

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

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

**50CrV4 ÇELİĞİN YÜZEYİNDE OLUŞTURULAN YAPAY YÜZEY
KUSURLARINA BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Fatih BARIŞ

**Danışman
Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU**



MANİSA-2020

TEZ ONAYI

Fatih Barış tarafından hazırlanan " **50CrV4 Çeliğın Yüzeyinde Oluşturulan Yapay Yüzey Kusurlarına Bilyalı Dövme İşleminin Etkilerinin İncelenmesi**" adlı tez çalışması 27/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN
Dokuz Eylül Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Simge İRİZALP
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa 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.

Fatih BARIŞ



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| İÇİNDEKİLER | I |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | IV |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | V |
| TABLO DİZİNİ | IX |
| TEŞEKKÜR..... | X |
| ÖZET | XI |
| ABSTRACT..... | XII |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| | |
| 2. YÜZEY İŞLEMLERİ | 2 |
| 2.1. Isıl Yüzey İşlemleri | 2 |
| 2.2. Mekanik Yüzey İşlemleri | 3 |
| 2.2.1. Bilyalı Dövme işlemleri..... | 3 |
| 2.2.2. Aşırı Bilyalı Dövme İşlemi | 3 |
| 2.2.3. Lazerli Dövme İşlemi | 4 |
| 2.2.4. Ultrasonik Dövme İşlemi | 4 |
| 2.2.5 Sulu Dövme | 5 |
| 2.2.5 Kanatlı Dövme | 5 |
| 2.3. Isıl-Mekanik Yüzey İşlemleri | 5 |
| | |
| 3 KALINTI GERİLMELER | 6 |
| 3.1. Tahribatlı kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemleri | 8 |
| 3.1.1. Tabaka Kaldırma Yöntemi..... | 8 |
| 3.1.2. Delik delme Yöntemi | 9 |
| 3.1.3. Halka Çekirdek Yöntemi..... | 10 |
| 3.1.4. Kanal Açma Yöntemi..... | 10 |
| 3.1.5. Kesit Profili Ölçme Yöntemi | 10 |
| 3.1.6. İnce Kesitlere Yöntemi | 11 |
| 3.2. Tahribatsız Kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemleri | 11 |
| 3.2.1. Kırınım Yöntemleri | 12 |
| 3.2.1.1 X-ışını Kırınımı Yöntemi..... | 12 |
| 3.2.1.2 Şiddetli X-ışını Kırınımı | 12 |
| 3.2.1.2 Nötron Kırınımı..... | 13 |
| 3.2.2. Ultrasonik Yöntemler..... | 13 |
| 3.2.3. Manyetik Yöntemler | 13 |
| 3.2.4. Termoelastik Yöntemler..... | 13 |
| | |
| 4. BİLYALI DÖVME İŞLEMİ | 13 |
| 4.1. Bilyalı Dövme işleminin Amacı | 16 |
| 4.2. Bilyalı Dövme Makinaları | 19 |
| 4.3. Bilyalı Dövme İşlem Parametreleri | 20 |
| 4.3.1 Bilya Çapı ve Malzemesi | 20 |
| 4.3.2 Püskürtme Debisi | 21 |
| 4.3.3 Püskürtme Basıncı | 21 |
| 4.3.4 Püskürtme Mesafesi | 21 |
| 4.3.5 Püskürtme Açısı | 21 |
| 4.3.6 Test Şeridi | 21 |

| | |
|--|----|
| 4.4. Bilyalı Dövme Prosesinin Uygulama Alanları | 22 |
| 5. YORULMA | 23 |
| 5.1. Yorulma Prosesi | 25 |
| 5.1.1. Çatlak Başlangıcı | 25 |
| 5.1.2. Çatlak İlerlemesi | 25 |
| 5.1.3. Nihai Kırılma | 26 |
| 5.2. Farklı Yükleme koşullarında Yorulma Gerilmeleri | 26 |
| 5.2.1. Tam Değişken Yükleme | 27 |
| 5.2.2. Çekme Basma Yüklemesi | 27 |
| 5.2.3. Tekrarlanan Gerilme | 27 |
| 5.2.4. Alternatif Gerilme | 28 |
| 5.3. S-N Diyagramı (Wöhler Diyagramı) | 28 |
| 5.3.1. Yorulma Ömrü | 28 |
| 6. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI | 29 |
| 7. MATERYAL VE YÖNTEMLER | 33 |
| 7.1. Materyel | 33 |
| 7.2. Yöntemler | 33 |
| 7.2.1. Numunelerin Isıl İşlemi | 33 |
| 7.2.2. Yıkama Yağlama | 34 |
| 7.2.3. Temperleme | 35 |
| 7.2.4. Polisaj | 36 |
| 7.2.5. Yüzey Kusuru Oluşturulması | 37 |
| 7.2.6. Bilyalı Dövme | 40 |
| 7.2.7. Yorulma Testleri | 41 |
| 7.2.8. Test ve Analizler | 43 |
| 7.2.8.1. Penetran Sıvı Testi | 43 |
| 7.2.8.2. Mikro Yapı İncelemesi | 47 |
| 7.2.8.3. Mikro Sertlik Ölçümü | 48 |
| 7.2.8.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri | 49 |
| 7.2.8.5. SEM/EDS İncelemeleri | 49 |
| 8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA | 51 |
| 8.1. Penetran Sıvı | 51 |
| 8.2. Mikro Yapı İncelemesi | 54 |
| 8.3. Sertlik Ölçümleri | 57 |
| 8.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri | 58 |
| 8.5. Yorulma Testleri | 59 |
| 8.5.1. Boydan Delik ve Boydan Çizik Numunelerin Yorulma Dayanımlarının Karşılaştırılması | 59 |
| 8.5.2. Farklı Derinliklerde ve Farklı Açılarda oluşan kusurların Etkilerinin İncelenmesi | 62 |

