yöntemi sanayide esas olarak saclara uygulanır. Ev cihazlarının, otomotiv sanayi mamullerinin ve hassas cihazların çelikten imalatında kütle halinde uygulanmaktadır. Parça kalınlıkları 0.02 ile 2.5 mm. aralığındadır. Azami parça kalınlığı 20 mm'ye kadar çıkabilmektedir. İş parçalarının kaynağında kural olarak stasyonier makinalar kullanılmaktadır. Bir başka uygulamada ise, hareketli nokta kaynağı pensleri kullanılır. Otomotiv sanayi buna bir örnektir. Bu durumda imalat bölgesinde endüstri robotları kullanılmaktadır. Bu tür imalat tarzında, nokta kaynağı

pensleri, nokta kaynağı makinasına bağlı ileticilerle kullanılmakta ve bitmiş parçalar banda bağlı olarak nakledilmektedir.

2.3.3. *MAG (Metal Aktif Gaz) Kaynağı*

Eriyen elektrotla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gaz altı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı, kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır. MAG sembolü, "Metal Activ Gas" ifadesinin kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla teşkil edilmiştir.

MAG kaynağı, alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır.

MAG kaynağında kullanılan karbondioksit, renksiz, kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. Kullanılacak karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekir. Gaz içerisinde bulunabilecek rutubet, dikişi gevrekleştirir ve gözenek oluşumuna sebep olur. Kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca CO₂, sıvı haldeki demir ile birleşerek demiroksit meydana getirir. Demiroksit ise manganez ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir. Bundan başka CO₂, karbon ile birleşerek karbon kaybına ve karbondioksit ayrışarak karbon teşekkülüne sebep olur.

MAG kaynağında kullanılan kaynak üfleçlerinin prensibi MIG kaynağındaki üfleçlere benzemektedir. Burada da kaynak yerine üfleç içinde sürekli beslenen bir tel elektrot gelmektedir.

MAG kaynağında kullanılan tellerin, kaynak sırasında meydana gelebilecek eleman kayıplarını karşılayacak bileşimde olması lazımdır. Tellerin en fazla kullanılanları, 1,6-2,4 ve 3,2 mm. çaplarındadır.

Kaynak dikişinin özellikleri, kaynak telinin kalitesine, karbondioksit gazının sarfiyat derecesine ve kaynak esnasındaki miktarına bağlıdır.

Tecrübelerle göre kaynak telinde karbon miktarı % 0,09'un altında ise karbon fazlalaşması, üstünde ise karbon azalması olur. MAG kaynağında kullanılan CO₂ içerisinde su buharı olursa gözenekli (balık gözü) bir dikiş elde edilir. Ayrıca azot ve oksijen miktarı da fazla olursa dikişin mekanik özellikleri düşer. CO₂ tüplere sıvı halde depo edilir. Kullanılırken gaz hale geçer ve buharlaşma enerjisini tüpün çıkışından alır. Bu enerjiyi karşılamak ve buzlandırmayı önlemek için tüpün çıkışına ısıtıcı takılır. Argon ve CO₂ için aynı basınç düşürücü kullanılabilir. Yalnız CO₂, argon ve helyumdan daha yoğun olduğundan basınç düşürücünün CO₂ için yeniden ayarlanması gerekir. MIG-kaynak üfleyici MAG'da da kullanılır. MAG-kaynağında sabit gerilimli karakteristiğe sahip, doğru akım makinası ters kutuplama ile kullanılır. Kaynakta erime gücü akımın fonksiyonudur, ancak aynı akım şiddetine MIG kaynağına göre MAG kaynağında daha fazla erime gücü vardır. Bunun nedeni CO₂'in iş parçasına daha fazla enerji taşınmasıdır (Karadeniz 1989).

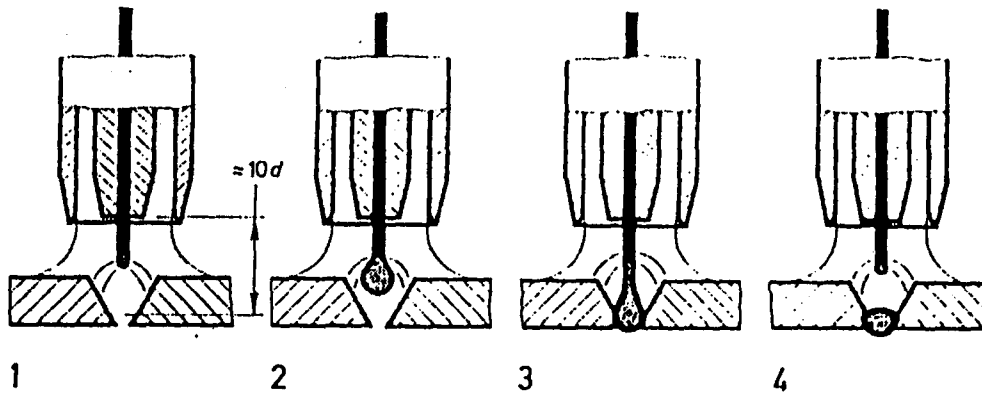
Kısa ark boyu ile MAG kaynağı türünün normal MAG kaynağından farkı, ark boyunun daha kısa ve kullanılan kaynak tellerinin daha ince olmasıdır. Böylece esas metale verilen ısı miktarı azalmaktadır. Bu ise, ince sacların kaynağını kolaylaştırmaktadır. Normal arklı MAG kaynağında, erimiş metal çok ince taneler halinde akarken; kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağında çok iri taneli olarak geçer. Kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağında kullanılan teller 0,6 ila 1,2 mm. çaplarındadır. Buna göre, kullanılan akım şiddetleri ve ark gerilimleri de düşük olmaktadır. Tablo 2.7.'te kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağına ait, kaynak karakteristikleri verilmiştir.

Tablo 2.7. Karbonlu çelik malzemelerin kısa ark boyu ile MAG kaynağında, kaynak karakteristikleri.

Sac Kalınlığı (mm)	Birleştirme Şekli	Kaynak Teli Çapı (mm)	Ark Gerilimi (Volt)
1,0	İç köşe	0,6	16
1,0	Küt alın	0,6	16
1,5	İç köşe	0,8	17
1,5	Küt alın	0,8	17
2,0	İç köşe	0,8	19
2,0	Küt alın	0,8	19

Kısa ark boyu ile yapılan kaynakta, periyodik olarak arkta meydana gelen kısa devrelerle ark uzunluğu değişmekte ve hemen de başlangıçtaki boyuna erişmektedir. Bu durum ise, ancak çok hafif alçalan statik karakteristikli akım membaı ile sağlanabilmektedir.

Kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağı, ince sacların kaynağında, düzgün bir şekilde hazırlanmamış kaynak ağızlarının birleştirilmesinde üstünlük sağlar. Erimiş metalin iri damlalar halinde geçmesi, aralık doldurma kabiliyetini artırmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kısa ark boyu ile yapılan MAG kaynağı.

2.3.3.1. Kısa Ark

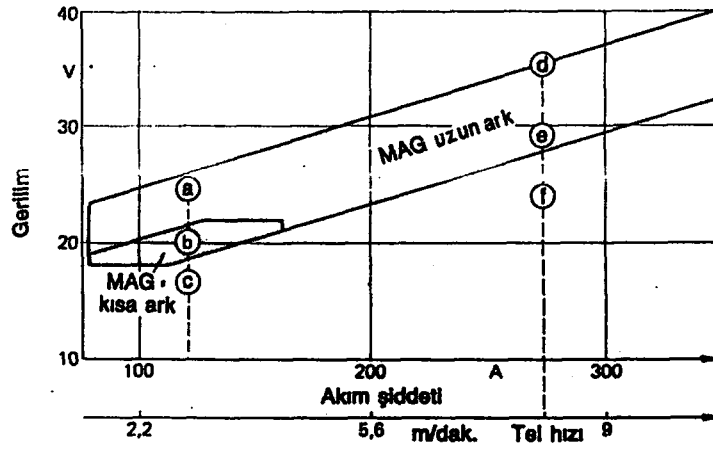
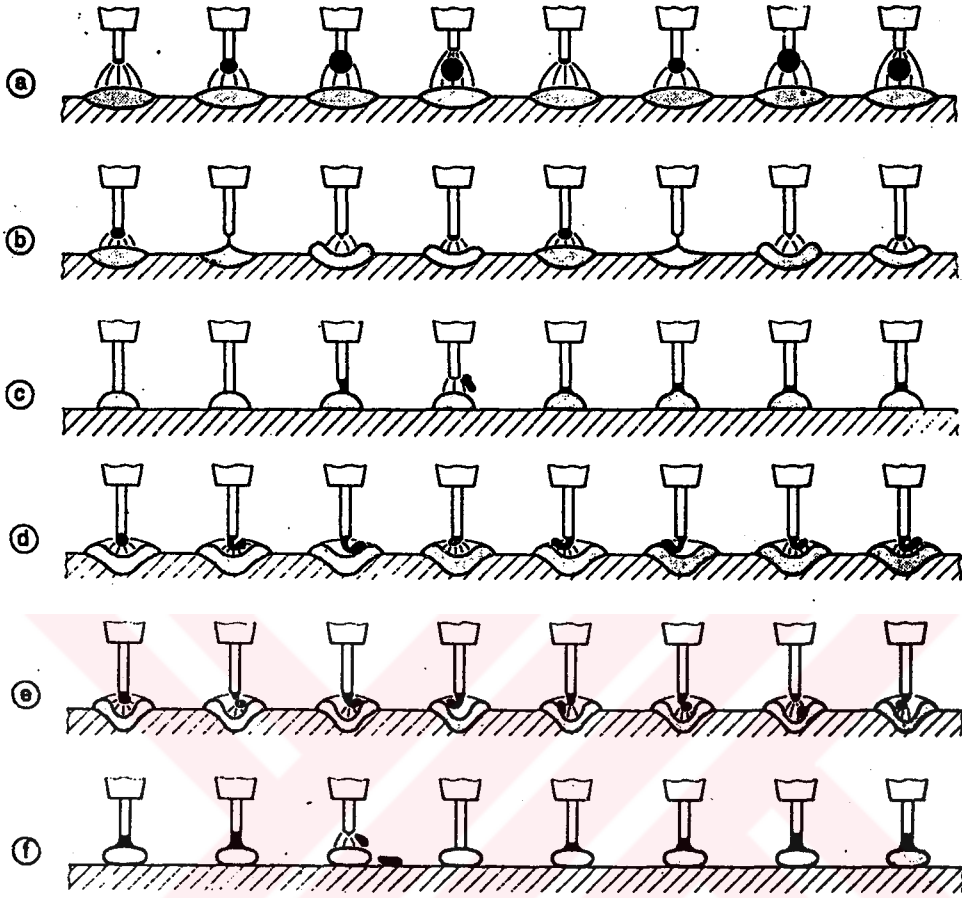
Kısa ark yöntemi ince elektrodlarla (0.6 ila 1.2 mm.) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türüdür. Burada ark oluşunca elektrodun uç kısmı hemen erimeye başlar ve burada bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir, damla elektrottan kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay tekrarlanır. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi koruyucu gaz türü ve elektrot metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20 ila 200 kere tekrarlanır.

Burada kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal transferinin kısa devre esnasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok düşüktür, bu bakımdan ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türüdür. Ayrıca bu tür ark ile yapılan kaynakta kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılaşması nedeni ile, dik ve tavan kaynakları ve geniş kök aralıklarının örülmesinde de uygun bir yöntemdir.

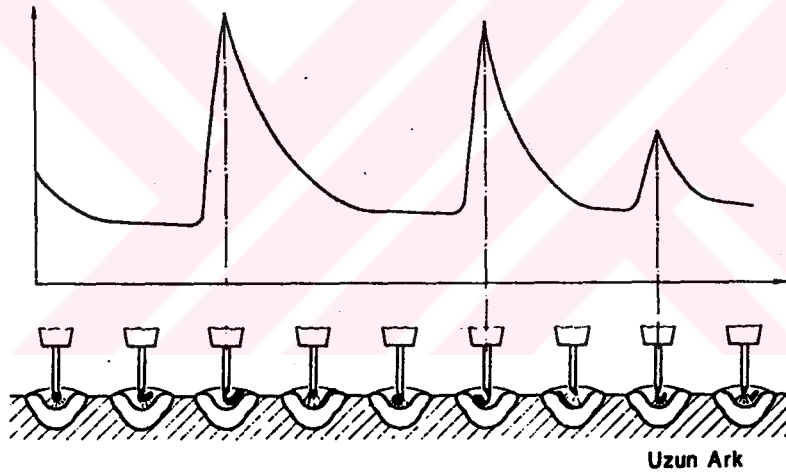
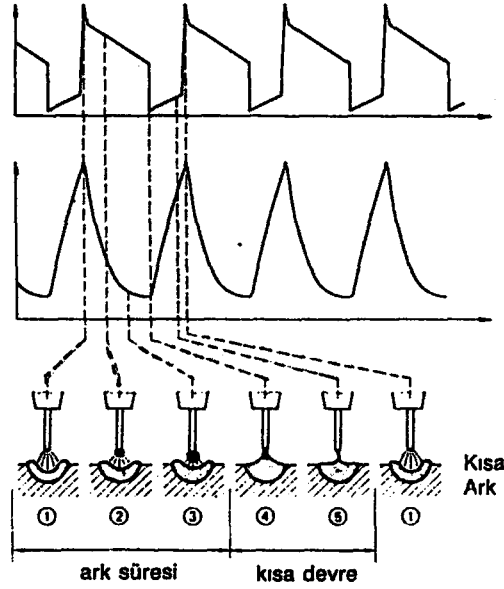
2.3.3.2. Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrottan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer.

Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile burada ark boyu uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya intikal ederken kısa devre oluşumu nadirdir.

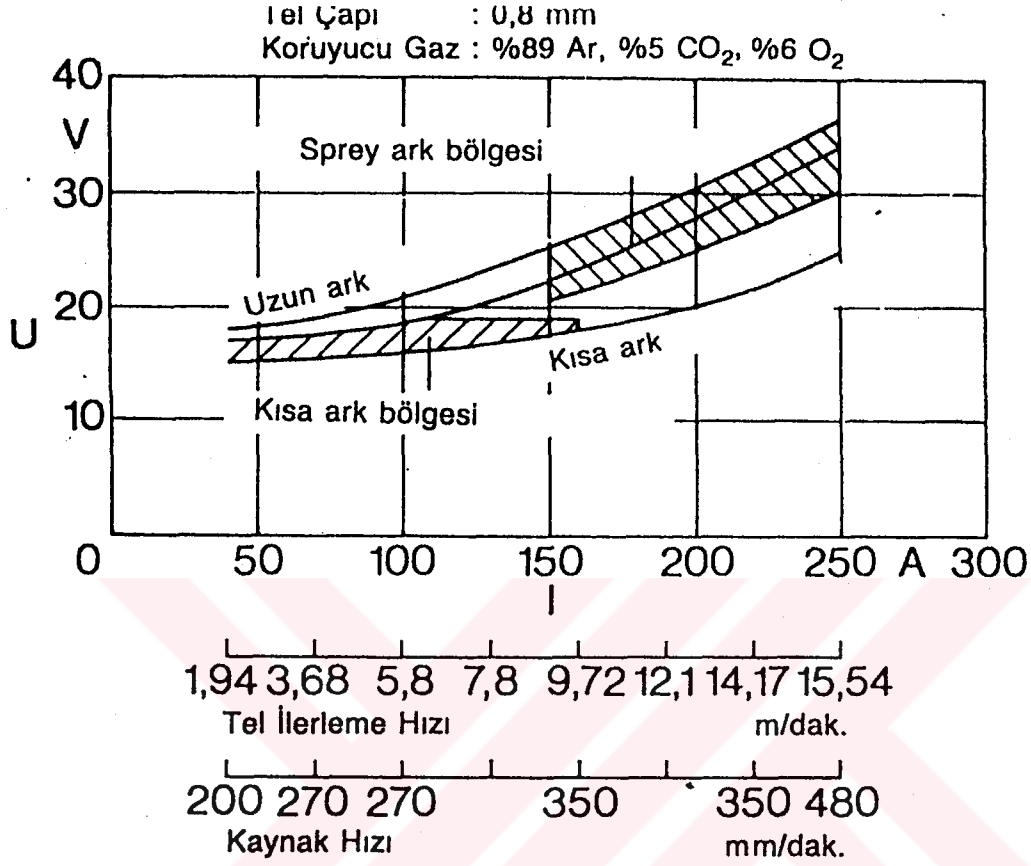


Şekil 2.13. CO_2 atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı.



