

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**TEK KATLI YAPRAK YAYLARIN YÜZEY KAPLANMASINDA
MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Mehmet Berk GÜNAY

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN**



**CELAL BAYAR
ÜNİVERSİTESİ
MANİSA - 2016**

TEZ ONAYI

Mehmet Berk GÜNAY tarafından hazırlanan "Tek Katlı Yaprak Yayların Yüzey Kaplanması Mekanik Özelliklerin İncelenmesi" adlı tez çalışması 26/09/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak savunulmuş ve oybirliği ile başarılı olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Halit DOĞAN
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Recep HALICIOĞLU
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mehmet Berk GÜNAY



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLO DİZİNİ	IX
TEŞEKKÜR	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Yaprak Yay Nedir?	4
2.2. Yaprak Yayların Üretimi	6
2.2.1. Hammadde	6
2.2.2. Yaprak Yay Üretim Proses Akışı	13
2.2.3. Kesim	14
2.2.4. Delme	16
2.2.5. Haddeleme	17
2.2.6. Göz Kıvrırma	21
2.2.7. Isıl İşlem	22
2.2.8. Bilyalı Dövme (Shot Peening)	32
2.3. Yorulma	34
2.3.1. Yorulmada Emniyet Katsayısı	35
2.4. Korozyon	36
2.5. Korozyondan Korunma Yöntemleri	38

2.5.1. Elektro Kaplama	38
2.5.2. Yaş Boya Püskürtme Kaplaması	43
2.5.3. Polimerik Kaplama	46
2.6. Kaplama Testleri	50
2.6.1. Kazıma Testi (Scratching)	50
2.6.2. Boya Film Kalınlık Ölçümü	51
2.6.3. Taş Çarpma Testi	52
2.6.4. Korozyon Testi	53
3. DENEYSEL KISIM	56
3.1. Tahribatlı Kaplama Testleri	56
3.1.1. Elektro Kaplama Uygulanan Numune Lamalarda Taş Çarpma ve Tuzlu Sis Testi	56
3.1.2. Yaş Boya Kaplama Uygulanan Numune Lamalarda Taş Çarpma ve Tuzlu Sis Testi	58
3.1.3. Polimer Kaplama Uygulanan Numune Lamada Taş Çarpma ve Tuzlu Sis Testi	59
3.1.4. Tahribatlı Kaplama Testleri Sonuçları ile Kaplama Karşılaştırmaları	61
3.2. Numunelerin Üretimi ve Yüzey Kaplama Uygulamaları	62
3.3. N-CODE Yorulma Ömür Analizlerinin Polimerik Kaplı Numune Yaprak Yaylarda Gerçek Ömür Testleri ile Doğrulanması	74
3.3.1. N-CODE Ömür Analizleri	74
3.3.2. Polimerik Kaplı Numune Yaprak Yaylar ile Gerçek Ömür Testleri	78
3.4. Polimerik Kaplı ve Elektro Kaplı Tek Katlı Yaprak Yaylarda Karşılaştırmalı Tahribatlı Testler	79

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	88
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	96
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	101



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

RS	Residual Stress
HMT	Hacim Merkezli Tetragonal
TDS	Technical Data Sheet
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi
ÇKT	Çevrimli Korozyon Testi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Tek katlı yaprak yay	4
Şekil 2.2. Çok katlı yaprak yay	5
Şekil 2.3. Çok katlı yaprak yay montajı	6
Şekil 2.4. Yay çeliğinden üretilmiş lamalar	7
Şekil 2.5. Gerime-Şekil Değiştirme diyagramı	13
Şekil 2.6. Yaprak yay üretim akış şeması	14
Şekil 2.7. Kesim	15
Şekil 2.8. İdeal kesme diyagramı	15
Şekil 2.9. Gerçek kesme diyagramı	15
Şekil 2.10. İkili merdane sistemi ile haddeleme	19
Şekil 2.11. Haddeleme proses akış diyagramı	19
Şekil 2.12. İkili merdane sistemi	20
Şekil 2.13. Göz kıvrırma	21
Şekil 2.14. Demir-Karbon denge diyagramı	23
Şekil 2.15. Yay çeliği için östenitleme sıcaklığı	24
Şekil 2.16. Östenitleme fırını giriş (yükleme) bölgesi	26
Şekil 2.17. Bükme-Sertleştirme hattı	27
Şekil 2.18. Martenzit birim hücresi	28
Şekil 2.19. TTT Diyagramı (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm)	29
Şekil 2.20. İğnesel martenzit içyapı mikro görüntüsü.....	30
Şekil 2.21. Temperlenmiş martenzit içyapı mikro görüntüsü.....	31
Şekil 2.22. X-Işını kırınım yöntemi şematik gösterimi	33

Şekil 2.23. Yaprak yayın çalışma prensibi	33
Şekil 2.24. Korozyon örnekleri	37
Şekil 2.25. Aktivasyonlu ve aktivasyonsuz fosfat kaplama uygulaması	40
Şekil 2.26. Aktivasyonlu ve aktivasyonsuz fosfat kaplama uygulanan yüzeylere ait mikro görüntüler	40
Şekil 2.27. İpliğimsi korozyona örnek	41
Şekil 2.28. İşlem görmemiş yüzey ve çinko-fosfat kaplı yüzey	42
Şekil 2.29. İki bileşenli boya püskürtme tabancası	46
Şekil 2.30. Boya film kalınlık ölçüm cihazı	51
Şekil 3.1. Elektro kaplama uygulanan lamaların taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüleri	56
Şekil 3.2. Yaş boya kaplı lamaların taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüleri	58
Şekil 3.3. Polimer kaplı numune lamanın taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüsü	59
Şekil 3.4. Isıl işlem sonrası yüzey sertlik ölçümü.....	62
Şekil 3.5. Brinell sertlik ölçümü	63
Şekil 3.6. Genellikle uygulanan yaprak yay yüzey kaplama aşamaları	64
Şekil 3.7. Bilyalı dövme prosesinden sonra numunelerin yüzey görüntüleri	65
Şekil 3.8. Kalıntı Gerilim (RS) ölçümü	65
Şekil 3.9. Polimer kaplamaya hazır numuneler	67
Şekil 3.10. Polimer kaplama öncesi yüzey ısıtma	69
Şekil 3.11. Polimer kaplama uygulaması	69
Şekil 3.12. Kalıntı gerilim (RS) ölçümü sonucunda kaplama proseslerine devam etmesine karar verilen numuneler	70
Şekil 3.13. Polimerik kaplama sonrası göz içine talaşlı imalat uygulaması	70

Şekil 3.14. Yük-Sehim ölçümü yapılan polimer kaplama uygulanmış tek katlı yaprak yay	71
Şekil 3.15. Elektro kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim diyagramı	73
Şekil 3.16. Polimer kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim diyagramı	73
Şekil 3.17. CAD çizimi ile yüzeyinde çentik oluşturulmuş tek katlı yaprak yay.....	74
Şekil 3.18. İç yüzeyde çentik görüntüsü	75
Şekil 3.19. Çentiğin içi ve yay yüzeyinin polimer kaplanmış şekli	76
Şekil 3.20. Polimerik kaplama uygulanmayan çentikli yaprak yaya ait ömür analizi (N-CODE).....	76
Şekil 3.21. Polimerik kaplama uygulanan çentikli yaprak yaya ait ömür analizi (N-CODE).....	77
Şekil 3.22. Off-Road araçta yaprak yay çalışmasına örnek	79
Şekil 3.23. Taş çarpma simülasyonu	80
Şekil 3.24. Serbest düşme prensibi ile tasarlanan taş çarptırma düzeneği	81
Şekil 3.25. Elektro kaplı ve polimerik kaplı numunelerde taş çarptırma noktaları	82
Şekil 3.26. Taş çarptırma uygulaması	82
Şekil 3.27. Taş çarptırma sonrası atmosfer şartlarında bekletilen yaprak yaylar	83
Şekil 3.28. Atmosfer şartlarında bekletilen yaprak yay yüzeylerinin 48 saat sonundaki yüzey durumları	83
Şekil 3.29. Tuzlu sis banyosu	84
Şekil 3.30. DIN EN ISO 9227 tuzlu sis testi programı	84
Şekil 3.31. Tuzlu sis testi (Korozyon Testi) sonrası elektro kaplamalı yaprak yay.....	85
Şekil 3.32. Tuzlu sis testi (Korozyon Testi) sonrası elektro kaplamalı ve polimer kaplı yaprak yayların yüzey görüntüleri.....	85

Şekil 3.33. Yorulma ömür testi ekranı	86
Şekil 3.34. Yorulma ömür testi	86
Şekil 3.35. Hasarlı (Kırılan) polimer kaplı yaprak yay	87
Şekil 3.36. Hasarlı (Kırılan) elektro kaplamalı yaprak yay	87
Şekil 4.1. Numune 4 ün hasarlı yüzeyinden SEM analizi için hazırlanan parçalar ...	89
Şekil 4.2. Numune 4 ün kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (x150)	89
Şekil 4.3. Numune 4 ün kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (x550)	90
Şekil 4.4. Polimer kaplama kopma yüzeyi SEM görüntüsü (x100)	91
Şekil 4.5. Polimer kaplama kopma yüzeyi SEM görüntüsü (x130)	91
Şekil 4.6. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait makro görüntü	93
Şekil 4.7. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü	93
Şekil 4.8. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü	94
Şekil 4.9. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait makro görüntü	95
Şekil 4.10. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü	95
Şekil 4.11. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü	96

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Yay çelikleri ve bileşimleri	8
Tablo 2.2. Yay çelikleri için mekanik özellikler	11
Tablo 2.3. Belirtilen kimyasallara 7 gün boyunca maruz bırakılan polimerik kaplama malzemesinin fiziksel özellik değişimleri ve uygunlukları	47
Tablo 2.4. Kazıma testi parametreleri	50
Tablo 2.5. Taş çarpma testi değerlendirme skalası	52
Tablo 3.1. Elektro kaplama uygulanan numune lamalarda taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları	57
Tablo 3.2. Yaş boya kaplama uygulanan numune lamalarda taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları	58
Tablo 3.3. Polimer kaplama uygulanan numune lamada taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları	60
Tablo 3.4. Kaplama Testleri Sonuçları.....	61
Tablo 3.5. Yüzey sertlik ölçüm sonuçları	63
Tablo 3.6. Kalıntı gerilim (RS) ölçümü sonuçları	66
Tablo 3.7. Elektro kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim ölçümü	72
Tablo 3.8. Polimer kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim ölçümü	72
Tablo 3.9. N-CODE yorulma ömür test sonuçları	77
Tablo 3.10. Polimerik kaplı numune yaprak yayların gerçek yorulma ömür testi sonuçları	78
Tablo 3.11. Ömür testi sonuçları	87

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren hocalarıma, lisansüstü eğitimimi destekleyerek deneysel çalışmalarımda maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen OlgunCelik A.Ş. ailesine ve çalışma arkadaşlarıma, tüm hayatım boyunca hep en büyük destekçim olan sevgili aileme yürekten teşekkür ederim.

Mehmet Berk GÜNAY



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEK KATLI YAPRAK YAYLARIN YÜZEY KAPLANMASINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

MEHMET BERK GÜNAY

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. İBRAHİM AYDIN)

Eski tip binek araçlarda, günümüzde ise ticari araçlar ve yük taşımacılığı yapan kamyonların ön ve arka akslarında kullanılan yaprak yaylar, süspansiyon ve güvenlik elemanlarıdır. Yol koşulları nedeniyle ani olarak şasi ve aktarma organlarına gelen yüklerin oluşturduğu enerjiyi üzerinde depolayıp, daha sonra açığa çıkararak sürüş konforu ve emniyeti sağlarlar. Dinamik yükler altında çalışan ve maruz kaldıkları değişken genliklerdeki yükleri absorbe edebilecek tokluğa sahip olması gereken yaprak yaylar, esneme kabiliyeti yüksek ve dayanıklı yay çeliği malzemesinden üretilirler.

Bu çalışmada tek katlı yaprak yaylar bilyalı dövme sonrası poliüre malzeme ile kaplanarak mekanik özellikler piyasada kullanılan kaplama uygulamaları ile karşılaştırıldı. Gerçek yol şartlarında yaprak yayın yüzeyine aracın ortalama hızı ile çarpacak taşlar serbest düşme prensibi ile tasarlanmış test düzeneğinde simule edilerek hemen ardından hızlandırılmış korozyon testlerine tabi tutuldu ve polimer kaplama uygulanan yaprak yay ile mevcutta kullanılan elektro kaplamalı yaprak yaylarda meydana gelen korozyonlar gözlemlendi. Korozyon testinden çıkan yaprak yaylar yorulma ömür testine bağlanarak aynı şartlarda test edildi ve ömürleri ile kırılma karakteristikleri incelendi.

Kaplama malzemesi olarak seçilen polimerin teknik özellikleri ve kaplama kalınlığı yaprak yay yüzeyine çarpan taşların etkisini çok daha iyi absorbe ederek taş çarpan noktada kaplamanın kalkmasını ve korozyon başlangıcını hasar oluşumuna kadar geciktirerek, oluşacak çentik etkisinin ciddi oranda azaldığı görüldü. Polimer kaplama ile taş çarpmalara ve dolayısı ile korozyon oluşumuna karşı arttırılan dayanımın ömür artışı üzerindeki etkisi yorulma ömür testleri ile incelendi.

ANAHTAR KELİMELER: Yaprak yay, taş çarpma, korozyon, yorulma ömür testi, polimerik kaplama

2016,

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT ON POLYMERIC COATED MONO LEAF SPRINGS

MEHMET BERK GÜNAY

**CELAL BAYAR UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL of APPLIED and NATURAL SCIENCES
DEPARTMENT of MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. İBRAHİM AYDIN)

The leaf springs are used mainly for commercial vehicle and trucks suspensions and in one form consist of a stack of slightly curved narrow plates of equal width and varying length clamped together, with the shorter plates in the centre to form a semielliptical shape. The steel strips of a leaf spring are curved into an arc and attached at each end to the underside of a vehicle to help position and support the axle, and also to absorb shock. The leaf springs must absorb the dynamic loads, so their raw material is tough spring steel.

In this study, shot penned leaf springs were coated with polymer material and mechanic properties were compared to electro coated leaf springs. On the real road conditions stones crash to leaf spring's surface. This stone chip effect were simulated with a test mechanism which was designed by using free fall principle and real stones were crashed to surfaces of leaf springs with the energy of average vehicle speed. After simulated stone chip test corrosion tests were applied to two specimens just their coating different. Corrosion on the surfaces of the leaf springs were observed. Then fatigue tests were applied to leaf springs. Difference between failure characteristics of the damaged leaf springs examined and fatigue lives were compared.

Mechanical properties of polymer coated leaf spring were observed to be better than the electro coated leaf springs. Stone chip strength of polymer material provide the undamaged leaf spring surface after stone chip and prevent corrosion resistance. Effect of these mechanic improvements on fatigue life was examined with fatigue tests after accelerated corrosion tests on the damaged leaf springs.

KEY WORDS: Leaf Spring, Polymeric Coating, Stone Chip, Corrosion, Fatigue test

2016,

1. GİRİŞ

Eski tip model binek araçlarda, ticari araçlarda ve yük taşıyan kamyonlarda süspansiyon ve güvenlik ekipmanı olarak kullanılan yaprak yaylar dinamik yükler altında çalışan parçalar oldukları için eksenel titreşimleri ve yol düzensizliğinden kaynaklanan titreşimleri sönmölemek zorundadırlar. Bu sebeple yaprak yayların enerji sönmöleme kabiliyeti çok önemlidir [1]. Yay çeliği malzemesinden üretilen yaprak yaylara su verme prosesi ile sertlik kazandırılırken temperleme işlemi ile içyapıda kalan gerilimler giderilir ve parçalara tokluk kazandırılır. Sürekli ve değişken frekanslarda yükleri sönmöleme görevi olan parçaların hasarlanmaları yorulma kırılması ile olmaktadır. Yaprak yaylarda olduğu gibi köprülerin, demiryolu köprülerinin ve kaynaklı köprü parçaları gibi dinamik yükler ile zorlanan yapı elemanları üzerinde yorulma ömür analizlerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur [2-7].

Yorulma, sabit ve ya değişken genliklerde yüklere maruz kalan makine elemanları için dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Yapılardaki yorulma dayanımını mekanik, metalürjik ve çevresel faktörler etkileyebilir [8]. Yapısal mühendislik uygulamalarında, çekirdeklenme ve yorulma çatlaklarının yayılması metallerin mekanik özellikleri için en önemli hususlardır. Yüksek mukavemetli çeliklerde, yüzeyde ve iç yüzeydeki kusurlar yorulma sınırının azalmasında önemli rol oynarlar [9]. Yorulma dayanımını arttırmak için bilinen yollardan biri bilyalı dövme yöntemi ile malzeme yüzeyinde kalıntı bası gerilimi oluşturarak çekirdeklenme ve çatlak ilerlemesini zorlaştırmaktır [10, 11].

Yaprak yayların üretiminde de yorulma dayanımını arttıran proses stres altında bilyalı dövmedir. Endüstride bilyalı dövme prosesinin parametre ayarlarının kontrol altında tutulması almen ölçümleri yardımı ile yapılır. Standardize edilmiş ince almen plakaları bilyalı dövme prosesinden geçirildikten sonra plakalarda meydana gelen şekil değişimlerine almen yoğunluğu denir ve bu yoğunluk ölçülerek gerekli ise makine parametreleri ayarlanır, istenilen değerlerde üretimler yapılır [12, 13]. Bilyalı dövmeden sonra yüzeydeki kalıntı gerilimlerin ölçüm metodu olarak X-Ray ışını kırınımı yöntemi kullanılmaktadır [14, 15]. Yorulma dayanımının

arttırılmasında önemli bir rol oynayan malzeme yüzeyindeki kalıntı gerilimler ile yorulma ömrü arasındaki ilişki birçok çalışmada araştırma konusu olmuştur [16-19].

Yorulmanın ilk aşaması çatlak başlangıcıdır. Çatlak oluşumunu sırasıyla çatlak ilerlemesi ve kırılma izler. R.O. Ritchie' nin metal, seramik ve kompozitlerde çatlak ilerleme mekanizmaları ile yorulma kırılması incelemelerinde malzemelerin toklukları arttıkça çatlak ilerleme hızlarının düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte birkaç koruyucu mekanizmanın çatlak ilerlemesine ve dolayısıyla yorulma kırılmasına karşı etkisinin araştırılması gerektiği, seramiklerin yorulma dayanımını arttıracak koruyucuların henüz keşfedilmemiş bilimsel ve teknolojik bir sorun olduğu sonuçlarına varılmıştır [20].

Yaprak yayların yüzeylerinde çentik etkisi yaratarak çatlak başlangıcı ve ilerlemesini hızlandıracak üretimden gelen bir kusur olmadığı varsayımı ile yola çıkıldığında hasarlanmayı hızlandıran en büyük etki olarak gerçek yol şartlarında yüzeye çarpan taşların vurduğu noktalarda kaplamanın kalkması ve korozyon başlangıcı görülmektedir. 1994 senesinde Becker ve arkadaşları, %13 Cr oranına sahip paslanmaz çeliğin yorulma ve hasarlanma davranışı üzerinde noktasal korozyonların etkisi çalışmasını raporlamışlardır. Korozyon çukuru ve büyümesinin çatlak başlangıcı ve ilerlemesi ile etkileşimli etkilerini incelemek üzere bir model önerilmiştir [21]. Noktasal korozyonların derinliği ile yorulma ömrü ve çatlak ilerlemesi arasındaki bağlantıda S.I. Rokhlin ve arkadaşları tarafından mikro radyografi metodu kullanılarak 1998 senesinde incelenmiştir. İncelemenin sonucunda korozyon derinliği arttıkça yorulma ömürlerinde kısalma olduğu gözlemlenmiştir [22]. Bugüne kadar yapılan bazı çalışmalar ile metal yüzeylere farklı tip organik kaplamalar uygulanarak korozyon oluşumunu geciktirmedeki davranışları gözlemlenmiştir [23, 24].

CAD programı ile yüzeyinde derinliği belli bir çentik oluşturularak çizilmiş tek katlı yaprak yay ile aynı tek katlı yaprak yay polimer kaplanarak N-Code' ta aynı yük değerleri altında ömür analizleri yapılmıştır [25, 26]. Böylece polimer kaplamanın yaprak yayların üretimden gelebilecek yüzey kusurlarını doldurarak

çatlak ucu koruyucu görevi yapmadaki ve çatlak ilerlemesini geciktirerek yorulma ömürlerinde artış sağlayıp sağlamadığı analiz programı ile incelenmiştir.

Deneyisel çalışmalar kısmında tek katlı yaprak yaylara uygulanacak olan polimerik kaplama ile mekanik özelliklerin iyileştirilip gerçek yol şartlarında taş çarpma gibi dış etkilere karşı kaplamanın dayanımının artırılarak korozyonun engellenmesi ve erken hasarlanmanın önüne geçilmesi testler ile araştırılmıştır. Üretilecek olan numune yaprak yayların ısıtma işlem sonrası sertlikleri ve stres altında bilyalı dövme prosesinden sonra X-ışını kırınım yöntemi ile RS ölçümleri yapılarak değerleri birbirine en yakın olanlar seçilmiş ve yorulma ömürlerine kaplamanın mekanik özellikleri dışında herhangi bir parametrenin etki etmeyeceği kalite ölçümleri ile belirlenmiştir. Üretilen numuneler arasında kalite ölçüm sonuçlarına göre seçilen iki adet yaprak yayın bir tanesine elektro kaplama, diğerine polimerik kaplama uygulanmıştır. Serbest düşme prensibi ile tasarlanmış test düzeneği ile yüzeylerinde işaretlenen aynı mesafelerdeki noktalardan aynı enerji ile taş çarptırılan yaprak yaylar ardından ASTM B117 standardında 72 saat korozyon testine tabii tutulmuşlardır [27]. Korozyon testinin ardından yorulma ömür testi uygulanan numunelerin çevrim süreleri karşılaştırılarak hasarlanan yüzeylerinden alınan parçaların SEM analizleri yapılarak hasarlanma karakteristikleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

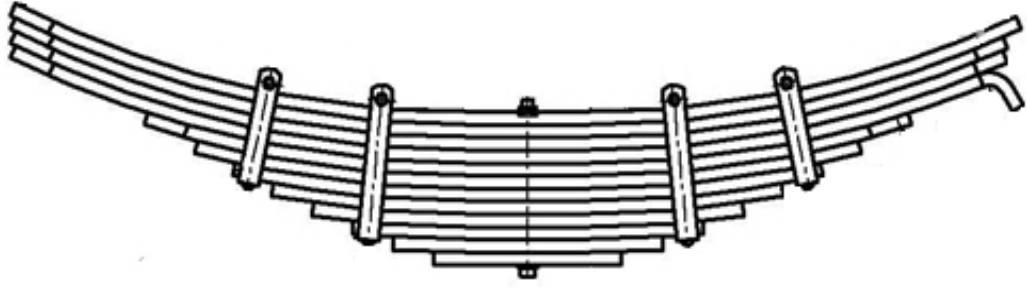
2.1. Yaprak yay nedir?

Yaprak yaylar, yol koşulları nedeniyle ani olarak şasi ve aktarma organlarına gelen yüklerin oluşturduğu enerjiyi üzerinde depolayıp, daha sonra açığa çıkararak sürüş konforu ve emniyeti sağlayan süspansiyon elemanlarıdır. Özellikle II. Dünya Savaşı sırasında gelişen tank teknolojisi ile süspansiyon sistemleri de gelişme göstermiştir. Eski model binek arabaları, yük taşımacılığı yapan kamyonların ön ve arka askı sistemlerinde kullanılır. Boyları birbirinden farklı, lamaların işlenmesi ile üretilen yaprakların üst üste konmasıyla meydana getirilir. Parçaların tümü, bir merkez civatasıyla birbirine bağlanır. Yayların dağılmasını önlemek için saç kelepçeler veya kılıflar kullanılır. Ana yaprağın her iki ucu kıvrılarak yay bağlantı gözleri oluşturulur. Ön ve askı sisteminde ön dingile, arka askı sisteminde arka köprüye U civatalarıyla bağlanır [28].

Çok katlı yaprak yaylar olduğu gibi piyasada kullanılan tek katlı yaprak yay türleri de mevcuttur. Tek katlı yaprak yaylara örnek olarak Şekil 2.1. deki çizim verilebilir, Şekil 2.2. de çok katlı konvansiyonel bir yayın resmi verilmiştir.



Şekil 2.1. Tek katlı yaprak yay



Şekil 2.2. Çok katlı yaprak yay

Yaprak yaylar tiplerine göre üç ana grup altında toplanabilirler.

- Konvansiyonel yaprak yaylar: Boyları kademeli olarak değişen sabit kalınlıklı en az üç adet katın bir araya getirilmesi ile tasarlanmış yaprak yaylardır. Bu yaylar, yaylanma katsayısının tek ya da birden çok değerlerde olması durumuna göre, kademesiz, yardımcı ve muavinli olmak üzere üç tipte üretilmektedir.
- Parabolik yaprak yaylar: Kesitleri parabolik olarak değişen ve en az bir kattan oluşan yaprak yaylardır.
- Havalı süspansiyon yayları: Havalı süspansiyonlarda, bağlantı elemanı ve kaldırma kolu olarak kullanılmakta olup, kesit dağılımları parabolik olarak değişmektedir.

Teknikte yaylar aşağıda gösterilen ana maksatlar için kullanılırlar:

- Hareket kontrolü sağlamak veya kuvvet uygulamak; örneğin kavramalar veya frenlerde kavrama ve fren kuvvetlerini meydana getirmek, kam mekanizmasında kam ile çubuk arasındaki irtibatı sağlamak; patlamalı motorlardaki supapların kapanmasını sağlamak.
- Darbe ile meydana gelen kuvvetlerin şiddetini azaltmak, yani taşıt makinelerinde olduğu gibi sönümleme görevini yapmak.
- Enerjiyi bir hareketi sağlamak için harcamak.