| | |
|---------------------------|----|
| 9. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 66 |
| KAYNAKLAR | 68 |
| ÖZGEÇMİŞ | 75 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------------|--|
| XRD | X-Işının Kırınım Yöntemi |
| AMS | Çelik standartları |
| TS MAX | Maksimum çekme gerilmesi |
| CS MAX | Maksimum basma gerilmesi |
| SP | Shot Peened (Bilyalı dövülmüş) |
| USP | Un-Shot Peened (Bilyalı dövülmemiş) |
| S | Yer değiştirme (mm) |
| σ_a | Gerilme Genliği |
| σ_{max} | En yüksek çevrimsel yüklemdeki gerilme |
| σ_{min} | Çevrimsel yükleme esnasında meydana gelen en düşük gerilme |
| d | Çap |
| h | Derinlik |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. Yüzey Sertleştirme [3]..... | 2 |
| Şekil 2.2. Aşırı bilyalı dövme işlemi [9]..... | 3 |
| Şekil 2.3. Lazerler dövme İşlemi[10]..... | 4 |
| Şekil 2.4. Ultrasonik dövme İşlemi [12]. | 4 |
| Şekil 2.5. Kanatlı dövme İşlemi [13].. | 5 |
| Şekil 3.1. Kalıntı gerilme ölçüm yöntemleri[24]... .. | 8 |
| Şekil 3.2. Numunedeki gerilme dağılımı. | 9 |
| Şekil 3.3. Delik delme yöntemi (a) ve halka çekirdek yöntemi (b) [27]. | 9 |
| Şekil 3.4. Kanal açma yöntemi | 10 |
| Şekil 3.5. Kesit profili ölçme yöntemi. | 11 |
| Şekil 3.6. İnce kesitlere ayırma yöntemi[26]..... | 11 |
| Şekil 3.7. X ışını kırınım yöntemi [31]..... | 12 |
| Şekil 4.1. Bilyalı dövme işlemi[35]. | 14 |
| Şekil 4.2. Almen testi sonrasında şeritte meydana gelen deformasyon. [37]..... | 15 |
| Şekil 4.3. Almen test plakası ve Almen ölçüm cihazı[38]. | 15 |
| Şekil 4.4. Kapsama oranının dövme yoğunluğu ile ilişkisi [39]. | 16 |
| Şekil 4.5. Bilyalı dövme görüntüsü. [43]. | 16 |
| Şekil 4.6. Bilyanın metal yüzeyinde oluşturduğu çukurcuklar. [44]..... | 17 |
| Şekil 4.7. Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili a. Bilyalı dövme sonrası oluşan yüzey profili, b. Bilyalı dövme sonrası yüzeyde oluşan basma gerilmesi [45]..... | 18 |
| Şekil 4.8. Bilyalı dövme için yararlanılan lineer konveyör ve dönel tablalı sistemleri [47]..... | 19 |
| Şekil 4.9. Otomatik hava püskürtmeli bilyalı dövme cihazı..... | 19 |
| Şekil 4.10. Pratik uygulamalarda kullanılan farklı tip bilyalar, a) Seramik bilya, b) Cam bilya, c) Paslanmaz çelik bilya..... | 20 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.11. Pratik uygulamalarda kullanılan farklı püskürtme açıları ve püskürtme mesafeleri[50]. | 22 |
| Şekil 4.12. Havacılık endüstrisinde Bilyalı dövme işlemine ait bir uygulama (Uçak kanadı) [52]..... | 23 |
| Şekil 5.1. Yorulma hasarı görüntüleri [54]. | 24 |
| Şekil 5.2. Yorulma çatlak yüzeyi [57]..... | 24 |
| Şekil 5.3. Çatlak başlangıcı periyodu. | 25 |
| Şekil 5.4. Mikro ölçekte çatlak ilerlemesi.. | 25 |
| Şekil 5.5. Kırılma modları.. | 26 |
| Şekil 5.6. Tam değişken yükleme durumu. | 27 |
| Şekil 5.7. Çekme basma yüklemesi.. | 27 |
| Şekil 5.8. Tekrarlanan gerilme..... | 27 |
| Şekil 5.9. Tekrarlanan gerilme..... | 28 |
| Şekil 5.10. Çelik/Demir dışı malzemelerin gerilme-çevrim sayısı grafiği [6]. | 28 |
| Şekil 7.1. Testlerde kullanılan numune ölçüleri | 33 |
| Şekil 7.2. (a) Isıl işlem fırını (b) Isıtılan parçanın şekillendirilip yağda su verme işlemi yapıldığı pnömatik pres (Dönmez Debriyaj)..... | 34 |
| Şekil 7.3. Yıkama ve yağ alma makinesi (Dönmez Debriyaj)..... | 35 |
| Şekil 7.4. Temperleme Fırını (Dönmez Debriyaj)..... | 36 |
| Şekil 7.5. Polisaj öncesi deney çubuğu..... | 36 |
| Şekil 7.6. Polisaj sonrası deney çubuğu | 37 |
| Şekil 7.7. Yüzey kusurları oluşturma çakıları | 37 |
| Şekil 7.8. Yapay yüzey kusurları | 38 |
| Şekil 7.9. CNC ile yüzey kusurları oluşturma | 38 |
| Şekil 7.10. Yapay yüzey kusuru oluşturulmuş test parçaları..... | 39 |
| Şekil 7.11. Bilyalı Dövme Makinesi (Dönmez Debriyaj) | 40 |
| Şekil 7.12. Bilyalı dövme öncesi test numunesi | 41 |

| | |
|---|----|
| Şekil 7.13. Bilyalı dövme sonrası test numunesi | 41 |
| Şekil 7.14. (a) Sincotek Power Singly 20 Mot cihazında (b) Test için numunenin yerleşimi..... | 42 |
| Şekil 7.15. Penetran sıvı operasyon kademeleri | 44 |
| Şekil 7.16. Penetran sıvı havuzundan çıkmış test numunesi | 45 |
| Şekil 7.17. Penetran testi kurulama sonrası test numunesi | 46 |
| Şekil 7.18. Nikon Eclipse LV150N model mikroskop (CBÜ) | 47 |
| Şekil 7.19. Dijital Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazı-Futuretech (CBÜ)..... | 48 |
| Şekil 7.20. Mitutoyo SJ-301 marka profilometre (CBÜ) | 49 |
| Şekil 7.21. SEM Görüntüleme Cihazı (Katip Çelebi Ü.)..... | 50 |
| Şekil 8.1. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü | 51 |
| Şekil 8.2. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü | 52 |
| Şekil 8.3. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü | 53 |
| Şekil 8.4. (a) Bilyalı dövülmüş numunenin yüzeyi (b) Bilyalı dövülmüş numunenin ortası (c) Bilyalı dövülmemiş numunenin yüzeyi (d) Bilyalı dövülmemiş numunenin ortası | 55 |
| Şekil 8.5. (a), (b) Bilyalı dövülmüş numunenin ortası (c),(d) Bilyalı dövülmüş numunenin ortası (f),(g) Bilyalı dövülmemiş numunenin yüzeyi (h),(i) Bilyalı dövülmemiş numunenin yüzeyi..... | 56 |
| Şekil 8.6. S230 Bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği | 57 |
| Şekil 8.7. Test numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği..... | 59 |
| Şekil 8.8. Enine çizik ve delik kırık görüntüsü | 60 |
| Şekil 8.9. Enine çizik ve delik kırık görüntüsü | 61 |
| Şekil 8.10. Delik içeren numunede yorulma bölgesini göstermektedir. Gerilim yığılması nedeniyle yorulma delik bölgeden başlamıştır. ... | 62 |
| Şekil 8.11. 90 ⁰ Kusur içeren test numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği | 63 |
| Şekil 8.12. 150 ⁰ Kusur içeren test numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği | 63 |
| Şekil 8.13. Bilyalı dövmenin etki ettiği yüzey alanları | 64 |

| | |
|--|----|
| Şekil 8.14. Bilyalı dövülmemiş 90 ⁰ 0,6 mm kusur içeren numunenin kırık yüzey Görüntüsü..... | 65 |
| Şekil 8.15. Bilyalı dövülmüş 90 ⁰ 0,6 mm kusur içeren numunenin kırık yüzey görüntüsü | 65 |