Kaynak telinin çapı (mm)	Normal MAG - Kaynağı			Kısa ark boyu ile yapılan kaynak		
	Akım şiddeti (Amper)	Ark gerilimi (Volt)	Erime gücü (kg/saat)	Akım şiddeti (amper)	Ark gerilimi (Volt)	Erime gücü (kg/saat)
0,6	—	—	—	40-80	13-16	0,5-0,9
0,8	140-180	22-25	2,0-2,8	70-120	14-19	0,8-1,6
1,0	180-240	24-26	2,4-3,8	90-130	17-20	1,2-1,9
1,2	220-300	25-29	2,8-4,5	120-150	18-23	1,6-2,2

Şekil 2.14. Kısa ark ve uzun ark ile yapılan MAG kaynağında akım şiddetinin damla geçişi ile değişimi.



Şekil 2.15. Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri (Tülbentçi 1990).

Tel çapı: 0,8 mm.

Koruyucu gaz: Karışım gaz (% 89 Ar, % 5 CO₂, % 6 O₂)

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnız CO₂ haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesindeki damlasal metal taşınımı görülür. Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır.

Damlasal metal taşınımı halinde ark stabil değildir ve sıçrama miktarı fazladır.

Tüm koruyucu gaz karışımları ile yapı çelikleri ve az alaşımlı çeliklerin MAG kaynağı mümkündür ve kaynak kalitesi bazik elektrod kaynağı kalitesindedir. Yöntemle Ni,

Ni-alaşımının kaynağı da mümkündür.

MAG-kaynağı yarı mekanik ve otomatik olarak uygulanabilir, yöntemle birleştirme kaynağın yanında kaplama ve dolgu kaynağı da yapılabilir.

MAG kaynağı MIG kaynağına göre daha ucuzdur, daha derin nüfuziyet sağlar, ultraviyole ışını azdır, kaynak hızı daha fazladır ve tüpüne daha fazla gaz depo edilebilir.

MAG kaynağında tel elektrot kullanılır, telin üzerinde MIG'de olduğu gibi bakır kaplıdır. Genelde tel malzemesi, iş parçasının aynıdır. Kullanılan tellerin genellikle içi doludur (masif). Ancak özlü veya kenetli teller de kullanılır. Ayrıca toz ilaveli çelik tel de kullanılabilir. Bu durumlarda bazı alaşım elementleri öz veya toz içine de katılabilir.

2.3.2.3. MAG kaynağının, Tozaltı Kaynağı MIG Kaynağı İle Mukayesesi

2.3.2.3.1. MAG Kaynağının MIG Kaynağıyla Mukayesesi

MAG kaynağının MIG kaynağına göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Karbondioksit argon gazına göre daha ucuz olduğundan, gaz masrafı daha azdır.
- b) Karbondioksitin sıvı halde taşınması sebebiyle, aynı hacimli tüplerde, üç misli daha fazla gaz taşınabilir.
- c) MAG kaynağında nüfuziyet daha fazladır.
- d) Daha yüksek kaynak hızıyla çalışılır.
- e) Ortaya çıkan ultraviyole ışınlar, daha azdır ve açık renkli maske kullanılır.

2.3.2.3.2. MAG Kaynağının Tozaltı Kaynağı İle Mukayesesi

MAG kaynağının tozaltı kaynağına göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Tozaltı kaynağında kaynak tozunun rutubet çekmesi ve dikişin hidrojen absorbe etmesi problemi, MAG kaynağında yoktur.

- b) MAG kaynağında kaynak yeri, kaynakçı tarafından daha iyi gözlenebilir.
- c) MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazı, tozaltı kaynağındaki kaynak tozundan daha ucuzdur.
- d) MAG kaynağında, daha derin nüfuziyet elde edilir.



BÖLÜM 3

KAYNAKLI SACLARIN YORULMA MUKAVEMETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

3.1. Metalik Malzemelerin Yorulma Deneyi

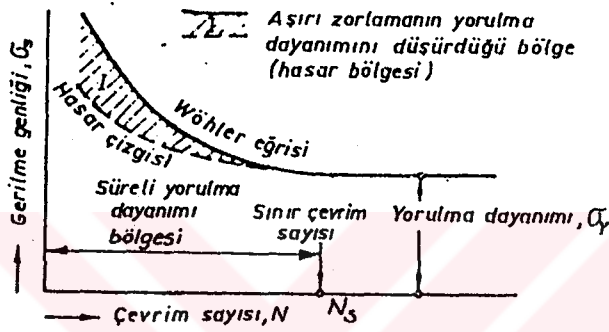
Sonsuz sayıda yük tekrarını kırılmadan veya aşırı şekil değişimine uğramadan taşıyabilen bir yapı elemanı, "yorulmaya karşı dayanıklıdır" denir. Taşınabilir en büyük anma gerilmesi genliği de yapı elemanının "yorulma dayanımı" olarak adlandırılır. Bir yapı elemanının yorulma dayanımı sadece bir malzeme 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** diye de tanımlanır.

3.2. Yorulma Dayanımının Saptanması

Malzemelerin yorulma dayanımlarının saptanması için eksene paralel doğrultuda mekanik veya elektrolitik olarak parlatılmış düzgün deney parçaları kullanılır. Çentik duyarlılığının araştırılması için de, çentik katsayıları belirli çentikli deney parçalarından yararlanılır. Günümüzde kullanılan yorulma deney makinaları çekme, çekme-basma, çevresel eğme, ileri-geri eğme ve burma yanında bileşik zorlamaları da mümkün kılmaktadır. Bu makinaların deney frekansları, yapılarına bağlı olarak 8-250 Hz. arasındadır. Sözkonusu aralık için çelikten yapılmış düzgün parçaların yorulma dayanımları frekansa bağlı değildir. Ancak hafif metallerde ve çentikli çelik parçalarda yorulma davranışı frekansla değişir ve bu değişim süreli yorulma durumunda daha fazladır. Deney parçası örneğin asit içermeyen bir yağla soğutulmazsa, ısınma nedeniyle zamanından önce çatlayabilir. Süreli yorulma zorlamasında frekansın çok düşük veya çok yüksek olması, çeliklerde de düz veya çentikli tüm parçaların yorulma ömürlerinin azalmasına neden olur.

Yorulma dayanımı normal olarak **Wöhler yöntemi**yle bulunur. Bu yöntemde, malzeme, biçim ve yüzey kalitesi bakımından tümüyle aynı olan deney parçalarının herbiri aralıksız şekilde ve farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın olduğu çevrim sayıları saptanır. Bir deney serisinde çoğunlukla 6-10 adet parça gereklidir.

Yorulma deneyi zaman zaman durdurulursa, düzgün deney parçalarından toparlanma olayı görülür ve böylece aralıksız olarak yapılan deneyden daha yüksek yorulma dayanımları elde edilir. Çentikli deney parçalarında malzeme bünyesindeki değişik mekanizmalarca bağlı böyle bir toparlanma olayının etkisi görülmez.

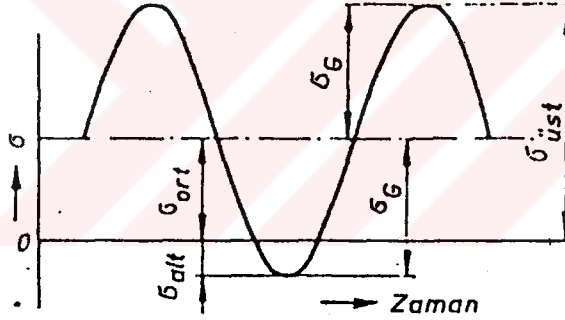


Şekil 3.1. Wöhler eğrisi ve hasar çizgisi.

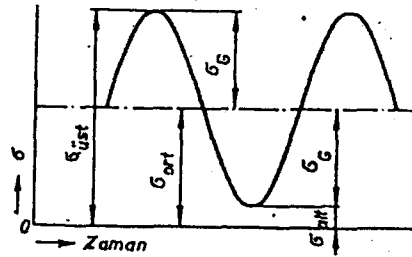
Deneyin amacına, malzeme ve deney makinasına göre yük veya şekil değiştirme genlikleri kontrol edilir ve bu büyüklükler gerilme veya birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülür. Wöhler yönteminde bir deney serisinde tüm parçalar için ortalama gerilme σ_{ort} veya alt gerilme σ_{alt} sabit tutularak her deney için ayrı gerilme genliği σ_g seçilir. İlk deney parçası üst gerilme genellikle akma sınırına yakın olacak şekilde yüksek düzeyde zorlanır. Daha sonraki deney parçalarına ise gittikçe daha düşük zorlama uygulanarak kırılma çevrim sayısının çok yüksek değerlere ulaşması sağlanır. Bir deney serisi sonunda uygulanan gerilme genlikleri ve kırılmanın görüldüğü çevrim sayılarının bir eğri olarak çizimi ile, eğer noktalar büyük dağınıklar göstermiyor ise, Şekil 3.1'de verilen **Wöhler eğrisi** elde edilir. Bu grafikte normal olarak apsis (çevrim sayısı) logaritmik, ordinat (gerilme genliği) ise metrik bölümlü olarak seçilir. Sonsuz çevrim sayısında kırılmanın görülmediği en büyük gerilme genliği yani eğrinin asimptotuna karşılık olan değer yorulma dayanımı olup σ_y ile gösterilir. Diğer yandan belirli bir çevrim sayısından sonra (N_s : Sınır çevrim sayısı) eğri sonsuz çevrim sayısına yaklaşıyor kabul edilir. Sınır çevrim sayısı oda sıcaklığında ve

düşük sıcaklıklarda çelikler için $10 \cdot 10^6$, ağır ve hafif metaller ile yüksek sıcaklıklarda çelikler için $100 \cdot 10^6$ veya daha fazla olarak alınır. Deney süresinin kısaltılması amacıyla çelik için $2 \cdot 10^6$ ve hafif metaller için $10 \cdot 10^6$ - $50 \cdot 10^6$ sınır çevrim sayıları da kullanılmaktadır.

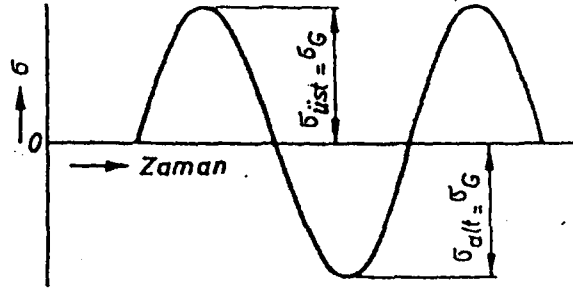
Yorulma dayanımından daha büyük gerilme genliklerinin bir süre uygulanmasının muhakkak hasara veya diğer bir deyişle yorulma dayanımının azalmasına yol açacağı söylenemez. Önemli olan bu aşırı yüklemelerin seviyesi ve bunlara ait çevrimlerin sayısıdır. Hangi koşullarda hasarın başlayacağını belirten ve görünümünü bakımından Wöhler eğrisine benzeyen "Hasar Çizgisi" süreli yorulma bölgesi için sözkonusu olup yüksek çevrim sayılarında Wöhler eğrisi ile birleşir (Şekil 3.1). Hasar çizgisi yorulma dayanımı üzerinde bir zorlamanın, daha sonra aynı parçada yorulma dayanımına eşit bir zorlamada kırılma meydana gelmemek koşuluyla, en çok kaç çevrim sayısı taşınabileceğini göstermektedir. Aşağıda yorulma dayanımı için değişik zorlama durumları gösterilmektedir (Tauscher 1983).



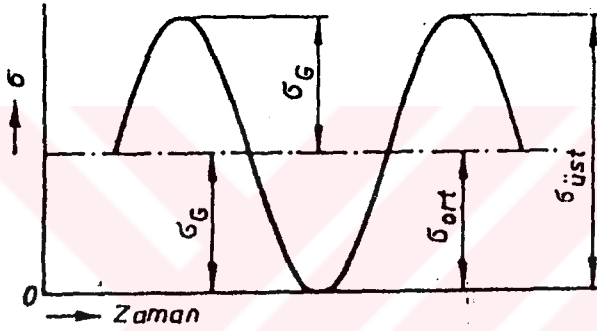
Şekil 3.2. Değişken çekme bölgesinde yorulma dayanımı, $\sigma_y = |\sigma_G|$
(Verilen σ_{ort} için)



Şekil 3.3. Dalgalı çekme bölgesinde yorulma dayanımı, $\sigma_y = |\sigma_G|$
(Verilen σ_{ort} için)



Şekil 3.4. Değişken yorulma dayanımı, $\sigma_D = |\sigma_G|$



Şekil 3.5. Dalgalı yorulma dayanımı, $\sigma_{Dal} = |\sigma_G|$ veya $|2 \sigma_G|$

3.3. Yorulma Ömrü

Bir deney parçası veya yapı elemanının yorulma ömrü, yorulma dayanımından daha yüksek bir gerilmede kırılmanın olduğu çevrim sayısıdır.

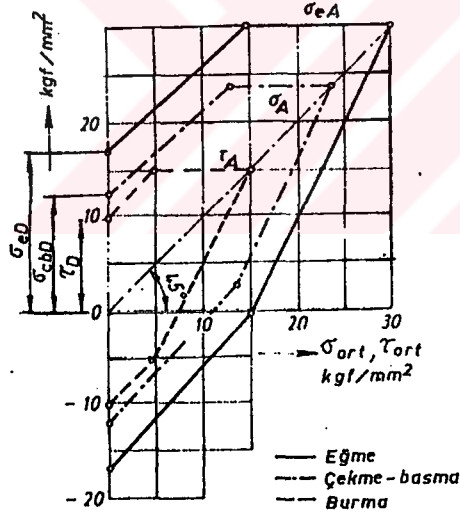
3.4. Yorulma Dayanımının Smith Diyagramı İle Gösterilişi

Değişken ve dalgalı bölgeler için saptanmış bir sıra Wöhler eğrisinden elde edilen sonuçlar Yorulma Dayanımı Diyagramlarında toplu olarak verilebilir. Bu diyagramlar her zorlama şekli için ortalama gerilme, gerilme genliği, alt gerilme ve üst gerilme arasındaki bağıntıları grafik olarak gösterir.

3.5. Çeliklerin Yorulma Dayanımı Diyagramları

Şekil 3.6 ve 3.7'de standartlara uygun çeliklerin yorulma dayanımları verilmiştir. Bu diyagramlar anılan çeliklerde eğme, çekme-basma ve burma zorlamaları için ayrı ayrı verilmiştir. Eğme yorulma dayanımlarının tümü yuvarlak çubuklarda ve çevresel eğme altında yapılan deneylerle elde edilmiştir. Yuvarlak çubuklarda ileri-geri eğme ile bulunan yorulma dayanımları, çevresel eğmeye ait bu değerlerden % 10-20 daha küçüktür. İleri-geri eğme yapılan yassı deney parçalarında ise yuvarlak numunelerdekinden çoğunlukla biraz daha yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta diyagramlarında belirtilen yorulma dayanımlarının düzgün şekilli, parlatılmış ve 5-10 mm. çapındaki (çoğunlukla 7,5 mm) yuvarlak deney parçaları yardımıyla 18...22 °C olan oda sıcaklığında saptanmış olduğudur(Tauscher 1983).

Malzemenin akma sınırı ve değişken yorulma dayanımı biliniyorsa yorulma dayanımı diyagramları çok sayıda deney yapılmadan da yaklaşık olarak çizilebilir.

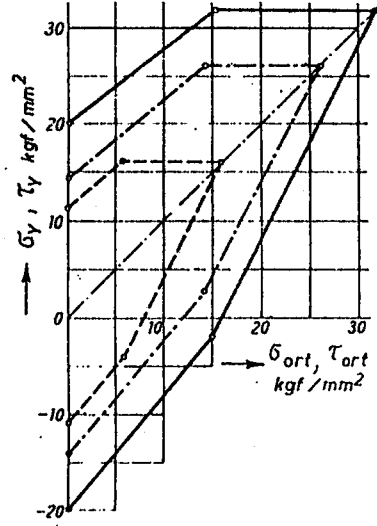


Şekil 3.6. Normalize edilmiş St 37 yapı çeliği.

σ_A : Akma sınırı

τ_A : Burma akma sınırı

σ_{eA} : Eğme akma sınırı



Şekil 3.7. Normalize edilmiş St 42 yapı çeliği.

Yorulma dayanımı değerleri küçük kesitli deney parçalarında saptandığından, parça boyutlarının yorulma dayanımına etkisinin çok önemli olduğu eğme ve burma zorlamalarında bu durumun dikkate alınması gerekir. Buna karşın çekme-basma zorlamalarında bugüne kadar yapılan çalışmalar boyut etkisinin pek fazla önemli olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla çekme-basma zorlamaları için verilen değerler büyük kesitlerde de doğrudan doğruya kullanılabilir.

Deneyel olarak saptanan yorulma dayanımı değerini iç ve dış etkenler olumsuz yönde değiştirebilir. Örneğin deney parçasının yanlış bağlanması, yüklemenin darbeli yapılması veya yükün deney boyunca sabit kalmayışı yorulma dayanımı değerini az veya çok düşürür. Kullanılan deney parçalarının yüzeylerinin kötü olması veya boyutlarının parça eksenine boyunca az da olsa değişmesi deney sonucunu etkileyebilecek diğer faktörlerdir.