Şekil 2.3. Çok katlı yaprak yay montajı

Şekil 2.3. te görüldüğü gibi yaprak yaylar araçlarda aksın üzerine U-Bolt ekipmanı ile monte edilerek gelen yükleri süspanse ederler.

2.2. Yaprak Yayların Üretimi

2.2.1. Hammadde

Çelik yaprak yayların hammaddesi olarak yay çeliğinden imal edilmiş lamalar kullanılır. Yay çelikleri istenilen kesit ve ebatlara göre döküm ve haddeleme ile lama şekline getirilir. Şekil 2.4. te yaprak yay üretimi için stoklanmış farklı kesit ve ebatlarda ki hammaddeler görülmektedir.



Şekil 2.4. Yay çeliğinden üretilmiş lamalar

Yay malzemesi olarak kullanılacak çeliklerde istenilen özellikler, yeterli yük dayanımı, iyi esneklik, kırılmaya karşı sınırsız emniyet, ısıtılma şeklinde tariflenebilir. Bu özellikler ancak uygun çelik seçimi ve ısıtılma ile mümkün olabilir. Yük dayanımının artırılması ile malzemenin sünekliğini kaybetmemesi esastır [29].

Esnek parçaların üretimi hususunda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri, parçaların kaynak edilmesinin sakıncasıdır. Bunlara ek olarak; yüzey çentik etkisi, ısıtılma işleminden kaynaklanabilecek iç çatlaklar, yüzeyde oluşan ve malzemenin homojen sertliğini bozar etkideki dekarbürasyon, korozyon, aşırı yükleme gibi olaylar, kırılma etkisini artıran sebepler olarak belirtilebilir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün hassasiyeti, termokimyasal sertleştirme (nitürasyon), özellikle (stress shot peening) bilyalı dövme gibi işlemler kırılma tehlikesini azaltıcı işlemler olarak söylenebilir.

Çelik malzemeye şekil verme işlemi soğuk (oda sıcaklığında) gerçekleşirse, yüksek oranda eğilme gerilmeleri meydana gelir ki, bu durum üretilen parçanın esnekliğini düşürür. Bu sebeple şekil verilmiş parçaların düşük sıcaklıklarda tavlanması uygun olur [29].

Tablo 2.1. de yay eliklerinin DIN standartlarındaki isimleri ve bileşimlerinin yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Yay elikleri ve bileşimleri [30]

Malz. No	DIN	SAE/AISI	C	Si	Mn	P_{max}	S_{max}	Cr	Mo	N_{max}
1.0900	38Si6	-	0.35-0.42	1.40-1.60	0.50-0.80	0.050	0.050	-	-	0.007
1.0902	46Si7	-	0.42-0.50	1.50-1.80	0.50-0.80	0.050	0.050	-	-	0.007
1.0903	51Si7	-	0.47-0.55	1.50-1.80	0.50-0.80	0.045	0.045	-	-	0.007
1.0904	55Si7	9255	0.52-0.60	1.50-1.80	0.70-1.00	0.045	0.045	-	-	-
1.0906	65Si7	-	0.60-0.68	1.50-1.80	0.70-1.00	0.050	0.050	-	-	0.007
1.0908	60SiMn5	-	0.55-0.65	1.00-1.30	0.90-1.10	0.050	0.050	-	-	0.007
1.0961	60SiCr7	9266	0.55-0.65	1.50-1.80	0.70-1.00	0.045	0.045	0.20-0.40	-	0.007
1.0970	38Si7	-	0.35-0.42	0.15-0.35	0.50-0.80	0.045	0.045	-	-	0.007
1.1231	Ck67	1070	0.65-0.72	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.035	-	-	-
1.1248	Ck75	1075	0.70-0.80	0.15-0.35	0.60-0.80	0.035	0.035	-	-	-
1.1269	Ck85	1086	0.80-0.90	1.50-1.80	0.45-0.65	0.035	0.035	-	-	-
1.1274	Ck101	1095	0.95-1.05	0.15-0.35	0.40-0.60	0.035	0.035	-	-	-
1.5028	65Si7	-	0.60-0.70	1.50-1.80	0.70-1.00	0.035	0.035	-	-	-
1.5029	71Si7	-	0.68-0.75	1.50-1.80	0.60-0.80	0.035	0.035	-	-	-
1.5225	51MnV7	-	0.48-0.55	0.15-0.35	1.60-1.90	0.035	0.035	-	-	-
1.7103	67SiCr5	-	0.62-0.72	1.20-1.40	0.40-0.60	0.035	0.035	0.40-0.60	-	-
1.7138	52MnCrB3	S0B50	0.48-0.55	0.15-0.35	0.75-1.00	0.035	0.035	0.40-0.60	-	B 0.0005
1.7176	55Cr3	5155	0.52-0.59	0.15-0.40	0.70-1.00	0.035	0.035	0.60-0.90	-	-
1.7701	51CrMoV7	-	0.48-0.56	0.15-0.40	0.70-1.00	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.25	-
1.8159	50CrV4	6150	0.47-0.55	0.00-0.40	0.70-1.00	0.035	0.035	0.90-1.20	-	-
1.8161	58CrV4	-	0.55-0.62	0.15-0.40	0.70-1.00	0.035	0.035	0.90-1.20	-	-

Karbon (C)

Çelik için temel alaşım elementi karbondur. Karbon miktarının artmasıyla birlikte sertlik ve dayanım önemli ölçüde artar. Ancak %0,8 karbona kadar çekme gerilmesi ve akma sınırı değeri artar. Bu değerden sonra kırılmalık artar, ısıtım işlem sonu sertlik kalıntı östenit sebebiyle daha fazla artmaz. Çeliğin alabileceği maksimum sertlik 793 HB (67 HRC) olup bu değer 0,6 karbon miktarı ile elde edilir. Çeliklerde karbon miktarı süneklik, dövülebilirlik, derin çekilebilirlik ve kaynak kabiliyeti gibi özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek karbonlu çeliklerin ısıtım işleminde çatlama riski de fazladır.

Krom (Cr)

Çeliklere en fazla ilave edilen alaşım elementidir. Çelikte, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımı, aşınma direncini ve sertleşebilirliği artırır. Çeliğe ilave edilen krom Cr7C3 ve Cr23C6 gibi sert karbürler oluşturarak sertliği direkt olarak artırır. Dönüşüm hızlarını da yavaşlatarak sertlik derinliğini de aynı oranda artırır. Krom, %25'e varan değerlerde ilave edilmesi halinde malzeme yüzeyinde bir oksit tabakası oluşturarak paslanmaya karşı direnç sağlar ve malzemeye parlak bir görüntü kazandırır. Çekme dayanımını ve ısıya dayanımı da artırır özelliğe sahiptir. Bazı alaşımlarda meneviş kırılmalığına sebep olabilir veya sünekliği düşürebilir. Bu etkileri azaltmak amacıyla daha çok Ni ve Mo ile birlikte kullanılır.

Azot (N)

Nitrür teşekkül ettirerek sertliği artırır. Nitrürasyon ile 1100 VSD kadar sertlik elde edilebilir. Mekanik dayanım ve korozyona karşı direnci artırmasına karşın yaşlanma meydana getirir.

Mangan (Mn)

Yapıya genellikle cevher halinde iken girer. Mekanik özellikleri iyileştirmesi sebebiyle ayrıca da ilave edilir. Temel alaşım elementi olarak da kendisini gösterebilir. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte, çeliğin dayanımını artırır özelliğe sahiptir. %3 Mn miktarına kadar, her %1 Mn için çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa kadar artar, %3-8 arası artış azalır, %8'den itibaren düşüş görülür. Çeliğin

dövülebilirliği ve sertleşebilirliğini iyileştirici özelliktedir. Kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkilemez ve kaynaklanabilir malzemeler içinde %1,6 oranına kadar yükseltilebilir. Manganın iyi yöndeki etkisi karbon oranının artmasıyla birlikte artar. Ayrıca çeliğin yüzey kalitesini iyileştirir.

Silisyum (S)

Çelik üretimi esnasında oksijen giderici olarak kullanılır. Döküm çeliklerde, döküme akıcılık sağlamak için ilave edilebilir. Ferrit içerisinde çözünebilme özelliğine sahip olduğu için malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden, dayanımı ve sertliği artırır. Yüksek silis içeren çeliklerin ısı dayanımı da yüksektir. Genel olarak sertleşebilirliği, aşınma dayanımını ve elastikiyeti yükseltmesine karşın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Silisyum miktarı arttıkça çeliğin tane büyüklüğü de artar.

Molibden (Mo)

Molibden düşük nikel ve düşük krom içeren çeliklerde temper gevrekliği eğilimini gidermek için kullanılır. %0,3 civarında molibden ilavesi bunu sağlar. Molibden ilavesi yapılan nikel ve krom çeliklerinin temper sonrası darbe dayanımları da önemli ölçüde yükselir. Aynı zamanda akma ve çekme dayanımını artırır.

Fosfor (P)

Mevcudiyeti ile malzeme tokluğunu düşüren, zararlı etkiye sahip bir elementtir. Çeliğin dayanımını ve sertliği artırıcı özelliği olmasına karşın süneklik ve darbe dayanımını düşürür. Bu etki yüksek karbonlu çeliklerde daha net görülür. Çeliğin korozyon dayanımını iyileştirmesine karşın mümkün olduğunca düşük olmasına çalışılır ve kükürtle birlikte fosfor azlığı malzeme kalitesinde birinci kıstastır [30].

Tablo 2.2. Yay elikleri için mekanik zellikler [30]

Malzeme No.	DIN	SAE/AISI	AKMA	ÇEKME	KOPMA
			SINIRI	DAYANIMI	UZAMASI
			(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)
1.0900	38Si6	-	1030	1180-1370	6
1.0902	46Si7	-	1080	1275-1470	6
1.0903	51Si7	-	1130	1320-1570	6
1.0904	55Si7	9255	1080	1275-1470	6
1.0906	65Si7	-	1080	1275-1470	6
1.0908	60SiMn5	-	1030	1320-1520	6
1.0961	60SiCr7	9262	1130	1320-1570	6
1.0970	38Si7	-	1030	1180-1370	6
1.7103	67SiCr5	-	1320	1470-1670	6
1.7176	55Cr3	5155	1180	1370-1620	6
1.7701	51CrMoV7	-	1180	1370-1670	6
1.8159	50CrV4	6150	1180	1370-1620	6
1.8161	58CrV4	-	1320	1470-1670	6

Tablo 2.2. de yay çeliklerinin mekanik özellikleri verilmiştir. şekil 2.5. te ki gerilme-şekil değiştirme diyagramında ise verilen mekanik özelliklerin diyagram üzerinde gösterimi yer almaktadır.

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünsüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir, Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle $\sigma_a = F_a/A_0$ bulunur.

Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ($\epsilon_{plastik} = 0,002$) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır.

Çekme dayanımı (σ_{ϵ}): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, $\sigma_{\epsilon} = F_{maks}/A_0$ ile bulunur. Burada;

F_{maks} : malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti

A_0 : malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

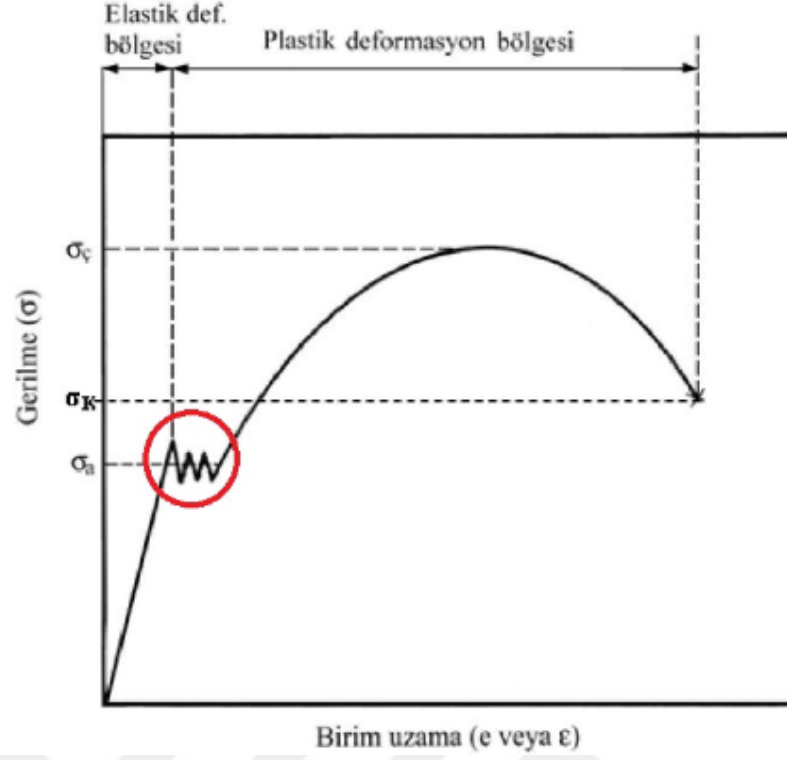
Kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama $\Delta l = l_k - l_0$ bağıntısı ile bulunur. Burada;

l_0 : numunenin ilk ölçü uzunluğu

l_k : numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir.

Kopma uzaması ise; $KU (\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$ bağıntısı ile bulunur.

Kopma uzaması malzemenin sünekliğini gösteren bir değerdir.

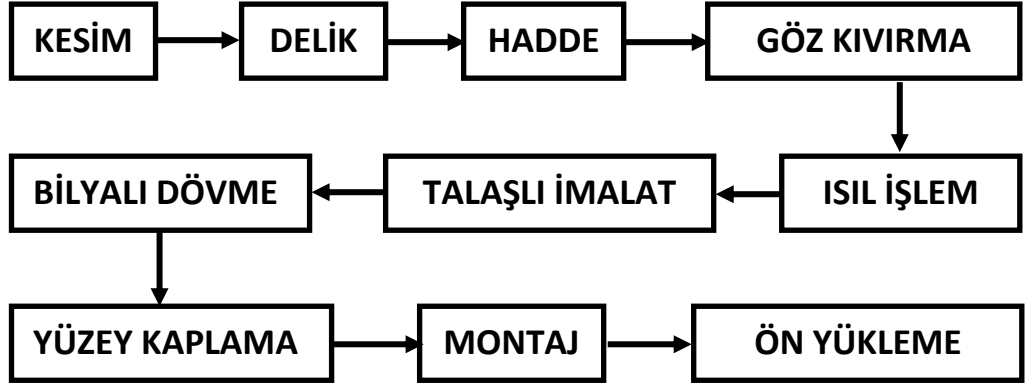


Şekil 2.5. Gerilme-Şekil değiştirme diyagramı

2.2.2. Yaprak yay üretim proses akış

Yaprak yayların üretim proses akışları genelde şu şekilde yapılmaktadır;

1. Kesim
2. Delik
3. Haddeme (Parabolik yaprak yaylar için)
4. Göz Kıvrırma
5. Uç İşlemler (Bağlantı delikleri, süzme vs.)
6. Isıl İşlem (Östenitleme-Bükme Sertleştirme-Temperleme)
7. Talaşlı İmalat
8. Bilyalı Dövme
9. Yüzey Kaplama
10. Montaj
11. Ön Yükleme

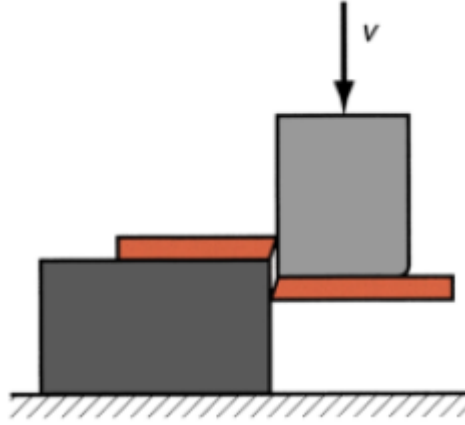


Şekil 2.6. Yaprak yay üretim akış şeması [31]

2.2.3. Kesim

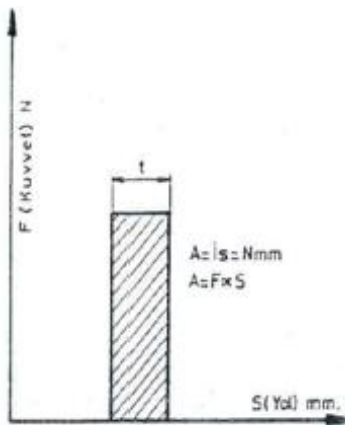
Yaprak yay katlarının kesim boylarına göre kesimden sonra minimum fire kalacak şekilde optimum uzunlukta, genellikle 3500 mm ile 6600 mm aralığında yay çeliğinden imal edilmiş lamalar kalınlıkları göz önünde bulundurularak kesim presleri ve ya testerelerde istenilen kesim boyuna göre kesilirler. Kesim presleri; rulolu yol, prese bağlanan kalıp ve bıçak, lama kesim boyunu ayarlamak için mekanik dayama ünitelerinden oluşur. Ayrıca kesim preslerine eklenecek zincirli yol, itici, orta ısıtma fırını ve delik presi ile kesim prosesinden hemen sonra taşıma işçiliği yapmadan merkez delikleri delinebilir. Kesim presleri ihtiyaca ve tercihe göre hidrolik ve pnömatik olabilirler. Hidrolik pres ile Pnömatik pres arasındaki farklar şu şekilde sıralanabilir:

- Hidrolik sistemler yağ akışkanıyla çalışır ve yağ kaçaklarının olma durumundan dolayı pistir. Pnömatik sistemler hava ile çalışır kuru ve temizdir.
- Hidrolik sistemlerde ses kirliliği pnömatik sistemlere göre daha azdır.
- Hidrolik sistemler pnömatik sistemlerden daha kuvvetlidir.
- Pnömatik sistemler hava ile çalıştığından maliyeti daha düşüktür.

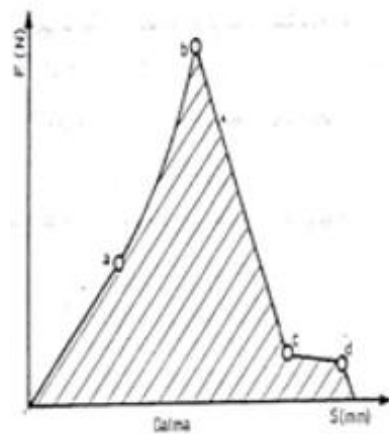


Şekil 2.7. Kesim

Şekil 2.7. de resmedilen kesme prosesinde, ideal bir kesme için; Şekil 2.8. te ki grafikte görüldüğü gibi iş diyagramını bir dikdörtgen oluşturur. Bu dikdörtgenin dar kenarı saç kalınlığına, uzun kenarı (yüksekliği) ise kesme kuvvetine karşılık gelirdi. Alanı ise yapılan işi verirdi. Bütün saç kalınlığında kuvvet düzgün olsaydı, böyle bir diyagram mümkün olabilirdi. Ancak gerçek kesme diyagramında Şekil 2.9. da görüldüğü gibi durum çok farklıdır.



Şekil 2.8. İdeal kesme diyagramı [32]



Şekil 2.9. Gerçek kesme diyagramı [32]

1. Safha

Başlangıçta kesme kuvveti (makaslama) a noktası gibi bir noktaya kadar nispeten yavaş ve lineer (doğrusal) artarak gider. Bu metalin esnek bölgesi'dir.(elastikiyet sınırı içinde) Malzeme gerilmeleri elastik noktanın altındadır. Bıçak metali ayırmaksızın malzemeye batar.

2. Safha

“a” noktasından sonra bıçak kuvveti hızla ve düzensiz olarak artar ve metale batmadan önce en büyük dayanım sınırına karşılık gelen değere ulaşır. Esas kesme kuvveti bu değerdir. Metal kırılmaya, ayrılmaya başlar ve bu işlem hızlanır.

3. Safha

Malzemenin kesilmeye karşı direnci aşıldığı için kuvvet hızla “c” gibi bir değere düşer. Ancak ayrılan parçalar arasındaki sürtünmeyi yenmek ve kesilen parçayı kalıp boşluğuna itmek için hala bir iş yapılması gerekir. Ancak bunun için gerekli kuvvet daha azdır (c-d arası). Bu da tamamlanınca kuvvet tekrar sıfıra düşer. Zımba yukarı alınır ve yeni bir kesme işi için hazır hale gelir [32].

2.2.4. Delme

Delme prosesi kesimde olduğu gibi hidrolik ve ya pnömatik preslere zımba-mühre kalıbı bağlanarak sıcak malzemelerde uygulanabileceği gibi CNC tezgâhlarında soğuk olarak talaş kaldırma metodu ile de uygulanabilir. Yaprak yayların merkez delikleri (saplamanın takılarak çok yapraklı yayların montajının yapılması için ve tek katlı makaslarda çökertme yapılarak dingile montajının sağlanması için), bağlantı deliklerini (U kelepçelerin yada susturucu olarak adlandırılan iki yayın birbirine temasında sesi önleyen plastik komponentin montajı için) delmek için bu proses uygulanır.

Seri üretim için yaprak yayların sıcak delinmesi önemli ölçüde avantajlıdır. Malzemeyi ısıtarak delme için uygulanacak kuvvetten de tasarruf edilmiş olunur.

Sıcak şekil vermenin avantajları;

- Parça şekli önemli oranda değiştirilebilir.
- Daha düşük kuvvet ve güçler gerekir.
- Soğuk işlemede genellikle kırılan metaller, sıcak işlenebilir.
- Parçanın dayanım özellikleri genellikle izotropiktir.
- Parçada soğuk sertleşme (pekleşme) nedeniyle dayanım artışı meydana gelmez.

Sıcak şekil vermenin dezavantajları;

- Daha düşük hassasiyet
- Daha yüksek toplam enerji gerekir (parçayı ısıtmak için kullanılan)
- Parça yüzeyinde oksitlenme, daha kötü yüzey kalitesi
- Daha kısa takım ömrü

2.2.5. Haddeleme

Parabolik yay üretim makinelerinde “Hidrolik Oransal / Servo Valflar” kullanılarak tek bir yayın et kalınlığı uçlara doğru inceltilerek istenilen hassas toleranslı kesitlere getirilerek, malzemeye uygun elastikiyet ve şok alma özellikleri kazandırılır. Bu şekilde yaprak yayların kullanılması, aracın ağırlık merkezini yere yaklaştırmakta ve araç dinamiğini olumlu şekilde etkilemektedir. Hafifleyen yay yapısı yürüyen aksamın ömrünü uzatmakta ve hafifleyen araç dengesini ağırlık değeri taşıma kapasitesine ilave edilmektedir.

Parabolik yaprak yaylar, kesitleri parabolik olarak değişen yaylardır. Parabolik haddeleme işlemine tabii tutulmuş yay katlarının bağlantı elemanları ile bir araya getirilmesiyle oluşur. Esnek yük şartlarında konfor sağlarlar. Konvansiyonel yaylara göre daha düşük ağırlığa sahip olma avantajları vardır, çünkü daha az katla çalışma kapasitesine sahiptirler.

Parabolik yayların avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Parabolik yaprak yaylar araçlarda klasik yayların yerini almaktadır. Yeni tasarım ağırlığı ciddi bir miktarda azaltmakla birlikte üretim maliyetlerinde de büyük düşüşler göstermektedir. Bütün bu avantajların yanı sıra, nihai ürün de oluşan daha iyi yay karakteristiği, parabolik yaprak yayları konvansiyonel yaylara göre çok daha avantajlı kılmaktadır.

- Yüzde 30'lara varan ağırlık düşüşü, toplam yük taşıma kapasitesine çok ciddi faydalar sağlayacaktır.

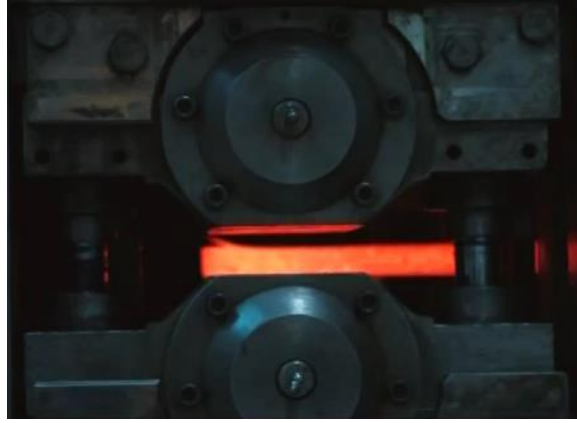
- 2 ile 5 kata kadar parça ömür artışı.

- Titreşim emme özellikleri iyileştirilmesi ile birlikte şanzıman, süspansiyon ve eklem parçalarının ömrünü artırmak ve sürücü konforunu iyileştirmek mümkündür.

- Yakıt sarfiyatında düşüş ve lastik ömürlerinde uzama sağlamaktadır [33,34].