TABLO DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 2.1. Isıl işlem ve ısıl-mekanik işlem sonrası mekanik özellikler. [14]... | 5 |
| Tablo 4.1. Almen şeritlerinin standartlaştırılmış özellikleri [11]..... | 14 |
| Tablo 4.2 . Bilya tipleri ve malzemeler[11]..... | 20 |
| Tablo 4.3. Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri [11]. | 21 |
| Tablo 7.1. 50CrV4 malzemesinin kimyasal kompozisyonu | 33 |
| Tablo 7.2. Oluşturulan deney grupları | 39 |
| Tablo 8.1. Bilyalı dövülmüş numunede EDS Analiz Sonuçları | 57 |
| Tablo 8.2. Test numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri Ra-Rz= (μm)..... | 58 |

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gosteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU' na, bilgi ve tecrübeleri ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen sevgili hocam Sayın Dr.Öğrt. Üyesi Simge İRİZALP' e, teőekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve laboratuvardaki cihazları kullanma konusunda her türlü imkan ve desteği veren Sayın Gökhan EYİCİ' ye, çalışmalarım sırasında yardımını hiç esirgemeyen, hep yanımda olan ve manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım İmalat Mühendisi Ali ELMAS' a, kaynak işlemlerini gerçekleştirme ve numune hazırlama konusunda yardımcı olan DÖNMEZ DEBRİYAJ firmasına, destekleri için teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan başta annem olmak üzere aileme yürekten teşekkür ederim.

Fatih BARIŞ
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans

50CrV4 ÇELİĞİN YÜZEYİNDE OLUŞTURULAN YAPAY YÜZEY KUSURLARINA BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Fatih BARIŞ

Manisa Celal Bayar
Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurşen

SAKLAKOĞLU

Bu çalışmada yüksek mukavemetli çeliklerde malzemenin kendisinden veya imalattan kaynaklanan yüzey kusurlarının bilyalı dövme prosesiyle etkisizleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bilyalı dövme, bir parçanın yüzeyinin bilya adı verilen küçük küresel medya ile bombalandığı soğuk deformasyon prosesidir ve metallerin ömrünü, mukavemetini ve performansını artıran bir yöntemdir. Basma kalıntı gerilmesi oluşturur ve metallerin yüzey altı tabakasını değiştirir. Bu uygulama çelikler, dökme demirler, bakır ve alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve bazı plastikler gibi çeşitli malzemelere ve onların kaynaklı bileşenlerine uygulanabilir.

Bu çalışmada 90° ve 150° açıda takımlar imal edilmiş ve 50CrV4 çeliği üzerinde 0.2-0.4-0.6 mm derinliklerde yapay yüzey kusurları işlenmiştir. Ayrıca 2 mm derinliğinde enine çizik ve 3mm çaplı delik işlenmiştir. Hazırlanan test numunelerine 10 Almen şiddetinde bilyalı dövme uygulanmıştır. Yorulma testleri, oda sıcaklığında ve 45 Hz frekansta Power Swing Mot yüksek frekans rezonatörüne sahip 20 kN Sincotek 3-nokta eğme yorulma makinesi kullanılarak yapılmıştır. Numuneler kırılıncaya kadar sabit bir maksimum gerilme ile test edilmiş veya frekansta 1 Hz farkların başlamasından sonra test durdurulmuştur. Test sırasında uygulanan genlikleri, malzemenin% 0,2 ofset akma mukavemetinin% 50-75'ine karşılık gelmektedir. Suni kusurlar ve bilyalı dövme uygulanmış yüzeyler tabana yerleştirilmiş ve ardından kusurun hemen arkasından kuvvetler uygulanmıştır.

Sonuç olarak, bilyalı dövme yönteminin değişken yüklemelere maruz kalan bileşenlerin yapısal bütünlüğünü arttırmak için, bu bileşenler zararlı bir yüzey kusuruna sahip olsa bile yararlı bir teknik olduğu bulunmuştur. İlaveten, bilyalı dövmenin parçaların sertleşme sırasında maruz kalabileceği dekarburizasyondan kaynaklanan sertlik kaybını geri kazanmada da etkili olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bilyalı Dövme, 50CrV4, Kusur Etkisi

2020, 75 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of The Effects of Shot Peening on 50CrV4 Steel Containing Artificial Surface Defects

Fatih BARIŞ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU

In this study, it is aimed to present the ability of shot peening process to rendere harmless of surface defects arising from material itself or manufacturing process in high-strength steels. Shot peening is a cold working process in which the surface of a part is bombarded with small spherical media called shot increasing the life, strength & performance of metal parts. It produces a compressive residual stress layer and modifyies the subsurface of metals. This application can be applied to a variety of materials and their welded components, such as steels, cast irons, copper and aluminum alloys, titanium alloys and some plastics.

In this study, tools were manufactured at 90 ° and 150 ° angle and artificial surface defects were processed on 50CrV4 steel at depths of 0.2-0.4-0.6 mm. In addition, 2 mm deep transverse scratch and 3mm diameter hole were machined. The shot peening process with 10 Almen intensity were applied to the prepared test samples. The fatigue tests were performed by using 20 kN Sincoteck 3-bending fatigue machine with Power Swing Mot high frequency resonator at room temperature in avrg 45 Hz frequency at room temperature. The specimens were fatigued at a constant maximum stress until failure, or the test was stopped after starting of 1 Hz differences if the sample did not fail. The studied stress amplitudes corresponds to 50-75% of the material's 0.2% offset yield strength. The scratched and shot peened surfaces were placed at the bottom and then forces were applied right behind the scratch.

As a result, it was found that SP is a useful technique for increasing the structural integrity of components subjected to cyclic stress, even if these components have a detrimental surface defect. It was presented that SP is also effective to regain the hardness loss due to decarburization which the parts can be subjected it during hardening.

Keywords: Shot peening, Surface defects in steels, 50Cr

2020, 75 pages

1.GİRİŞ

Dinamik ve değişken yükler altında çalışan makine elemanlarında yorulma mekanizması çok önemli bir rol oynamaktadır. Malzemenin statik yük altındaki çekme ve akma mukavemetinin oldukça altındaki gerilme değerlerinde dahi malzemenin yorulma hasarına uğraması mümkündür. Malzemenin yorulma ömrünün tespit edilmesi için yorulma testi yapılmaktadır. Malzemeye sabit bir frekansta değişken gerilmeler uygulanarak Wöhler eğrisi adı verilen eğri elde edilerek ilgili malzemenin yorulma ömrü tespit edilmektedir.