Deney malzemesinin teknolojik geçmişi de yorulma dayanımını olumsuz yönde değiştirebilir; bu duruma örnek olarak çeliklerde kalıntı yığılmaları, homojen olmayan soğuk şekil değiştirme sonucu yerel pekleşmeler, kritik bölgelerde çekme iç gerilmeleri, farklı tane büyüklükleri ve yüzeyden karbon kaybı gösterilebilir.

3.6. Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımı

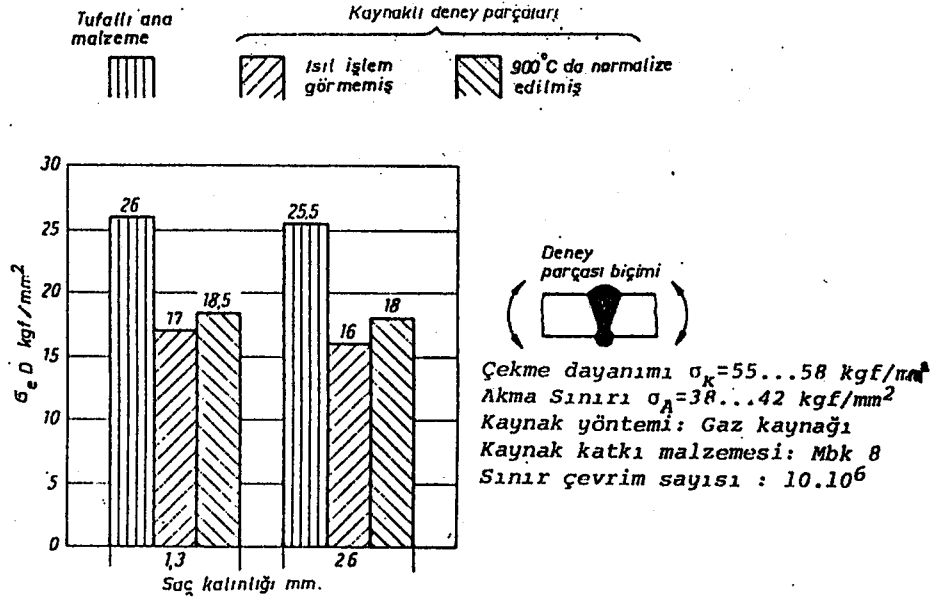
Düzgün, parlatılmış deney çubuklarında, normalize edilmiş ve hatta ıslah edilmiş durumlar için, yorulma dayanımı ile çekme dayanımı gibi statik özellikler arasında belirli bağlantılar bulunabilir. Çizelge 3.1'de bazı genel yapı çelikleri için yorulma dayanımı değerleri verilmiştir; ancak kaynak bağlantılarında dikişin hem işlenmiş, hem de işlenmemiş durumu için bu dayanım değerlerine ulaşmak mümkün değildir. Çünkü kaynaklı birleştirmeler yüzey süreksizliklerinin özel bir tipidir.

Çizelge 3.1. Bazı yapı çelikleri için düzgün ve parlatılmış deney çubuklarında geçerli yorulma dayanımları (Ortalama değerler). Sınır Çevrim Sayısı 10.10⁶.

Dayanım Değeri (kgf/mm ²)	St34	St38	St42	St52-3
Eğme değişken yor. day. σ_{eD}	17	20	21	30
Eğme dalgali yor. day. σ_{eDal}	26	32	34	45
Çekme-basma değişken yor. day. $\sigma_{çbD}$	12	15	16	24
Çekme dalgali yor. day. $\sigma_{çDal}$	21	25	26	36
Burma değişken yor. day. τ_D	10	11	12	18
Burma dalgali yor. day. τ_{Dal}	13	15	17	25

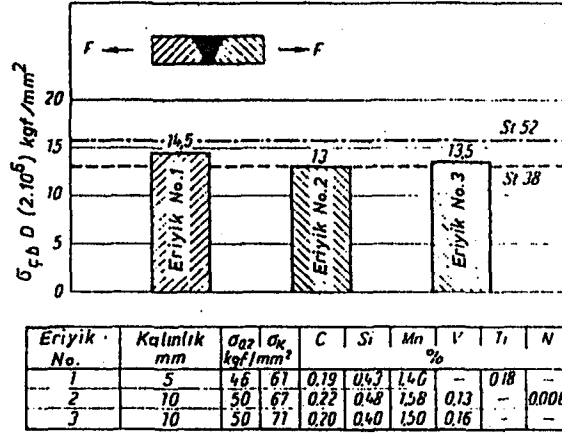
Şekil 3.8'den görüldüğü gibi St 52-3'den kaynaklı parçalarda saç kalınlığına ve sonradan uygulanan ısı işleme bağlı olarak müsaade edilebilir gerilme genliği 17 ile 18,5 kgf/mm² veya 16 ile 18 kgf/mm² arasında değişmektedir.

Literatürde St 38 veya benzeri çeliklerden, çeşitli dikiş biçimlerinde ve pozisyonlarında hazırlanmış kaynaklı parçalara ait çok sayıda deney sonucu, çekme-basma zorlaması için değişken zorlama alanı ile dalgali zorlama alanının alt kısmında ($R < 0,5$) taşınabilir gerilme genliklerinin 4 ile 10 kgf/mm² arasında değiştiğini göstermektedir. Çekme-basma zorlama dışındaki türleri için yorulma dayanımındaki oransal farklar kaynaksız deney parçalarındaki farklarla yaklaşık aynı düzeydedir.



Şekil 3.8. St 52-3 çeliğinden kaynaklı ve kaynaklız deney parçalarının ileri-geri eğme zorlamaları altındaki σ_{eD} eğme değışken yorulma dayanımları.

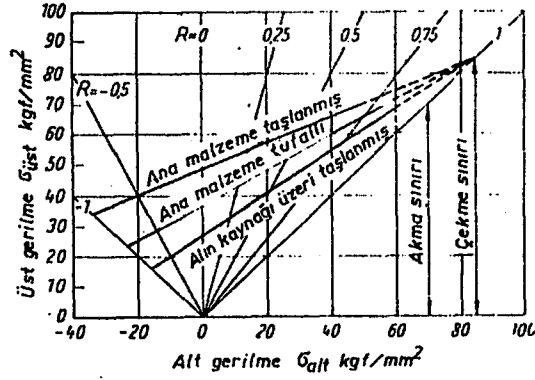
Şekil 3.9'dan anlaşılacağı gibi kaynak bağlantılarında yüksek dayanımlı yapı çelikleri, St 38 veya St 52-3'den daha yüksek yorulma dayanımları göstermezler. Sonuçlar, bu çelik grubunun dayanım bakımından en üstün çeliklerinden sayılabilecek St 45/60 için verilmiştir. Dikişin saç yüzeyine kadar işlenmesine rağmen çekme-basma değışken yorulma dayanımı St 38'in dayanımının sadece biraz üzerinde ve hatta St 52-3'ün dayanımının altındadır. Bu nedenle yüksek dayanımlı yapı çelikleri dinamik zorlamalarda ancak belirli uygulamalar için kullanılır, çünkü daha üstün olan statik değerler aynı zamanda yorulma dayanımlarını artırmazlar. Bu çeliklerin kullanımı, süreli yorulma dayanımlarının sözkonusu olduğu durumlarda veya yüksek ön gerilmelerin bulunduğu dalgalı zorlamalarda uygun olabilir.



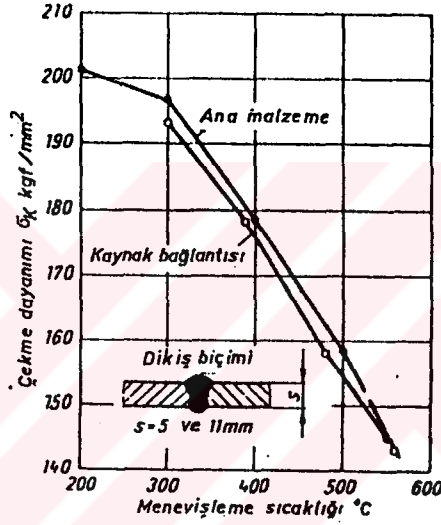
Şekil 3.9. St 45/60 çeliğinden alın kaynaklı deney parçalarında $\sigma_{\text{çbD}}$ çekme-basma değişken yorulma dayanımı ($2 \cdot 10^6$).

Şekil 3.10'da yüksek dayanımlı ıslah edilmiş yapı çeliği N-A-XTRA 70'in taşlanmış ve tufallı durumları ile taşlanmış alın kaynağı bağlantıları için yorulma dayanımları karşılaştırılmıştır. Taşlanmış kaynak bağlantısının yorulma dayanımı, St 52-3'ün çekme-basma değişken yorulma dayanımı olan 16 kgf/mm² değerine ancak ulaşabilmektedir. Böylece bu çeliklerin de dinamik zorlamalar altında kullanılması, sadece süreli yorulma dayanımı bölgesinde veya yüksek ön gerilmeli durumlarda genel yapı çeliklerine göre ekonomik avantaj sağlayabilir. Alışıl gelmiş veya yüksek dayanımlı ıslah çelikleri için de, değişken bölgede zorlanan kaynak bağlantılarında her zaman düşük yorulma dayanımları elde edilir. Bu olgu Şekil 3.12 'de çekme dayanımları 120-195 kgf/mm² arasında değişen üç çelik için doğrulanmıştır.

Kaynak bağlantılarının ıslah edilmesi normal olarak kaynaktan sonra yapılır; ancak sadece elektron ışını kaynağında daha önce de ıslah işlemi mümkündür. ıslah edilen çeliklerin özelliklerine göre ön ısıtma, kaynak sırasında sıcak tutma vb. önlemler alıp, uygun kaynak yöntemi ve katkı maddesi seçerek çok yüksek statik dayanım değerleri elde edilebilmesine rağmen (Şekil 3.11), yorulma dayanımları sözkonusu olduğunda bu önlemler ancak dalgalı yorulma bölgesinin üst kısmında, yani ön gerilmelerin yüksek olduğu durumlarda anlam taşımaktadır.



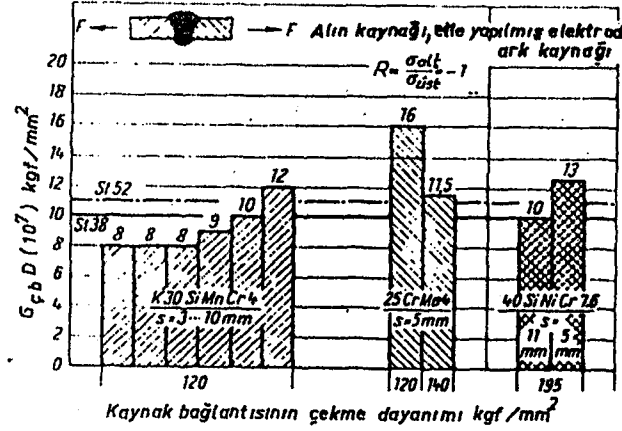
Şekil 3.10. Yüksek dayanımlı ıslah edilmiş N-A-XTRA 70 yapı çeliğinin yorulma dayanımı.



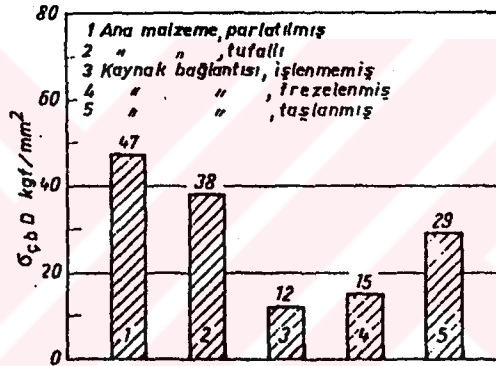
Şekil 3.11. Yüksek dayanımlı 40 SiNiCr 7.6 ıslah çeliğinde alın kaynağı bağlantısı ve ana malzemenin çekme dayanımlarının menevişleme sıcaklığı ile değişimi. 900 °C'dan yağda sertleştirme, elle elektrik ark kaynağı.

Şekil 3.12'de incelenen değişik örneklerin yalnız üçü St 38'in çekme-basma değişken yorulma dayanımı üzerinde değerler vermektedir.

Kaynak dikişlerini işleyerek hem genel, hem de ıslah edilebilir çeliklerde yorulma dayanımı artırılabilir. Şekil 3.13 yüksek dayanımlı ıslah çeliği K 30 SiMnCr 4 için, kaynak dikişinin taşlanarak düzlenmesinin ve nüfuziyet oyuklarının frezelenerek giderilmesinin yorulma dayanımına etkilerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil-3.12. K30 SiMnCr 4, 25 CrMo 4 ve 40 SiNiCr 7.6 çeliklerinde alın kaynağı bağlantısının çekme-basma yorulma dayanımı (Sınır Çevrim Sayısı 10.10⁶).

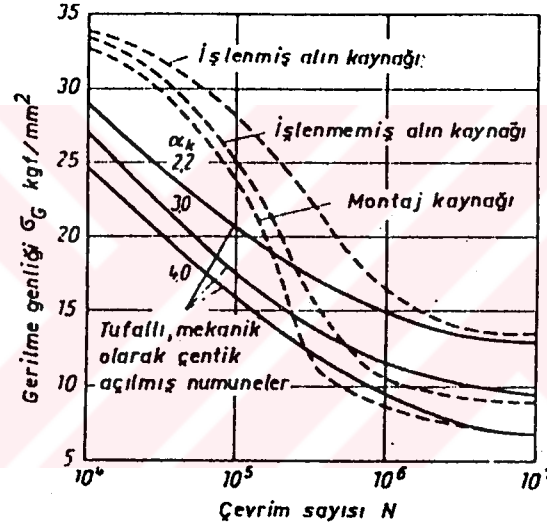


Şekil 3.13. Yüksek dayanımlı K30 SiMnCr 4 ıslah çeliğinde alın kaynağı bağlantısı ve ana malzemenin çekme-basma değişken yorulma dayanımının, değişik yüzey işlemleri ile değişimi. Çekme dayanımı 120 kgf/mm².

Kaynak bağlantılarının yorulma dayanımlarının düşük olması ilk bakışta yüksek dış ve iç çentik etkileri ile açıklanmaktadır. İç çentikler olarak nüfuziyet hataları, cürufklar, gözenekler ve kaynak malzemesindeki diğer hatalar sıralanabilir. Dış çentikler ise çoğunlukla dikiş yüzeyi (tırtıl, saç yüzeyinden yükseklik, nüfuziyet oyuğu) ile ilgilidir.

Ancak yüksek veya çok yüksek dayanımlı çeliklerle yapılan kaynak konstrüksiyonları için bu açıklama yeterli olmayıp, kaynak bağlantısının etkisini tüm zorlama bölgeleri için geçerli dış çentiklerle temsil etmek mümkün değildir. Keding yüksek dayanımlı St 45/60 yapı çeliğinde bunu denemiş ve alın kaynağı yapılmış deney parçaları ile çeşitli

çentik katsayılarına sahip enine delinmiş deney parçalarının Wöhler eğrilerini karşılaştırmıştır (Şekil 3.14.). Bu deneylerde çekme-basma değişken yorulma dayanımları sözkonusudur ve görüldüğü gibi sadece yorulma dayanımı bölgesinde eğriler birbirine yaklaşmaktadır. Süreli yorulma dayanımı bölgesinde eğriler ayrılmakta ve kaynaklı parçalar delinmiş deney parçalarından daha yüksek yorulma dayanımları göstermektedirler. Bu sonuç belirli geometrilerdeki kaynak hatalarının belirli sınırlar içinde dış çentiklerle karşılaştırılmayacağı anlamına gelmez. Ancak yüksek dayanımlı yapı çeliklerinin ve ıslah çeliklerinin düşük yorulma dayanımlarının tek nedeninin iç ve dış çentikler olmadığı, diğer olumsuz faktörlerin de rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu faktörlerin en önemlileri erime bölgesinde ve erime bölgesinden ana malzemeye geçişte malzemenin durumu ile iç gerilmeler olabilir (Tauscher 1983).



Şekil 3.14. St 45/60 çeliğinden kaynaklı ve enine delikler içeren deney parçalarında yapılan çekme-basma değişken yorulma deneyleri ile elde edilen Wöhler eğrileri.

Nokta kaynaklı bağlantılar otomotiv endüstrisinde özellikle sac metal yapıların montajı için çok kullanılır. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerinin tanınması ile sıradan orta karbonlu çeliklerin yerine otomobil üreticileri daha ince ölçülerdeki sacları kullanmaya başlamıştır. Eşit sac kalınlığı için, nokta kaynaklı bağlantıların statik mukavemeti, bu yüksek mukavemetli alaşımlardan yapıldığında artmaktadır. Diğer taraftan yapının statik mukavemeti daha ince ölçüdeki saclarla sağlanabilir.