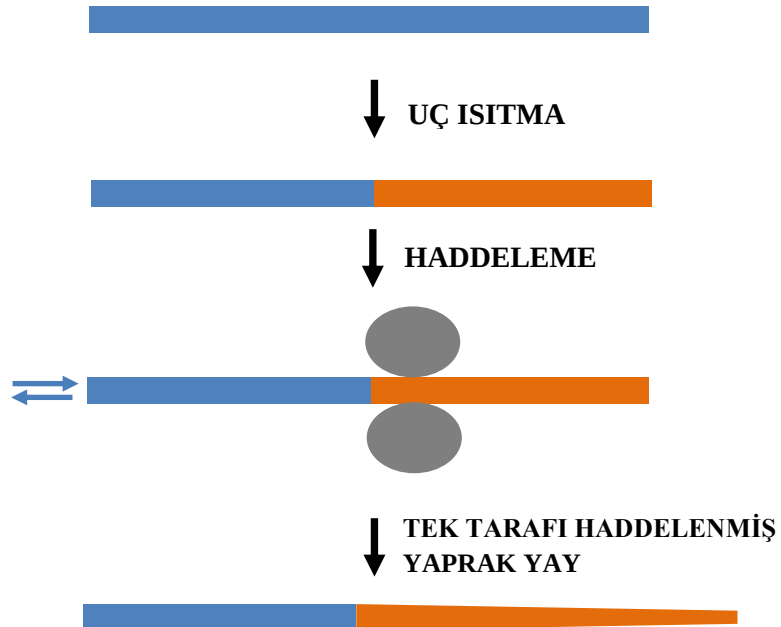
Yürüyen tabanlı ısıtma fırınından gelen yaprak yaylar, parabolik haddelene makinesinin hidrolik silindirleri ile yüksek baskı kuvvetlerinde sıkıştırarak parabolik kesitli haline getirir. Bu haddelene işlemi üst baskı (hadde konumlama) silindiri ile sıcak malzemeye 20-100 ton-f kuvvet ile baskı oluştururken es zamanlı olarak yatay silindir (manipülatör) ile malzemenin yatay ekseninde çekme hareketi sağlanır. Üst baskı presinin altında bulunan hadde merdanelerini tahrik eden hidromotor ile haddelene ve yüksek torkda dengelenmesi gerçekleştirilir. İki eksenindeki hareketin kontrolü, oransal servo valf ile hidromotorun frenleme hareketi ise oransal basınç ayar valfi ile sağlanmaktadır. Hidrolik sistemin basınçları 120-265 bar civarında olup güç regülasyonlu pistonlu pompalar ile sağlanmaktadır [35].

Parabolik haddelene prosesinde istenilen kesim boyuna göre kesilen lamalar uç ısıtma fırınında etkin ısıtma boyuna göre (etkin ısıtma boyu = haddelenecek boy +20 mm) yaklaşık 850°C ye ısıtılarak servo valf ile kontrol edilen hadde merdaneleri arasında istenilen kalınlıklara haddelenir. Uç ısıtma prosesi doğalgaz fırınları ve ya indüksiyon fırınları ile yapılabilir. Kullanılan makinenin özelliklerine göre lamanın bütünü ısıtılarak aynı anda iki tarafın haddelenmesi yapılabilir.



Şekil 2.10. İkili merdane sistemi ile haddeleme

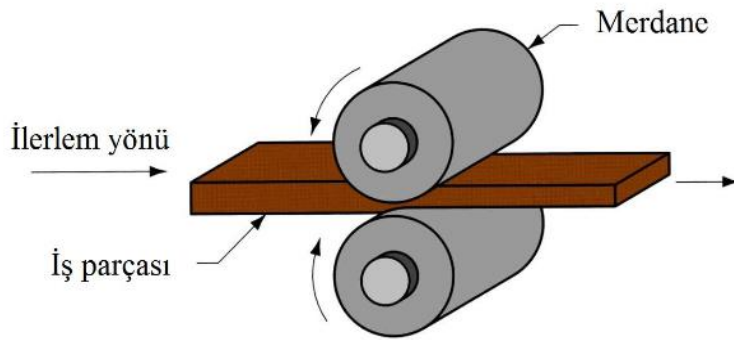
Şekil 2.10. da görülen parabolik haddelemeden sonra malzeme sıcak iken uç kesim, yan kesim, radius form verme, bağlantı deliği gibi uç işlemler preslerde yapılabilir. Sıcak uç işlemlerin parabolik haddelemeden sonra yapılması hem işçiliklerden hem de enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.11. de yaprak yayların haddelenme diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Haddeleme prosesi akış diyagramı

Malzemenin merdaneler arasından her geçişine “paso” adı verilir. Haddeleme, mekanik anlamda bir basma işlemi olup, uygulanan tek kuvvet merdanelerin sağladığı radyal basınçtır. Haddeleme işleminde çelik kütüğün deformasyonu merdanelerin uyguladığı radyal basma gerilmeleri ve haddelenen malzeme ile merdaneler arasında sürtünmeyle oluşan yüzey kayma gerilmeleri ile sağlanır. Sürtünme kuvvetlerinin bir diğer etkisi, malzemenin merdaneler arasında ilerlemesini sağlamasıdır. Haddelenen malzemenin kesit kalınlığı azalırken, boyunda uzama ve genişliğinde de “yayılma” adı verilen az miktarda artma olur. Yayılmanın miktarı haddelenen malzemenin boyutlarına, uygulanan deformasyon oranına ve merdanelerin çapına bağlıdır. Genellikle sıcak haddelenmiş metalin ince sac haline getirilmesi soğuk haddeleme ile gerçekleştirilir. Bu işlemde malzemede mikroskobik yapısal kusurlar meydana gelmesiyle metalin akma mukavemeti ve sertliği artmakta ve küçük taneli bir yapı oluşmaktadır. Buna karşın metalin sünekliği azalmaktadır. Bu durum “tavlama” ile giderilebilmektedir.

Haddeleme prosesi Şekil 2.12. de ki gibi ikili merdane sistemi ile yapılabileceği gibi dörtlü ve ya daha fazla merdane sistemleri ile de yapılabilir. Merdane sayılarının artması paso sayılarının azalması ve işlem süresinden tasarruf demektir. Ancak yaprak yay ebatları göz önünde bulundurulduğunda ve parabolik hadde özel bir proses olduğu için ikili merdane sistemi ya da en fazla dörtlü merdane sistemleri tercih edilmektedir. Encoder kontrollü olan bu merdaneler ayarlanan koordinatlarda ayarlanan kalınlıkları görmek için aşağı-yukarı ve ya yanıl hareketler yaparlar.

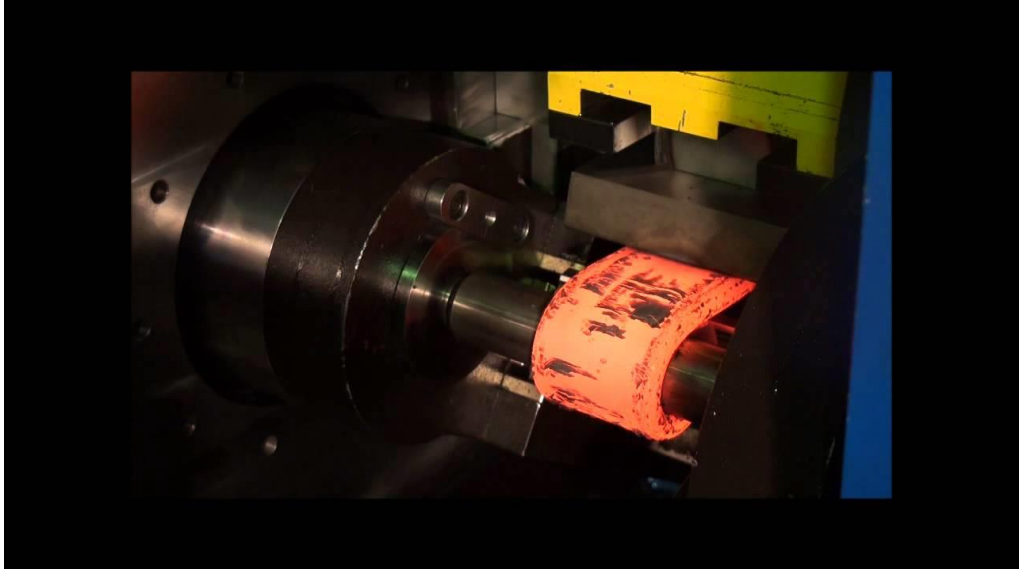


Şekil 2.12. İkili merdane sistemi

2.2.6. Göz Kıvrırma

Yaprak yayların araç dingiline bağlantı katı olan ana katlar yapı itibari ile iki gözlü, tek gözlü veya gözsüz olarak tasarlanmıştır. Bu tiplerden en çok kullanılanı iki gözlü olanlarıdır. Yaprak yaylar araç dingiline bu gözler içine yerleştirilmiş burçlar ve bu burçların içinden geçirilerek bağlantıyı gerçekleştiren göz saplaması sayesinde yapılır.

Yaprak yay üzerinde bulunan bu gözlerin kıvrılma işlemi öncesi, uç kısımlar tavllanır. Göz Kıvrırma prosesinde de aynı haddeleme prosesinde olduğu gibi uç ısıtma işlemi uygulanması gerekmektedir. Göz kıvrırma prosesinde yaprak yayların ısıtılan boyları parabolik haddedekinden daha azdır. Uç ısıtma fırınlarında etkin ısıtma boyuna göre göz kıvrılacak kısmı yaklaşık 850 °C ye ısıtılan yapraklar istenilen çaplara Şekil 2.13. te görüldüğü gibi malafa ve griper yardımı ile kıvrılır. Malafanın üzerine itilen yaprağın uç kısmını griper taraklar ile kavrayarak malafa çevresinde döndürür. Uç kısım döndürüldükten sonra malafa yuvasına çekilir ve gözü kıvrılan yaprak bir sonraki proses için alınarak soğumaya bırakılır.



Şekil 2.13. Göz kıvrırma

2.2.7. Isıl İşlem

Metal ve alaşımlarının, faz diyagramlarına bağlı olarak ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda uygulanan farklı işlemlerle istenilen mekanik özellik ve içyapıların elde edilmesine ısıtma işlemi denir. Isıtma işlemi, üç ana safhadan oluşur. Bunlar ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta bekletme ve soğutma safhalarıdır. Bütün ısıtma işlem yöntemlerinde bu üç ana safha geçerlidir. Fakat uygulanan ısıtma işlem türüne göre, ısıtma sıcaklığı, bekletme süresi, ısıtma ve tutma hızı gibi parametreler değiştirilir. Isıtma, bekletme ve soğutma safhalarına ısıtma çevrimi denir. Uygulanan ısıtma işlem türüne göre işlem ya bir çevrim yapılarak bitirilir ya da birbirini izleyen birkaç ısıtma çevrimi yapılarak ısıtma işlemi tamamlanır.

Yaprak yayların ısıtma işlem hatlarında 3 temel proses vardır;

1- Östenitleme

2- Bükme-Sertleştirme

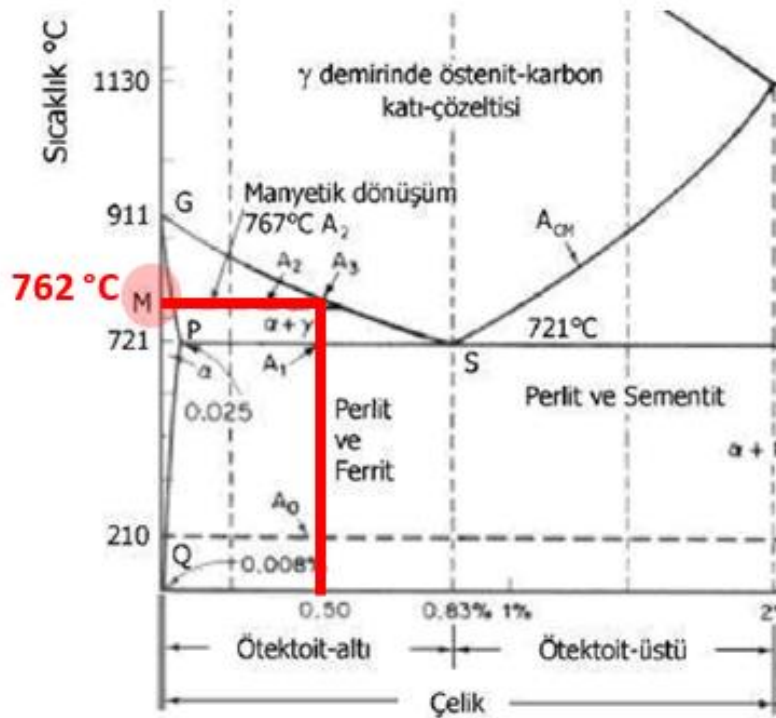
3- Menevişleme (Temperleme)

Çelikler, diğer metal ve alaşımlarına nazaran sanayide daha çok kullanıldıkları için çeliklerin ısıtma işlemi ayrı bir öneme sahiptir. Çeliklerin ısıtma işlemlerini anlayabilmek için Şekil 2.14. te verilen Demir-Karbon denge diyagramının bilinmesi gerekir.

- Östenitleme:

Östenitleme, metali yumuşatma amaçlı uygulanan ısıtma işlemlerinin geneline verilen isimdir. Östenitleme yapılarak malzemenin işlenebilirliği, sıcak ve soğuk şekillendirme kabiliyeti artırılır ve işleme, dövme veya kaynak sonrası oluşan iç gerilimler alınır. Östenitleme ile mekanik özellikler iyileştirilir, süneklik artırılır, kimyasal homojensizlik kaldırılır. Bunun yanında sertleştirme öncesi yapılan östenitleme malzemenin içyapısını sertleştirmeye uygun hale getirir.

Yaprak yaylara tavlama işlemi Şekil 2.15. te gösterilen karbon oranına göre belirlenen östenit faz sıcaklığı içerisinde homojen ısıtılarak uygulanır. Östenitlemenin amacı malzemeyi hem sıcak şekillendirmeye (Bükme-Kavis verme) uygun hale getirmek hem de içyapısını sertleştirmeye uygun hale getirmektir.



Şekil 2.15. Yay çeliği için östenitleme sıcaklığı

Östenitleme prosesinde yaprak yaylar içerisindeki yüzde karbon oranına göre demir-karbon denge diyagramı yardımı ile belirlenen östenit faz sıcaklığının 50-60 °C üzerine (yaklaşık 850 °C) ısıtılır. Bunun amacı östenitlemeden sonraki bükme ve kavis verme prosesinde malzemenin belli bir sıcaklık kaybına uğrayacağı göz önüne alınarak sulama yağına daldırma ve soğutma prosesinde malzemenin östenit faz sıcaklığında yağda belirli soğutma oranında hızlı soğutularak içerisinde homojen martenzit yapı elde etmektir.

Östenitleme, çeliğin γ -Fe (östenit) faz bölgesine ısıtılması işlemidir. Bu işlemle çeliğin bünyesindeki sementitin parçalanarak, karbonun YMK östenit yapı içerisinde tamamen çözülmesi işlemidir. Çeliklerde östenitleme sıcaklığı çeliğin ötektoit altı, ötektoit veya ötektoit üstü olmasına göre değişmektedir.

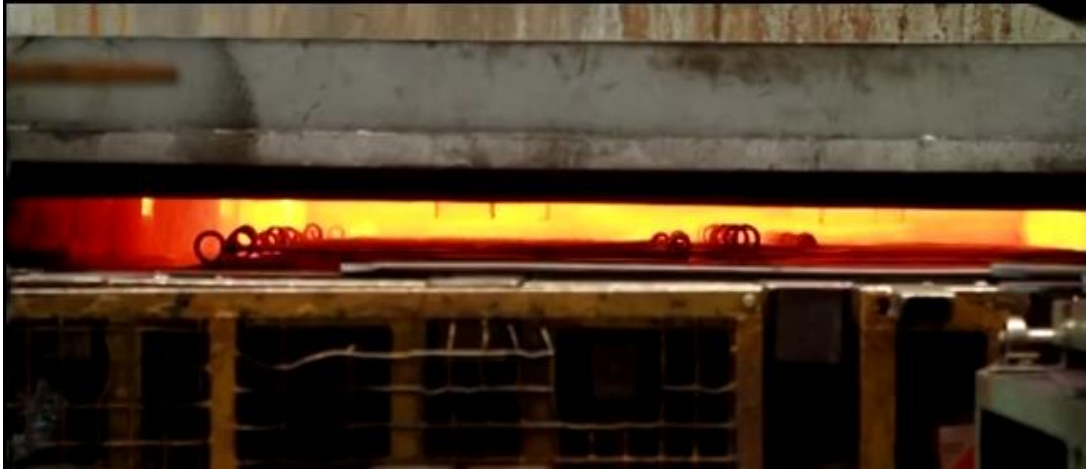
Östenitleme sıcaklığında bekletme, çelik yapısının tamamen östenit olması yani sementitin parçalanarak karbonun yapı içerisinde tamamen çözünmesi için gereken süredir. Bu süre genel olarak 25,4 mm kalınlık için 1 saat olarak kabul edilir.

Tav süresinin kısa olması, yani hızlı tavlama işlemi, yüksek gerilimler meydana getirdiğinden, çarpılmalara ve çatlamalara neden olur. Östenitleme hızı, östenitlenecek parçanın büyüklüğüne, tavlanaacağı ocağı ısı iletme karakteristiğine, tav ortamıyla tavlanan parça arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Genellikle bu fark, büyüdükçe ısınma hızı artarak, ısıtma süresi ve tavlanan parça çapının karesiyle orantılı olarak değişir. Bazı kontini fırınlar, tuz banyoları ve radyasyonlu tav fırınları, çok yüksek bir östenitleme hızına sahip olduklarından, yüksek üretim gücü nedeniyle bahse değer bir ekonomi sağlamaktadır. Bu tip tav ocakları kullanılıyorsa, parçanın çarpılma veya çatlama meydana vermemek için, bir ön ısıtma gerekebilir.

Özel önlemler alınmadıkça, tavlama işlemleri oksidasyon veya tufal hatta karbon azalmasıyla sonuçlanabilir. Gerek kabuklaşma gerekse dekarbürize, istenmeyen durumlardır. Kabuklaşma, gereç eksilmesini, parça yüzünün bozulmasını ve su verme anında ısı iletimini eksi yönde etkiler. Dekarbürize olma; yumuşak yüz meydana gelmesine ve gereç olarak çeliğin kullanma ömrünün kısılmasına neden olur. Kabuklaşma ve karbonsuzlaşma olaylarının istenmediği durumlarda tavlama işlemi, kontrollü atmosfere sahip ocaklarda yapılmalıdır. Bu tip ocaklarda – paslanmaya oksidasyona – mani olma ve karbon verici özelliği olan gaz veya gaz

karişımları kullanılır. Uygun bir sıvı tav banyosu, kabuklaşmayı ve karbonsuzlaşmayı en aza indirir.

Yaprak yay üretiminde tavlama ve temperleme işlemi atmosfer kontrollü özel kapalı fırınlarda yapılır. Bu sayede oksijen seviyesinin kontrolü yapılarak; fırın sıcaklığı, yakıt ve hava karişım oranları sürekli kontrol edilip, optimum yanma sağlanarak verimlilik arttırılırken, malzemenin tavlandığı ortamda oksijen seviyesi kontrol altında tutulmasıyla yüzeydeki oksitlenme ve tufal oluşumu da optimum seviyede tutulur. Malzemeler östenitleme fırınına şekil 2.16. da ki gibi yüklenerek fırın ayakları malzemelerin ilerlemesini sağlar.



şekil 2.16. Östenitleme fırını giriş (yükleme) bölgesi

- Bükme ve Sertleştirme:

Tavlama fırınında belirlenen sıcaklıkta ve sürede tavlanan malzeme, sıcak plastik şekil verme metoduyla istenilen kavis ve form parametrelerine göre ayarlanmış hidrolik pistonlar ve ya servo motorlar ile kapanarak basınç uygulayan tarak mekanizması yardımıyla bükülerek kavisleri verilir.



Şekil 2.17. Bükme-Sertleştirme hattı

Kavis verme prosesinin hemen ardından östenit faz sıcaklığındaki malzeme, Şekil 2.17. de ki gibi hava ile teması minimum zamanda olacak şekilde sulama yağına daldırılır. Çeliğe su vermekte amaç, belli sıcaklığa kadar tavlanmış bir parçanın soğutulularak martenzitik bir yapı sağlanmasıdır. Bu amaç için gerekli soğutma hızı, su verilecek parçanın büyüklüğüne, çeliğin sertleşebilme eğilimine ve su verme ortamına bağlı olarak değişir.

Su verilmekte olan parçanın bünyesinde çatlamalara veya çarpılmalara neden olacak, anormal dönüşüm gerilmelerine meydan vermemek için soğutma hızı, gereğinden daha yüksek olmamalıdır. Eğer soğutma hızı çok düşükse, uygun sertlik elde edilemez, soğutma hızı çok yüksek ise: genellikle çarpılmalar ve çatlamalar meydana gelir. En fazla arzu edilen su verme hızı, en uygun sertliği sağlamaya yarayan, en ağır soğutma hızıdır.

En uygun su verme ortamı; yüksek sıcaklık aralıklarında, iyi soğutma özelliği olan ve çelikte istenen sertleşmenin olduğu dönüşüm sıcaklıkları aralıklarında, çatlamalara meydan vermeyecek kadar ağır bir soğutma hızı sağlanmış olanıdır.

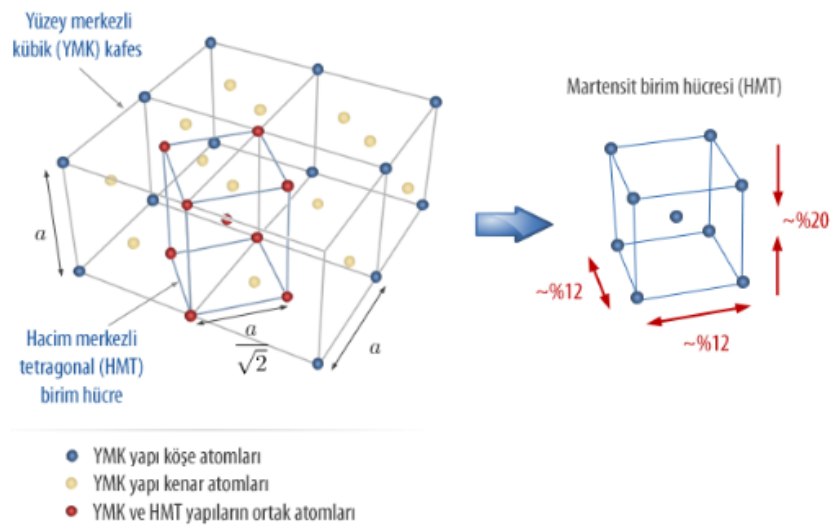
Uygulanan soğutma ortamı: genellikle su, yağ veya tuz banyolarıdır. Çelik türleri için bu ortamların her birinin, kendine has soğutma hızları ve çeşitli değişik yararları varsa da, bir soğutma ortamının pompa, pervane veya püskürtücü gibi yardımcı donatımlarla hareketlendirilmesi, çeliğe olumlu özellikler sağlar.

Örneğin; uygun şekilde hareketlendirilmiş bir yağ banyosunda su verme işlemi, hareketsiz bir sudaki su vermeden daha yararlıdır. Aynı şekilde suyun yüksek soğutma hızı özelliğinden tam anlamıyla yararlanabilmek için, suyu uygun bir şekilde hareketli hale getirmek gereklidir.

Soğutma ortamının istenen bir şekilde hareketli hale getirilmesi, sadece soğutma hızının yükseltilmesi yönünden değil, aynı zamanda homojen bir soğutma sonucu, parçada eşit bir sertlik elde edilmesini sağlar.

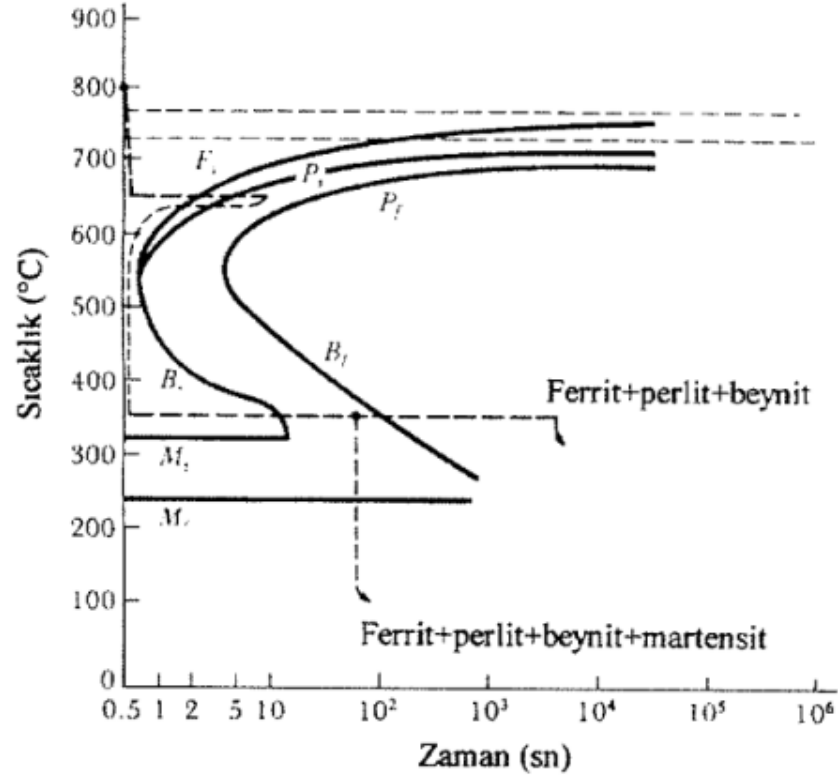
Su verme koşullarının devamlılığını sağlamak için, soğutma ortamı sıcaklığının sabit tutulması gereklidir. Bu da soğutma ortamı içine uygun soğutucular konmasıyla sağlanabilir. Su verme işlemine tabi tutulmakta olan parça yapısının tamamen martenzitik dönüşümünü sağlamak amacıyla, soğutma ortamının içinde kalacağı süre, kesin olarak tayin edilmelidir. Çatlamalara meydan vermemek için, su verilmiş parçanın derhal meneviş ocağına alınması kesinlikle gereklidir [36].

Çelikler ister suda, ister yağda veya havada sertleştirilsin, sertleşmeyi sağlayan mekanizma, östenitleme sıcaklığında beklemeyle oluşan östenitin soğuma sonrası Şekil 2.18. te birim hücre şematik gösterimleri verilen hacim merkezli tetragonal (HMT) kristal kafes yapısına sahip martenzite dönüşmesidir.