Yorulma ömrünü etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlar; yüzey kalitesi, yüzey pürüzlülüğü, sertlik, çalışma sıcaklığı, ısıtma işlemi, talaşlı imalat, kaynaklı imalat plastik şekil verme proseslerinde ki kalıntı gerilmeler gibi parametrelerdir. Kalıntı gerilmelerin zararlı etkilerinin yanında yorulma ömrünü arttırıcı rol oynaması endüstride bu konu hakkında çeşitli çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu tez çalışmasında, yorulma ömrüne katkısı olduğu bilinen “Bilyalı Dövme” işleminin etkileri incelenmiştir.

Bu tez çalışması, ağır ticari araçlar için debriyaj baskısı, diski, rulmanı ve volanı üreten Dönmez Debriyaj desteği ile birlikte yürütülmüştür. Tezin ilk bölümünde, Yüzey İşlemleri, Bilyalı Dövme Prosesi, Yorulma Prosesi, Materyal ve Yöntemler, Sonunda da Araştırma Bulguları ve tartışmadan bahsedilmiştir. Temel olarak debriyaj malzemesindeki malzemeden kaynaklı yüzey kusurlarının giderilmesinden söz edilmiştir.

Tezde kullanılan ana malzeme “diyafram yay” olarak adlandırılan debriyaj sistemindeki bir parçanın malzemesidir. Daha sonraki bölümlerde ise tezin deneysel kısmını oluşturan yüzey kusurları işlemi, bilyalı dövme ve ile yorulma testleri iç yapı incelemeleri kalıntı gerilmeler anlatılmıştır. Bilyalı dövmenin endüstrideki uygulama amacı ve bu işlemin malzemeler üzerindeki faydalı etkileri detaylı bir biçimde verilmiştir. Bilyalı dövme prosesinde kullanılmak üzere belirlenmiş olan uygun bilya tipi alınarak yüzey kusuru oluşturulan yorulma parçalarına uygulanmıştır. Daha sonra bilyalı dövme prosesinin yüzey kusurlarına etkileri incelenerek yorumlanmıştır.

Bilyalı dövme prosesinin çıktılarının ölçülebilmesi amacıyla Almen test plakalarına uygulanmış olan Almen testi sonuçları kullanılmıştır. Ardından bilyalı dövme ile yüzey kusurlarının giderilmesi ile ilgili literatür çalışmaları incelenip, tez çalışmasına benzer ve farklı olan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir.

Malzemeler üzerinde var olan kalıntı gerilmenin değerini ve miktarını ölçmeyi sağlayan birkaç yöntem vardır. Bu yöntemlerden Tahribatlı Kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemi, Tahribatsız Kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemi, Ultrasonik Yöntemler, Manyetik Yöntemler, Termoplastik Yöntemler detaylı olarak tanıtılmıştır

Bu tez çalışmasının materyal kısmında, deney malzemesi 50CrV4 çeliği tanıtılmıştır. 50CrV4 çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri açıklanarak yorulma testine ait numune ölçüleri tanımlanmış ve hangi deneylerde kullanıldığı konusunda bilgi verilmiştir. Yöntem kısmında, ısıtma işlem süreçlerinden bahsedilerek polisaj ve yüzey kusurları oluşturulmuştur. Daha sonra yorulma testleri uygulanarak penetran sıvı, mikro yapı incelemesi, sertlik ölçümleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü

yapılmıştır.

Bu tezin gerçekleştirilme amacı, 50Crv4 çelik malzemesine yapay yüzey kusurlarının giderilmesine yönelik bilyalı dövme işlemi uygulanarak daha sonra malzeme yorulma testlerine tabi tutulmuştur.

2. YÜZEY İŞLEMLERİ

2.1. Isıl Yüzey İşlemleri

Endüstri uygulamaları kapsamında yararlanılan makina parçalarına ait yüzeylerin aşınmaya karşı dirençli, sert ve tokluklarının iyi olması gerekmektedir. Bahsedilen bu karakteristik yapıya Şekil 2.1’de gösterilen fırınlarda ısıl işlem uygulanmış makina parçasında rastlamak genellikle mümkün değildir. Eğer yüzey sertliğinin mümkün olan en yüksek orana çıkılması amacıyla ısıl işlem yapılmışsa, malzeme ya gevrek olacak ya da en yüksek tokluğun elde edilmesi amacıyla ısıl işlem uygulanmış ise malzeme yeterli düzeyde sertliğe sahip olmayacaktır. Bu özelliklerin bir arada bulunmasının arzu edildiği parçalar için yüzey sertleştirme işlemleri geliştirilmiştir [1].

Bilhassa yüzeyleri aşınmaya uğrayan makina parçalarında, aşınmanın minimum düzeye düşürülmesi amacıyla yüzey sertleştirme işlemleri yapılmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemlerinde makina parçaları yüzeylerinin belli bir derinliğe kadar arzu edilen seviyede sertleştirilmesi sağlanır. Bu parçaların geri kalan iç bölgesi ısıl işlem öncesindeki sertliğini korur. Mesela yüksek sürtünme olan yerlerde kullanılan makina parçaları, burulmaya çalışan miller, kavrama parçaları, krank milleri ve dişli çarklar bu yöntemlerden yararlanarak sertleştirilmektedirler [2].

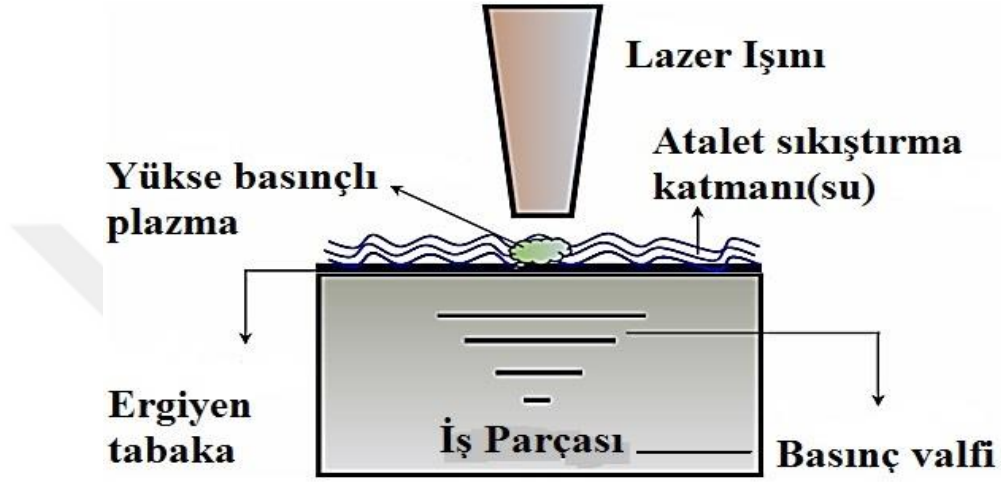


Şekil 2.1: Yüzey sertleştirme [3].