Bununla birlikte, bu durum özellikle yüksek tekrar rejiminde yorulma direnci farklıdır.

Nokta kaynaklı bağlantılar şiddetli gerilme yığılmasıdır ve hatta çatlağa benzer etki gibi hesaba katılabilir. Yorulma çatlağında başlama periyodu mevcuttur ve yorulma ömrünün çoğu çatlağı geliştirme durumuna harcanır. Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliğin (HSLA) düşük tekrarlı yorulma özelliklerine benzeyen, yüksek tekrarda yorulma çatlağı gelişim özellikleri orta karbonlu çeliklerinkine çok benzerdir. Bu nedenle, ince ölçüde HSLA çelik saclardan yapılan nokta kaynaklı yapıların yüksek tekrarda yorulma direnci orta karbonlulara göre daha azdır. Yüksek tekrarlı yorulma HSLA çelik sacların direnç nokta kaynaklı bağlantılarının dayanımı ile büyük ölçüde ilgilidir. HSLA nokta kaynaklı bağlantıların yorulma oranının (dayanım sınırı/çekme mukavemeti) sac kalınlığı, gerilme oranı, malzeme, bağlantı rijitliği, çekirdek çapı, vb. bağlı olarak % 5-20 olması bildirilir. Dahası kalite kontrol testleri, yüksek tekrarlı yorulma dayanımı ile kötü bir bağlantı gösteren nokta kaynaklı bağlantının statik mukavemet nitelendirilmesine uygun olarak endüstride (ayırma, çekmeli ayırma ve çapraz çekme) uygulanır.

Bu gerçeklerin önemi sebebiyle, direnç nokta kaynaklı bağlantıların yorulma davranışı üzerine birçok araştırmacı çalışmıştır. Davidson ve Defourny ve Bragard tarafından makaleler yayınlanmıştır. Bunların çoğu tek ayrılma biçiminde tek veya çok nokta bağlantıları üzerinde çalışmışlardır. Bu biçimlerde, saclar gerilmenin % 100'ü nokta kaynağının içinde iletmektedir ve bu bağlantılar tam yük taşıyor şekilde dizayn edilir.

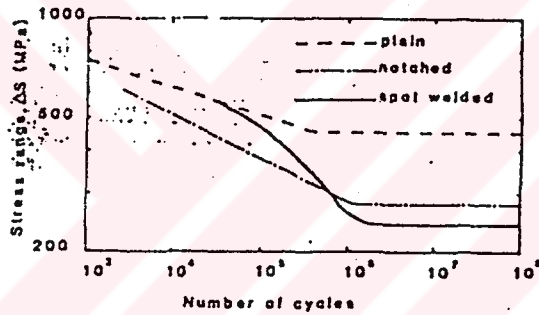
Tam yük taşıyan bağlantılara pratik durumda pek rastlanmaz. Başka bir şekil uzun sacın üzerine nokta kaynaklı kısa bir sacın yük taşımayan bağlantısıdır. Yalnızca uzun sac gerilir ve küçük bir kısım uzun gerilmiş saca sertleştirilerek üretilmiş gerilme yığılma bölgesi gibi davranır. Literatürde yük taşımayan biçimde çok az çalışma vardır.

Defourny 1 mm. kalınlığındaki sacların yük taşımayan numunelerinin yük-tekrar sayısı eğrisini elde etmiştir. Onlarla, tek ayrılmalı bağlantıları içeren % 100 yük taşıyan durumların sonuçları karşılaştırılır. Buna göre onlar, düz ana malzemenin deney sonuçlarının ana hatlarıyla yük taşımayan bir noktanın yorulma direncine uyduğu sonucuna varmışlar. Onlar, yük taşıyan şekillerde çentik etkisinin önemli olduğunu özetlemişlerdir.

Sperle 1,2 mm. kalınlığında yük taşımayan numuneler üzerinde benzer testleri

yapmıştır. Numunelerde yorulma özelliklerinin tek nokta kaynaklı durum için ana malzemeye yakın olduğunu, sıra halinde 3 noktalı numuneler olduğu takdirde yorulma mukavemetinin düz numunelerinkinden biraz daha düşük olduğunu bulmuşlardır. "Parçaya şekil verirken yapının yorulma davranışına zararlı olmaksızın eğer gerekli ise mukavemet parçaları yerleştirilerek nokta kaynaklı bağlantı yapılabilir" sonucuna varmışlar. Çalışmada bulunan, testlerin sonuçları önceki raporlardan daha kalın sacların (2 mm.) olduğunu gösteriyor. İnce sac numunelerin sonuçlarına dayandırılarak kalın saclar tahmin edilemeyebilir. Fakat bir paslanmaz çelik alaşımının farklı kalınlıktaki sacları üzerine Hamel vd. tarafından yapılan çalışmada sac kalınlığının artması ile yorulma sınırının azaldığı görülmüştür.

Bir HSLA malzemenin düz, çentikli ve yüksüz nokta kaynaklı numuneleri için yorulma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması yapırsa;



Şekil 3.15. SAE 950 HSLA çeliğinin düz, çentikli ve nokta kaynaklı numunelerinin $R = -1$ için, $S-N$ eğrisi.

Kısa Ömür

Çok kısa ömür için ($< 10^4$ tekrar) üç eğride bir arada birleşir ve çekme mukavemetinin aynı değerine meyil eder. Bu yüksek gerilmede numunelerde çentik etrafında (delik veya nokta kaynağı) gerilme gevşemesinin oluşması plastik deformasyon oluşumunu yaygınlaştırır bir durum meydana getirir. Şekilden kısa ömürde düz numunenin çentikli numuneden daha yüksek yorulma sınırına sahip olduğu görülmektedir.

Uzun Ömür

Çok uzun ömür için ($> 10^6$) nokta kaynaklı numunenin dayanımı düz numuneninkinden çok düşük ve delikli numuneninkinden çok az düşüktür. Başka bir deyişle yüksüz nokta kaynaklı bağlantı, deliklikinden daha fazla, yorulma sınırının azalmasına neden olur.

Nokta kaynağı kusurunun bir deliğe benzemesi sebebiyle gerilme yoğunluğu faktörü yaklaşımının kullanımı anlaşılammaktadır. Fakat başlangıç kusuru çok keskin uçlu olduğunda, kırılma mekaniği yaklaşımının kullanımı önerilir. Ne yazık ki, gerilme arttırma faktörünün çözümü yük taşımayan geometriler için literatürde mevcut değildir. Bu alanda daha fazla çalışma memnurlukla karşılanır ve yük taşımayan ve yük taşıyan geometriler için veriler ile aynı parametreler kullanılarak direkt benzetme imkanları araştırılır. Yük taşımayan nokta kaynaklı bağlantılar için dayanım verileri, Sperle'nin yorulma dayanımına tesir etmeyen nokta kaynaklı bağların sonuçları ile benzemez. Bununla birlikte deneyler bu mevcut araştırmalarda kullanılan (2 mm.) numuneye göre daha inceleriyle (1,2 mm.) yapılmaktadır. Bu sonuçların önerdiği yük taşımayan nokta kaynaklı bağlantıların gerilme arttırma faktörü kalınlık ile artar. Kaynak yapısının kalınlığın artması ile yorulma ömrünün azaldığı bilinen bir gerçektir. Defourny R= 0,11'de E390 HSLA çeliğinin 1 mm. kalınlığının yük taşıyan bağlantı için 320 N/mm² dayanma sınırını bulmuştur. Bu değer R= -1'de 2 mm. kalınlığında sacların nokta kaynaklı numuneleri için daha yüksektir. Bu yüksek değer (hatta R'nin yüksekliği) kalınlığın etkisi hakkında önceden dikkat edilmesi açıklanır.

Orta Ömür

Orta ömür (10^4 - 10^6) çok daha karmaşıktır. Yorulma kaynaklı numunenin dayanımı başlangıç olarak delikli numuneden daha üstünken eğimin aşağı doğru artması ile azalmakta, yorulma sınırı delikli numuneninkinden daha düşük olmaktadır. Bu eğimin davranışı Dowling ve Socie vd. tarafından geliştirilen model tarafından açıklanabilir. Eğri ile veriler mukayese edildiğinde, delikli numunenin kör bir çentiğe benzer şekilde davrandığı görülebilir. Çentikli için çatlak gelişiminden söz edildiğinde orta gerilme seviyesinde yorulma ömrünün çoğunluğunu tüketir ve çatlak çekirdeklenmesi

çekirdeklenmesi uzun ömürlü davranışın üzerine yükselir. Diğer taraftan nokta kaynaklı numune keskin çentikli parçalara benzer şekilde davranır ve yorulma sınırı fark edilir derecede düşer.

Nokta kaynaklı bağlantılar şiddetli gerilme yığılmasıdır ve hatta çatlığa benzer etki gibi hesaba katılabilir. Nokta kaynağının yorulmasında, çatlak başlama periyodu mevcuttur ve yorulma ömrünün çoğu çatlak gelişirme durumuna harcanır (Hamel, 1990).

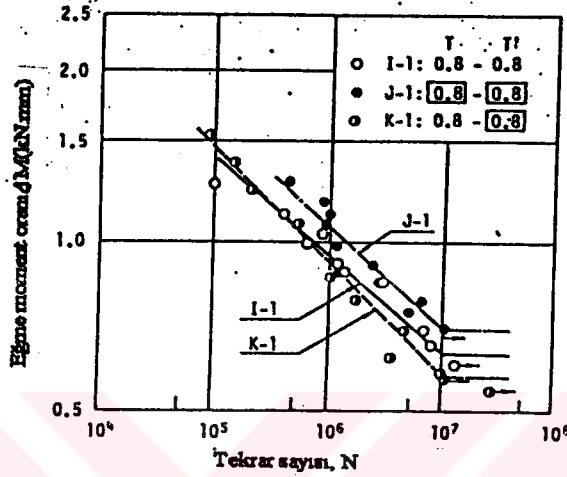
Nokta kaynaklı yapılarda, çatlak başlaması ve ilerlemesi ısıdan etkilenen bölge içinde kaynak çekirdeğine yakın yerde oluşur ve ısıdan etkilenen bölge boyunca uygulanan yüke normal yönde ilerler. Sonuçta sacda hasar oluşur.

Çatlak başlangıç yeri tam olarak tespit edilememektedir. Nokta kaynağı çekirdeğinin kenarındaki gerilmenin durumu, yorulma çatlaklarının yeri ve sonra da yorulma performansının kararında esas önemli faktör olarak görülür. Bu duruma malzeme özellikleri ya etkimez, ya da çok az etkiler. Çekirdek kenarındaki gerilme durumunun anlaşılması son derece zordur; çok noktalı kaynaklarda bu daha da zordur (Davidson, 1983).

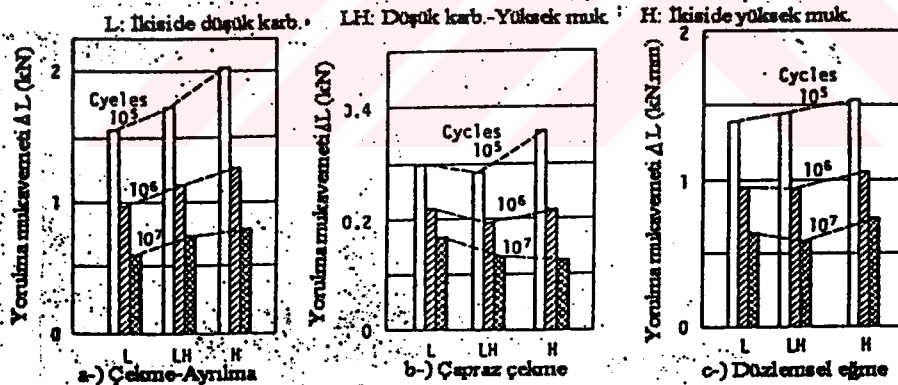
Tablo 3.1'de özellikleri verilen malzemeler üç değişik biçimde nokta kaynağı ile Şekil 3.16'daki gibi birleştirilmiştir. 0.8 mm. eşit kalınlıktaki sacların düzlemsel eğilmeli yorulma testlerinin sonuçları Şekil 3.16'de görülmektedir. Düşey ekseninde eğilme momenti değişimi (ΔM) gösterilmektedir. Yüksek mukavemetli çelik sacların bağlantısı (J-1) yorulma mukavemetinin düşük karbonlu çelik sacların bağlantısından (I-1) daha yüksek olduğu görülüyor. Düşük karbonlu ile yüksek mukavemetli çelik sacların birleşimindeki bağlantı mukavemeti (K-1), düşük karbonlular (I-1) ile mukayese edildiğinde düşük tekrar sayısında yaklaşık aynıdır fakat tekrar sayısı arttığında fark artar. (K-1) bağlantılarının birleştirilmesinde kırılma düşük karbonlu çelik saclarda yorulma oluşması sonucunda oluşmaktadır (Kitagawa vd, 1985).

Tablo 3.1. Testlerde kullanılan çelik sacların mekanik özellikleri.

	Akma Mukavemeti (MPa)	Çökme Mukavemeti (MPa)
Düşük Karbonlu (L)	196	314
Yüksek Mukavemetli (H) (Tekrar fosforlanmış)	225	393



Şekil 3.16. Düzlemsel eğilme deneyi standart numunesi ve deney sonuçları.



Şekil 3.17. Çelik sacların birleşiminin yorulma mukavemetine etkisi.

Şekil 3.17 incelendiğinde; çekme-ayrılma yorulma durumunda, düşük tekrar sayısında yüksek mukavemetli sac bağlantısının(H) diğer bağlantılardan daha yüksek yorulma sınırına sahip olduğu görülmektedir. Yüksek yorulma tekrarında farklı sacların birleşimi(LH) ile yüksek mukavemetli sacların bağlantısının yorulma mukavemetleri eşittir. Çapraz çekmeli yorulmada, düşük karbonlu çelik sacın yorulma sınırı yüksek mukavemetli çelik sactan daha yüksek iken, düşük tekrar oranında yüksek mukavemet çelik sacın mukavemeti düşük karbonlu sactan daha yüksektir. Farklı sacların

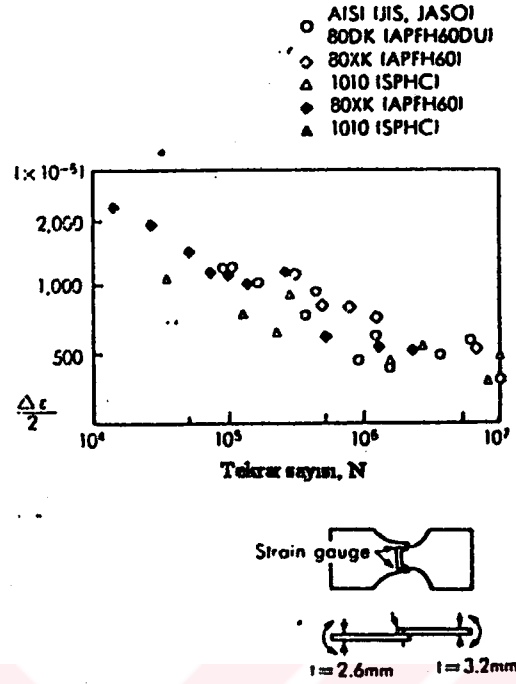
bağlantısının (LH) yorulma mukavemeti düşük yorulma tekrarında yaklaşık düşük karbonlu çelik sacların bağlantılarına eşittir. Diğer taraftan yüksek tekrar sayısında farklı sacların bağlantısının yorulma mukavemeti ile yüksek mukavemetli sacların bağlantısının yorulma mukavemeti yaklaşık eşittir. Düzlem eğilmeli yorulmada yüksek mukavemetli çelik sac bağlantısının düşük karbonlu çeliğin bağlantısından daha mukavim olduğu görülüyor ve yüksek tekrar oranında farklı sacların bağlantısının mukavemeti düşük karbonlu çelik bağlantısından biraz düşüktür.

Yukarıda belli olan bağlantının yorulma mukavemeti test metoduna bırakılmaksızın düşük tekrar miktarında özel çeliklerin çekme mukavemetinin artması ile arttığı görülmektedir. Fakat uygulanan test metoduna bağlı olarak yüksek tekrar miktarlarında farklılıklar vardır. Otomobilde nokta kaynağı bağlantıları genellikle çapraz çekme veya düzlem eğilme ve yorulma mukavemetini azaltıcı olarak yüklenmeye maruz kalırlar, malzeme seçiminde yalnız çekme ayrılmalı yorulmanın esas alınmaması önemlidir, fakat bağlantı dizayn hesaplarında yükün modellerinde ve yapılarındaki, değişmeler ve çekirdek çapı veya kaynak nokta sayılarının artışını hesaba katmak gereklidir (Kitagawa vd, 1985).