Şekil 2.18. Martenzit birim hücresi (HMT) [36]

Martenzit Fe-C denge diyagramında olmayan bir fazdır. Çeliğin hızlı soğuması sonucunda oluşan martenzitik dönüşüm Şekil 2.19. da ki TTT (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı ile gösterilebilir.



Şekil 2.19. TTT diyagramı (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm)

Bu diyagramda burun noktası denilen bir nokta vardır. Herhangi bir çeliğin su verilerek sertleştirilmesi için gerekli soğuma hızı, o çeliğe ait TTT diyagramında burun noktasını kesmeyecek şekilde seçilecek bir soğuma hızıdır. Bu soğuma hızı o çeliğin sertleştirilebilmesi için gerekli minimum soğuma hızıdır ve kritik soğuma hızı olarak bilinir [37].

Yaprak yayların su verme-sertleştirme işleminden sonra oluşan içyapıları Şekil 2.20. de görüldüğü gibi iğnesel martenzit mikro yapılarıdır. Parça çok sert ve

kırılgandır. Isıl işlem öncesinde yaklaşık 300 HB olan ham malzeme yüzey sertliği su verme-sertleştirme den sonra yaklaşık 600 HB değerlerine yükselir.



Şekil 2.20. İğnesel martenzit içyapı mikro görüntüsü

Sertleştirmede önemli noktalar;

Martenzitik dönüşüm hızlı gerçekleştiği için difüzyona zaman yoktur. Östenit fazı kayma mekanizmasıyla aniden kafes yapısını değiştirir.

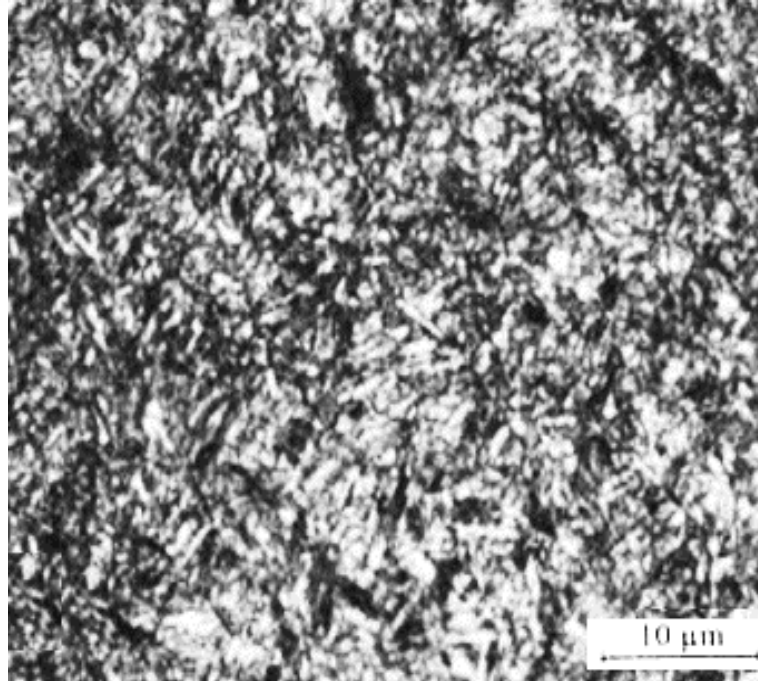
Martenzitik dönüşüm soğuma hızına bağlıdır. Hızlı soğuma engellenirse dönüşüm gerçekleşmez.

Martenzitin sertlik değeri içerisinde bulunan karbon miktarına bağlıdır.

- Temperleme (Menevişleme):

Çeliklerde su verme sonrası oluşan martenzit yapısı oldukça sert ve gevrektrir. Dolayısıyla dinamik yükler altında çalışan yaprak yayların çalışma koşullarında gevrek yapı kolayca çatlayabilir ve hasara yol açar. Bu yüzden yaprak yaylara su verme sonrası temperleme adı verilen bir ısıl işlemle malzemenin tokluğu ve sünekliği artırılır. Bu sırada sertlikte de bir miktar düşme meydana gelir ve içyapı kararlı hale getirilir. Su verilerek sertleştirilen yaprak yayın yaklaşık yüzey sertliği 600 HB iken temperleme sonrası sertlik, tasarıma ve müşteri isteklerine göre değişen ancak genellikle 450 HB değerlerine düşer [38].

İğnesel martenzitik içyapıda kırılğan olan yaprak yay temperleme sonrası temperlenmiş martenzit yapıya sahip olur. Bu yapı Şekil 2.21. de görüldüğü gibi iğnesel martenzit yapıya göre daha yumuşak ve toktur.



Şekil 2.21. Temperlenmiş martenzit içyapı mikro görüntüsü

2.2.8. Bilyalı Dövme (Shot Peening)

Bilyalı dövme prosesinde malzeme yüzeyine püskürtülen 1 mm çapında 54 HRC (534 HB) sertliğinde çelik bilyalar ile yüzey temizliği yapılarak yaprak yaylar boyaya hazır hale getirilirken iç yüzeydeki kalıntı çeki gerilimlerini bası gerilimlerine dönüştürerek yaprak yayların ömürlerinde ciddi oranda artış sağlanır.

Yaprak yay üretiminde kullanılan stresli kumlama denilen malzemeye gerilim altında bilyalı dövme uygulanması malzemeyi gererek daha derindeki kalıntı gerilimleri de bası gerilimine dönüştürmeye olanak sağlar.

Yaprak yaylarda ısı işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısısal değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir.

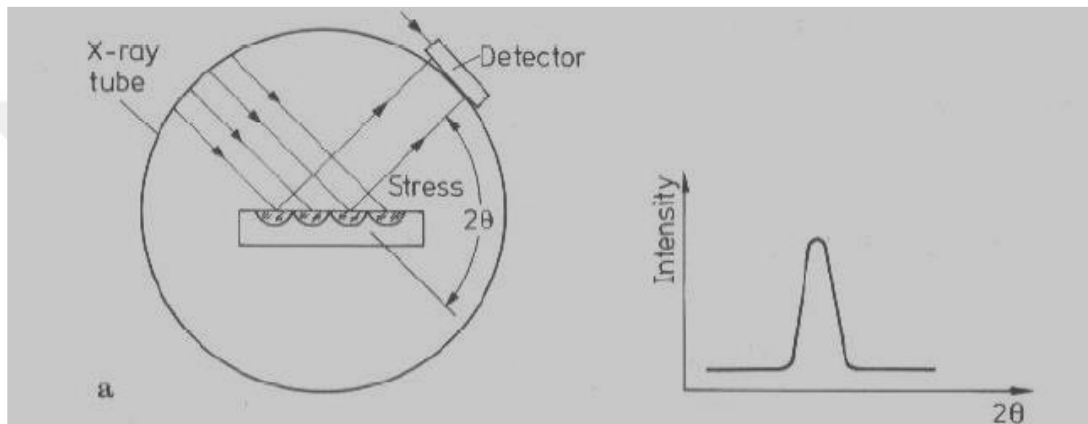
Kalıntı gerilimler üretimden sonra parçanın içerisinde kaldığından kullanım sırasında dışarıdan uygulanacak olan gerilimler kalıntı gerilimlerle birlikte parçaya etki eder. Yaprak yaylarda ticari ve ağır yük taşıyan kamyon tipi araçların süspansiyon ekipmanı olduğundan çalışma esnasında çok yüksek ve değişken frekanslarda gerilimlere maruz kalırlar.

Kalıntı gerilimler üretilen malzemenin servis ömrünü doğrudan etkilerler. Çekme kalıntı gerilimler malzemenin yorulma ömrünü azaltıp erken bir hasara neden olabilirken basma kalıntı gerilimlerin malzemenin yorulma ömrünü arttırıcı etkisi vardır. Bu nedenle diyebiliriz ki parça ömrü ile doğrudan ilişkili en önemli proseslerden bir tanesi de bilyalı dövmedir [39].

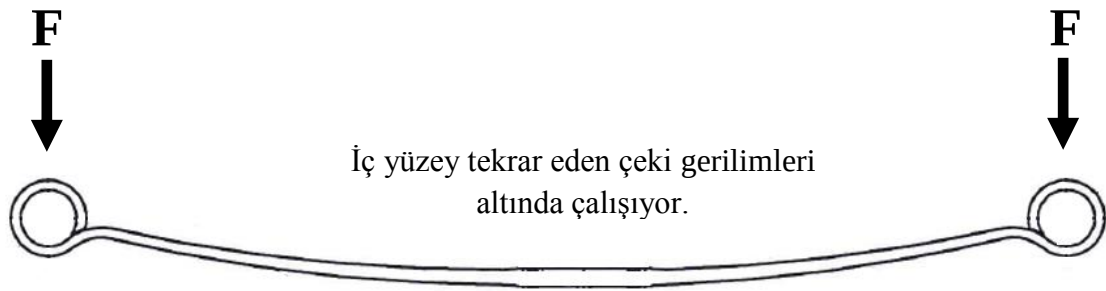
Bilyalı dövme prosesinden sonra iç yüzeyde oluşturulan bası gerilimlerinin ölçümü ise tahribatsız muayene metotlarından olan X-ışını kırınımı yöntemi ile yapılmaktadır.

X-ışını kırınımı metodu kalıntı gerilimlerin bulunmasında oldukça doğru sonuçlar veren bir yöntemdir. Kristal yapı içerisinde bulunan atomik düzlemler arasındaki mesafe, uygulanan gerilimler veya malzeme içerisinde kalan kalıntı gerilimler sayesinde uzayıp kısalır. Bu mesafenin artması o bölgede oluşan bir çekme gerilimi ifade ederken mesafenin azalması ise basma gerilimlerin varlığını gösterir.

Şekil 2.22. de ki şematik gösterimde olduğu gibi X-ışını kırınımı yönteminde malzemeye gönderilen X-ışınları malzeme içerisindeki kristal düzlemlerden yansır. Bu sırada malzemeye gelen ışınların yönü değiştirilerek en çok yansımanın olduğu açı bulunur. Bulunan açı ve Bragg yasası kullanılarak iki atomik düzlem arasındaki mesafe hesaplanır. Malzeme içerisinde kalıntı gerilimler mevcutsa bu mesafe parçanın gerilim olmayan haline göre farklılık gösterir. Bu farklılık kullanılarak parçanın içerisinde kalan kalıntı gerilimler hesaplanabilir [40-42].



Şekil 2.22. X-ışını kırınım yöntemi şematik gösterimi [40]



Şekil 2.23. Yaprak yayın çalışma prensibi

Yaprak yayların çalışma prensibi olarak iç yüzeylerinin tekrar eden ve değişken frekanslardaki çeki gerilimleri altında çalışması, bilyalı dövme ile iç yüzeyde oluşturulan bası gerilimlerinin avantajını ortaya çıkarıyor. Yaprak yayların çalışma prensibi Şekil 2.23. te gösterilmiştir. Örneğin; parçaya 50 MPa çeki gerilimi uygulandığında zaten iç yüzeyde 30 MPa 'lık bir kalıntı çeki gerilimi var ise parça 80 MPa yük altında çalışır. Ancak iç yüzeyde -30 MPa 'lık bası gerilimi oluşturulduğunda uygulanan 50 MPa önce bası gerilimini yenerek çalışma aralığına girer ve yükün etkisi 20 MPa olarak görülür. Yani bu da yaprak yayın ömrünü direkt olarak etkiler.

Yaprak yaylar dinamik yükler altında çalışan süspansiyon ve güvenlik ekipmanları oldukları için, doğru ve kaliteli bir şekilde üretilen yaprak yaylarda hasara uğrama tipik yorulma kırılması olarak meydana gelmektedir.

2.3. Yorulma

Yaprak yay dinamik yükler altında çalışan ve değişken yükleri sönmölemekte kullanılan süspansiyon ve emniyet elemanlardır. Malzeme yavaşça artan yükler altında denendiği zaman, belirli bir sınır gerilmede dayanımı sona erip kopmaktadır. Bulunan bu gerilme değerine malzemenin statik dayanımı adı verilir. Ancak aynı malzemeyi, zorlayan gerilmeler zaman ile değişecek olursa, malzeme çekme deneyindeki kopma değerinin altındaki bir gerilmede, sünekte olsa plastik şekil değiştirmeden kırılır. Bu olaya yorulma denir. Bu tip tesirler altında kırılmanın meydana geleceğine dair önceden elemanın yüzeyinde hiçbir belirtiye rastlanmadığından, elemanın nasıl ve ne zaman kırılacağını önceden tahmin etmek mümkün değildir ve neticede feci kazalar da olabilir.

Yükleme ve boşaltmanın periyodik olarak çok sayıda tekrarı sonucunda cisim içinde oluşan karmaşık termik ve mekanik olaylar nedeniyle, cisimde çözölme, yıpranma ve ayrışmalar meydana gelir. Bu olayın nedeni yükün şiddetinden çok onun, periyodik olarak uzun bir süre değişmesidir. İç mekanizması oldukça karışık olan bu olaya kısaca malzemenin yorulması denmektedir.

Makinelerdeki hasarların yaklaşık 80'inin yorulma kopmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yorulma olayı üç aşamada değerlendirilebilir:

- 1- Çatlak Başlangıcı: Genellikle yüksek gerilme yığılmalarının olduğu bu bölgelerde veya kristal yapıdaki hatalı noktalardan çatlak başlar.
- 2- Çatlak ilerlemesi: Çatlak genellikle yüzeyden başlayıp, kayma hatları ile orta kısımlara iletilir.

Ayrıca, malzeme içinde mikro çatlaklar var ise ve çatlak ucunda oluşan gerilme yığılması çatlağı ilerletebilecek seviyede ise çatlak ilerler. Uygulanan gerilme çatlağın ilerlemesi için yeterli değilse malzeme yorulmaz. Gerilme çatlağının ilerlemesini sağlayacak kadar büyük ise çatlak gevşek yerlerden ilerler. Böylece yıpranma yavaş yavaş tüm kesite yayılır. Ayrıca büyük ve haber verici bir uzama veya büzülme görülmez.

- 3- Kırılma: Yıpranma nedeniyle ayrışma yeter derecede ilerledikten sonra kesitin geri kalan kısmı yükü taşıyamaz hale gelir ve malzeme aniden kopar.

2.3.1. Yorulmada Emniyet Katsayısı

Yorulmada da “n” emniyet katsayısı kullanılır. Deney yapılan parçaların geometrileri genellikle düzgün çubuklardır. Hâlbuki uygulamada kullanılan cisimlerin yüzeyleri pürüzlü olabilir. Bu durum gerilme yığılmalarına sebebiyet verebilir. Bundan dolayı yorulmaya veya tekrarlı yüklemeye maruz cisimlerde n emniyet katsayısı genellikle yüksek alınır. Ortalama olarak n değeri en az 3 civarında olabilir. Smith, Goodman, Soderberg eğrilerinin n ile kısaltılmış eğrilerine “Yorulma emniyet eğrileri” denir [43].

Yorulmaya etki eden faktörler;

- Gerilme birikmesi
- Artık gerilmeler

- Sıcaklık derecesi
- Soğukta işlenme
- Sanayideki tekrür
- Korozyon tesiri
- Yorulma sınırları dışındaki ve içindeki yüklemeler
- Yüzey şartları

2.4. Korozyon

Metal ve alaşımlarının çoğunlukla sulu ve gaz ortamlardan oluşan çevreleri ile girdikleri elektrokimyasal ve kimyasal tepkimeler sonucu uğradıkları hasar korozyon olarak adlandırılır.

Sanayide kullanım bulan metallerin büyük çoğunluğu atmosferik hava ve zeminin de kapsandığı çok farklı ortamlarda kararlılıklarını kaybederler. Altın ve platin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Metalleri oksitlerinden ayırmak zorlu bir süreçtir ve büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücü kullanımı ile gerçekleşir. Termodinamik anlamda, bu süreç sonunda metaller daha yüksek bir enerji düzeyine taşınırken, entropileri düşer. Metallerin doğadaki durumlarına dönme eğilimi korozyon olayının gerisindeki itici güçtür.

Korozyon yavaş seyreden bir olaydır. Bu nedenle, zararlı sonuçlarının ortaya çıkması uzun zaman alır. Bu olgu, metalik yapıların tasarımında korozyonun göz ardı edilmesinin başlıca nedenidir. Gerçekte, korozyon sanayide yatırım ve üretim maliyetlerini belirleyen başlıca etmenlerdendir. Bazı tahminlere göre, korozyonun bir ulusa maliyeti gayri safi milli hasılanın % 3,5-5,0 ' ine ulaşmaktadır. Türkiye için bu değerin % 4,5 ' dan daha az olmadığına ilişkin tahminler vardır. Çevre kirliliği ve emniyet ile ilgili endişelerin giderek arttığı günümüzde, bilim adamları ve mühendislere düşen görev korozyonun etkin kontrolünü sağlayacak teknikleri geliştirip uygulamaktır.

Maddenin korozyon sebebiyle bozulmasının boyutu, kendi kimyevi özelliklerine ve çevrenin madde ile olan ilişkisine bağlıdır [44].

Mesela; Bir sanayi ortamı içinde bulunan demir, bir müddet sonra demir oksit ($Fe_2O_3H_2O$) halini alır. Yani paslanır. Meydana gelen bu pas, oksijen ve suyu geçirir. Bu sebepten pas altındaki demir, paslanmaya devam eder. Bu olay demirin tamamen pas almasına kadar sürer [44].

Korozyon, genellikle bir elektrokimyasal olaydır. Korozyona uğrayan metal, küçük bir galvanik pil gibi davranır. Metalin yüzeyinde, metal iyonize olur. Metalin iki bölgesi arasında veya aynı ortamdaki iki farklı metal arasında elektron akışı olur. Bu şartlar altında metal, (daha çok pozitif oksidasyon reaksiyonu değeriyle) anodu meydana getirir ve iyonize olur. Daha çok negatif oksidasyon reaksiyonu değeriyle, diğer metal kısmı katodu hâsıl eder ve kimyasal olarak reaksiyona girmez. Çevre ise elektrolit olarak vazife yapar. Şekil 2.24. te denizcilik ve inşaat sektöründe karşılaşılan korozyonlara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Korozyon örnekleri

Boyamanın amacı yüzeyi korozyona karşı korumaktır. Korozyon önlenemez sadece geciktirilir.

Metal parçalar hava oksijeni ve nem ile tepkimeye girerek yüzeylerinde pas (FeO) oluşumları görülür. Bu pas oluşumları zaman ve ortam etkileri ile yüzeyden kopmalara, aşınmalara neden olur. Aşınmaların bir diğer adı ise korozyondur.

Korozyondan Korunma Yöntemleri;

- Kaplama (krom, nikel, çinko vb.)
- Boya ile kaplama
- Plastiklerle kaplama
- Alüminyum ve bakır ile kaplama

2.5. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Yaprak yaylarda korozyondan korunma uygulaması olarak üretimde yaygın olarak kullanılan yüzey kaplama yöntemleri Elektro Kaplama ve yağ boya püskürtme ile kaplamadır. Metallerde meydana gelen filiform korozyonu ve ya ilerlemesini geciktirmek üzere metallere polimerik kaplama metodu 1996 senesinde Bautista tarafından uygulanarak sonuçlar incelenmiştir [23].

2.5.1. Elektro Kaplama

Elektro Kaplama ünitesi 2 temel aşamadan oluşur. Ön Yüzey işlemleri ve Elektro Kaplama. Yüzey işlem aşamaları şu şekilde sıralanabilir;

➤ Yağ Alma:

Yağ Alma Malzemesinde Olması Gereken Özellikler;

- Yüzeydeki tüm kirlilikleri sökebilme:
- Emülsiye edebilme
- Derinlere nüfuz edebilme
- Metal yüzeyini ıslatma
- Kolay durulanabilme
- Özel beklentileri sağlayabilme (aşındırma yapması veya yapmaması, v.s)
- Toksik malzeme içermemesi
- Biodegradable (bakterilerle ayrışabilen) olması
- Reaksiyon esnasında havayı kirletici malzeme oluşturmaması

- Az atık su yapması
- Maliyetinin düşük olması

- Islaticılar ile Yağları Uzaklaştırma Mekanizması:

Isıticılar ile yağları yüzeyden uzaklaştırma mekanizmasının başında yüzeye absorbe olan ıslatıcı filmi gelir ve yüzey geriliminin azalması yağlı damlacıkların ayrılmasını sağlar.

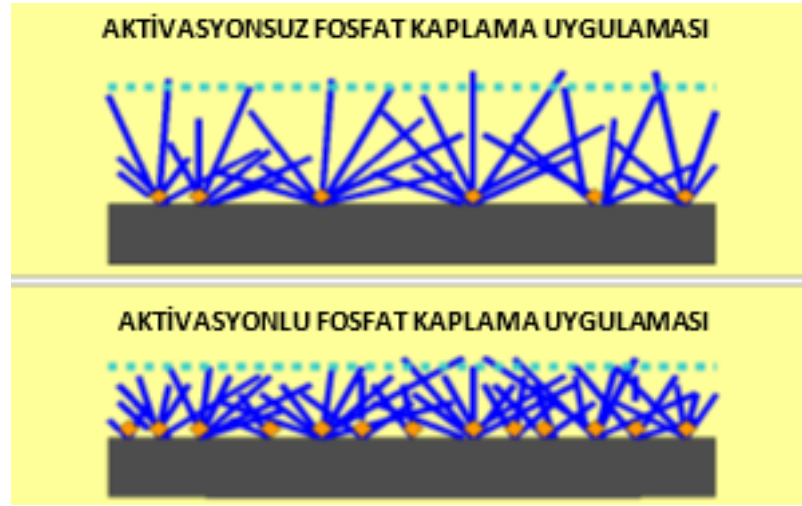
Yağ Alma Performansını Etkileyen Faktörler; Konsantrasyon, sıcaklık, basınç/karıştırma, işlem süresi, banyo kurulumu, su kalitesi olarak sıralanabilir.

➤ Durulama:

Durulamadaki amaç, daha sonraki banyolara temizleme çözeltisinin taşınımını engellemek ve yüzeyi fosfata hazır hale getirmektir. Banyoda bakılan değerler, alkalite ve iletkenliktir. İletkenlik ya da titrasyon metodu ile banyo konsantrasyonu tayin edilir. Durulamanın amacı karoserin üzerindeki alkaliteden gelen tuzları ve kaldıysa çeşitli malzemeleri uzaklaştırmaktır. Aktivasyon öncesi durulama suyu de iyonize olması tercih edilir.

➤ Aktivasyon:

Birim yüzeyde fosfat kristali sayısını arttırmak ve kaplamanın homojen, kristallerin küçük olmasını sağlamak amacıyla yapılan bir işlemdir. Fosfat kaplama ağırlığını azaltması, fosfat kaplama reaksiyonu zamanını kısaltması ve düzenlemesi aktivasyonun avantajlarıdır. Şekil 2.25. ve Şekil 2.26. da örnek resimler verilmiştir.



Şekil 2.25. Aktivasyonlu ve aktivasyonsuz fosfat kaplama uygulaması



Şekil 2.26. Aktivasyonlu ve aktivasyonsuz fosfat kaplama uygulanan yüzeylere ait mikro görüntüler

➤ Çinko Fosfat Kaplama:

Çinko fosfat kaplamanın avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Boya korozyon direncinin artması
- Boya yapışma performansının artması
- Boya tabakasında kabarcıklanma (Blistering) azalır
- İpliğimsi (Fili form) korozyon azalır. İpliğimsi korozyon, yüzeylerinde organik katman içeren metallerde görülür. Bu korozyon türü, boya tabakasının altında bıraktığı ipliğimsi şeklindeki izden tanınır. İpliğimsi korozyon, havadaki nem oranının % 78 ile % 90 arasında olduğu ve yüzeyin hafif asidik olduğu hâllerde görülür. Şekil 2.27. de ipliğimsi korozyonun sık olarak rastlandığı uçak gövdesi bağlantı elemanları olan perçinler görülmektedir.



Şekil 2.27. İpliğimsi korozyona örnek

- Konveyör durmalarında pas oluşumu azalır.

Çinko fosfat kaplama günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Genellikle boya altı koruyucu tabaka olarak uygulanır. Soğuk çekme (tel, boru ve derin çekme) sanayinde kaydırıcı tabaka olarak kullanımı yaygındır. Daldırma ve püskürtme yöntemleri ile uygulanır.

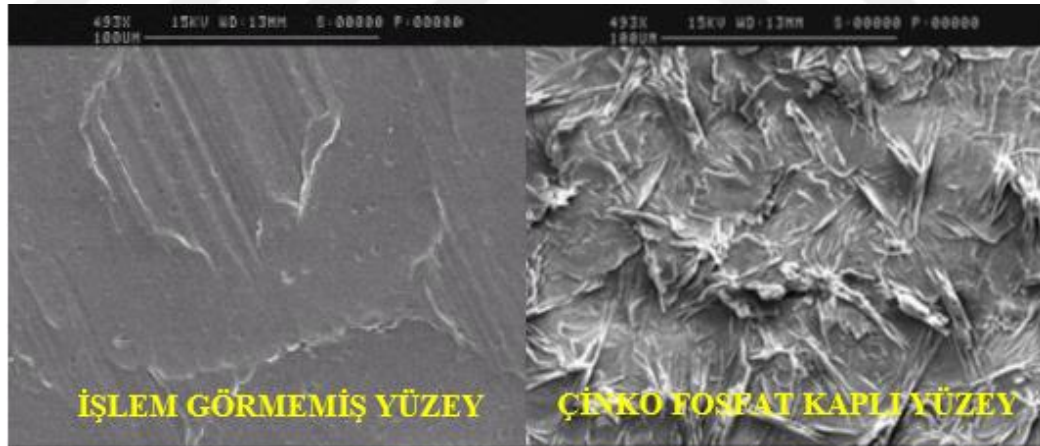
Boya altı uygulamaları:

- Mono katyon (Zn)
- Di katyon (Zn, Ni)
- Tri Katyon (Zn, Ni, Mn)

Saç yüzeyler dışında galvaniz ve alüminyum yüzeylere de uygulanır. Kaplama ağırlığı uygulanan prosese ve çalışma şartlarına göre tercih edilen kalınlıklar şu şekildedir;

- Boya Altı : 1,5 - 4,0 g/m²
- Soğuk Çekme : 6,0 - 15 g/m²
- Kalın Fosfat : 10,0 - 35,0 g/m²

Çinko fosfat kaplanmamış yüzey ile kaplanmış yüzey arasındaki farkların gösterimi Şekil 2.28. te verilmiştir.