Yüzey sertleştirme işlemleri, kimyasal yapının değiştirilmeden uygulanan yüzey sertleştirme işlemleri ve kimyasal yapıyı değiştirerek uygulanan yüzey sertleştirme işlemleri şeklinde iki grupta sınıflandırılmaktadır. İndüksiyonla yüzey sertleştirme, daldırma ile yüzey sertleştirme, lazerle yüzey sertleştirme ve alevle yüzey sertleştirme proseslerin de makina parçalarının kimyasal yapısında değişiklik olmamaktadır. Katı karbürizasyon, siyanürizasyon, gaz ile karbürizasyon, gaz ile nitrürasyon ve gaz ile karbonitrürasyon yüzey işlemleri ise makine parçası kimyasal kompozisyonunun değiştirilerek yapılan yüzey sertleştirme işlemleri örnekleridir [4].

2.2.3. Lazerle Dövme İşlemi

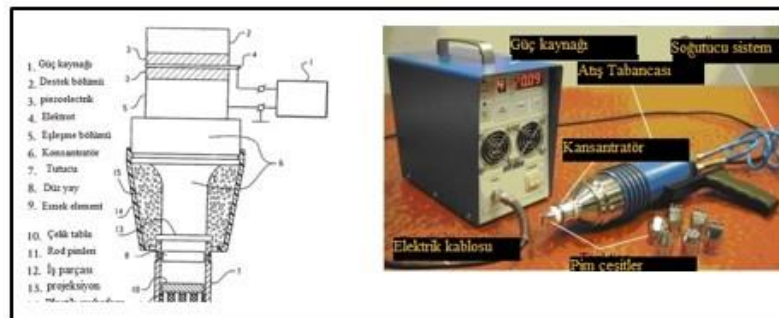
Modern mekanik yüzey işlemleri arasında yer alan Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilen lazerle dövme işlemi mm aralığında bulunan kalınlıklarda materyal yüzeyine yakın bölgeleri ve de yüzey kalitesini etkilemektedir. Basınç patlamaları vasıtasıyla malzemenin yüzey katmanında değişim meydana getiren nano saniye aralığında bulunan lazer darbelerden yararlanır. Malzeme yüzeyi ve yüzeyine yakın bölgedeki makroskopik basınca sahip kalıntı gerilmeler meydana getirerek, basınç dalgasına yol açarken malzemeye ait akma mukavemeti geçildiğinden dolayı da plastik deformasyon gerçekleşir.



Şekil 2.3. Lazerle dövme işlemi [10].

2.2.4. Ultrasonik Dövme İşlemi

Bir tür mekanik yüzey işlemi olan, Şekil 2.4'te cihazı ve parçaları gösterilen ultrasonik dövme işlemi ekonomik ve etkili bir tekniktir. Daha çok köprü, baraj gibi uzun yıllar yorulmaya kalmış veya kalması muhtemel parçalarda kullanılan bir metottur. Normal bilyalı dövme işleminde yüksek hızla fırlatılan bilyaların yüzeyde yaptığı etkiyi bu sistemde yüksek frekanslı ultrasonik dalgalar yapmaktadır [11]. Bu işlemde yüzey sertliği ve basınçlı kalıntı gerilme oluşturulduğundan malzemenin yorulma, aşınma gibi özellikleri iyileştirilebilir. Bu teknik nano yapıya sahip yüzey katmanını oluşturulması amacıyla paslanmaz çelik, rulman çelikleri, titanyum ve alaşımları, bakır alaşımları, alüminyum alaşımları gibi malzemelere başarıyla uygulanmaktadır.



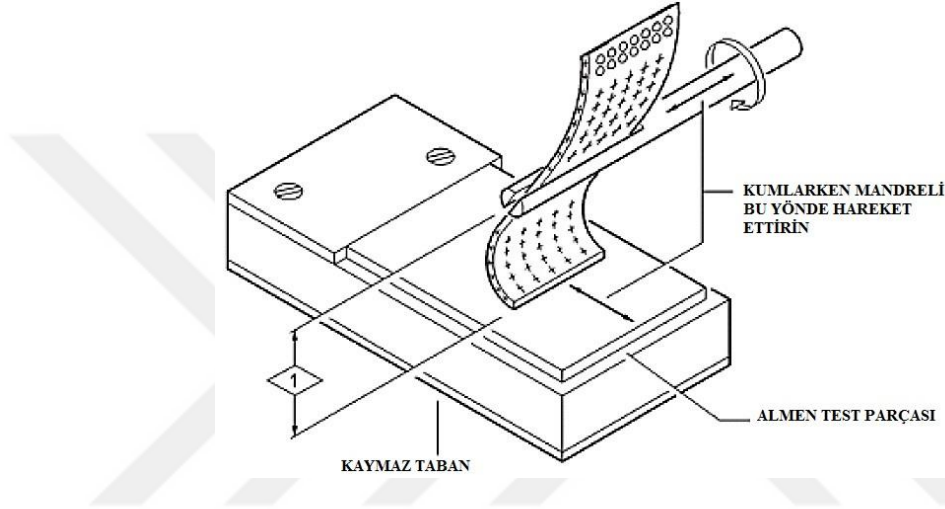
Şekil 2.4: Ultrasonik dövme işlemi [12].

2.2.5. Sulu Dövmeye

Çeşitli aşındırıcılarla değişik sistemlerde yapılan bilyalı dövmeye yönteminin aşındırıcılarla birlikte su ile karıştırılmak suretiyle yapılması işlemidir. Daha çok hava endüstrisindeki türbin kanatları gibi ince cidarlı ve hassas parçaların dövmeye işlemlerinde kullanılmaktadır [11].

2.2.5. Kanatlı Dövmeye

Sökülmesi zor olan büyük sistemlerde yorulmaya maruz kalan aksamaların lokal olarak bilyalı dövmeye yapılması işlemidir. Şekil 2.5'te gösterilen Döner bar üzerine tutturulan özel dövmeye kanatçığının yüzeyde ovalama yaptırılmasıyla gerçekleştirilen bir bilyalı dövmeye yöntemidir. [11].



Şekil 2.5: Kanatlı dövmeye işlemi [13].

2.3. Isıl-Mekanik Yüzey İşlemleri

Çelik malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ısıl-mekanik yöntemlerden yaygın şekilde yararlanılır. Bu işlem, çeliğin ostenit bölgesine kadar ısıtılıp plastik deformasyon yapılması sonrasında hemen akabinde su verilerek martenzit yapıya geçmesi amacı taşıyan bir yöntemdir. Su verme sonrasında materyale düşük sıcaklıkta temperleme yapılır. Isıl-mekanik işlemden sonra malzemeye ait sertlik ve dayanım değerlerinin artmasının yanında süneklik, tokluk gibi özelliklerin de iyileşmesi gözlenmektedir. Tablo 2.1'de Isıl işlem ve Isıl-Mekanik işlem sonrasındaki mekanik özellikler gösterilmektedir [14].