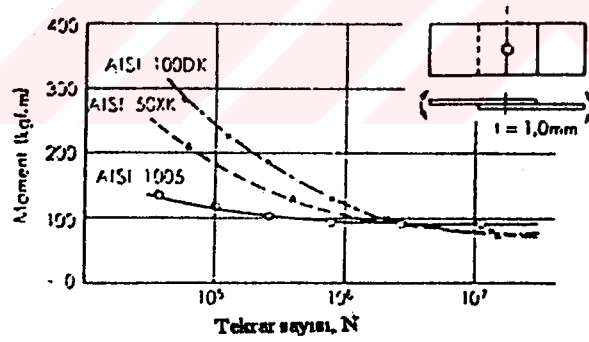
Tablo 3.2. Nokta kaynağı değişkenlerinin yorulma performansına etkisi (Davidson, 1983).

Durum	Sonuçlar		
	Düşük Tekrar Durumu	Yüksek Tekrar Durumu	Referans
1. Sac kalınlığı artarsa	Performans artar	Performans giderek artar	1
2. Kaynak çapı artarsa	Performans artar	Önemsiz miktarda azalır	1,2
3. Her iki sac kalınlığının ve kaynak çapının artması	Tüm ömür için performansı artırır		4
4. Akma mukavemetinin artması	Performans artar	Etkisi yoktur	1,2,3,4,5
5. Isıdan etkilenen bölgenin mikroyapısı	Kararlı değildir	Etkisi yoktur	6
6. Nunune genişliğinin artması	Belirli genişliğe kadar tüm ömrü artırır		7
7. Yükleme normal yönde çok noktalı kaynak (Tek sıra)	Herşey dahil performansı artırır, fakat her kaynak performansı düşürür		7,8
8. Yükleme paralel yönde çok noktalı kaynak (Tek sıra)	Herşey dahil performansı artırır, fakat her kaynak performansı düşürür (fakat kaynaklar normal yüklendiğinden daha az)		7
9. Kutu şeklindeki dört kaynak eksenel yüklendiğinde	Herşey dahil yorulma performansını artırır, fakat her kaynak performansı 7 ve 8 durumlarında daha da kötüleşir		7
10. Galvaniz kaplama durumunda	Bütün ömür için performansı artırır		9

Şekil 3.18'de otomotiv endüstrisinde kullanılan ark kaynaklı çelik sacların yorulma mukavemeti testlerinin sonuçları görülmektedir. Benzer malzemelerin nokta kaynaklı bağlantılarının yorulma sonuçları da Şekil 3.19'da görülmektedir(Morimoto vd. 1983).



Şekil 3.18. Yüksek mukavemetli çelik sacların ark kaynağı ile birleştirilmesi sonucu yorulma mukavemetlerinin incelenmesi.



Şekil 3.19. Nokta kaynaklı bağlantıların yorulma mukavemetinin incelenmesi.

BÖLÜM 4

KONUNUN ÖNEMİ ve ÇALIŞMANIN PLANLANMASI

Ülkemizde otomotiv ve imalat sektöründe büyük bir kullanım sahasına sahip olan metalik kaplı sacların kaynakta birleştirilmesinde büyük problemler vardır. Bu sebepten endüstri kolay yolu tercih ederek, kaplama öncesi kaynak yapıp sonra kaplama yoluna gitmektedir. Ama her zaman bu çözüm işe yaramamaktadır. Sonuçta kaplı çeliklerin kaynaklanması çözülmesi gerekli bir problemdir. Yurtdışındaki üretimlerde galvanize saclar kaynak edilirler ve çinko tabakası daha sonra tamir edilir. Eskişehir'de kurulu olan OTOSAN A.Ş'nde ise yapılan uygulama, fosfatlı saclardaki kaplamanın kazınarak kaynak işleminin yapılmasıdır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan ve kaynak ile birleştirilmiş çelik saclar üzerine yapılmış yorulma deneyleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemenin yanısıra, fosfatlı karoseri saclarında fosfatlama sonrası tabaka kaldırmadan kaynaklı bağlantılar gerçekleştirilerek bu konuda literatürdeki boşluğu doldurmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çünkü araştırmalarımız sonucu fosfatlanmış sacların fosfat tabakası kaldırılmadan kaynaklanması üzerine bir makaleye rastlanmamıştır. Ayrıca deney numunelerini mümkün olduğunca işletme şartlarında hazırlayarak işletmeye de bir katkısı olmasına çalışılmıştır.

Çalışmada öncelikle literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu tezin bana kazandırdıklarından en önemli bir tanesi literatür araştırmasının nasıl, nerelerden ve hangi kaynaklardan yapılabileceğini öğrenmem gelmektedir. Literatür araştırması bitip, konu hakkında bilgi sahibi olduktan sonra deney numunelerinin hazırlanmasına geçilmiştir. Bunun için Eskişehir OTOSAN A.Ş. fabrikasına giderek oradaki şartlara uygun olarak standart deney numuneleri hazırlatılmıştır. Deney numunelerinin hazırlanış sırası şu şekildedir: Nokta kaynaklı numuneler için 30x60 boyutunda parçalar kesilerek fosfatlama işlemine tabi tutulmuş ve sonra montaj hattında işletme şartlarında kaynakla birleştirilmiştir. MAG kaynaklı numuneler için 200x700 boyutunda iki plaka fosfatlama işlemine tabi tutulmuş, sonra plakalar birkaç

noktasından puntalanarak durmaksızın kaynak edilmiştir. Daha sonra da standart numune şekline getirilebilmek için frezeleme işlemi uygulanmıştır. Yorulma deneyleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü'nde bulunan Schenck marka bir düzlemsel eğilme momentli makinada yapılmıştır. Bu deney sonucu eğilme momenti değerlerine karşılık tekrar sayıları bulunarak Wöhler eğrileri oluşturulmuştur. Son olarak da yorulma sonucu parçadaki hasarı ve çatlağın parça içerisindeki durumunu görmek amacı ile tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik C-tarama yöntemi ile kırılmış ve sağlam parçalar incelenmiştir.



BÖLÜM 5

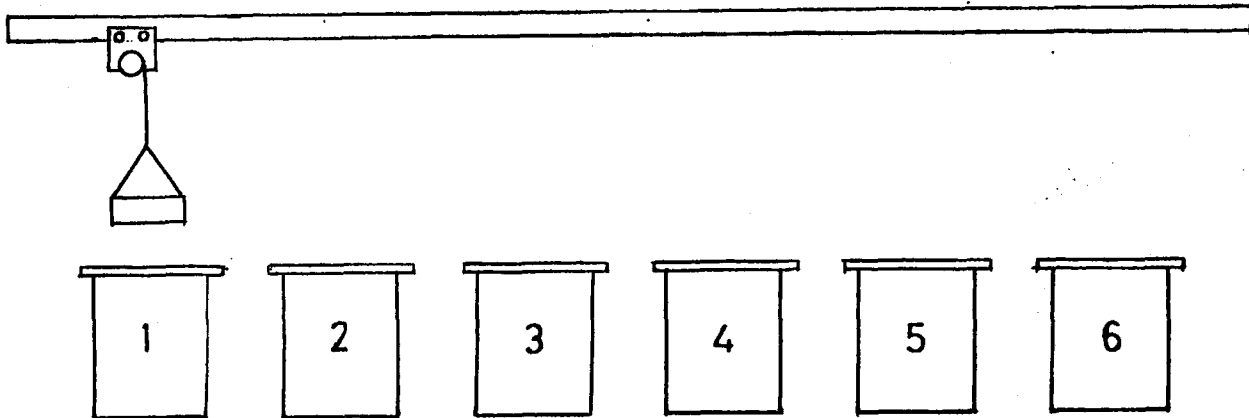
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılan deney parçaları Eskişehir'de kurulu OTOSAN A.Ş'ne ait ülke pazarına kamyon üreten fabrikada hazırlanmıştır. Parçalar, aşağıda özellikleri verilen malzemeden üretilmiştir:

Tablo 5.1. St 37-2 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

Standardı	Malzeme No	Kalınlık (mm)	Kimyasal Özellikler			
			C Ençok	P	S	N
St37-2	1.0037	1,5	0,17	0,050	0,050	0,009
			Mekanik Özellikler			
			Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)	
			360-510	235	18	

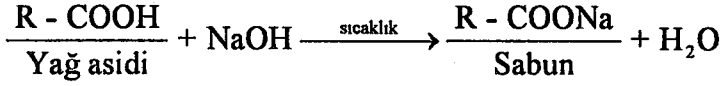
Fosfatlama işlemi, deney parçalarına aşağıda akış şeması verilen tesiste uygulanmıştır. Bu tesis, endüstri bazında uygulamalar da kullanılan düzendir.



Şekil 5.1. Deney parçalarının kaplandığı fosfatlama tesisinin modeli.

Şekildeki sepetin içine parçalar birbirine temas etmeyecek biçimde yerleştirilir ve sıra ile kazanların içine daldırılıp aşağıda belirtilen sürelerce bekletilir. Kazanların işlevleri şöyledir;

1. Kazan: Parçaların üzerindeki yağlardan arındırılmasını sağlar. Kazanın içerisindeki kimyasal reaksiyon şu şekildedir:



Ayrıca banyonun içerisinde reaksiyona girmeyen bileşikler de bulunur: PO_4^{3-} , P_2O_7 yüzey elemanları (yağın homojenizasyonunu sağlar)

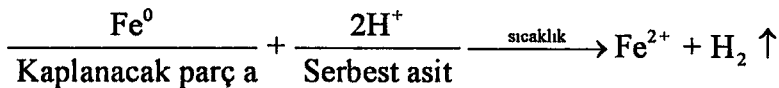
Banyo sıcaklığı 60 °C'dir. Parçalar bu banyoda 10 dakika bekletilmiştir.

2. Kazan: 1. banyo sonucu yüzeyde oluşan sabunları temizlemek amacıyla 20 °C'da normal şebeke suyu bulunur. Parçalar bu banyoda 2 dakika bekletilmiştir.

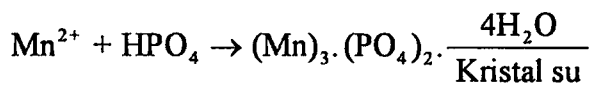
3. Kazan: Parçanın yüzeyindeki kristalleri ufaltır ve homojen kaplama yapılmasını sağlar. Banyonun pH değeri 8-10 arasındadır. Ayrıca banyonun içerisinde çözülmüş mangan tuzları ile fosfat mevcuttur.

4. Kazan: Burada fosfat kaplama meydana getirilir. Banyo içerisindeki kimyasal reaksiyonlar şu şekildedir;

Öncelikle başlangıç reaksiyonu olarak,



Bu reaksiyon banyonun pH değerini artırır. Serbest asidin fazla olursa parçalarda paslanma meydana gelir. Bu reaksiyondan sonra aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir;



Bu sayede kaplama tamamlanır. Banyo sıcaklığı 90 °C'dir. Parçalar banyoda 15 dakika bekletilmiştir. Bekletme süresi artırıldıkça kaplama kalınlığı belirli bir değere kadar

artar.

5. Kazan: Bir önceki işlemin artıklarından yüzeyi temizlemek amacıyla 60 °C sıcaklığında suda 2 dakika süreyle parçalar bekletilir.

6. Kazan: Yüzeyi tam anlamıyla temizlemek amacıyla son işlem olarak parça 20 °C sıcaklığındaki suda 2 dakika bekletilir.

Bu sayılan işlemler ile parça yüzeyinde ortalama 5 µm kalınlığında mangan fosfat tabakası oluşur.

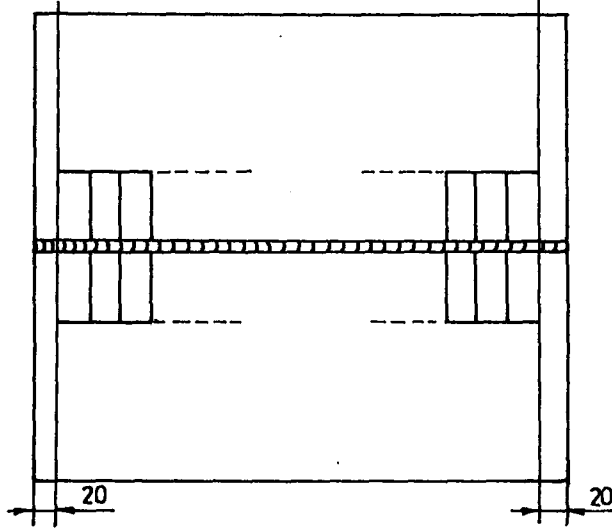
İkinci işlem olarak parçaların kaynakla birleştirilmesi yapılmıştır. Birleştirme metodu olarak MAG kaynağı uygulanacak parçalar Şekil 5.2'deki gibi alın alına getirilerek durmaksızın kaynak edilmiştir. Kaynak parametreleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. MAG kaynağı uygulama parametreleri.

Akım Şiddeti	105 A
Gerilim	14 V
Tel Çapı	0,8 mm. Ø
Telin Simgesi	SG2
Tel İlerleme Hızı	5,8 m/dak.
Koruyucu Gazın Bileşimi	% 93,5 Ar+% 5CO ₂ +%1,5O ₂
Kaynak Hızı	300 mm/dak.
Kaynak Makinası	Elektra Beckum 160/60 ET Combi

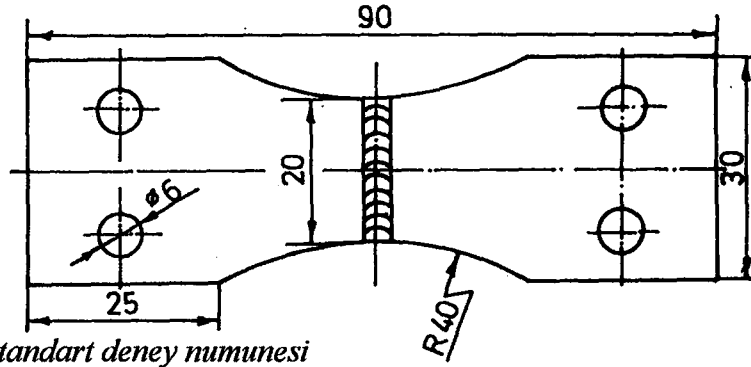
Tablo 5.3. Kullanılan tel elektrodun kimyasal bileşimi.

Simge	Malzeme No	C	Si	Mn	P	S	Cu
SG2	1.5125	0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,30

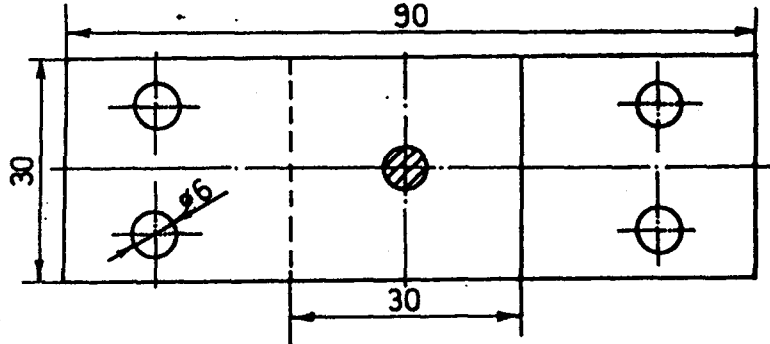


Şekil 5.2. MAG kaynaklı deney numunelerinin oluşturulması.

Kaynak dikişlerinin başlangıcı ve bitişindeki kaynak hatalarından kurtulmak için, kaynatılmış parçaların dikiş eksenine dik olan her iki kenarından 20 mm'lik kısımlarının kesilmesinin daha sıhhatli bir deneye olanak sağlayacağı düşünüldü. Ayrıca Şekil 5.2'de görüldüğü gibi kaynaklanan parçaların genişliği istenen genişlikten fazladır. Bunun sebebi ise kaynak esnasında oluşan ısı ile parçalarda oluşabilecek çarpılmaları azaltabilmek içindir. Birleştirilmiş parçadan deney numunelerini elde edebilmek için Şekil 5.2 de gösterildiği gibi metal makasıyla kesildi. Yorulma deney makinasının katalogunda belirtilen standart deney numunesi (Şekil 5.3) şekline getirmek için kesilmiş parçalar frezelenme işlemine tutuldu. Sonra da matkap ile delikler delindi.



Şekil 5.3. Standart deney numunesi



Şekil 5.4 Standart deney numunesi.

Birleştirme metodu olarak nokta kaynağı uygulanan parçalar şu şekilde oluşturuldu. Parçalar önce 30x60 boyutunda kesildikten sonra fosfat kaplama işlemi uygulandı. Sonra bu parçalar birbiri üzerine 30 mm. bindirilerek işletme şartlarında nokta kaynakları yapıldı (Şekil 5.4).