Şekil 2.28. İşlem görmemiş yüzey (soldaki) ve Çinko-Fosfat kaplı yüzey (sağdaki)

➤ Elektro Kaplama:

Elektro Kaplama uygulamasındaki amaç yüksek korozyon dayanımının sağlanmasıdır. Uygulama sırasındaki reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;

- Anotta O_2 Katodda H_2 gazı açığa çıkar.
- Anotta H^+ oluşur = Asit reaksiyon
- Katod' ta OH^- oluşur = Alkali reaksiyon

Anotta açığa çıkan hidrojen iyonu ile negatif yüklü asit grubu reaksiyona girer ve asit oluşur. Oluşan bu asit anolit sistemi vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılır.

Pozitif yüklü boya partikülleri katoda doğru harekete geçer ve OH^- iyonları ile reaksiyona girerek araç üzerinde koagüle olmaya başlar. (Pıhtılaşma)

Sarf edilen boya yerine bağlayıcı ve pasta ilavesi yapılır.

2.5.2. Yaş Boya Püskürtme Kaplaması

Boyanın Yapısı:

Uygulandığı yüzey üzerine yayılan ve yapışarak dayanıklı bir film oluşturan; yüzeyi mekanik, kimyasal etkilerden koruyan ve çoğunlukla içerdiği pigmentlerinde katkısıyla, koruduğu nesneyi süsleme işlevini de üstlenen bir kaplama malzemesidir. Genellikle polimerik yapıda olup uygulandıktan sonra çözücü uçması veya kimyasal reaksiyon sonucu katı hale dönüşen temel bileşenlerdir.

1 komponentli boyalar; sadece tiner ile seyreltilerek uygulanan, içerisine sertleştirici girilmeyen boyalardır.

2 komponentli boyalar; uygulama esnasında içerisine sertleştirici ilave edilen boyalardır.

Boyanın Bileşenleri; Bağlayıcılar, Pigmentler, Solventler ve Katkı Maddeleridir.

Bağlayıcılar:

Boya serileri isimlerini bağlayıcılarının isimlerinden alırlar. (Polyester, Alkid, Akrilik, Selülozik, Epoksi vs.) Boyaya kuruma sekli, dayanım, yapışma, elastikiyet, sertlik, parlaklık gibi temel özellikleri verirler.

Pigmentler & Dolgular:

Pigmentler; içinde dağıldığı solvent-polimer ortamında çözünmeyen, 0.01 μm – 1.00 μm arası tane büyüklüğünde toz halindeki bileşiklerdir. Pigmentler ve Dolgular; Boyaya renk, örtücülük, fiziksel ve kimyasal dayanım sağlarlar. Pigmentin tanecik büyüklüğü azaldıkça, pigmentin;

- Rengi kısa dalga boyuna doğru kayar
- Renk şiddeti artar
- Saydamlığı artar
- Örtücülüğü azalır
- Dış dayanımı azalır
- Çözken direnci azalır

Dolgular; Boyanın zımparalanabilirdik, dolgu gücü ve matlık özelliklerini etkileyen toz halindeki bileşiklerdir.

Katkı Maddeleri:

Boya üretimi, depolanması, uygulanması ve kürlenmesi esnasında yardımcı olan organik veya inorganik yapıda kimyasallardır.

Solventler:

Boyanın, üretim, depolama ve uygulama adımlarında gereksinilen akışkanlığa sahip olması amacıyla kullanılan organik bileşiklerdir. Boyadaki çözken dengesizliği, akma, kaynama, kırıma gibi problemlere neden olabilir. Solvent Seçimi;

- Buharlaşma hızı
- Çözücü özelliği
- Sudaki çözünürlüğü
- Parlama noktası
- Yoğunluk
- Yasal durum

Boyaların Sınıflandırılması:

Macun:

Uygulama yüzeyi iri pürüzlülükler ve çukurlar içeriyorsa, yüksek viskozite – spatula veya macun silindiri ile macun uygulanır. Bağlayıcı olarak; Nitroselüloz, doymamış polyester, epoksi poliamid, poliüretan kullanılır. Uzun süreli yapışma performansı için, macun uygulamadan önce yüzeye iyi yapışan bir astar uygulaması gerekebilir. Macun üzerine doğrudan son kat uygulaması da problem yaratabilir. (Bağlayıcı göçüne bağlı matlaşmalar).

Astar:

Astar uygulaması yüzeye iyi yapışma, boya gamının yapışmasını etkileyebilecek olumsuz dış etkenlere direnebilme, metal yüzeyleri pastan, ahşap yüzeyleri küf ve çürümeden koruyabilme, üzerine gelen katlarla iyi yapışabilme ve uyumlu esneklik, yüzeyde iyi yayılma ve zımparalanabilirdik, yüzey kusurlarını örtme, taş çarpma direnci sağlama gibi avantajlar sağlar.

Ara kat:

Boya gamının toplam kalınlığının yüksek olması gerektiği durumlarda (özellikle korozyon direnci istenen) uygulanır. Esneklik, yapışma ve polimerik yapı itibariyle diğer katlarla uyuşur olmalıdır. Son katın pigmentasyonunu minimumda tutmak amacıyla da uygulanır. Son katın vernik olduğu durumlarda (otomotiv boyları gibi) ara kat (baz kat) renk pigmentlerinin yanı sıra alüminyum metalik pigmentler veya inci/sedef pigmentler içerebilir.

Son kat:

Boya gamının en üst tabakasını oluşturur. Estetik özelliklerin yanında dış etkenlere karşı koruyucu özellik, Astar veya ara kat üzerine uygulanabilirlik ve yapışma, renk, parlaklık, sertlik, esneklik, çizilme direnci, güneş ısılarına direnç diğer önemli özelliklerdir.

2.5.3. Polimerik Kaplama

Bu kaplama her türlü yüzeyi kaplayarak koruyan, patlamaya, yıpranmaya ve aşınmaya karşı etkisi kanıtlanmış, uygulandıktan sonra kalın ve sert hale dönüşen, sprey şeklinde uygulanan elastik bir kaplamadır. 3 saniye gibi kısa bir sürede kullanıma hazır hale gelen polimerik kaplama malzemesi aynı zamanda çevreye ve insan sağlığına zararlı hiç bir madde içermemektedir.

Şekil 2.29. da örnek resmi verilen iki bileşenli, özel püskürtme ekipmanı ile uygulanan, 3 saniyede kuru hale alıp, 10 dakikada mukavemetini tamamlayan, 2000 devirde aşınma endeksi karbon çelikten az olan, asitlere ve kimyasallara karşı mükemmel dayanımı olan, püskürtme poliüre esaslı ürün ile 1 – 6 mm olarak her türlü yüzey astarsız olarak kaplanabilir [45].



Şekil 2.29. İki bileşenli boya püskürtme tabancası

Polimerik kaplama malzemesinin kimyasallara maruz bırakıldığında fiziksel değişimleri Tablo 2.3. te ki gibidir;

Tablo 2.3. Belirtilen kimyasallara 7 gün boyunca maruz bırakılan polimerik kaplama malzemesinin fiziksel özellik değişimleri ve uygunlukları [46]

Kimyasallar	Yoğunluk Değişimi (%)	Sertlik Değişimi (%)	Uzama Değişimi ASTM D412 (%)	Çekme Dayanımı Değişimi ASTM D412 (%)	Tavsiye
Asetik asit %10	6	-13	56	-13	Uygun
Amonyum Klorür %30	2	-1	76	40	Uygun
Amonyum Hidroksit	2	-1	59	22	Uygun
Otomobil Yakıtı	11	-13	-14	-39	Uygun
Otomobil Yağı	13	-14	74	45	Uygun
Uçak Yakıtı	8	-8	39	-5	Uygun
Karbonat %25	3	-4	68	30	Uygun
Benzin	13	-16	-37	-72	Uygun
Çamaşır Suyu	2	-7	50	12	Uygun
Borik Asit %3	6	-12	65	22	Uygun
Fren Hidrolik Yağı (DOT 3)	30	-39	7	-48	Uygun
Kalsiyum Klorür %50	2	-8	71	50	Uygun
Kalsiyum Hipoklorür %5	4	-5	48	11	Uygun
Sitrik asit %10	2	-4	71	30	Uygun
Soda	3	-5	49	13	Uygun
Sodalı Dondurma	2	-6	66	22	Uygun
Ham Petrol	7	-4	35	11	Uygun
Dizel	5	-6	48	33	Uygun
Etilen Glikol	3	-7	55	19	Uygun
Formik Asit %10	12	-23	60	-29	Uygun
Deniz Suyu	3	-7	79	24	Uygun
Hidrolik Yağı	2	-2	45	47	Uygun
Hidrojen Peroksit %30	4	-6	55	13	Uygun
Hidrojen Peroksit %10	4	-7	80	22	Uygun
Izopropil Alkol	32	-34	40	-50	Uygun
Gaz yağı	8	-6	53	9	Uygun
Sülfirik Asit %25	2	-2	67	39	Uygun
Laktik Asit %45	7	-13	55	5	Uygun
Metilen Klorür	12	-22	-51	-84	Uygun
Saf Alkol	4	-1	37	13	Uygun

- Elastiktir. % 400 oranında elastikiyeti olan bu ürün uygulandığı yapıyla ortak çalışarak ilerleyen zamanlarda meydana gelebilecek çatlaklıkları önleyecektir.
- Kaplama malzemesi uygulandıktan sonra % 100 katı bir hale gelir. Darbeden dolayı oluşabilecek birçok hasarın önüne geçer.
- Pigmentleme sistemi ile sonsuz renk seçeneğine sahiptir.
- Cam hariç her tür yüzeye astar gerektirmeksizin üstün tutunma özelliği vardır.
- Küf ve Pas tutmaz.
- Ürün boşluksuz olarak uygulanır ve yüzeye direk olarak aderans alır. Bu özelliği ile pas ve korozyon oluşumunu önler.
- 2000 devirde Aşınma Test sonuçları karbon çelikten daha azdır.

Aşınma: Birbirine temas eden mühendislik malzemelerinin, birbirlerine sürtünmesi neticesinde meydana gelen aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 50320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır. Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmalıdır. Uygulamada aşınma kapsamında, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir [46].

- 60.000 volta kadar elektrik geçirmez, kıvılcım testinden geçmiştir.
- Uygulama sonrası gözeneksiz, ek yersiz, düz bir satıh oluşturur.
- Lokal olarak onarılabilir.
- - 40 °C ile +200 °C ısı arasında elastikiyetini korur.
- 3 sn' de kurlenip 10 dk.' da mukavemetini tamamlar.
- Çizilmesi ve zarar görmesi çok zor olan bir malzemedir.

Yukarıda sıralanan özellikler kaplama malzemesi olarak seçilen polimerin piyasada kullanılan bir çeşidi için hazırlanan TDS (technical data sheet) formundan alınmıştır. Üretici firma tarafından garanti edilen özelliklerin bir kısmı testler ile doğrulanacaktır.

Belirtilen özellikler arasında yaprak yaylara uygulanmasında öne çıkan maddeler şu şekildedir;

- % 400 oranında elastikiyeti olması dinamik yükler altında çalışan yaprak yaylar ile koordineli çalışması ve rate oranlarında bir değişikliğe neden olmamasını sağlayacaktır.

Rate: Yaprak yayların yükleme testlerinde belirli bir ağırlık altında belirli sehime gelmesi olarak tanımlanabilir.

- Kimyasallara karşı dayanıklı olması korozyon dayanımını ve gerçek yol şartlarında maruz kalacağı kimyasallar nedeniyle fiziksel özelliklerini kaybetmemesini sağlayacaktır [46].

2.6. Kaplama Testleri

2.6.1. Kazıma Testi (Scratching)

Boyanmış yüzeylerdeki boya katmanının yüzeye yapışma mukavemetinin analizi için uygulanır. Kazıma cihazının uygulama parametreleri;

60 μm 'a kadar: 1 mm aralıklı bıçak (Metal malzeme için)

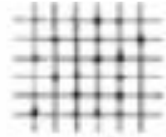
60 μm 'a kadar: 2 mm aralıklı bıçak (Tahta malzeme için)

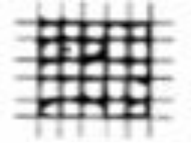
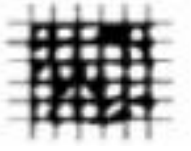
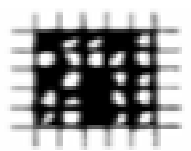
61-120 μm 'a kadar: 2 mm aralıklı bıçak (Metal ve Tahta malzeme için)

121 - 250 μm 'a kadar: 3 mm aralıklı bıçak (Metal ve Tahta malzeme için)

Yaprak yay kaplama uygulamalarından elektro kaplama ve yağ boya için 1 mm aralıklı bıçak ile 3 mm aralıklı bıçak kullanılmaktadır. Kazıma testi sonucunda elde edilen yüzey görüntülerinin değerlendirme skalası Tablo 2.4. de verilmiştir.

Tablo 2.4. Kazıma testi parametreleri

Sınıflandırma	Tanım	Kazıma uygulanan yüzeyin görüntüsü (6 adet paralel kesik örneği)
0	Kafes yapı tamamen pürüzsüz ve yüzeydeki boya kalkması sıfır.	-
1	Kesişme bölgesinden çok ince parçalar ayrılmıştır. Ve oluşan deformasyon alanın %5 lik kısmından daha azdır.	

2	Kesişme bölgesinin kenar ve köşe kısımlarında tabaka halinde ayrılmalar mevcuttur. Hasarlı bölge alanın %5 i ile % 15 i arasındadır.	
3	Kesişme bölgesinin kısmen kenar ve köşe kısımları ile geniş ölçüde şeritler halinde kalkmalar mevcuttur. Hasarlı bölge oranı %15 ile %35 arasındadır.	
4	Kesişme bölgesinin kenar ve köşe kısımları tamamen ve bazı bölgeler ise tamamen ya da kısmen kalkar. Hasarlı bölge oranı %35 ile %65 arasındadır.	

2.6.2. Boya Film Kalınlık Ölçümü

Şekil 2.30. da gösterilen elektromanyetik el cihazıyla boya film kalınlıklarının ölçülmesi uygulamasıdır. Cihaz parametresi 0 ile 1000 μm aralığını ölçer.



Şekil 2.30. Boya film kalınlık ölçüm cihazı

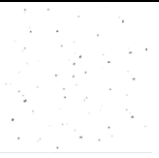
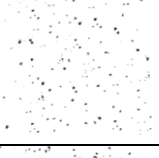
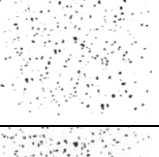
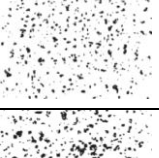
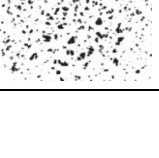
2.6.3. Taş Çarpma Testi (Stone Chip)

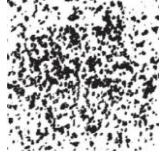
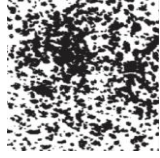
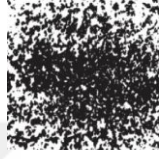
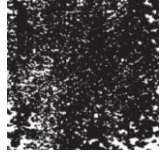
Aksi belirtilmedikçe 200x100 mm ebadında ve 0.7 mm ile 1 mm kalınlığında çelik plakalar hazırlanır. Test plakaları $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ve % (50 ± 5) bağıl nemde 16 Saat bekletilir, aynı nem ve sıcaklıkta test edilir. Multi taş çarpma test yöntemleri uygulanır, plakadan gözlenen değerler skaladan tespit edilir.

Lastik ve plastik malzemeler, boya altı metal ve alaşımları, astar ve son kat boyaların metal yüzeyine yapışma kuvvetini ve dış etkenlere karşı dayanıklılığını test etmeye yarar [47].

Cihazın parametresi yüzeyden kalkan boya miktarıdır. Taş çarpma testi sonunda rating değerleri Tablo 2.5. te verilen skalalara göre belirlenmektedir.

Tablo 2.5. Taş çarpma testi değerlendirme skalası

Karakteristik Değer	Zarara Uğramış Yüzey Yüzdesi	Yüzey Görüntüsü
0,5	%0,2	
1,0	%1,0	
1,5	%2,5	
2,0	%5,5	
2,5	%10,7	

3,0	%19,2	
3,5	%29	
4,0	%43,8	
4,5	%58,3	
5,0	%81,3	

2.6.4. Korozyon Testi

Tuz püskürtme testi (tuz buharı ya da tuz sisi olarak da bilinir) on yıllardır birçok endüstri için korozyon karşılaştırma testi olmuştur. Örneklerin korozyon dayanımında bekleneni karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek için yıllardır bu konuda birçok standart yazılmış ve hızlı olması nedeniyle de çok popüler olmuştur. Bu yüzden temel kullanımı, üretim sürecinin etkinliğinin denetimidir.

Çevrimsel Korozyon Testi, korozi iklimlerin, test kabinin yeteneği ile canlandırılması/hızlandırılması anlamına gelir. Bu testler, malzemelerin ve bileşenlerin ortam şartlarında kullanım ömrünü tahmin etmekte yararlı bir testtir. Bu testler, özellikle ana üreticilerin kendi ÇKT standartlarını geliştirdiği otomotiv sektöründe, kabul görmüştür [40,48].

Yaprak yayların karşılanması istenen en önemli spekterlerinden bir tanesi de çevrimli korozyon testleridir. Çünkü yaprak yaylar dinamik yükler altında çalışan ağır ve ticari araçların süspansiyon ve güvenlik ekipmanlarıdır. Temel olarak yorulma kırılması prensibi ile kırılmaları beklenir.

Birçok kırılma olayında olduğu gibi, yorulma kırılması da çatlak oluşumu, çatlak büyümesi ve çatlakların birleşmeleri neticesinde gelişen bir kırılmadır. Yorulmada çatlak oluşumu, birçok sünek kırılma prosesinde olduğu gibi mikroskobik seviyede homojen olmayan plastik deformasyon sonucunda oluşur.

Metallerde yorulma iç veya dış yüzeylerde başlar. Tüm malzemelerde homojenliğin bozulduğu bölgeler mevcuttur. Bu bölgelerde lokal olarak yumuşama veya yüzey pürüzlülükleri bölgesel gerilim konsantrasyonu artışına sebebiyet verirler. Bölgesel yumuşama veya yüzey pürüzlülükleri bölgesel olarak plastik akmaya neden olurlar. Çevrimsel gerilim altında oluşan yüzey pürüzlülükleri çatlak oluşumuna imkân sağlarlar.

Bu tür sıkıntı veya girintilerde oluşacak çatlağın oluşum aşaması 1. aşama olarak adlandırılır. Bu aşamada kırılmadan ziyade plastik deformasyon söz konusudur. Sonuç olarak; oluşan yorulma-çatlak düzlemi çekme yönüne paralel değildir. Bu sebeple, ilk çatlak çekme yönüne 90° den farklı bir açıda ilerler.

İkinci aşamada, çatlağın yavaş büyümesi, 1. aşamada çatlağın belli bir kritik ebada (malzemenin özelliğine bağlı olarak) ulaşması sonrası oluşur. Özetle, yorulma kırılması üç aşamada gerçekleşir.

1. Aşamada; çatlak oluşumu heterojen mikroskobik plastik akmlar neticesinde gerçekleşir. Bu çatlak belli bir ebada ulaştığında ikinci aşama başlar.

2. Aşamada; çatlak, uygulanan gerilimin oranına bağlı olarak ve çekme yönüne 90° açıyla ilerler.

3. Aşamada; 2. aşamada gelişen çatlak belli bir boyuta ulaştığında malzeme uygulanan yükü karşılayamaz durum ile karşılaşır. Bu durumda malzeme aşırı yükleme ile kırılır.

Çatlağın teşekkülü için üç ana faktör gereklidir;

1- Yeteri derecede yüksek bir çekme gerilmesi

2- Uygulanan gerilmenin oldukça geniş değişimi veya dalgalanması

3- Uygulanan gerilmenin yeteri kadar büyük tekrarlanma sayısı

Bu faktörlerin hepsi yaprak yayların çalışması esnasında gerçekleşen faktörlerdir. Zaten Yaprak yayların çalışma prensibi olarak iç yüzeyde çeki gerilmesi ve tekrarlanan değişken yükler altında çalışma vardır.

Bunlarla birlikte yan faktörlerden, yüzey kalitesi, korozyon, sıcaklık, aşırı yükleme, kalıcı iç gerilmeler, gerilim konsantrasyonu, frekans, mikro yapı, faz dağılımı, inklüzyonlar da önemlidir.



3. DENEYSEL KISIM

3.1. Tahribatlı Kaplama Testleri

Deneysel çalışmalar ile gerçek yol şartlarında yaprak yayların yorulma ömür dayanımları üzerindeki etkileri araştırılacak olan farklı tip kaplamaların taş çarpma ve tuzlu sis testi sonuçları incelenmiştir. Bu çalışma için elektro kaplama, yağ boya ve polimerik kaplama seçilmiştir. Kaplama testleri için hazırlanan standart ebatlardaki yay çeliğinden imal edilmiş numune lamaların yüzeyleri belirtilen üç farklı tipte kaplama ile kaplanmıştır.

3.1.1. Elektro Kaplama Uygulanan Numune Lamalarda Taş Çarpma ve Tuzlu Sis Testi



Şekil 3.1. Elektro kaplama uygulanan lamaların taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüleri

Tablo 3.1. Elektro kaplama uygulanan numune lamalarda taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları

Numune	1	2
--------	---	---

Yüzey	Elektro Kaplama	Elektro Kaplama
Toplam Kuru Film Kalınlığı	45 - 50 µm	45 - 50 µm
Taş Çarpma ISO 20567-1: 2005 (A)	Rating 1,5	Rating 1,5
Taş Çarpma + 72 Saat Tuzlu Sis testi (ASTM B117)	Noktasal Pas ve Pas Akıntısı	Noktasal Pas ve Pas Akıntısı

Yüzeylerine korozyondan korunma yöntemi olan elektro kaplama uygulaması yapılan numune lamalara taş çarpma ve 72 saat tuzlu sis testinden sonra görüntüler Şekil 3.1. de görülmektedir. Aynı testlere ait sonuçlar Tablo 3.1. de verilmiştir. Piyasada yaprak yayların yüzey kaplamalarında genellikle kullanılan elektro kaplamanın taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzeyinde noktasal pas ve pas akıntıları gözlemlenmiştir.

3.1.2. Yaş Boya Kaplama Uygulanan Numune Lamalarda Taş Çarpma ve Tuzlu Sis Testi



Şekil 3.2. Yaş boya kaplı lamaların taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüleri

Tablo 3.2. Yaş boya kaplama uygulanan numune lamalarda taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları

Numune	1	2	3
Yüzey	Yaş Boya	Yaş Boya	Yaş Boya
Toplam Kuru Film Kalınlığı	90 - 100 μm	110 - 120 μm	160 - 170 μm
Taş Çarpma ISO 20567-1: 2005 (A)	Rating 1	Rating 1	Rating 0,5
Taş Çarpma + 72 Saat Tuzlu Sis testi (ASTM B117)	Noktasal Kırmızı Pas	Noktasal Kırmızı Pas	Kırmızı Pas Akıntısı Yok

Yüzeylerine korozyondan korunma yöntemi olan yaş boya kaplama uygulaması yapılan numune lamalara taş çarpma ve 72 saat tuzlu sis testinden sonra yüzeyler Şekil 3.2. te görülmektedir. Testlere ait sonuçlar Tablo 3.2. da verilmiştir. Piyasada yaprak yayların yüzey kaplamalarında genellikle kullanılan yaş boya

kaplamanın taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzeyinde noktasal paslar gözlemlenmiştir.

3.1.3. Polimer Kaplama Uygulanan Numune Lamada Taş arpma ve Tuzlu Sis Testi



şekil 3.3. Polimer kaplı numune lamanın taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzey görüntüsü

Tablo 3.3. Polimer kaplama uygulanan numune lamada taş çarpma ve tuzlu sis testi (ASTM B 117) sonuçları

Numune	1
Yüzey	Polimerik Kaplama
Toplam Kuru Film Kalınlığı	1000 - 1200 µm
Taş Çarpma [ISO 20567-1: 2005 (A)]	Rating 0
Taş Çarpma + 72 Saat Tuzlu Sis Testi (ASTM B117)	Yüzey Hasarı ve Paslanma Yok

Yüzeyine korozyondan korunma yöntemi olan polimer kaplama uygulaması yapılan numune lamada taş çarpma ve 72 saat tuzlu sis testinden sonraki yüzey Şekil 3.3. de görülmektedir. Teste ait sonuçlar Tablo 3.3. de verilmiştir.

Piyasada yaprak yay yüzey kaplamasında kullanılmayan ve bu çalışmamızda uygulanarak yaprak yayların mekanik özelliklerini iyileştirme ve ömür artışı sağlama başarısı incelenen polimer kaplamanın, taş çarpma ve tuzlu sis testinden sonra yüzeyinde hiçbir bozulma görülmemiştir.