Tablo 2.1. Isıl işlem ve ısıl-mekanik işlem sonrası mekanik özellikler [14].

| ISIL İŞLEM | MUKAVEMET | PLASTİKLİK | DARBE TOKLUĞU |
|--------------------|-----------|------------|---------------|
| Su verme | Yüksek | Düşük | Düşük |
| Tam Yumuşatma | Düşük | Yüksek | Yüksek |
| Temperleme | Normal | Yüksek | Yüksek |
| Termo mekanik işl. | Yüksek | Yüksek | Yüksek |

Alışlagelmiş ısıtma işlemleri ısıtma-mekanik işlemlerle karşılaştırıldığı zaman ısıtma-mekanik işlemler sonucunda çelik malzemelerin mukavemetinde neredeyse % 40 artış yanında plastiklik özelliğinde ise % 100'e yaklaşan iyileşmeler tespit edilmiştir.

Isıtma-mekanik işlem koşulları; soğuma ve ısıtma hızı, deformasyon hızı, malzeme kompozisyonu ve sıcaklık gibi parametreler doğrultusunda farklılık arz etmektedir. Yüksek sıcaklık altında haddeleme sonrasında malzeme anında soğutulur. Aksi durumda rekristalizasyon meydana gelirken bir başka deyişle pekleşme olmayarak ince ostenit taneleri oluşmaktadır. Neticede malzemeye ait dayanım değerlerinde önemli azalmalar gözlenebilmektedir.

Isıtma-mekanik işlemler sonrasında mekanik özelliklerin iyileşmesine yol açan husus ostenit tane yapılarında optimum poligonizasyonlaşma olmasıdır. Bir başka deyişle su vermeyle meydana gelen martenzit yapının dislokasyon yoğunluğunun azalmasıdır. Bu yapı düzgün dağılıma sahip dislokasyon dağılımları oluşumuna ve düşük gerilme yığılmalarına yol açmaktadır. Böylece gerek dayanım gerekse plastiklik özelliklerinde iyileşme görülür [14].

3. KALINTI GERİLMELER VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Kalıntı veya artık gerilmeler işlem ve üretim esnasında meydana gelebildikleri gibi servis esnasında da gerçekleşebilirler. Bu gerilmeler; dış yük uygulaması olmadan üniform sıcaklık şartlarında parça içinde kalıntı şeklinde beliren ve kendi kendini dengeleyen gerilmeler şeklinde tanımlanmaktadır [15].

Mühendislik malzemelerine ait yorulmalarda kalıntı gerilmelerin önemli rolü bulunmaktadır. Yorulma çatlakları çoğunlukla malzeme yüzeyinde başlamaktadır. Kalıntı gerilmesinin yüzeyde meydana gelmesi genel olarak bu durum için oldukça uygundur. Yüksek gerilmeli alanlarda basma gerilmelerinin faydası bulunmaktadır. Bilhassa basma kalıntı gerilmesinin parçalara ait gerilme korozyonu, kırılma dayanımı ve yorulma ömrünü pozitif yönden etkilediği tespit edilmiştir. Basma gerilmeleri, yorulma çatlak oluşumları ve gelişimlerini önlemektedir. Ancak çekme gerilmesi çatlak oluşum ve gelişimlerine katkı verdiği için zararlıdır. Bunun yanında çekme kaynaklı, parçalara ilişkin kalıntı gerilme durumlarının tespit edilmesi arıza sebeplerinin anlaşılması adına önemli görülmektedir [16]. [17]. [18].

Neredeyse üretimi yapılan parçaların tamamı - malzeme karakteristikleri ve biçiminde değişiklik yapan bir prosesin oluşturduğu - bünyelerinde kalıntı gerilme barındırırlar. Montaj, işleme teknikleri, malzeme ve servis esnasında karşılaşılan etkilerin kompleks bir bileşimiyle meydana gelen bu gerilmelerin öngörülmesi zordur. Fakat servis yükleriyle birleştiklerinde materyalin hasar görmesine yol açacak aşırı bozulmalara neden olabilirler [19].

Kalıntı gerilmelerinin öngörülebilmesi için, malzemeye ait termomekanik davranışın, uygulanacak dış yüklerin, mekanik ve ısıtma kuvvetleri arasında oluşan etkileşim ve metale ait yapısal dönüşümlerin bilinmesi gerekmektedir. Plastik şekil değiştirmeye maruz kalan malzemelerde gerilme dağılımının üniform olmaması durumunda her zaman kalıntı gerilmeler meydana gelecektir [20].

Kalıntı gerilmeler; ısıl büzölmeler, düzensiz plastik şekil değiştirmeler, kompozit bileşenlere ait akma gerilmeleri, ısıl genleşme katsayıları ya da elastiklik modöllerin deki farklılıklar ve üretim prosesinde gerçekteşen faz dönüşümlerinden ortaya çıkabilir. [21].

Birçok yüzey işlemleri ve üretim tekniği kalıntı gerilmesi meydana getirmektedir. Kalıntı gerilmeler; gerilmenin dengelendiği alan ya da aralığa göre mikroskobik ve makroskobik gerilmeler şeklinde iki sınıfta sınıflandırılabilir. Makroskobik gerilmeler; montaj, ikincil işlem, talaş kaldırma ve ısıl işlem esnasında gerçekteşebilir. Mikroskobik gerilmeler ise çoğunlukla fazlar ve bileşenler arasında olan ısıl genleşme katsayısı uygunsuzluğu ya da faz dönüşümlerinden ileri gelmektedir. Mikroskobik ve makroskobik gerilmeler bir malzeme ya da parçada aynı anda bulunabilmektedir. Bu gerilme tipleri parçaların çalışma performansları üzerinde faydalı ya da zararlı olabilirler. Üretim esnasında meydana gelen zararlı kalıntı gerilmelerin kontrol altına alınabilmesi için ısıl işlem metotları uygulanmaktadır. Bunun yanında püskürtmeli sertleştirme metotları uygulanarak parçaların yorulma performansının geliştirilmesi amacıyla kasıtlı olarak faydalı kalıntı gerilmeler meydana getirilebilir. [22]. [23].

Kalıntı gerilmelerin uygun değer biçimde tespit edilebilmesi amacıyla ölçme tekniklerinin geliştirilmesi ve var olan tekniklerden daha güvenilir neticeler elde edilmesine gereksinim bulunmaktadır. Zamanımızda nükleer, uzay-uçak ve diğer mühendislik alanlarındaki dizaynlarda gerilmelerin tespit edilmesi oldukça önem verilmektedir. [22]. [23].