Yorulma deneyleri, Schenck marka düzlemsel eğme gerilmeli makinada yapıldı. Eğilme momenti değeri, eksantrik kasnak aracılığıyla ayarlan sehim miktarı ile değişir. Sehim miktarının ölçülerek buna karşılık gelen eğilme momenti değeri bulunması, makinaya ait özel bir diyagramdan olur. Parçanın makina üzerine bağlantısı yapıldıktan sonra kasnağın yavaş hareketleri ile komperatörden sehim miktarı okunur ve bu değerden eğilme momentine geçilir. Düzlemsel eğilme momenti uygulanması sebebiyle $R = -1$ 'dir. Deney frekansı olarak literatürdeki çalışmalar esas alınarak $f = 10$ Hz. olarak alınmıştır. Bu şartlarda yorulma deneyleri yapılarak eğilme momenti değerlerine karşılık tekrar sayıları elde edilmiş ve bir diyagram üzerinde gösterilmiştir.

Yorulmuş parçadaki hasarın incelenebilmesi, çatlağın parça içindeki durumunun araştırılması açısından tahribatsız muayene yöntemlerinde C-tarama yöntemi parçalara uygulanmıştır. Ultrasonik C-tarama çeşitli geometrilere sahip malzemelerin muayenesinde oldukça elverişli bir tahribatsız muayene metodudur.

Sistemin prensibi şu şekildedir: Farklı akustik empedansa sahip iki ortamın oluşturduğu ara kesitine varan bir ultrasonik dalga kısmen yansımakta ve kısmen ikinci ortama geçmektedir. Ultrasonik mauyene ile malzeme içinde farklı akustik empedanslı bir süreksizliğin saptanmasında, ses dalgasının yansıyan veya geçen kısımlarının genlik ve zaman cinsinden ölçülmesi esasına dayanan iki farklı test yöntemi kullanılır. Bu yöntemler, "Puls-eko" ve "Doğrudan iletim" olarak isimlendirilir.

C-tarama tekniğinde test parçasının yüzeyi X-Y düzlemi olarak taranır ve parçanın üst yüzeyinden görüntüsü elde edilir. C-tarama düzeneğinde, transduser ve incelenen malzeme su içine daldırılır. Bu yolla, transduser malzemeyi doğrudan temas olmaksızın tarayabilir, su da kublajı sağlar.

Kullanılan daldırma tipi transduserler, sıvıya maksimum enerji transferi sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu transduserlerde odak uzaklığı maksimum ses enerjisinin toplandığı nokta veya bölge olup, incelenecek bölgeye bağlı olarak odak uzaklığının ayarı yapılmalıdır. Örneğin epoksi ile yapıştırılmış iki alüminyum plakada ilgilenilen bölge yapışma hattı ise, odaklama ara kesite ayarlanmalıdır. Tüm kesit inceleniyorsa odaklama arka cidara, yüzey kalitesi incelendiği durumlarda yüzeye odaklama yapılır.

C-tarama için dizayn edilmiş alıcı/verici birimleri, istenmeyen bilgilerin alınmasını bir elektronik kapı vasıtasıyla filtre eder. Kapının mesafe (delay) ve yer (width) ayarları ilgilenilen bölgeye göre yapılır. Tüm kesitin değerlendirilmesinde ilk ve arka cidar arasına kapı yerleştirilir. Bu inceleme sadece arka cidar yankısını kapı içine alarak da yapılabilir. Bu seçenek yüzeylere yakın hataların değerlendirilmesinde elverişli olup, bazı sistemlerde birden fazla kapı kullanılabilir.

Eşik seviyesi ayarlanmış bir kapı içerisine düşen sinyallerin zaman ve genlik değişimleri farklı renk tonlarında gösterilmek suretiyle, sinyallerin nereden ve ne şiddette geldikleri görüntülenerek, incelenen bölgedeki süreksizliklerin yeri ve büyüklüğü hakkında bilgiler alınır.

Deney numunelerinin yorulma sonucu kırılmış hem nokta hem de MAG kaynaklı parçalara C-tarama uygulanmıştır. Bu sayede çatlakların ilerleyişi, malzeme içerisindeki durumu ve parçanın başka bölgelerinde hasar olup olmadığı incelendi.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ

Yorulma deneyi sonucu elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri Şekil 6.1'de görülmektedir. Şekil 6.2'de nokta kaynaklı parçaların yorulma deney sonuçları, Şekil 6.3'te de MAG kaynaklı parçaların yorulma deney sonuçları vardır. Her iki deneyde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen 2×10^6 çevrim sayısı alınmıştır.

Deneylerde kullanılan eğme momenti (M_e) değerlerinden gerilme (σ) değerlerine klasik mukavemet bilgileri kullanılarak şu şekilde geçilebilir:

$$\sigma = \frac{M_e}{W} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

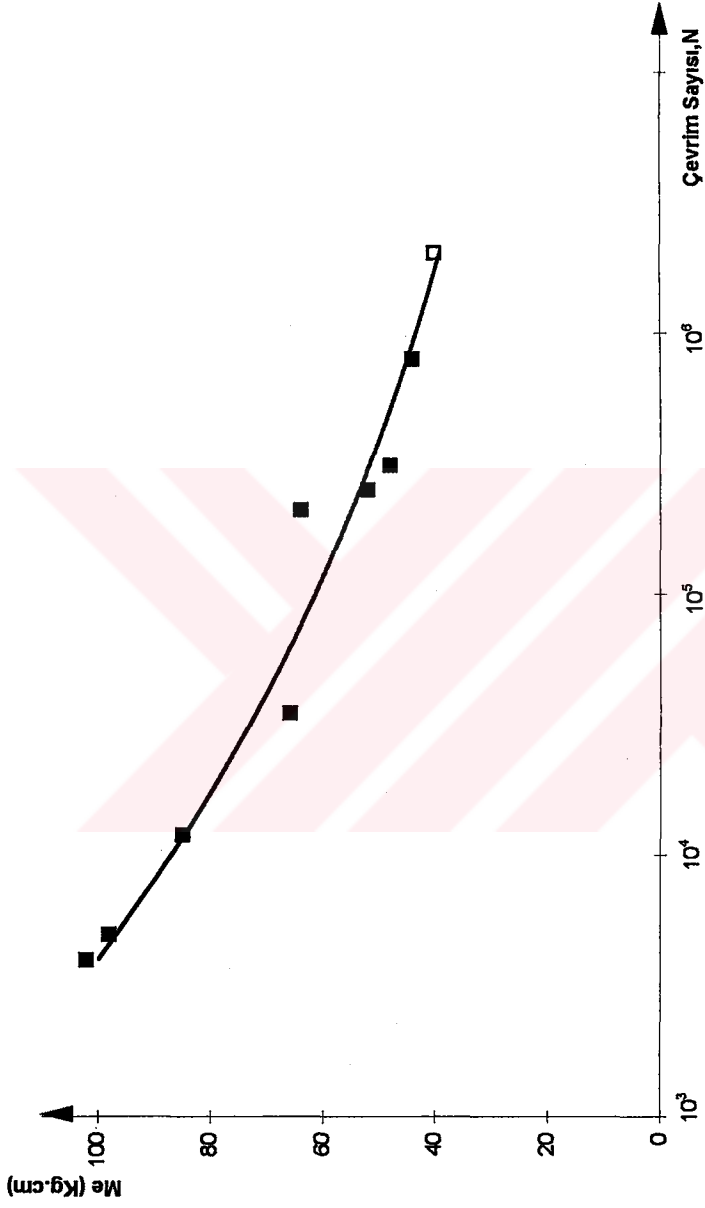
Nokta kaynaklı numuneler için,

$$W_N = \frac{bh^2}{6} = \frac{3.0,3^2}{6} = 0,045 \text{ cm}^3$$

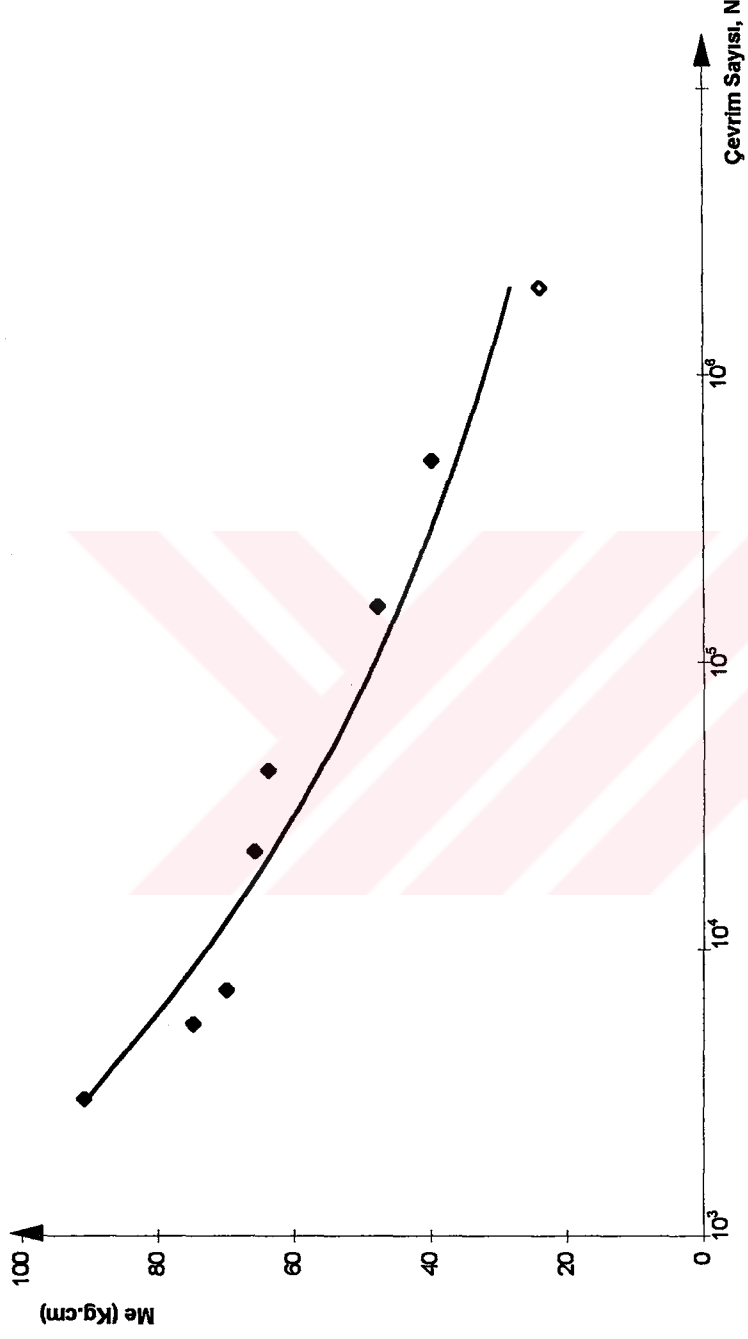
MAG kaynaklı numuneler için,

$$W_M = \frac{bh^2}{6} = \frac{2.0,15^2}{6} = 0,075 \text{ cm}^3$$

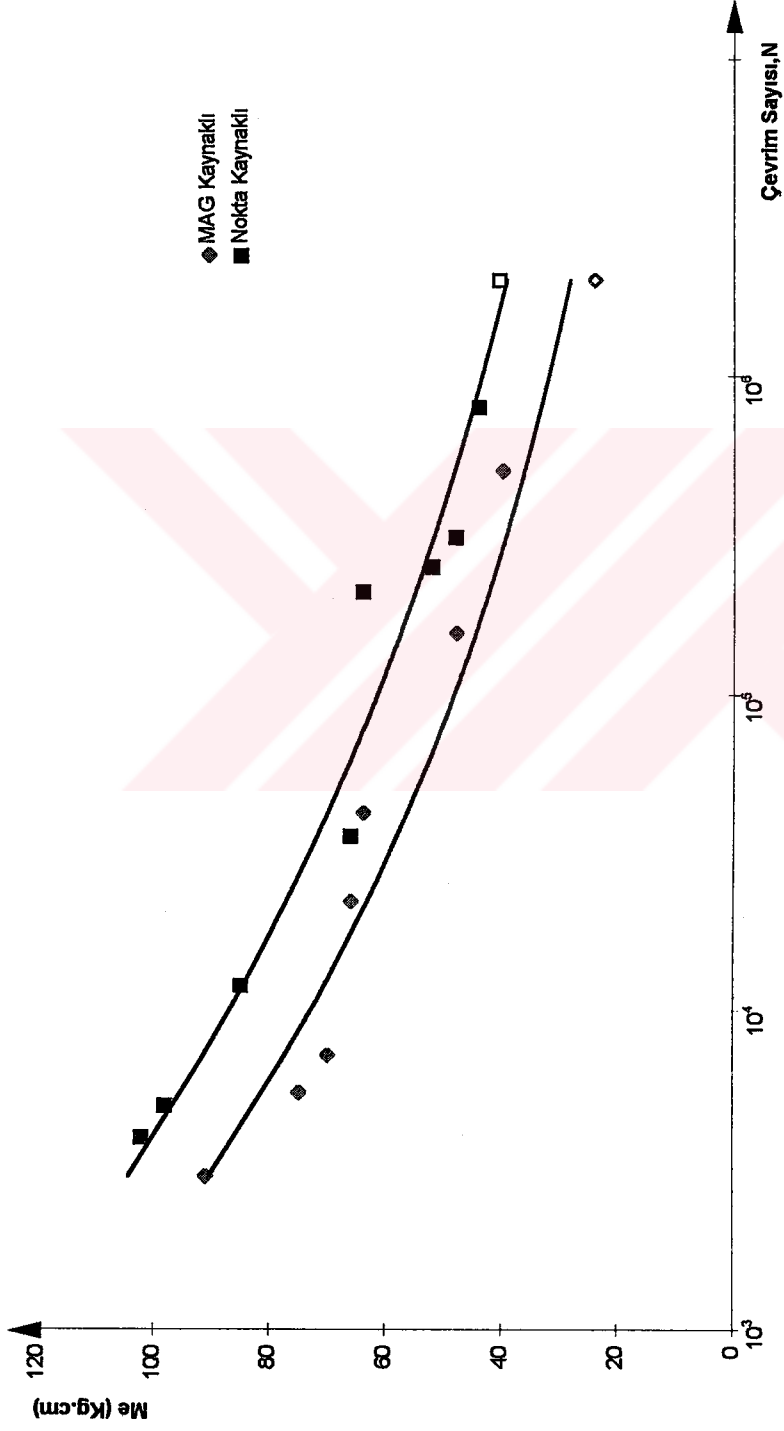
Şekil 6.1'de iki deneyin sonuçlarının aynı grafik üstünde gösterilmesi ile kıyaslama yapılabilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi nokta kaynaklı numunelerin yorulma mukavemetleri MAG kaynaklı numunelerinkinden büyüktür. Bunun birçok sebebi olabilir ama bunlardan en önemli olanı MAG kaynaklı numunelere, nokta kaynaklılardan farklı olarak bir talaş kaldırma işleminin uygulanmasıdır. MAG kaynaklı numunelerde uygulanan frezeleme işlemi sonrası işlenmiş yüzeyde birçok çatlak başlangıcı meydana gelmiş olabilir. Bu da yorulma olayında bir hızlanmaya sebep olur. Çünkü yorulma ömrünün büyük bir kısmı çatlak başlatmak için harcanır. Grafiklerde içi dolu kutucuklar kırılma hasarını içi boş kutucuklarda kırılma hasarının olmadığını gösterir.



Şekil 6.2 Nokta Kaynaklı Numunelerin Yorulma Deneysel Sonuçları



Şekil 6. 3MAG Kaynaklı Numunelerin Yorulma Deneysel Sonuçları



Şekil6. İNokta ve MAG Kaynaklı Numunelerin Yorulma Denevi Sonuçlarının Karşılaştırılması

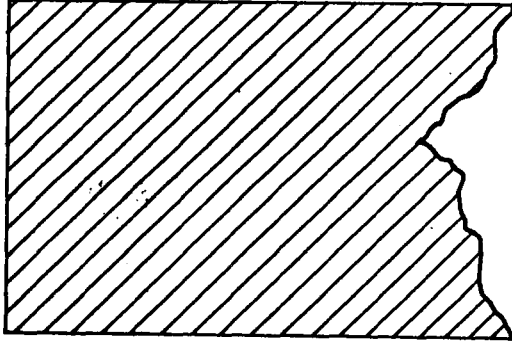
Yorulma deneyleri sonucunda, nokta kaynaklı numunelerin çekirdek kenarından kırıldıkları gözlemlendi. Bunun sebebi daha önceden de belirtildiği gibi, nokta kaynaklı bağlantılar şiddetli gerilme yığılmasıdır ve hatta çatlak benzer etki gibi hesaba katılabilirler. Doğal olarak da, çatlak en kolay yoldan ilerlemek isteyerek çekirdek kenarından parçayı hasara uğratmıştır.