3.1.4. Tahribathı Kaplama Testleri Sonuçları ile Kaplama Karşılaştırmaları

Tablo 3.4. Kaplama testleri sonuçları

Test ve Standardı	Kaplama	Kaplama Kalınlığı	Sonuç
Stone Chip (Taş Çarpma) [ISO 20567-1:2005 (A)]	Elektro Kaplama	45 - 50 µm	Rating 1,5
	Yaş Boya	100 - 120 µm	Rating 1
	Polimerik	1000 - 1500 µm	Rating 0
72 Saat Tuzlu Sis Testi (Korozyon) [ASTM B117]	Elektro Kaplama	45 - 50 µm	Noktasal Pas ve Pas Akıntısı
	Yaş Boya	100 - 120 µm	Noktasal Kırmızı Pas
	Polimerik	1000 - 1500 µm	Hasarlanma ve Paslanma Yok

Aynı standartlarda üç farklı kaplamaya da uygulanan taş çarpma testi sonucunda Tablo 2.5. te verilen taş çarpma testi değerlendirme skalasına göre polimerik kaplamanın mekanik darbelere karşı dayanımının diğer kaplamalara göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Diğer iki çeşit kaplama taş çarpma testi sonucunda boya aşınmasına uğrayarak korozyon testi neticesinde yüzeyinde kırmızı pas oluşurken, polimerik kaplamada hiçbir şekilde boya aşınması veya kaybı meydana gelmemiştir. (Polimerik Kaplama-Stone Chip Rating 0)

Numune lamalar üzerinde yapılan taş çarpma ve tuzlu sis testlerinden elde edilen verilen kaplamaların darbelere ve sonrasındaki korozyon dirençlerine yönelik önemli sonuçlar vermiştir.

3.2. Numunelerin Üretimi ve Yüzey Kaplama Uygulamaları

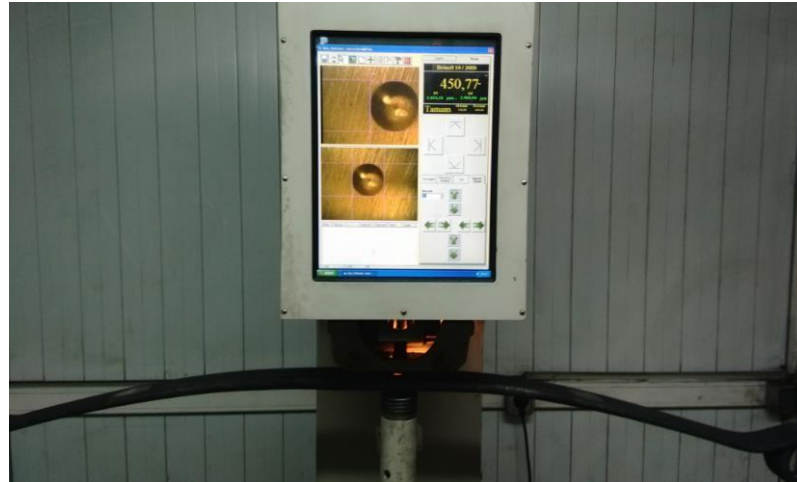
Bu çalışmada, 50CrV4 malzemesinden seri üretim şartlarında 9 adet numune tek katlı yaprak yay üretilmiş olup kalite kontrolleri yapılarak kayıt altına alınmıştır.

9 adet numunenin içerisinde birbirlerine en yakın kalitede sadece kaplamaları farklı iki adet yaprak yay seçilerek karşılaştırmalı taş çarpma uygulaması ve ardından 72 saat tuzlu sis testine tabi tutulmuşlardır. Tuzlu sis testinden alınan numunelere yine aynı şartlarda ömür testi uygulanarak ömür farkları gözlemlenerek hasara uğradıktan sonra laboratuvar incelemeleri ile hasar karakteristikleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.4. de görüldüğü gibi aynı seri üretim şartlarında ısıtım prosesinden geçirilmiş yaprak yayların arka yüzeylerinden ve üç noktadan Şekil 3.5. de gösterilen brinell sertlik ölçme cihazı ile sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.4. Isıl işlem sonrası yüzey sertlik ölçümü



Şekil 3.5. Brinell sertlik ölçümü

Tablo 3.5. Yüzey sertlik ölçüm sonuçları

Numune No	Ön nokta	Orta nokta	Arka nokta
1	457,36	451,25	458,9
2	455	450,77	456,24
3	456,1	449,98	455
4	456,24	450,2	457
5	458,21	453,65	456,98
6	455	454,45	457,21
7	459,25	450,32	458,12
8	457,2	451,3	458
9	459,32	452	456

9 adet numune yaprak yayın arka yüzeylerinden %100 ölçülen yüzey sertlik değerleri Tablo 3.5. deki gibidir. Her numunenin tüm noktalarındaki sertlik değerleri tasarım toleransları içerisinde olup değerler birbirlerine çok yakındır.

Şekil 3.6. da yaprak yay yüzey kaplama aşamalarını gösteren resimdeki gibi kaplama uygulamasının ilk aşaması bilyalı dövme (kumlama) prosesidir. Dinamik yükler altında çalışan yaprak yaylar için bilyalı dövmenin, yüzeydeki kalıntı çeki gerilimleri bası gerilimine dönüştürmesi açısından ömrü arttırıcı bir etkisi olduğu deneysel çalışmalar ile ispatlanmıştır. Bu nedenle yapılacak çalışmada seçilecek olan kaplamaları farklı iki adet numune yaprak yayın ömürlerini etkileyen faktörün RS olmaması için bilyalı dövme prosesinden sonra tüm numunelerin yüzeylerinde aynı noktalardan RS (kalıntı gerilim) ölçümü yapılmıştır.

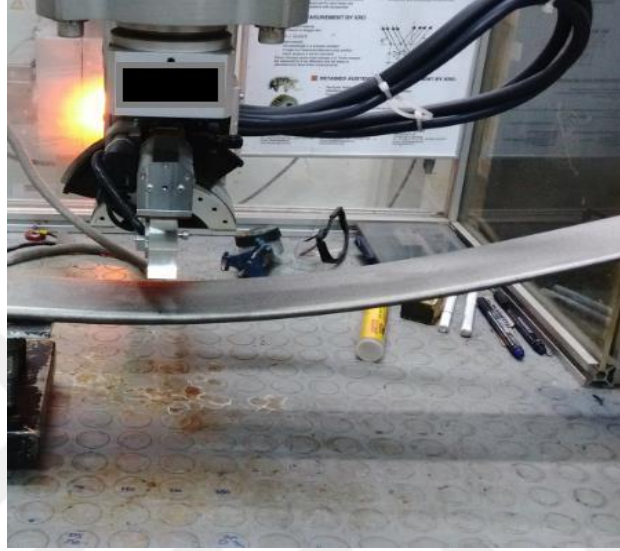


Şekil 3.6. Genellikle uygulanan yaprak yay yüzey kaplama aşamaları



Şekil 3.7. Bilyalı dövme prosesinden sonra numunelerin yüzey görüntüleri

Şekil 3.7. de görüldüğü gibi üretilen numunelerin iç yüzeylerine aynı makine parametreleri ile bilyalı dövme prosesi uygulanmıştır. Bilyalı dövme prosesinden sonra aynı noktalardan Şekil 3.8. te görüldüğü gibi RS ölçümü yapılmış olup sonuçları Tablo 3.6. de verilmiştir.



Şekil 3.8. Kalıntı Gerilim (RS) ölçümü

Tablo 3.6. Kalıntı gerilim (RS) ölçümü sonuçları

Numune No	Ölçülen Kalıntı Gerilim (Residual Stress)
1	- 554 MPa
2	- 473 MPa
3	- 486 MPa
4	- 587 MPa
5	- 371 MPa
6	- 480 MPa
7	- 417 MPa

8	- 488 MPa
9	- 480 MPa

Residual Stress sonuçları -450 MPa değerinden düşük olan 5 ve 7 numaralı numuneler istenilen kalite speklerini sağlamadığı için ayrılmıştır. Diğer numuneler yüzey kaplama proseslerine devam ettirilmiştir.

Bilyalı dövme (Shot Peening) prosesinden sonra malzemenin korozyon direncini ve boyanın yapışma kabiliyetini arttırmak için çinko-fosfat kaplama uygulaması yapılır. Bu proses yüzey işlem olarak adlandırılır. Yüzey işlem prosesinin amacı; son kat kaplamada oluşabilecek bir hasar sonucu meydana gelecek korozyonun filiform ilerlemesini çinko-fosfat kaplama uygulaması ile engellemektir.

Çinko-Fosfat kaplama genellikle uzun süreli korozyon direnci gerektiren koşullarda kullanılır. Otomotiv ve yan sanayilerinin hemen hemen tamamının kullandığı kaplama türüdür. Dış ortam ve tuzlu hava koşulları içinde uygundur. Kaplama kalitesi demir fosfatla kıyaslandığında daha yüksektir. Boya altı olarak kullanıldığında metal üzerinde 2-5 gr/m² lik bir kaplama oluşturur. Çinko fosfat diğer uygulamalara göre daha fazla işlem aşaması gerektirir. Uygulanması, kurulması ve kontrol edilmesi daha zor ve daha maliyetlidir. Daldırma ve sprey olarak uygulanır. Boya altı uygulamalarında tri katyon, di katyon ve mono katyon olarak kullanılır.

Çinko-Fosfat kaplanan yaprak yaylar ya Elektro Kaplama hattı içerisinde devam ederek Elektro Kaplama kaplanır ya da yüzey işlemden sonra hattan alınan yaprak yaylara püskürtme ile yaş boya kaplama uygulaması yapılır.

Şekil 3.9. da ki resimde kırmızı daire içerisine alınan Residual Stress ölçümleri sonucu testlere devam etmesi için belirlenen 7 numunenin;

1, 3 ve 9 numaralı numunelere Yüzey işlem + Elektro Kaplama,

4 ve 6 numaralı numunelere Yüzey işlem + Yaş boya,

2 ve 8 numaralı numunelere de sadece Yüzey işlem uygulaması yapılmıştır.



Şekil 3.9. Polimer kaplamaya hazır numuneler

Şekil 3.9. da görüldüğü gibi numuneler polimerik kaplama uygulaması için hazırlanmıştır. Bu numunelerin içerisinde Sertlik ve Residual Stress ölçüm sonuçları birbirlerine en yakın olan 3 ve 8 numaralı numuneler karşılaştırmalı taş çarpma, tuzlu sis (korozyon) ve ömür testleri için seçilmiştir.

Polimerik kaplama öncesi yüzeyine sadece yüzey işlem (çinko-fosfat kaplama) uygulanmış olan 8 numaralı numune polimerik kaplanarak, 3 numaralı numune ise mevcut seri üretim şartlarında olduğu gibi elektro kaplama uygulanarak testlere tabi tutulmuşlardır.

Karşılaştırmalı testlere tabi tutulmayacak diğer numune yaprak yaylarda polimer kaplanarak polimerik kaplamanın yüzey tutuculuğu kabiliyeti ve ömür testlerinde kaplamanın ömre olan direkt etkisi gerçek ömür testleri ile incelenmiştir.

Madde 2.5.3. “Polimerik Kaplama” başlığı ile detaylı anlatılan polimer kaplama uygulaması, TDS formu verilen polimer malzeme kullanılarak yaprak yay yüzeylerine aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanmıştır.

Polimerik kaplama uygulaması yapılırken kaplama malzemesinin sıcaklığı yaklaşık 80 °C dir. Bu sıcaklıktaki malzeme soğurken büzülme yapacağından yaprak yay ile aynı davranışı göstermesi ve yaprak yayı mekanik olarak zorlamaması için Şekil 3.10. de görüldüğü gibi yaprak yaylarda yaklaşık 80 °C ye ısıtılmıştır.



Şekil 3.10. Polimerik kaplama öncesi yüzey ısıtma

Malzemeyi oluşturan 2 bileşen bir araya geldiğinde 3 sn. içerisinde kürlenip katı hale gelmektedirler. Bu nedenle iki bileşenli boya püskürtme tabancası ile uygulanmaktadır. Bu sayede bileşenler tabancanın ucunda birleşirler ve malzeme yüzeyini kapladıklarında kürlenerek katı hale gelir. Uygulama sonrası yaprak yayların yüzey görüntüleri Şekil 3.11. ve Şekil 3.12. de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Polimerik kaplama uygulaması



Şekil 3.12. Kalıntı Gerilim (RS) ölçümü sonucunda kaplama proseslerine devam etmesine karar verilen numuneler



Şekil 3.13. Polimerik kaplama sonrası göz içine talaşlı imalat uygulaması

Gözlere montajı yapılacak burçların çapı ile giz içi çapların hassas ayarı için yapılan talaş kaldırma işlemi ile kaplama malzemesinin teknik formunda da belirtildiği gibi talaşlı imalata uygun olduğu görülmüştür. Göz içinden talaş alınmış numunelere ait görüntü Şekil 3.13. te verilmiştir.

Polimer kaplama uygulaması yapılan tek katlı yaprak yayların rate ölçümleri yapılarak, aynı tip elektro kaplama uygulanan yaprak yayların rate ölçümleri arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Bu ölçümde araştırılan konu; 1000 μm kalınlığında uygulanan polimer kaplamanın yaprak yay mekanik özelliklerine olan etkisinin tespit edilmesidir.



Şekil 3.14. Yük-Sehim ölçümü yapılan polimer kaplama uygulanmış tek katlı yaprak yay

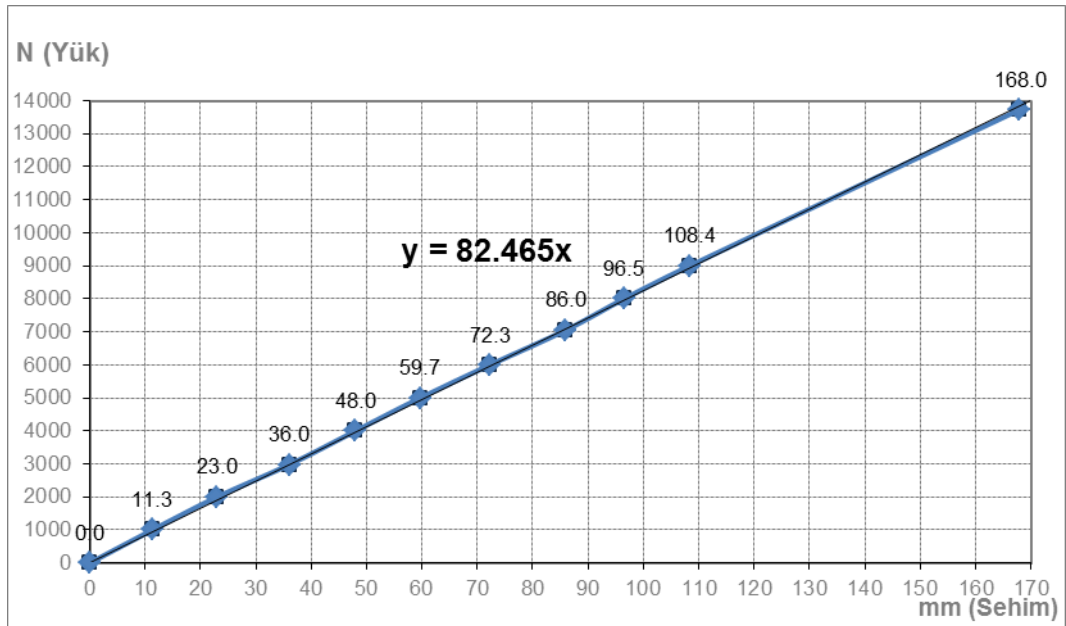
Tablo 3.7. Elektro kaplama uygulanan 3 numaralı numune tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim ölçümü

YÜK		YAY YÜKSEKLİĞİ	
N	KG-F	YÜKLÜ YÜKSEKLİK (mm)	SEHİM (mm)
0	0	93,0	0,0
1000	102	81,7	11,3
2000	204	70,0	23,0
2975	303	57,0	36,0
4000	408	45,0	48,0
5000	510	33,3	59,7

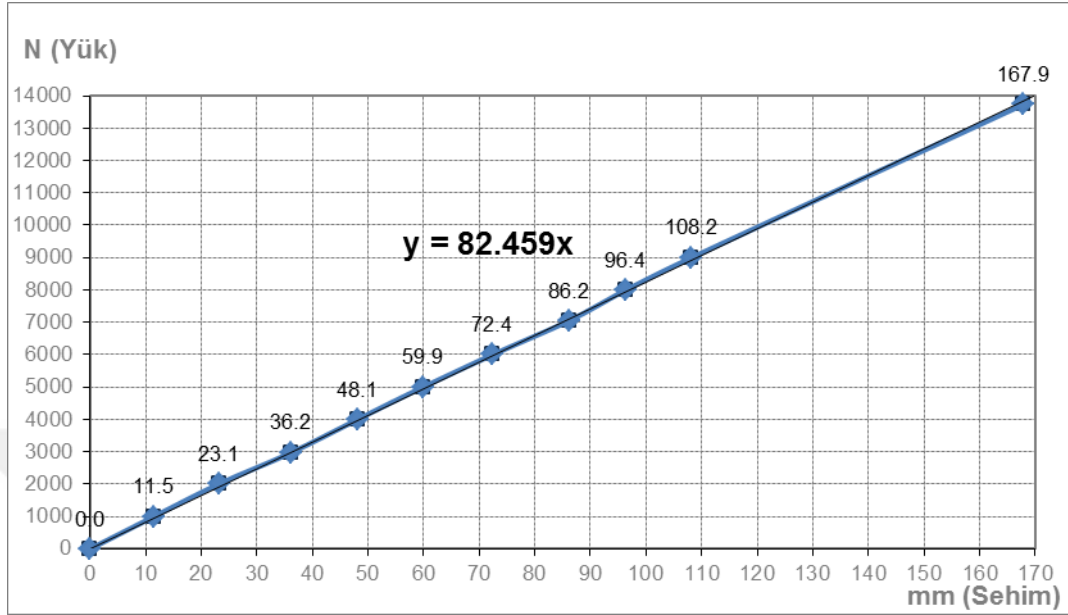
6000	612	20,7	72,3
7055	719	7,0	86,0
8000	815	-3,5	96,5
9000	917	-15,4	108,4
13734	1400	-75,0	168,0

Tablo 3.8. Polimer kaplama uygulanan 8 numaralı numune tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim ölçümü

YÜK		YAY YÜKSEKLİĞİ	
N	KG-F	YÜKLÜ YÜKSEKLİK	SEHİM
0	0	93,0	0,0
1000	102	81,5	11,5
2000	204	69,9	23,1
2975	303	56,8	36,2
4000	408	44,9	48,1
5000	510	33,1	59,9
6000	612	20,6	72,4
7055	719	6,8	86,2
8000	815	-3,4	96,4
9000	917	-15,2	108,2
13734	1400	-74,9	167,9



Şekil 3.15. Elektro kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim diyagramı



Şekil 3.16. Polimer kaplama uygulanan tek katlı yaprak yaya ait yük-sehim diyagramı

Şekil 3.14. te gösterilen prese bağlanmış polimer kaplı yaprak yayın rate ölçümünden elde edilen veriler ile hazırlanan Tablo 3.8. ve Şekil 3.16. te gösterilen diyagram ile elektro kaplama uygulanmış yaprak yayın rate ölçüm verilerini içeren Tablo 3.7. ve Şekil 3.15. de ki diyagram karşılaştırıldığında, polimer kaplamanın yaprak yay çalışma karakteristiğine ve rate ölçüm değerlerine etkisi olmadığı görülmektedir. Bu da uygulanan polimer kaplamanın yaprak yayın bir parçası olarak çalıştığını, istenildiği gibi yaprak yayın mekanik özelliklerine etkisinin olmadığını göstermektedir.

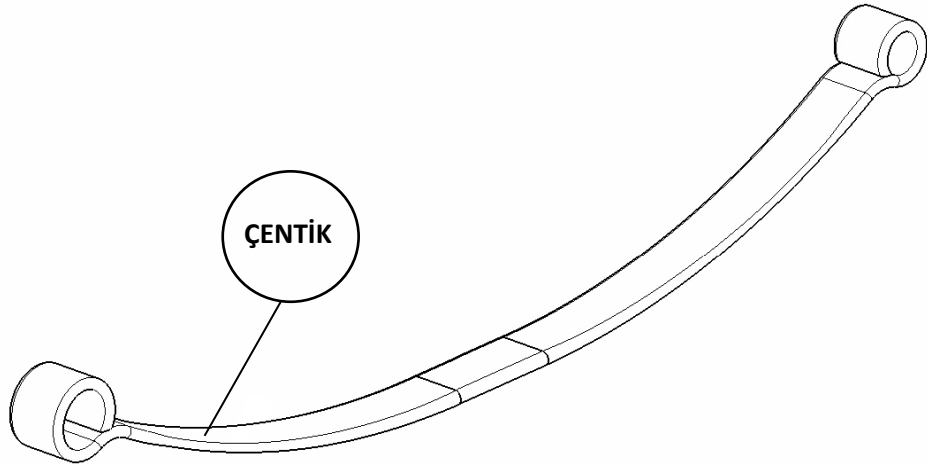
3.3. N-CODE Yorulma Ömür Analizlerinin Polimerik Kaplı Numune Yaprak Yaylarda Gerçek Ömür Testleri ile Doğrulanması

Gerçek yol şartları simule edilerek kaplamanın taş çarpma ve korozyon oluşumuna karşı dayanımının ömre olan etkisi gerçek testler ile gözlemlenmeden önce N-CODE yorulma ömür analiz programı ile kaplamanın yüzey kusuru örtme kabiliyeti ve bunun yorulma ömrüne olan etkisi incelenmiştir.

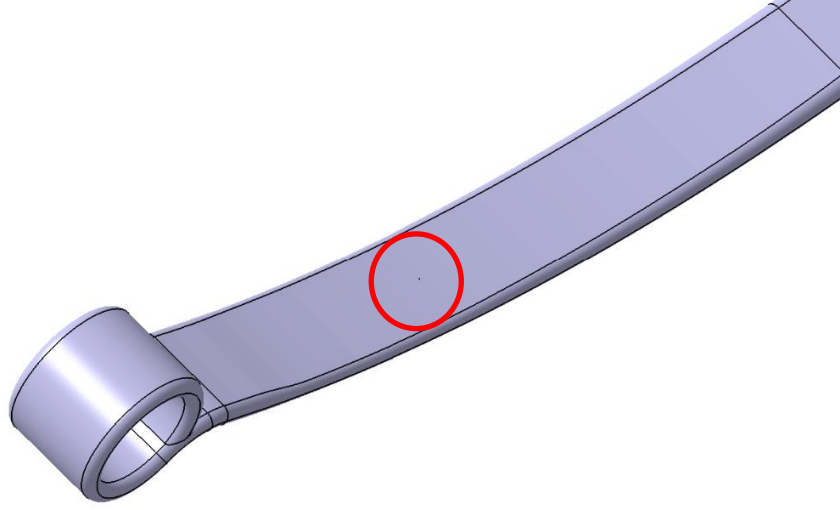
3.3.1. N-CODE Ömür Analizleri (SINIR ŞARTLARI-KG)

Şekil 3.17. ve Şekil 3.18. te görüldüğü gibi CAD programı ile çizimi yapılan ve iç yüzeyde 50µm derinliğinde çentik oluşturulan yaprak yayın yüzeyi Şekil 3.19. da ki gibi 1000µm kalınlığında polimer kaplanmıştır. Böylece çentik içi polimer ile doldurulmuştur [42].

Bu çalışmadaki amaç hasarın olduğu bölgeye binen yük (çentik oluşturulan bölge yaprak yayın tasarım olarak en fazla yüke maruz kalan bölgesi seçilmiştir) çatlak ilerlemesini hızlandıracağı için polimer kaplamanın bu bölgeyi doldurarak çentiğe gelen yükü yan yüzeyleri yayma davranışı ve hasarı geciktirme başarısının izlenmesidir.