Kalıntı gerilme ölçüm metotları hakkında 20. yüzyılda çalışma ve araştırmalar yapılırken pek çok ölçüm tekniği geliştirilmiştir. Genel olarak kalıntı gerilme tekniklerinde yararlanılan bu yöntemler tahribatsız ve tahribatlı ölçme teknikleri şeklinde isimlendirilmektedir. [22]. [23].

Tahribatlı ölçüm teknikleri parçanın talaşlı imalat görmesi sonrasında parçaya ait gerilme denge durumu tespitine dayanmaktadır. Tahribatsız ölçüm teknikleri ise malzemeye ilişkin gerilme durumunun, malzemenin kristalografik ya da fiziksel karakteristiklerine bağımlı olması durumunda kullanılmaktadır[22]. [23].



Şekil 3.1. Kalıntı gerilme ölçüm yöntemleri[24].

3.1. Tahrifatlı Kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemleri

Mekanik kalıntı gerilme ölçüm teknikleri şeklinde de isimlendirilen bu teknikler, kasıtlı bir şekilde malzeme kaldırarak, gerilme esnasında ya da sonradan parçada gerçekleşen deformasyonun ölçümü esasına dayalıdır. Öncelikle bu tekniklerle testi yapılan parçadan malzeme kaldırılması suretiyle yeni bir gerilme durumu teşkil edilir, sonrasında ise yer değiştirmelerin ölçümü yapılarak gerilmeye ait yerel değişim tespit edilir. En sonunda elastisite teorisinden yararlanılarak kalıntı gerilme hesaplamaları yapılır.

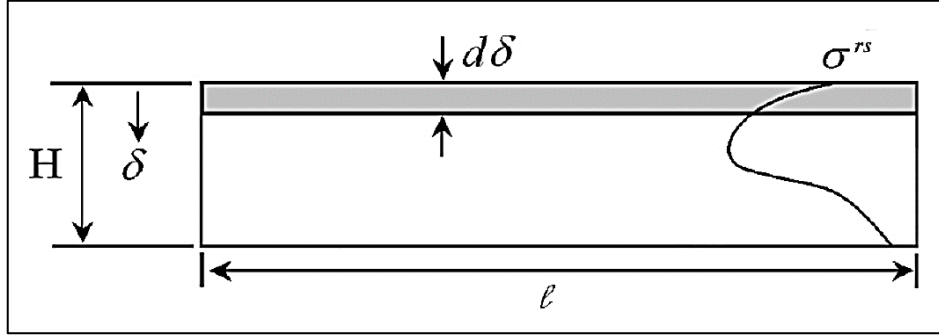
En fazla yararlanılan tahrifatlı kalıntı gerilme ölçüm teknikleri; kesit profil, halka çekirdek, delik delme, tabaka kaldırma, kanal açma ölçme tekniği şeklinde ifade edilebilir. [25]. [26].

3.1.1. Tabaka Kaldırma Yöntemi

Tabaka kaldırma yönteminde temel prensip; kimyasal ya da elektrokimyasal işleme yöntemlerinden yararlanılarak, kalıntı gerilmelerin olduğu ince tabakalar malzemedeki kademeli şekilde kaldırıldığında moment ve iç gerilmelerin dengelenmesidir. İç gerilmelerin tekrar dengelenmesi nedeniyle meydana gelen şekil değiştirme ya da gerilmeler ile kaldırılan tabakaya ait gerilmeler arasında ilişki kurulabilmektedir. Kalıntı gerilmelerin hesaplanması için elastisite teorisinden yararlanılarak bu gerilmeler ölçülmektedir.

Düz bir levhanın kalıntı gerilmeler olan yüzeyinden artarda tabakalar kaldırıldığında gerilmeler dengesiz hale gelirken levhada eğilme oluşur. Levhadaki eğrilik kaldırılan tabakaya ait ilk gerilme dağılımı ve levhanın elastik karakteristiklerine bağlıdır. Tabakanın kaldırılması sonrasında bazı eğrilik ölçümleri

yapılır ve levhaya ait gerilme dağılımı tespit edilebilir. Test numunesinin eğriliği; ölçüm aleti çözünürlüğü ve aralığına bağlı olarak, optik mikroskop, lazer tarama ve uzama teli gibi farklı tekniklerden yararlanılarak ölçülebilir. Ölçümler, çok eksenli eğrilik ve mekanik kararsızlıktan kaçınmak için çoğunlukla dar şeritler üzerinde yapılmaktadır. [26].

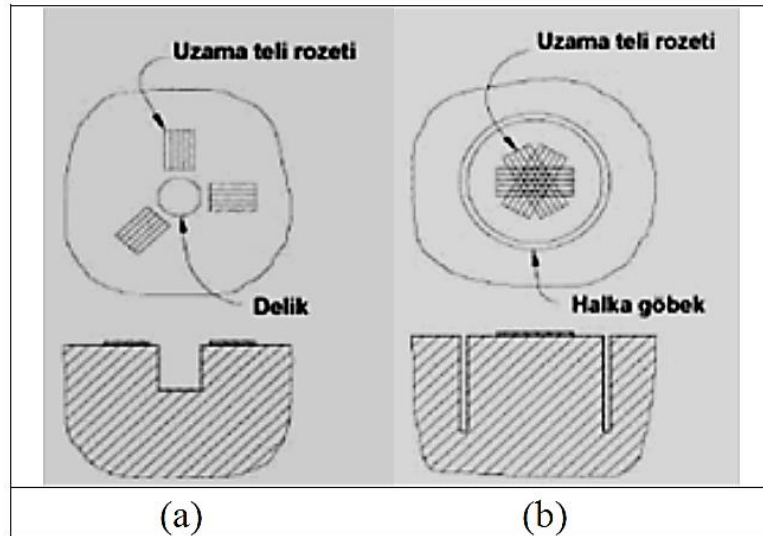


Şekil 3.2. Numunedeki gerilme dağılımı

Bu yöntem, test numunesi yüzeyine paralel olan bir tabakada mevcut kalıntı gerilmelerin değişiklik göstermediği varsayılan düz levha ve silindirik numuneler için uygun olup yöntem sayesinde yalnızca numune eksenine paralel temel gerilme bileşenleri hesaplanır (Şekil3.2).

3.1.2. Delik Delme Yöntemi

Delik delme yönteminde test numunesine özel olarak dizayn edilmiş rozet tipi uzama teli yapıştırılmaktadır. Sonrasında geometrik merkezde 0.4 ila 2 mm derinliğe sahip sığ bir delik açılır. (Şekil 3.3 (a)). Delik içerisinde bulunan gerilmeli tabakanın kaldırılması, malzeme etrafındaki gerilmeleri tekrar düzenlerken uzama telleri gerilme gevşemelerinin değerini ölçer. [27].



Şekil 3.3. Delik delme yöntemi (a) ve halka çekirdek yöntemi (b). [27].