MAG kaynaklı numunelerde yorulma sonucu hasar; kaynak dikişinin yanında ana malzemenin üzerinde kaynak ucundan başlayan bir çatlak ile kırılma meydana gelmiştir. Nokta kaynaklı numunelerde çatlak yeri tam olarak tespit edilememektedir. Yorulma çatlaklarının yüzeyden başlayıp ilerlediği bilindiğine göre MAG kaynaklı numunede yüzeyde en zayıf yer kaynak dikişi ile ana malzemenin birleştiği yerdir. Bu bölgede ana malzeme kaynak ısısından etkilenerek yapısal değişikliğe uğramış; süneklik özelliğini kaybederek, gevrek bir hal almıştır. Bu durumda o bölgede çatlak oluşumuna izin verir. Burada başlayan çatlak genelde kaynak dikişi kenarından ilerlediği gözlemlenmiştir. Fakat çatlak bazı yerlerde ana malzemedeki ısıdan etkilenen bölge içerisinde ilerleyerek, kaynak dikiş kenarından çok az da olsa ayrıldığı gözlemlenmiştir.

Yorulma deneyi sonucu parçada meydana gelen hasarın tespiti ve çatlakın parça içerisindeki durumunu incelemek amacıyla sağlam ve kırılmış parçalara tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik C-tarama yöntemi uygulanmıştır. Sonuçları Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.4'te nokta kaynaklı birleştirme yöntemi uygulanmış iki parça görülmektedir. Şeklin alt kısmındaki parça yorulma deneyi sonucu kırılmış parçadır. Kırılma bölgesinden parça hafifçe tutturulmuştur. Şeklin üstündeki parça yorulma deneyine hazırlanmış fakat henüz yorulma deneyi uygulanmamış sağlam parçadır. Şeklin yan tarafındaki renk baremi ile parçadan yansıyan sinyal hakkında bilgi edinebiliriz. Beyaz renk sinyal alınamayan yerleri, siyah renk de maksimum sinyal alınan yerleri göstermektedir. Parçaların yüzeylerindeki renk tonlarının farklılığı parçanın tam düz olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu resim için ayarlar parçanın arka yüzeyine göre yapılmıştır. Bu sebepten sinyaller zayıf gelmekte ve resimde mavi tonlu renkler hakim olmaktadır.

Kaynak çekirdeği her iki parçada da açık bir şekilde belli olmaktadır. Resmi aşağısındaki parçada çekirdeğin kenarından parçayı enlemesine iki parçaya ayıran

kırılma çizgisi belli olmaktadır. Şekil 6.5 de bir önceki şekle benzerdir. Bu şekilde parça, kaynak çekirdeği kenarının biraz ilerisinden kırılmıştır. Fakat koyu renkli çizginin bize göre sağ tarafında ve kırılma çizgisine paralel ikinci bir çizgi görülmektedir. Bu da bize çatlakın aşağıdaki şekille benzer olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.7. Yorulma sonucu kırılmış parçanın yandan görünüşü.

Şekil 6.6 çatlak bölgesinin en açık bir şekilde görüldüğü resimdir. Bu parça, nokta kaynağı ile birleştirilmiş, yorulma deneyi sonucu kırılmıştır. Kırılma bölgesi incelendiğinde, kırılma çizgisinin yanında parçanın içerisine doğru ikinci bir çizginin oluştuğu görülmektedir. Bu da çatlakın parçanın içerisine doğru ilerlediğini ve kırılma sonucu parçanın kırık yüzeylerinin Şekil 6.7'deki gibi olduğunu gösterir. Parçanın diğer yerlerinde herhangi bir hasarın olmadığı da gözükmemektedir. Bunların dışında diğer şekillerle birlikte bir inceleme yapıldığında, çatlakın parça içerisine ilerlemesinin çekirdek tarafına değil de ona ters yönde ilerlediği tespit edilebilir. Bu olay, parça mukavemetinin kaynak mukavemetinden daha düşük olması ile açıklanabilir. Şekil 6.8'de, bir önceki şekildeki parça ile aynı özellikleri taşıyan fakat farklı bir numunenin C-tarama ile elde edilmiş resmidir. Bu resimden parçanın her iki yanında şiddetli çatlakların başladığı görülmektedir. Kırılma bölgesinde çatlakın yine parça içerisine doğru ilerlediği renklerin değişiminden belli olmaktadır.

Şekil 6.9'da MAG kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş parçaların yorulma öncesi ve sonrası durumu gözükmemektedir. Resimde üst kısımdaki sağlam parçadan net bir görüntü elde edilemediği görülmektedir. Alt kısımdaki kırılmış parçanın bize göre sağ tarafında renk farklılıklarının meydana gelmesi parçanın tam olarak düzgün olmayışından kaynaklanmaktadır. Kaynak dikişinin beyaz olarak görülmesinin nedeni

ise parça yüzeyine göre dikişin bir tepe biçiminde oluşu ve bu sebepten üzerine gelen sinyalleri dağıtmasıdır. Resim alt kısımdaki kırılmış parçada çatlak, kaynak dikişi kenarından başlamış ve giderek dikişten uzaklaşmıştır. Şekil 6.10'da da MAG kaynaklı numunelerde çatlağın durumu incelenmiştir. Burada bize göre sol tarafta bulunan parçanın çevresi boyunca renk tonlarının değişimi yüzey düzgünsüzlüğüne bağlanabilir. Bu durumda çatlağın malzeme içerisine doğru yayılması ya yoktur, veyahut çok küçüktür.



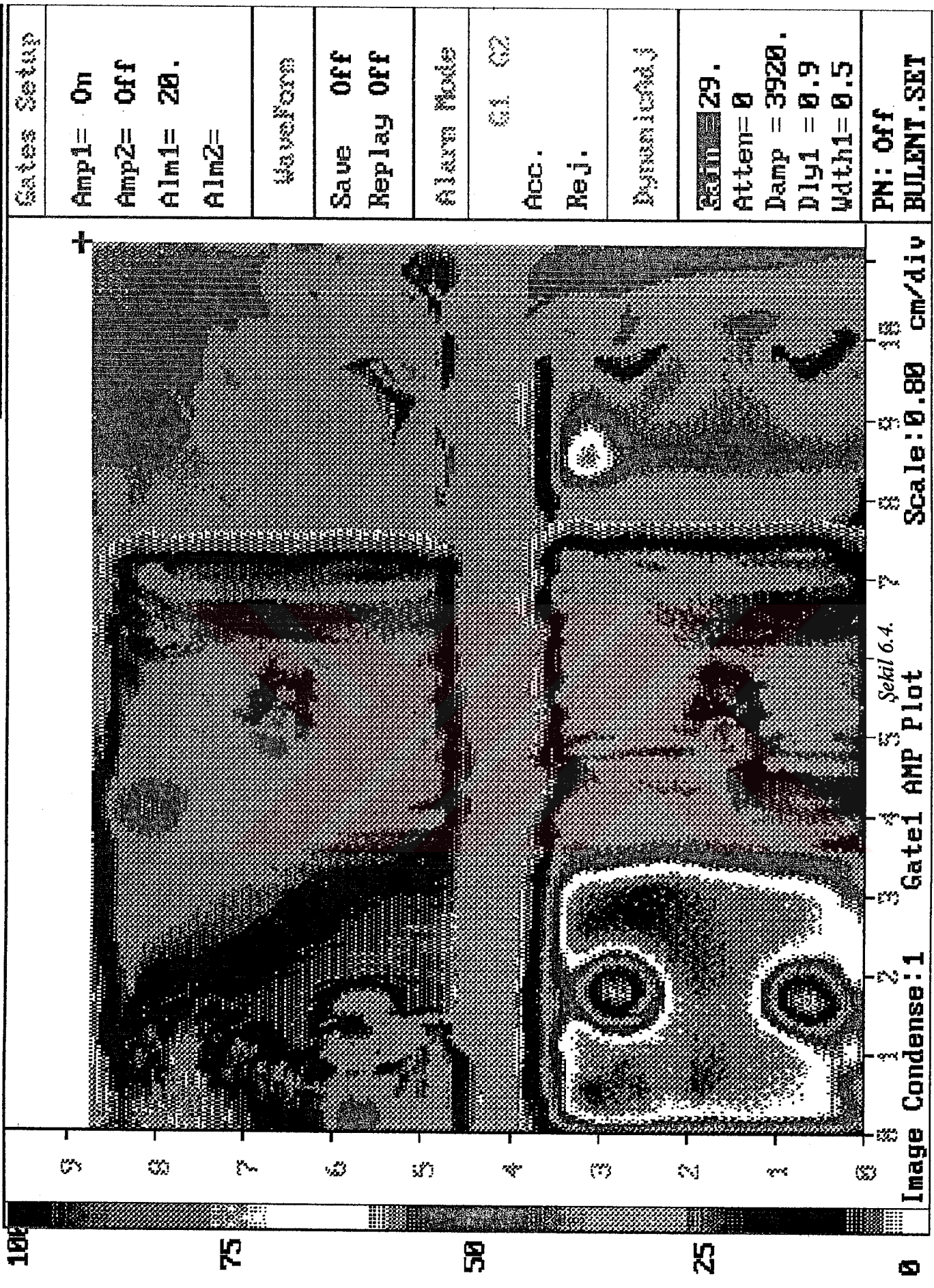
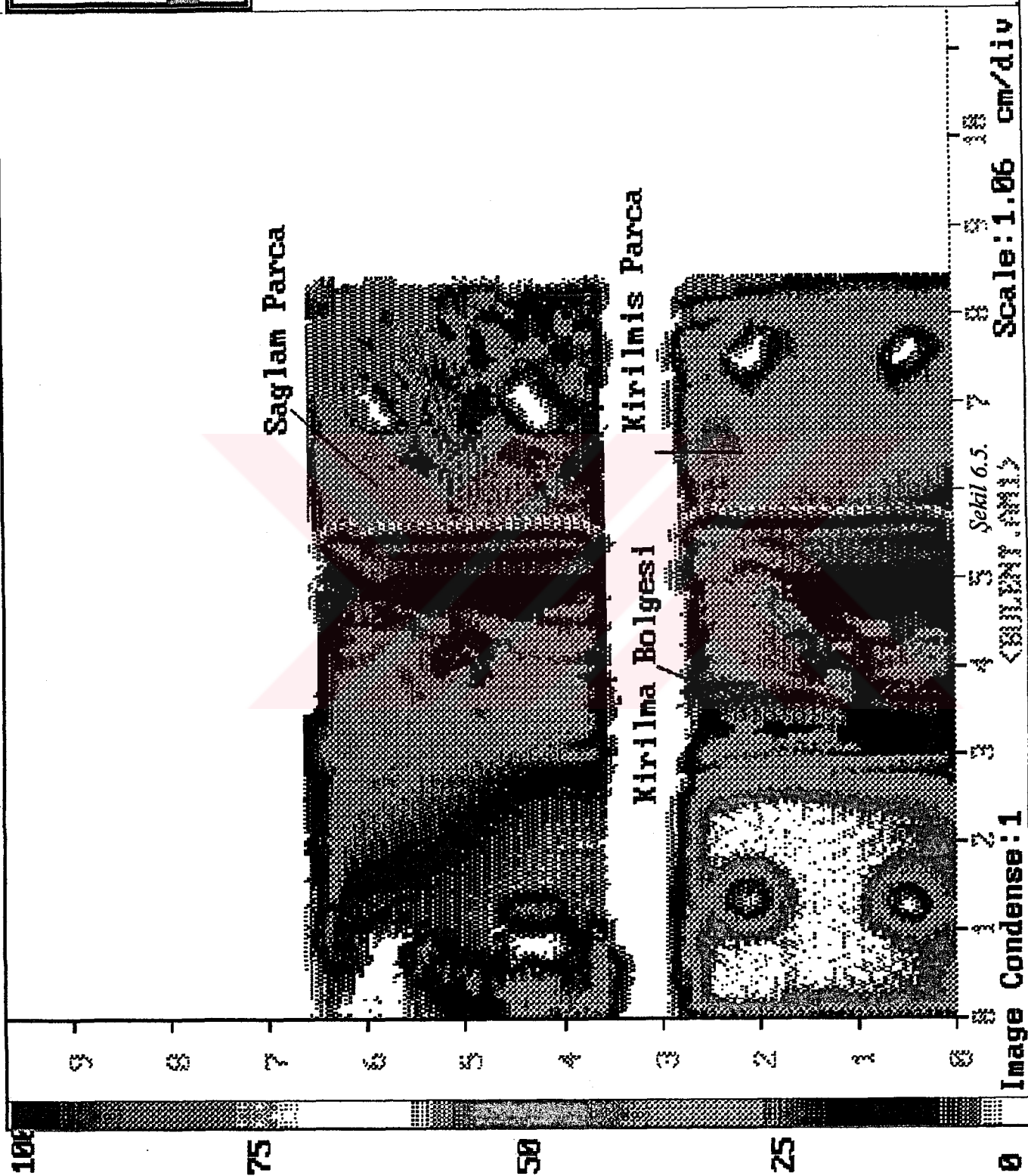


Image Condense: 1 Gate1 AMP Plot Scale: 0.80 cm/div

Gates Setup	
Amp1=	On
Amp2=	Off
Alm1=	20.
Alm2=	
Waveform	
Save	Off
Replay	Off
Alarm Mode	
	G1 G2
Acc.	
Rej.	
Dynamic Off	
Gain	29.
Atten	0
Damp	3920.
Div1	0.9
Wdth1	0.5
PN	Off
BULENT.SET	

COORDINATES X = 8.999 .Y = 7.116 .Z = 0.000 .T(Ans) = 0.00

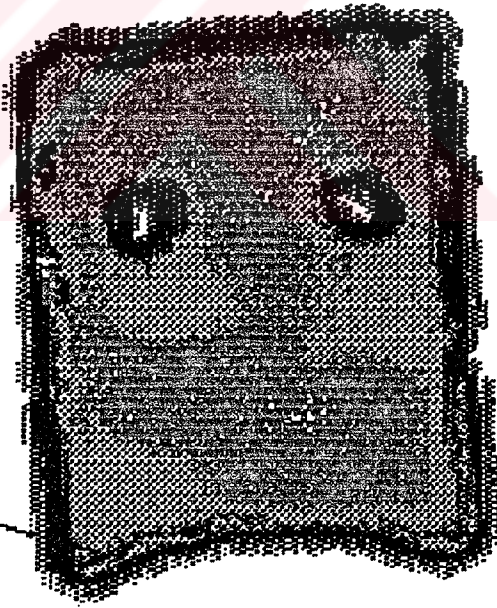
Document
Annotate
EraseAnnoa.
PrintReport
SaveReport
RecallRept.



Fontnote: Yuvulma Sauru Parvada i kauru

Document
Annotate
EraseAnnoa.
PrintReport
SaveReport
RecalIRept.

Kirilma bolgesi

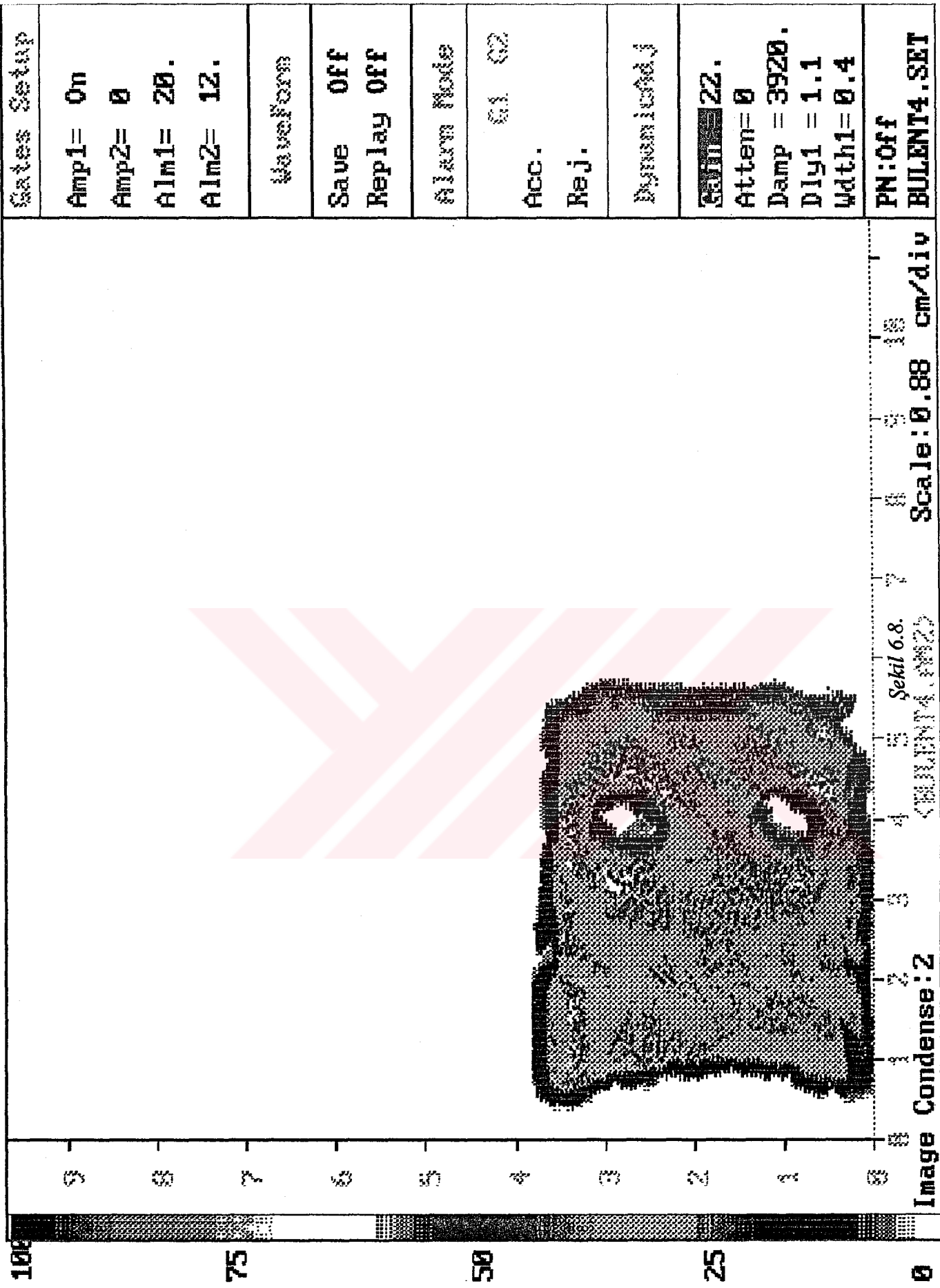


Scale: 1.00 cm/div

Sekil 6.6.
<BUYUTUS, 0M2>

Image Condense: 1

Footnote: Yayımlanmış görüntü kullanılmamıştır.