Şekil 3.17. CAD çizimi ile yüzeyinde çentik oluşturulmuş tek katlı yaprak yay

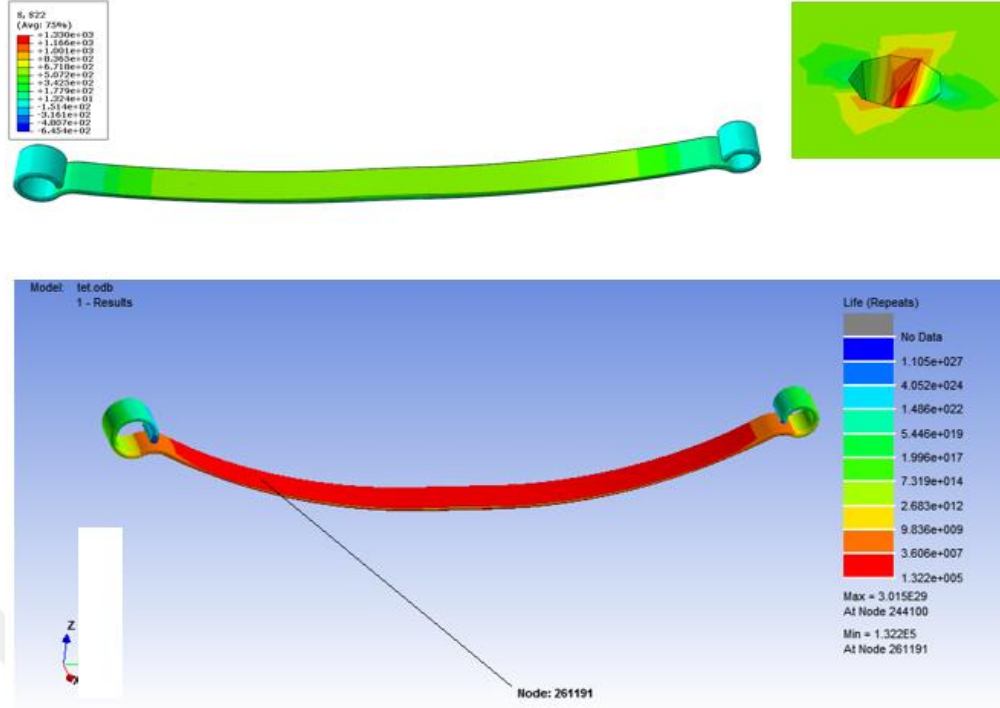


Şekil 3.18. İç yüzeyde çatlak görüntüsü

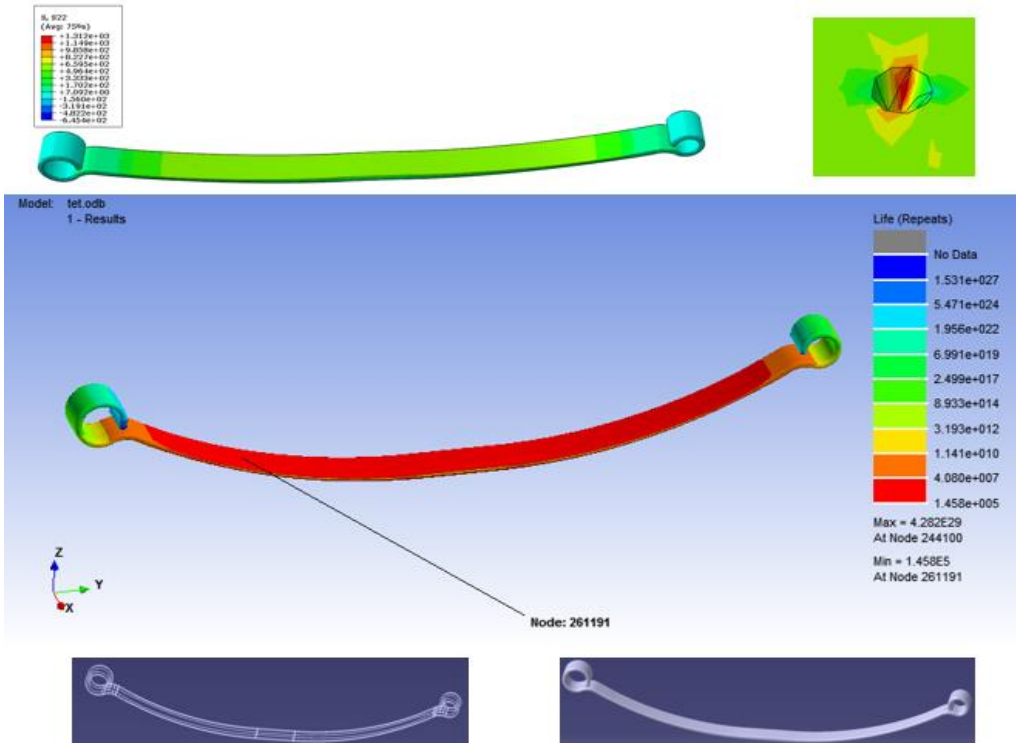


Şekil 3.19. Çatlağın içi ve yaprak yüzeyinin polimer kaplanmış şekli

N-CODE programı ile yüzeyinde polimerik kaplama uygulanan ve uygulanmayan çizimde çentik oluşturulmuş aynı özelliklere sahip iki yaprak yay test edilmiştir. Ömür test sonuçları Şekil 3.20. ve Şekil 3.21. de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.20. Polimerik kaplama uygulanmayan çentikli yaprak yaya ait ömür analizi (N-CODE)



Şekil 3.21. Polimerik kaplama uygulanan çentikli yaprak yaya ait ömür analizi (N-CODE)

N-Code programı ile ömür analizi yapılan polimerik kaplamalı ve kaplamasız çentikli yaprak yayların ömürleri Tablo 3.9. da verilmiştir.

Tablo 3.9. N-CODE yorulma ömür analiz sonuçları

Yaprak yay tipi	Cycle
Polimerik Kaplı	145000
Kaplamasız	132000

Yani yüzeyinde hasar oluşturulmuş (çentik) yaprak yay polimer malzeme ile kaplandığında ömrü %9,84 artmıştır. Bu artış gerçek yol şartları simule edilerek ömür testleriyle de incelenmiştir.

3.3.2. Polimerik Kaplı Numune Yaprak Yaylar ile Gerçek Yorulma Ömür Testleri

Son kat uygulaması olarak polimerik kaplamanın lokal uygulamalar açısından yüzey tutuculuğunun zayıf olduğu ancak parçanın tamamının kaplanması ile uygulanabilir olduğu sonucu elde edilmiştir.

Yaprak yayların yüzeyinde üretimden kaynaklı kusurların bulunması çentik etkisi yaratarak yorulma kırılmasının normalden önce başlamasına ve parça ömrünün ciddi oranda azalmasına sebep olmaktadır. N-Code analizleri ile görülen polimer kaplamanın ömre olan etkisi, beş adet numune (1, 2, 4, 6 ve 9 no' lu numuneler) üzerinde yapılan gerçek ömür testleri ile de gözlemlenmiştir. Elektro kaplama ve yaş boya üstü polimer son kat uygulaması yapılan parçalar ömür testine bağlanarak polimerik kaplamanın yüzey kusurlarını örterek çatlak ilerlemesini geciktirmedeki davranışı incelenmiştir.

Tablo 3.10. Polimerik kaplı numune yaprak yayların gerçek yorulma ömür testi sonuçları

Numune No	Kaplama	Min. Yük (kg)	Max. Yük (kg)	Çevrim Sayısı
1	Elektro Kaplama + Polimer	372 kg – 1464 kg		122.250
2	Yüzey İşlem + Polimer			110.562
4	Yaş Boya + Polimer			130.321
6	Yaş Boya + Polimer			135.214
9	Elektro Kaplama+Polimer			124.120
Ortalama Çevrim Sayısı				124.580

Tablo 3.10. da verilen yorulma ömür testleri sonucunda elde edilen verilere göre, son kat polimerik kaplamalı yaprak yaylar ile polimerik kaplamasız yaprak yayların ömürlerinde ciddi oranda fark görülmemiştir. Bu da demek oluyor ki; imalattan gelen yüzeydeki kusurların polimer malzeme ile doldurulması (kaplama) çatlak ucu koruyucu görevi yaparak çatlak ilerlemesini geciktirmekte önemli ölçüde etkili olmuyor.

Yapılan ömür testlerinden elde edilen bir diğer veri ise kaplama malzemesinin yaprak yay ile birlikte çalışabildiği, herhangi bir mekanik direnç oluşturmada yük-sehim oranını değiştirmediği sonucu olmuştur. Yaprak yaylar tipik yorulma kırılması prensibi ile kırılmıştır ve kaplama malzemesi kırılan yüzeyde kesilerek kopmuştur. Kaplama malzemesinin çalışmasında bir sorun gözlemlenmemiş olup yaprak yayın kırılması ile birlikte kırılan yüzeyden bıçak etkisi ile kopma meydana gelmiştir.

3.4. Polimerik Kaplı ve Elektro Kaplı Tek Katlı Yaprak Yaylarda Karşılaştırmalı Tahribatlı Testler

Şekil 3.24. te ki off-road araca ait görüntüdeki gibi araç altındaki yaprak yayın yolun özelliklerinden veya araçların kullanım amaçlarından dolayı yüzeyinde oluşabilecek darbelerin etkilerini simule etmek için bir taş çarpma düzeneği tasarlandı.



Şekil 3.22. Off-Road araçta yaprak yay çalışmasına örnek

Taş çarpma test düzeneğinin yüksekliği belirlenirken 80 km/saat hız ile seyir halindeki bir aracın tekerinden seken yaklaşık 20 gr. ağırlığında taşın dingil üzerinde yerden yaklaşık 1 metre yükseklikte monte edilmiş yaprak yaya çarpma karakteristiği referans alınmıştır. Şekil 3.25. te hesaplamalarda kullanılacak aracın tekerinden seken bir taşın yaprak yaya çarpma davranışı resmedilmiştir.



Şekil 3.23. Taş çarpma simülasyonu

$$m_{\text{taş}} = 25 \text{ gr.} = 0.025 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{taş}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{saat}} = 22,22 \text{ m/sn}$$

Yaprak yay yüzeyine çarpan taşın kinetik enerji hesabı;

$$EK_{\text{taş}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$EK_{\text{taş}} = \frac{1}{2} * 0.025 * 22,22^2 = 6,171 \text{ joule}$$

80 km/saat hız ile giden bir aracın tekerinden fırlayacak yaklaşık 25 gr. ağırlığındaki taşın yaprak yay yüzeyindeyken enerjisi yaklaşık 6,171 joule olacaktır. Kinetik enerjinin yarattığı hasarı laboratuvar şartlarında oluşturmak için serbest düşme

yöntemi kullanılmıştır. Aynı ağırlıkta bir taşın serbest düşme ile aynı enerjiyi yaratması için gerekli olan yükseklik şu şekildedir;

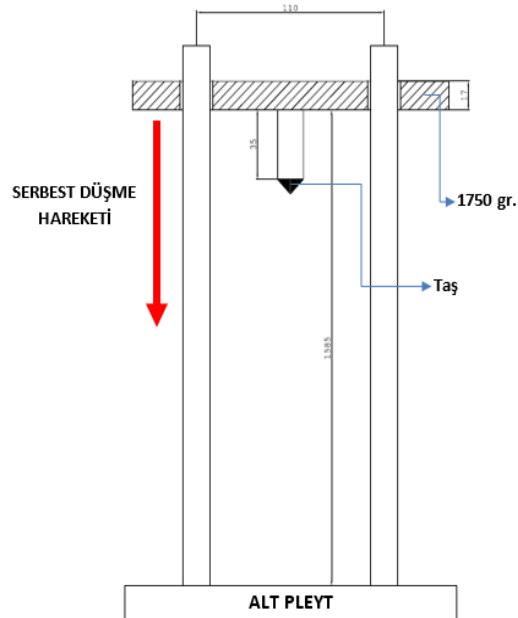
$$EK_{taş} = EP_{taş}$$

$$\frac{1}{2} m_{taş} v^2 = m_{taş} g h$$

$$h = \frac{6,171}{0,025 * 9,806} = 25,1748 \text{ m}$$

Kinetik enerji hesabı ile bulunan enerjinin aynı ağırlıktaki bir taş kullanılarak serbest düşme ile elde edilmesi için 25,1748 m yükseklikten taşın malzeme yüzeyine çarptırılması gerekmektedir. Bu da laboratuvar şartlarında mümkün olmadığından taşın bağlanacağı düzeneğin ağırlığı artırılarak yükseklik azaltılmıştır. Yaklaşık 1,5 metre yükseklikten 0,025 kg. ağırlığında bir taş kaç kg' lık düzenek ile bırakılırsa istenilen enerji elde edilebilir hesaplaması yapıldığında;

$$25,1748 = m * 9,806 * 1,5 \Rightarrow m = 1,711 \text{ kg.}$$



Şekil 3.24. Serbest düşme prensibi ile tasarlanan taş çarptırma düzeneği

Şekil 3.24. da ki tasarlanan düzenek yardımı ile 3 ve 8 numaralı numunelere Şekil 3.25. ve Şekil 3.26. te görüldüğü gibi aynı noktalardan taş çarptırılarak tuzlu sis testine (72 saat korozyon testi) tabi tutuldu.



Şekil 3.25. Elektro kaplama ve polimerik kaplı numunelerde taş çarptırma noktaları



Şekil 3.26. Taş çarptırma uygulaması

Yüzeylerinde belirlenen aynı noktalardan taş çarptırılan polimerik kaplı ve elektro kaplı numune yaprak yaylar tuzlu sis testine tabi tutulmadan önce atmosfer şartlarında (yağışlı ve nemli) 48 saat bekletildiler.



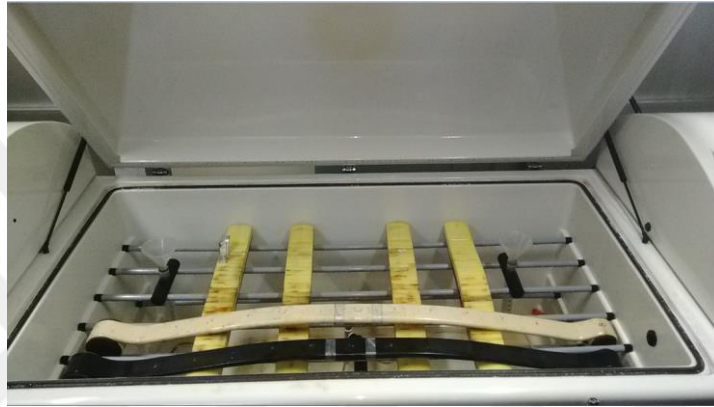
Şekil 3.27. Taş çarptırma sonrası atmosfer şartlarında bekletilen numuneler



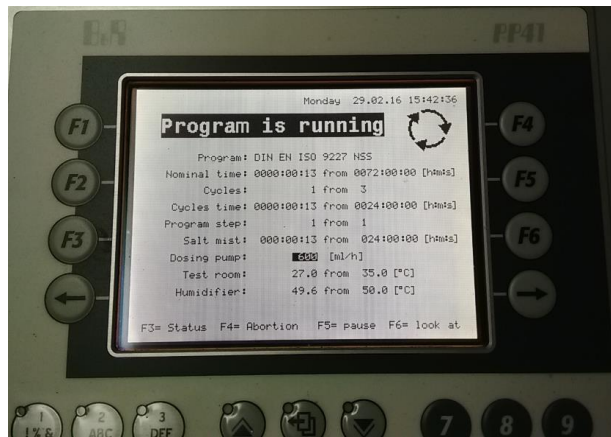
Şekil 3.28. Atmosfer şartlarında bekletilen yaprak yay yüzeylerinin 48 saat sonundaki yüzey durumları

Şekil 3.27. ve Şekil 3.28. ta görüldüğü gibi taş çarpma testinden sonra atmosfer şartlarında bekletilen elektro kaplı yaprak yayın taş çarptırılan noktalarında boya kalkması ve kırmızı pas görülürken polimer kaplı yaprak yayın taş çarptırılan yüzeylerinde kalkma ve kırmızı pasa rastlanmamıştır.

Daha sonra yaprak yaylar ASTM B117 standardında 72 saat tuzlu sis testine tabi tutulmuşlardır.

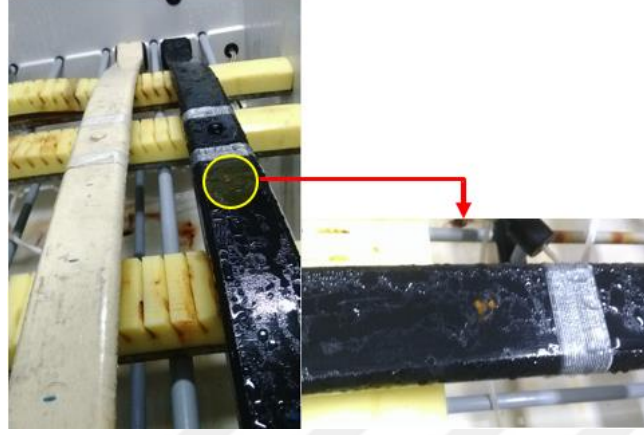


Şekil 3.29. Tuzlu sis banyosu



Şekil 3.30. Tuzlu sis testi programı

72 saat tuzlu sis testinden sonra yüzeyleri incelenen yaprak yaylardan elektro kaplı olanın yüzeyinde kırmızı pas akıntıları görülmüştür. Polimer kaplı yaprak yayın yüzeyinde ise herhangi bir paslanmaya rastlanmamıştır.



Şekil 3.31. Tuzlu sis testi (Korozyon Testi) sonrası elektro kaplamalı yaprak yay



Şekil 3.32. Tuzlu sis testi (Korozyon Testi) sonrası elektro kaplamalı ve polimer kaplı yaprak yayların yüzeyleri

Tahribatlı testlerden aynı şartlarda geçen tek katlı yaprak yaylar, tuzlu sis testinden sonrada aynı yükler altında yorulma ömür testine tabi tutulmuşlardır.

Şekil 3.33. te ki ömür testi ekranında görüldüğü gibi çalışma aralığı her iki yaprak yay için minimum 250 kg ile maksimum 2500 kg olarak belirlenmiştir ve bu değerler aralığında çalıştırılarak hasarlanmaya kadarki çevrimleri karşılaştırılmıştır.

Adın	Kuvvet Max. (kg)	Kuvvet Min. (kg)	Sehin Max. (mm)	Sehin Min. (mm)	Adet
1	2500	250	0.0	0.0	9000000
2	0	0	0.0	0.0	0
3	0	0	0.0	0.0	0
4	0	0	0.0	0.0	0
5	0	0	0.0	0.0	0
Toplam Dongü Sayısı ()					9000000

Akış Valfi Oranı(x) İlerleme		Yavaşlama Noktası Kuvvet(kg) Sehin(mm)		Basınç Valfi Oranı(x)
Yukarı	200	200	20.0	
Aşağı	200	200	20.0	
(kg) Test Stop (mm)		(kg) Hysteresis (mm)		
2650		200.0		50
				0.5

EBC-Çıkış

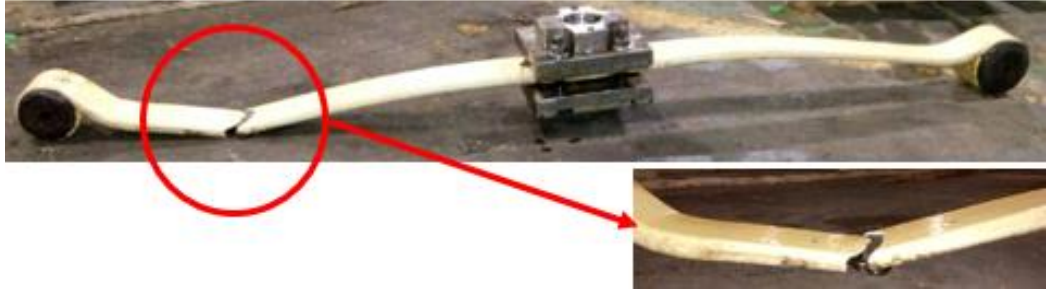
Şekil 3.33. Ömür testi ekranı



Şekil 3.34. Yorulma ömür testi

Tablo 3.11. Yorulma ömür Testi Sonuçları

Numune No	Kaplama Türü	Uygulanan Yük Aralığı	Ömür	Kırılma noktası
3	Elektro Kaplama	250-2500 kg.	46812 cycle	Taş çarpma noktası
8	Polimer Kaplama	250-2500 kg.	122212 cycle	Max. Gerilim noktası



Şekil 3.35. Hasarlı (Kırılan) polimer kaplı yaprak yay



Şekil 3.36. Hasarlı (Kırılan) elektro kaplamalı yaprak yay

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

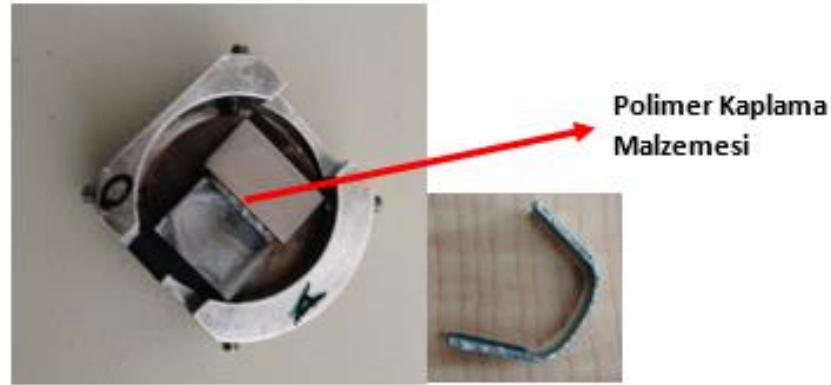
Elektro kaplama, yaş boya kaplama ve polimerik kaplama uygulanan numuneler ile kaplama testleri yapılmıştır. ISO 20567-1:2005 standardında yüzeylerine taş çarpma testi uygulanan numune lamalar ardından ASTM B117 standardında 72 saat tuzlu sis testine tabi tutulmuşlardır. Lamalardan elektro kaplı ve yaş boya kaplı lamaların yüzeylerinde kırmızı pas akıntısı görülürken polimerik kaplı numune lamada hasar ve pas akıntısı görülmemiştir. Elde edilen veriler ile karşılaştırma yapıldığında polimerik kaplamanın piyasada yaprak yüzeylerine uygulanan diğer kaplamalara göre taş çarpma dirençlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Polimerik kaplamanın yüzey kusurlarını kapatma ve çatlak ilerlemesini geciktirmedeki davranışı N-Code analizleri ile de incelenmiştir. Yüzeylerinde aynı noktalarda 50µm derinliğinde çentik oluşturulan iki adet tek katlı yaprak yayın birisinin yüzeyi kaplanmamış diğerinin ise yüzeyi 1000 µm kalınlığında polimer malzeme ile kaplanmıştır. Aynı özelliklere sahip sadece kaplamaları farklı iki yaprak yaya N-Code yorulma ömür testi analizi uygulanmış olup çentikli yaprak yaya polimer kaplama uygulaması ömre teorik olarak yaklaşık %9,84 olumlu etki sağlamıştır. Tablo 3.9. da N-Code yorulma ömür analizlerine ait sonuçlar verilmiştir.

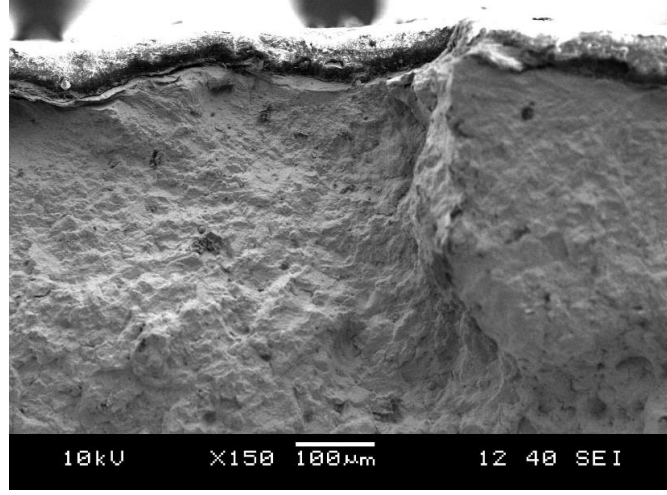
Piyasada uygulanan kaplamaların kalınlığı maksimum 150 µm civarında iken, polimerik kaplamanın kalınlığı bazı noktalarda 1300 µm a kadar çıkabilmektedir. Bu kalınlık farkı nedeni ile yaprak yay rate (yük/sehim) oranlarında değişiklik oluşturma durumu rate testleri ile gözlemlendi. Yük-Sehim oranı değerleri ile yük-sehim oran değerleri ile oluşturulan Şekil 3.15. ve Şekil 3.16. da ki diyagramlarda görüldüğü gibi polimerik kaplamanın tek katlı yaprak yayın yük-sehim oranına etkisi olmamaktadır.

Yük-Sehim oranlarında değişikliğe neden olmayan polimerik kaplama uygulamasının, malzeme yüzeyinde imalat esnasında oluşan mikro seviyedeki kusurları doldurarak, çentik etkilerini azaltıp yorulma kırılmasının ikinci aşaması olan çatlak ilerlemesini geciktirmedeki başarısı polimerik kaplama uygulanan 5 adet

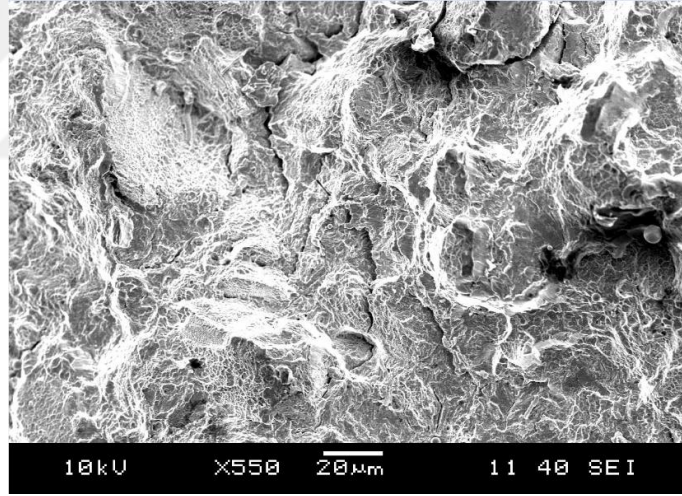
numune yaprak yaylara uygulanan ömür testlerinden elde edilen sonuçlar ile gözlemlenmiştir. Yay yorulma ömür testleri ile gözlemlenen bir diğer özellik polimerik kaplamanın yüzeyden yırtılma direncidir. N-Code programında analizleri yapılan polimerik kaplamanın yüzey kusurlarını kapatarak çatlak ilerlemesini geciktirmedeki davranışı gerçek test çalışmaları ile de gözlemlenmiş ve polimerik kaplı yaprak yayların ömür testlerinde oluşan hasar Tablo 3.10. da görüldüğü gibi ortalama 124586 cycle 'da gerçekleşmiştir. Aynı tasarıma sahip kaplaması farklı yaprak yayların tasarımsal olarak beklenen yorulma ömür çevrimlerinin de yaklaşık bu değerlerde olması nedeni ile polimerik kaplamanın çatlak ilerlemesine direkt etki etmediği belirlenmiştir. Yorulma ömür testi sonunda hasarlanan 4 numaralı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyinden ve polimer malzeme yüzeyinden Şekil 4.1. de görüldüğü gibi SEM analizi için parçalar hazırlanarak incelenmiştir.



Şekil 4.1. Numune 4 ün hasarlı yüzeyinden SEM analizi için hazırlanan parçalar



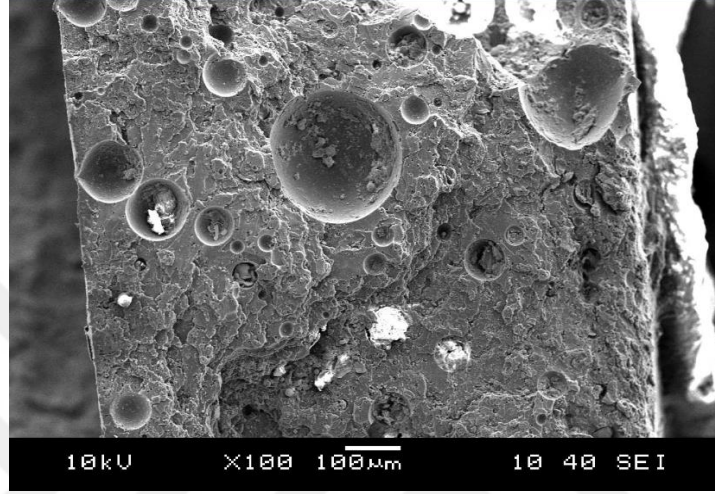
Şekil 4.2. Numune 4 ün kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (x150)



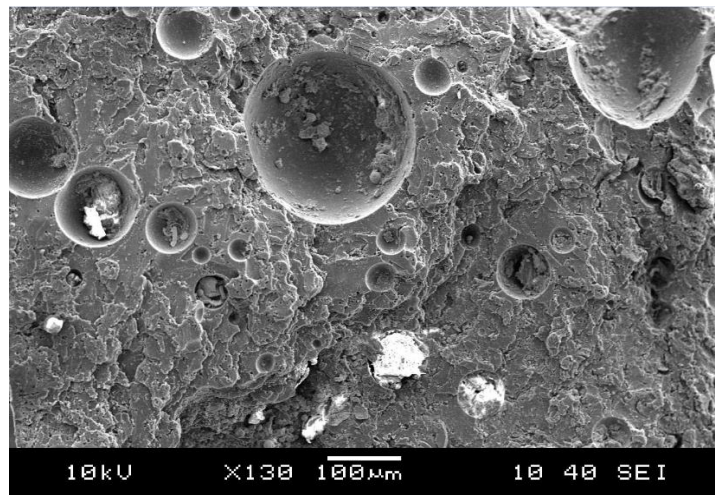
Şekil 4.3. Numune 4 ün kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (x550)

4 numaralı numunenin kırılma yüzeyindeki hasar malzeme laboratuvarında SEM analizleri ile incelendiğinde Şekil 4.2. ve Şekil 4.3. de görüldüğü gibi hasarın yüzeyden başladığı ve tipik bir malzeme yorulma kırılması ile oluştuğu görüldü. Şekil 4.4. ve Şekil 4.5. de ki kaplamanın yaprak yayın kırılan yüzey tarafından alınan

parçalarının SEM görüntülerinden anlaşıldığı gibi hasara uğrayan yaprak yayın kırılan yüzeyi sanki bir bıçak etkisi yaratarak kaplamayı yırttığı görüldü. Bu çalışmada polimer kaplama işleminde yaprak yay ömrüne yüzey kaplama yönüyle direkt bir pozitif etkisi görülemedi.



Şekil 4.4. Polimer kaplama kopma yüzeyi SEM görüntüsü (x100)



Şekil 4.5. Polimer kaplama kopma yüzeyi SEM görüntüsü (x130)

1000 μm kalınlığındaki polimerik kaplamanın yaprak yayın tasarımsal yük-sehim oranına etki etmediği ve polimerik kaplama ile yaprak yayın birlikte çalıştığı testler ile görülmüştü. Kaplama testleri ile ispatlanan polimerik kaplamanın taş çarpma ve korozyon testlerindeki üstün performansı gerçek yol şartları simule edilerek yaprak yayın yorulma mrlarına olan etkisi gözlemlenmiştir.

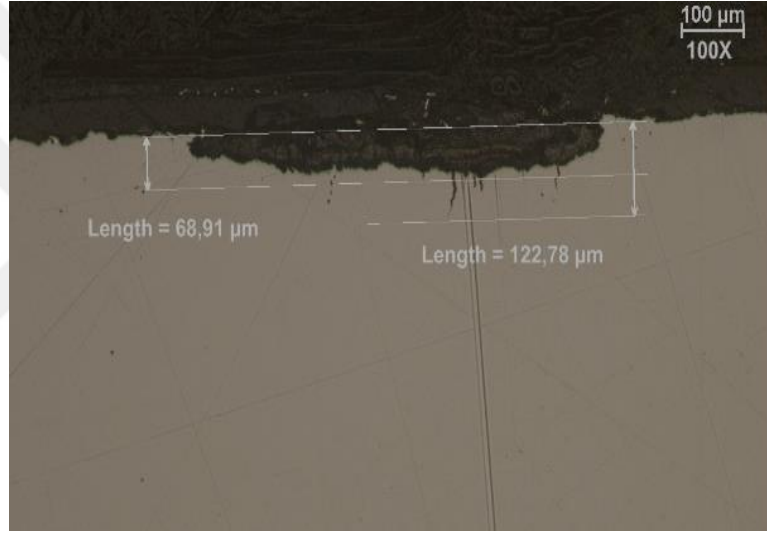
Gerçek yol şartlarında yaprak yayların çalışma koşulları göz önünde bulundurularak yapılan deneysel çalışmalarda karşılaştırmalı testlere tabi tutulmak üzere iki adet numune yaprak yay üretilmiştir. Bu yaprak yayların tüm üretim proses parametreleri aynıdır ve kalite ölçümleri birbirlerine çok yakındır. Numune yaprak yaylardaki tek fark yüzey kaplama uygulamalarıdır. Birinci numunede; yay yüzeyine piyasada uygulanmakta olan elektro kaplama işlemi yapıldı. Kaplama ncesi yay yüzeyi $R_z=45-60 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğünde elik bilyalı dövme (kumlama) işlemine tabi tutuldu. Diğer numunede; $R_z=45-60 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğünde elik bilyalı dövme (kumlama) işleminden sonra yüzeyine polimerik kaplama uygulanmıştır.

Birine polimerik kaplama diğerine elektro kaplama uygulanan tek katlı numune yaprak yayların yüzeylerine aynı noktalardan ve aynı enerjide taş çarpıldı. Serbest düşme prensibi ile tasarlanan taş arpıtırma düzeneği ile aynı enerjide arpıtırılan 3 ve 8 numaralı numunelere ardından ASTM B117 standardında 72 saat tuzlu sis testi uygulandı. Yaprak yaylar daha sonra gerçek yorulma ömür testine tabi tutuldular. Yapılan mr testleri tamamen aynı yük değerleri altında ve aynı ortam şartlarında gerçekleştirildi.

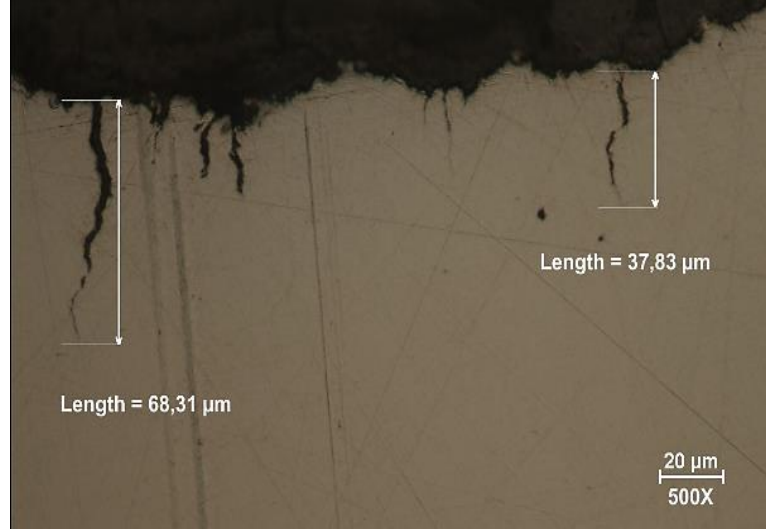
Yapılan bu test çalışmasında, yüzeyine elektro kaplama uygulanan 3 numaralı numune yaprak yayda yorulma hasarı 46812 cycle' da gerçekleşti. Hasarlanan yüzeye ait makro görüntü şekil 4.6. da verilmiştir. şekil 4.7 ve şekil 4.8. de ki hasarlı yüzeye ait mikro görüntülerden anlaşıldığı üzere, yüzeydeki boya hasarı ile oluşan korozyonun tuzlu sis testinde noktasal kırmızı pas şeklinde ilerlediği ve yorulmanın erken başlayarak henüz parça ömrünü tamamlamaya fırsat bulmadan hasarlanmış olduğu gözlendi. Yani parçanın yük altında korozyon hasarı (stress corrosion) ile yorulmanın hızlanmış olduğu ve ömrünü erken tamamladığı görüldü.



Şekil 4.6. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait makro görüntü



Şekil 4.7. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü

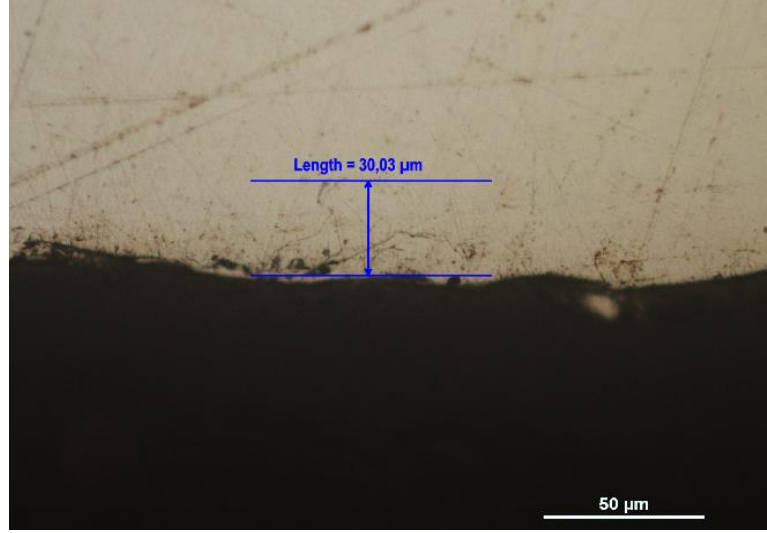


Şekil 4.8. Elektro kaplamalı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü

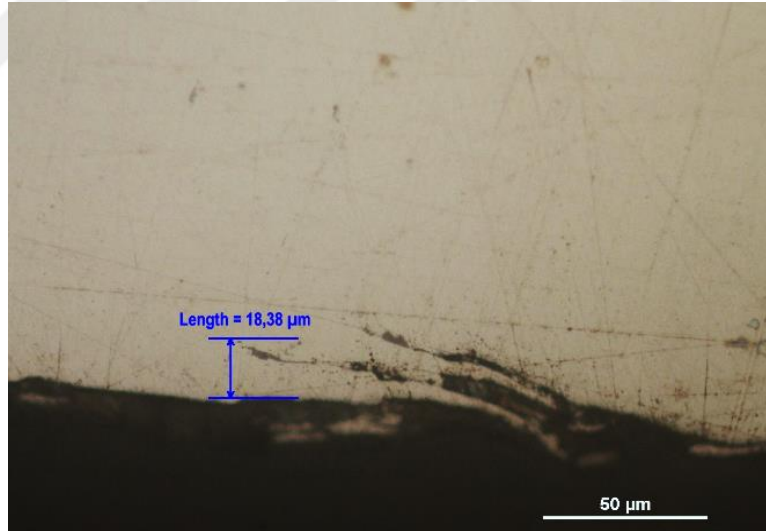
Yüzeyine polimerik kaplama uygulanan 8 numaralı numune tek katlı yaprak yayında yüzeyine aynı şartlarda taş çarpma ve sonrasında ASTM B117 standardında 72 saat tuz testi uygulandı. Daha sonra elektro kaplı numune ile aynı şartlarda yorulma testine tabii tutuldu. Test sonucunda parçanın 122251 cycle da hasarlandığı ve yorulma analizi yapıldığında parçanın test şartlarında malzeme yorulma dayanımını tamamlayarak hasarlandığı tespit edildi. Şekil 4.9. de makro görüntüsü verilen polimerik kaplamalı numunenin hasarlı yüzeyinde yorulma halkaları görülmektedir. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11. de ki hasarlı yüzeye ait mikro görüntülerde herhangi bir korozyona rastlanmamıştır.



Şekil 4.9. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait makro görüntü



Şekil 4.10. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü



Şekil 4.11. Polimerik kaplı numune yaprak yayın hasarlı yüzeyine ait mikro görüntü

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

➤ Laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen standart taş çarpma ve tuzlu sis testleri için hazırlanan numunelere üç farklı kaplama (elektro kaplama, yağ boya ve polimerik kaplama) uygulanmıştır. ISO 20567-1:2005 standardında taş çarpma ve ASTM B117 standardında tuzlu sis testlerine tabi tutulan numunelerin yüzeyleri incelendiğinde, elektro kaplamalı ve yağ boya kaplamalı numunelerde korozyon oluşumu görülürken, polimerik kaplama uygulanan numunenin yüzeyinde herhangi bir korozyon oluşumu görülmemiştir.

➤ Yaklaşık 1000 µm kalınlıklarda uygulanan polimerik kaplamanın yaprak yayda mekanik zorlamalara neden olarak tasarımsal yük-sehim oranlarında değişikliğe neden olup olmadığı polimerik kaplı ve elektro kaplı yaprak yayların yük-sehim ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda polimerik kaplamanın yük-sehim oranlarını değiştirmedeği ve tasarımsal bir değişikliğe gidilmeden ürünlere uygulanabilirliği tespit edilmiştir.

➤ Yaprak yayların yüzeylerinde üretimden gelen kusurların polimer kaplama ile doldurularak çatlak ilerlemesini geciktirme ve ömre olan etkisi N CODE programında analiz yapılarak incelenmiştir. Yüzeyinde 50 µm derinliğinde çentik oluşturulan ve 1000 µm kalınlığında polimer kaplanan tek katlı yaprak yay ile yüzeyinde 50 µm derinliğinde çentik oluşturulmuş standart ürün yorulma testi analizleri yapılarak ömürleri karşılaştırdı. Polimerik kaplama uygulanan yaprak yayın % 9,84 daha fazla ömre sahip olduğu görüldü.

➤ Yaprak yaylarda kaplama türünün değiştirilmesi ile ömürlerdeki değişim gerçek yorulma ömür testleri ile incelenmiştir. Polimerik kaplama uygulanan numune yaprak yayların ömürleri ile tasarımsal olarak istenen ömürler arasında bir fark tespit

edilmemiştir. Yapılan testler sonucunda kaplamanın ömre direkt bir etkisi olmadığı sonucuna varıldı. Bu çalışmada hedef olarak gerçek yol şartlarında kaplamanın çatlak oluşumunun etkisini azaltarak korozyon oluşumunu geciktirme ve ömrü arttırmadaki etkisi belirlenmiştir.

➤ Üretimleri yapılan iki adet tek katlı yaprak yayın birine polimerik kaplama diğerine elektro kaplama uygulanarak aynı noktalardan aynı enerji ile serbest düşme prensibiyle tasarlanan düzenek kullanılarak taşlar çarptırıldı ve ardından tuzlu sis testine tabii tutuldular. Tuzlu sis testinin ardından aynı yükleme değerleri (250-2500 kg.) ile yorulma ömür testine tabii tutulmuşlardır. Polimerik kaplı numunenin yaklaşık % 300 daha fazla ömre sahip olduğu görülmüştür.

➤ Hasarlı yaprak yayların SEM incelemeleri sonucunda elektro kaplama uygulanan numunenin yüzeyinde korozyon oluşumu ve tipik korozyon kırılması görüldü. Polimerik kaplama uygulanan numune yaprak yayın yüzeyinde korozyon oluşumuna rastlanmadı ve hasarın tipik yorulma kırılması ile oluştuğu görüldü.

➤ Alternatif kaplamalar araştırılmalı ve gerçek yol şartları simule edilerek yapılan deneysel çalışmalarda kaplamanın ömür artışına olan etkisi ile kaplama maliyetinin optimize edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Corvi, A. A preliminary approach to composite beam design using FEM analysis. *Composite structures*. 1990, 16.1, 259-275.
- [2] Uzgider, E., Çağlayan, B., Kaya, H. Gerçek boyutlu çelik köprü elemanlarının yorulma testi ve artık yorulma ömrü tespiti. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. 2005, 436, 63-70.
- [3] Çağlayan, O., Uzgider, E., Ozakgul, K., & Kaya, H. Fatigue Life Prediction Studies for Existing Railway Bridges. In *First International Conference on Fatigue and Fracture in the Infrastructure. Bridges and Structures of the 21st Century*. 2006
- [4] Fisher, JM., Van de Pas, JP. New fatigue provisions for the design of crane runway girders. *AISC, Engineering Journal, Second Quarter*. 2002, 29(2), 65-73.
- [5] Machacek, J., Tuma, M. Fatigue life of girders with undulating webs. *Journal of Constructional Steel Research*. 2006, 168, 62-77.
- [6] Kuwamura, H., Hanzawa, M. Inspection and repair of fatigue cracks in crane runway girders. *Journal of Structural Engineering, ASCE*. 1987, 113(11), 2181_94.
- [7] Demo, D.A., Fisher, J.W. Analysis of fatigue of welded crane runway girders. *Journal of the Structural Division. ASCE*. 1976, 102(5):919, 33.
- [8] Pelloux, R.M. Case studies of fatigue failures in aeronautical structures. In. *Proceeding of Conference Fatigue 93, Montreal*. 1993, 1727–37.
- [9] Peres, M.P. Voorwald HJC. Effect of cadmium deposition on fatigue strength of 4340 steel. *Proceedings of Fatigue-Berlin 96*. 1996, 1421–6.
- [10] Los Rios, E.R. et al. Fatigue crack initiation and propagation on shot-peened surfaces in A316 stainless steel. *Int J Fatigue*. 1995, 17(7):493–9.
- [11] Diepart, C.P. Modeling of shot peening residual stresses. Practical applications. *Mater Sci Forum*. 1994;163-165:457–64.
- [12] Schiffner, K., Helling, C.D. Simulation of residual stresses by shot peening. *Comp Struct*. 1999;72:329–40.
- [13] Li JK, Zhang R, Yao M. Computer simulation of residual stress field introduced by shot peening. *ICRS3*. 1991;1284–89.
- [14] Belassel, M., “Residual Stress Measurement using X-Ray Diffraction Techniques, G degradation on fatigue and fracture behaviour. *Mater. Des*. 1994, 14(3):175±82.

- [15] Anderoglu, O. Residual stress measurement using X-ray diffraction. PhD Thesis. Texas A&M University. 2005.
- [16] Torres, M.A.S., Voorwald, H. J.C. An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel. *International Journal of Fatigue*. 2002, 24(8), 877-886.
- [17] Sasahara, H. The effect on fatigue life of residual stress and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0.45% C steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2005, 45(2), 131-136.
- [18] Farrahi, G. H., Lebrijn, J. L., & Couratin, D. Effect of shot peening on residual stress and fatigue life of a spring steel. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 1995, 18(2), 211-220.
- [19] Faraahi, G.H., Lebrun, J.L. Couratin D. Effect of shot peening on residual stress and fatigue life of a spring steel. *Fatigue Fract Eng Mater Struct*. 1995, 18(2):211 20.
- [20] Ritchie, R.O. Mechanisms of fatigue crack propagation in metals, ceramics and composites: role of crack tip shielding. *Materials Science and Engineering*. 1988, 103(1), 15-28.
- [21] Becker, K., et al. The effect of surface degradation on fatigue and fracture behaviour. *Materials & Design*, 1993, 14.3: 175-182.
- [22] Rokhlin, S. I., et al. Effect of pitting corrosion on fatigue crack initiation and fatigue life. *Engineering Fracture Mechanics*, 1999, 62.4: 425-444.
- [23] Bautista, A. Filiform corrosion in polymer-coated metals. *Progress in Organic Coatings*. 1996, 28.1: 49-58.
- [24] Grundmeier, G.; SIMÕES, Alda. Corrosion protection by organic coatings. *Encyclopedia of electrochemistry*, 2003.
- [25] Kamal, M.; Rahman, M. M.; Rahman, A. G. A. Fatigue life evaluation of suspension knuckle using multi body simulation technique. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*. 2012, 3.1: 291-300.
- [26] Dassault Systems, 1998, "CATIA V4 Manuals," IBM CATIA Training Center.
- [27] Howard, R. L.; Lyon, S. B.; Scantlebury, J. D. Accelerated tests for the prediction of cut-edge corrosion of coil-coated architectural cladding: Part I: cyclic cabinet salt spray. *Progress in Organic Coatings*. 1999, 37.1: 91-98.
- [28] Manual on design and application of leaf springs, SAE International, 978-0-89883-383-6, 1980.
- [29] <http://www.yilmazlarcelik.com/>
- [30] <http://www.hascelik.com/tr/celik-hakkinda/yay-celikleri/74>

- [31] Method of making taper leaf springs. U.S. Patent No 3,345,727, 1967.
- [32] Şeker U., Gazi Üniversitesi Ders Notları, Mak-303, Bölüm-12-13-14
- [33] YU, Won-Jae; KIM, Ho-Chul. Double tapered FRP beam for automotive suspension leaf spring. Composite structures, 1988, 9.4: 279-300.
- [34] Rahman, M. A.; Design and non-linear analysis of a parabolic leaf spring. Journal of Mechanical Engineering. 2007, 37: 47-51.
- [35] Savaş Biber, Parabolik (yaprak) yay üretiminde hidrolik oransal servo uygulamalar/Rota Teknik A.Ş.
- [36] Malzeme biliminin fiziksel temelleri/martenzit dönüşümünün atom düzeyindeki işleyişi, Mühendishane.org
- [37] Mukhopadhyay, N. K., et al. Premature Failure of a leaf spring due to improper materials processing. Engineering Failure Analysis. 1997, 4.3: 161-170.
- [38] Totten, George E., ed. Steel heat treatment: metallurgy and technologies. CRC press, 2006.
- [39] Bush, John J.; Mattson, Raymond L.; George, Roberts James. Shot peening treatments. U.S. Patent No 3,073,022, 1963.
- [40] Yelbay H.; Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümündeki gelişmeler. ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg. Merkezi, Ankara
- [41] Lu, J.; James, M. R. others. Handbook of Measurement of Residual Stresses. Society for Experimental. Inc., Edited by Jian Lu, 1996.
- [42] Altpeter, I., et al. Micro-magnetic evaluation of micro residual stresses of the IInd and IIIrd order. NDT & E International. 2009, 42.4: 283-290.
- [43] Yu, M. T., et al. The effect of compressive peak stress on fatigue behaviour. International Journal of Fatigue. 1986, 8.1: 9-15.
- [44] MEB, (2000), Metal Meslek Bilgisi, 2. Basım, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, ISBN 975-11-1008-4
- [45] Line-X _ XS-350 Sell Sheet
- [46] Line-X _ XS-350 TDS
- [47] Ramamurthy, A. C.; Lorenzen, W. I.; Bless, S. J. Stone impact damage to automotive paint finishes: an introduction to impact physics and impact induced corrosion. Progress in organic coatings. 1994, 25.1: 43-71.
- [48] Skerry, B. S.; Simpson, C. H. Corrosion and weathering of paints for atmospheric corrosion control. Corrosion, 1993, 49.8: 663-674.



Mehmet Berk GÜNAY

E-mail : berk.gunay@outlook.com
Phone (Home) : (+9) 0 236 234 85 46
Phone (Mobile) : (+9) 0 506 837 38 47
Address : Peker mah. 1705 sok. no:26/10 Şehzadeler-MANİSA

PERSONAL INFORMATION

Gender : Male
Date of Birth : 05.07.1990
Birth Palace : Zonguldak
Marital Status : Single
Nationalty : T.C.
Driver License : Class B
Militart Obligation : Done

EDUCATION

Master Education : Celal Bayar University (Mechanical Engineering)
(2014 - 2016)
University : Celal Bayar University (Mechanical Engineering)
(2011- 2014)
University : Szeged University (Mechanical Engineering – Erasmus
Student Exchange Programme) (2012-2013)
University : Turkish Air Force Academy (Aerospace Engineering)
(2008-2011)
High School : Maltepe Military High School (2004-2008)

WORK EXPERIENCE

- **Olgun Çelik A.Ş.** Production Engineer
(01.07.2014 – still working)
- **İmplant Döküm A.Ş.** Summer Intern (Mechanical Engineering)
(01.08.2012-05.09.2013)

Job Defination: Drawing the technical drawings, testing and quality controls of productions, watch on site to molding process and gathering the information about materials, metal cutting and machining

- **İnci Akü** Voluntary Intern (Mechanical Engineering - R&D)
(29.04.2014 – 27.06.2014)
- **İnci Akü** Summer Intern (Mechanical Engineering)
(16.08.2013-13.09.2013)

Job Defination: Testing and quality control of productions, maintenance, translating the technical documents

FOREIGN LANGUAGE

English (high-intermediate)

Hungarian (beginner)

CERTIFICATIONS and COURSES

- ISO 9001:2008 DOCUMENTATION
- ISO 16946 İç Denetçi Eğitimi
- ISO 27001 İç Denetçi Eğitimi
- ISO 9001:2015 DOCUMENTATION (TSE)
- MSA
- 8D
- FMEA, PPAP & APQP
- CE MARKING
- ISO 10002
- ISO 19011 DOCUMENTATION
- STRATEGIC MANAGEMENT
- Zwick BT1-FB050TN.D30 TestXpert II program
- 5S Prensibi (Elginkan vakfı)
- Lean Production (Yalın Enstitü)
- Kaizen (Yalın Enstitü)
- Problem Çözme Teknikleri (Yalın Enstitü)

- VSM - Değer Akış Haritalandırma (Yalın Enstitü)

LOCATED COUNTRIES

HUNGARY
GERMANY
POLAND
NETHERLAND
BELGIUM
AUSTRIA
CZECH REPUBLIC
SERBIA
UKRAINE