Gates Setup
Amp1= On
Amp2= 0
Alm1= 20.
Alm2= 12.
Waveform
Save Off
Replay Off
Alarm Mode
Cl 02
Acc.
Rej.
Dynamical 0
Gain= 22.
Atten= 0
Damp = 3920.
Dly1 = 1.1
Wdth1= 0.4
PN:off
BULENT4.SET

COORDINATES X = .Y = .Z = 0.000 .T(dns)= 0.00

9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

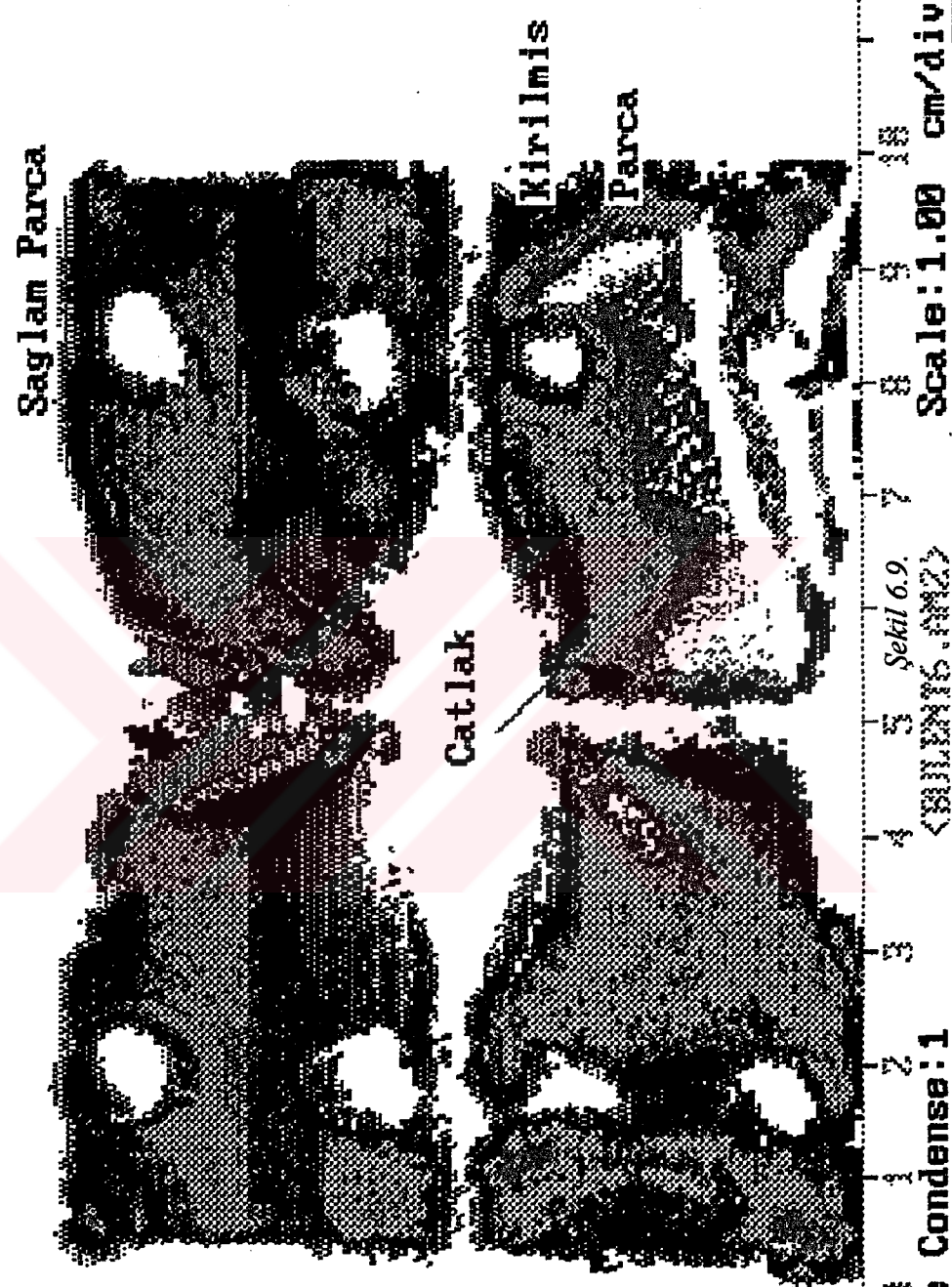
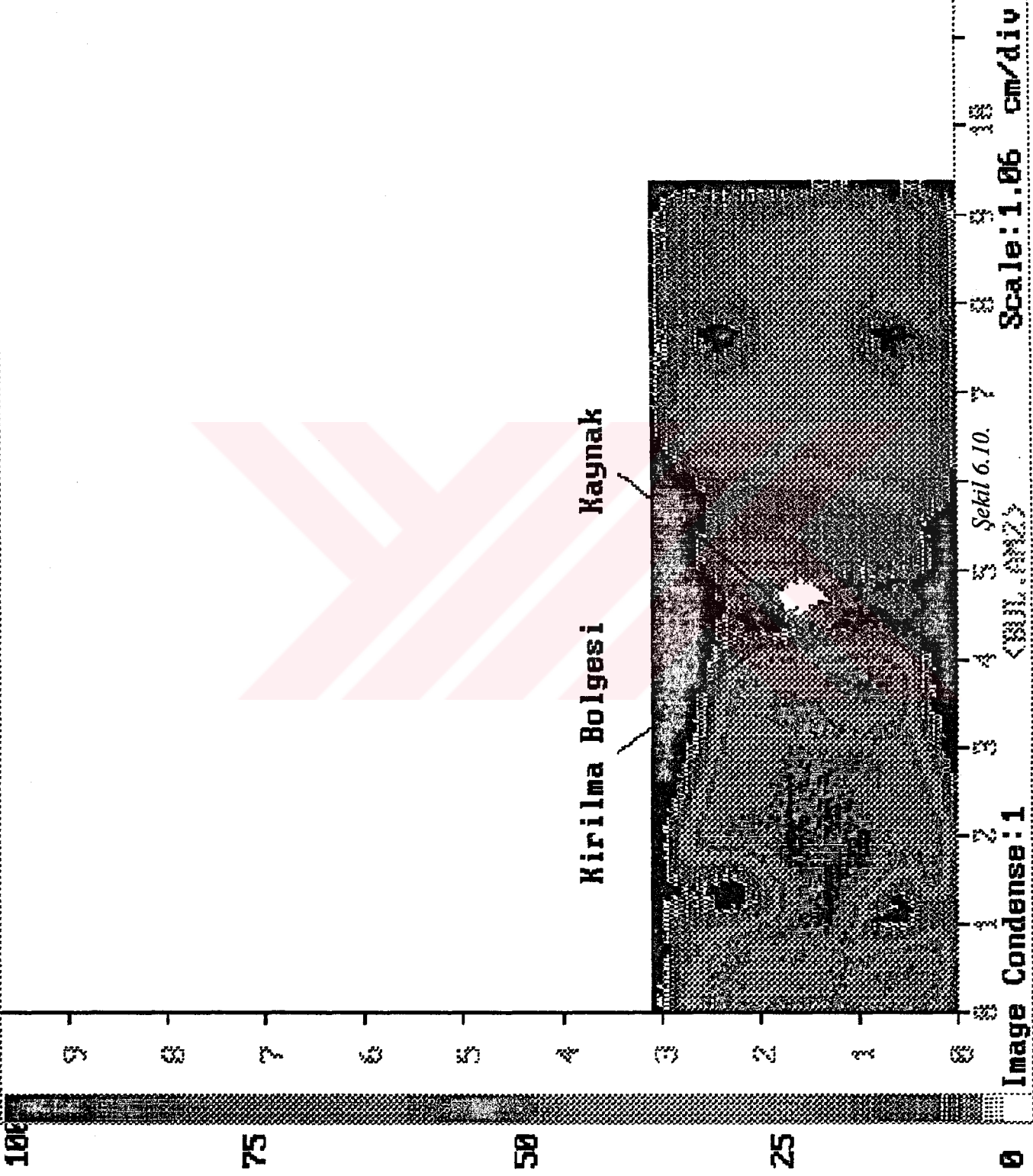


Image Condense: 1

Footnote: Yoruina Sonucu Parcalaki Inasar

COMMENTS



Resimlerin Yorumlama Çizimleri Ders Kitabı 2. Baskı

KAYNAKLAR

- ANIK, S.,1991a. Kaynak tekniği el kitabı, Gedik holding yayını, 186s., İstanbul.
- ANIK, S.,1991b. Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, Gedik holding yayını, 312s., İstanbul.
- BROSILOW, R., 1984. What we have learned about fatigue of welds. Welding desing and fabrication, Apr. 84, s. 73-75.USA.
- ÇAKIR, A.F., 1985. Otomotiv sanayiinde metal kaplamalar, bugünü ve geleceđi. Tmmob, 1. Otomotiv ve yan sanayii sempozyumu, cilt 2, 4-8 Kasım,11s., Bursa.
- ÇİMENOĞLU, H. ve KAYALI, E.S., 1991. Malzemelerin yapısı ve mekanik davranışları, İTÜ, 418s., İstanbul.
- DAVIDSON, J.A., 1983. A review of fatigue properties of spot welded sheet steels, SAE Technical paper series, 10p., 830033.
- DAVIDSON, J.A. and IMHOF, E.J., 1983. A fracture-mechanics and system-stiffness approach to fatigue performance of spot-welded sheet steels, SAE Technical paper series, 10p., 830034.
- DÜZGÜN, D., 1993. Makina elemanları,412s., Ankara.
- GÜÇALP, A., 1985. Otomobil kasasının korozyon direncinin artırılması. Tmmob. 1. Otomotiv ve yan sanayii sempozyumu, cilt 2; 4-8 Kasım, 8s., Bursa.
- GÜRLEYİK, M.Y., 1987. Fosfatlama. Mühendis ve makina dergisi, c. 29, s. 330, s. 13-21., Ankara.
- HAMEL, F.G. and MASOUNAVE, J., 1987. The influence of thickness on the fatigue endurance of non-load carrying spot welded joints, Proceedings of the international symposium on fracture mechanics, August 23-26, p. 253-263, Winnipeg, Canada.

HAMEL, F.G. and MASOUNAVE, J., 1990. The fatigue behaviour of HSLA non-load carrying spot welded joints, C.M.Q., vol. 29, no. 4, p. 313-318, UK.

KARADENİZ, S., 1989. Kaynak yöntemleri, cilt 1, DEÜ, 119s., İzmir.

KAYALI, E.S., ENSARİ, C. ve DİKEÇ, F., 1983. Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, İTÜ, 179s., İstanbul.

KAYALI, E.S. ve ÇİMENOĞLU, H., 1985. Taşıtlarda ağırlık tasarrufu sağlayan yüksek mukavemetli çeliklerin özellikleri. Tmmob.1. Otomotiv ve yan sanayii sempozyumu, cilt 2, 4-8 Kasım, 8s., Bursa.

KITAGAWA, H., SATOH, T. and FUJIMOTO, M., 1985. Fatigue strength of single spot-welded joints of rephosphorized high strength and low-carbon steel sheets, SAE Technical paper series, 10p., 850371.

MIYOSHI, Y., 1991. State of the art in precoated steel sheet for automotive body materials in Japan, ISIJ International, vol. 31, s. 1-10., Japan.

MORIMOTO, T. and KATO, S., 1983. Basic characteristics of high strength steel for motor cars. Int. J. of Vehicle Design, vol. 4, no. 5, p. 473-490, UK.

N.N., 1971. Metals handbook. Spot welding of coated steel, vol. 6, Welding and brazing, 638p., ASM, USA.

N.N., 1991. Welding handbook. Eighth edition, vol.2, Welding processes, 955p. AWS, USA.

OHTA, A., MAWARI, T. and SUZUKI, N., 1990. Evaluation of effect of plate thickness on fatigue strength of butt welded joints by a test maintaining maximum stress at yield strength, Engineering Fracture Mechanics, vol. 37, no. 5, s. 987-993, UK.

ONUR, E. 1985. Otomotiv sanayiinde çelik standardizasyonu. Tmmob.1. Otomotiv ve yan sanayii sempozyumu, cilt 2, 4-8 Kasım, 11s., Bursa.

POSTACIOĞLU, B., 1981. Cisimlerin yapısı ve özellikleri, İTÜ, 610s., İstanbul.

RADAJ, D., 1989. Local fatigue strength characteristic values for spot welded joints. International institute of welding annual assembly, Sept. 2-9, 10p., Helsinki, Finland.

RADAJ, D., 1989. Structural stress, notch stress and stress intensity approach for assessment of fatigue strength of spot welded joints. International institute of welding annual assembly, Sept. 2-9, p. 1-27, Helsinki, Finland.

RIVETT, R.M. and SLATER, G., 1983. Assessment of single resistance spot welds in low carbon and high strength steel sheet-part 2. Fatigue and impact properties. The welding institute, 11p., Cambridge, UK.

TAUSCHER, H.(Çev. GÜLEÇ, Ş. ve ARAN, A.), 1983. Çelik ve dökme demirlerin yorulma dayanımı, TÜBİTAK, 210s., Gebze.

TUNCEL, S., 1995. C-tarama ultrasonik muayene tekniği. TÜBİTAK bölüm içi seminerleri, 22s., Gebze.

TÜLBENTÇİ, K., 1990. MIG-MAG Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı, Gedik holding yayını, 215s., İstanbul.

TÜLBENTÇİ, K. ve KALUÇ, E., 1989. Otomotiv endüstrisinde kaynak robotlarının önemi. Tmoob, 2. Otomobil ve yan sanayii sempozyumu, Endüstri mühendisliği dergisi, 1. özel sayısı, s. 179-185, Bursa.

TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E. ve YILMAZ, M., 1994. Otomotiv endüstrisinde, kullanılan modern çeliklerin kaynaklanabilirliği. Gedik teknik 1. s. 5-10, İstanbul.

WANG, P.C. and EWING, K.W., 1988. A J-Integral approach to fatigue resistance of a tensile-shear spot weld, SAE Technical paper series, 12p. 880373.

WANG, P.C. and EWING, K.W., 1991. Fracture mechanics analysis of fatigue resistance of spot welded coach-peel joints, Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., vol. 14, no. 9, p. 915-930, UK.

WANG, P.C., CHISHOLM, S.K., BANAS, G. and LAWRENCE, F.V., 1995. The role of failure mode, resistance spot weld and adhesive on the fatigue behavior of weld-bonded aluminu. Supplement to the welding journal, Feb.1995,AWS,p.41-47. USA.

YÜKLER, A.İ., 1985. Isıl işlemle sertleştirilen sacların elektrik direnç nokta kaynağı özellikleri, Tmmob, 1. Otomotiv ve yan sanayii sempozyumu, cilt 2, 4-8 Kasım, 9s., Bursa.

TS 524, 1978. Çelik parçaların fosfatlanması, TSE, Ankara.

TS 1478, 1974. Metallerin yorulma deneyi genel prensipleri, TSE, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini İzmit’te tamamladı. 1990’da girdiği Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümünden 1994 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu.

1994 yılından beri, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