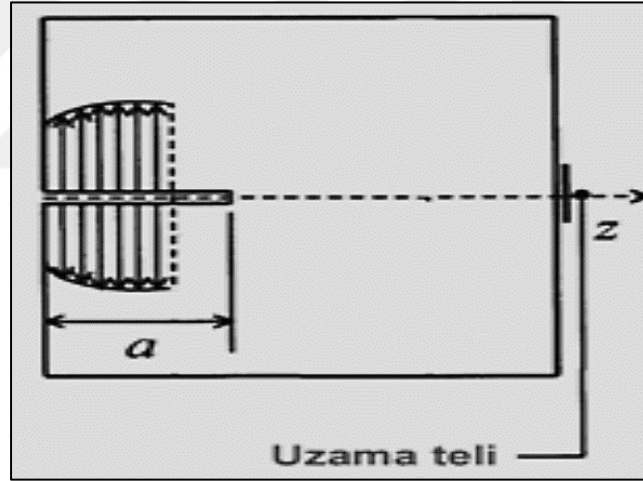
3.1.3. Halka Çekirdek Yöntemi

Bu yöntem, delik delme yönteminin farklı bir tipidir. Halka çekirdek yönteminde rozet içinde bir delik delinmesi yerine rozetin dış kenarında çevresel bir kanal açılır (Şekil 3.3) (b)). Bu yöntemle 0.1 ila 6 mm derinlikte bulunan kalıntı gerilmeleri ölçülmektedir. [27].

Bu yöntem sayesinde delik delme yöntemine nazaran daha büyük gerinme gevşemeleri ölçülebilir. Bu nedenle malzemeye ait akma gerilimi üstündeki kalıntı gerilmeler hassas bir şekilde ölçülmektedir. Delik delme esnasında kayda değer ek kalıntı gerilmeleri meydana gelebilirken, çoğunlukla bu yöntemde meydana gelmemektedir. Bunun yanında yöntem yüksek hassasiyete sahip olup delik delme yöntemine nazaran daha tahribatlıdır [27].

3.1.4. Kanal Açma Yöntemi

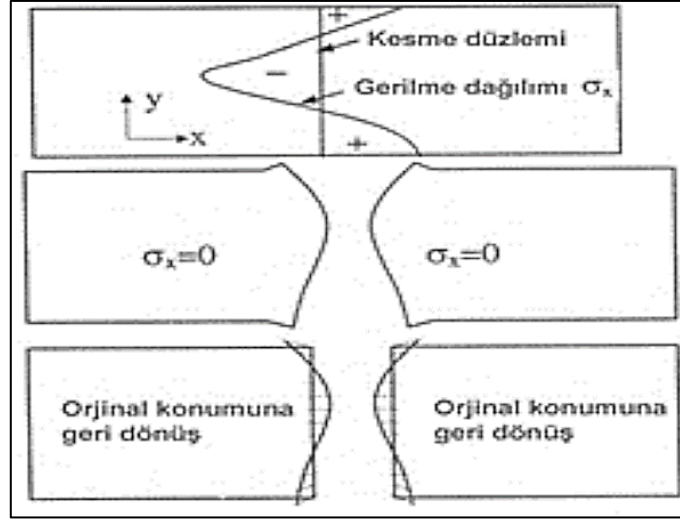
Bu yöntemde kalıntı gerilmelerin belirlenmesine yönelik test numunesi üzerinde küçük bir kanal açılır. Kanalın açılmasıyla kanala dik olan kalıntı gerilmeler gevşemektedir. Bunun neticesinde test numunesi içindeki gerilmeler tekrar dengelenirken kanal bölgesinde meydana gelen kanala dik gerinme gevşemelerinin uzama teliyle ölçümü yapılmaktadır (Şekil 3.4). [28].



Şekil 3.4. Kanal açma yöntemi.

3.1.5. Kesit Profili Ölçme Yöntemi

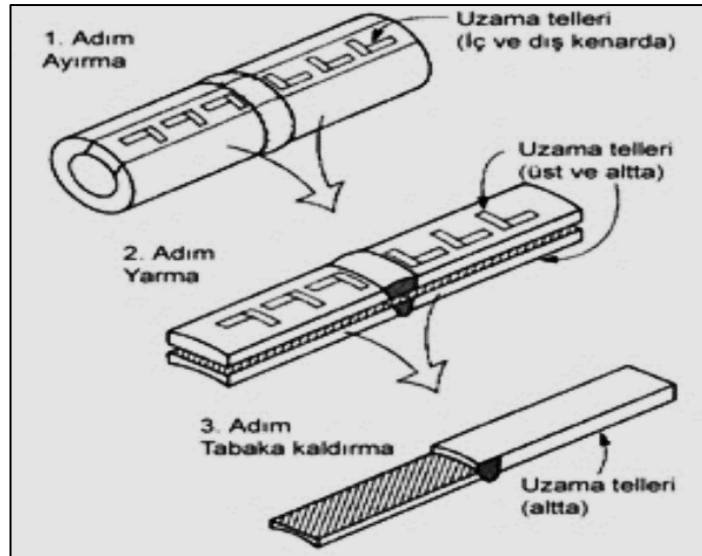
Kesit profili ölçme yönteminde test numunesi, içindeki kalıntı gerilmelerin belirlenmesi için ikiye kesilerek ayrılır (Şekil 3.5). Eğer kalıntı gerilmeler varsa yüzey kesit profili kesme düzleminden sapmaktadır. Kesme neticesinde tespit edilen kesit profili kalıntı gerilmeler ile ilişkilendirilir. Yöntem tahribatlı olsa da kullanımı basit olup kesitin tamamı boyunca kalıntı gerilmeler kısa zamanda ve ekonomik olarak ölçülebilmektedir. Fakat bu yöntem yalnızca kesme düzlemine dik kalıntı gerilmeleri ölçülebilmektedir. [29].



Şekil 3.5. Kesit profili ölçme yöntemi.

3.1.6. İnce Kesitlere Ayırma Yöntemi

Bu yöntemde test numunesi içindeki kalıntı gerilmeler bu numuneden parça kaldırılmasıyla ölçülebilmektedir. Kalıntı gerilmelerin belirlenmesi için numune farklı kesitlerde ve sıralı şekilde kesilmektedir (Şekil 3.6). Ayırma, yarma ve tabaka kaldırma işlemlerinin birleştirilmesiyle, test edilen bölge boyunca kalıntı gerilme detaylarının belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Tabaka kaldırma işlemi bu gerilmelerin açığa çıkmasını sağlar. Ortaya çıkan gerilmeler uzama telleriyle ölçülmektedir. [26].



Şekil 3.6. İnce kesitlere ayırma yöntemi. [26].

3.2. Tahribatsız Kalıntı Gerilme Ölçme Yöntemleri

Tahribatsız kalıntı gerilme ölçme yöntemleri test numunesinde tahribat oluşturmamaktadır. Kalıntı gerilmeler malzemeye ait farklı fiziksel

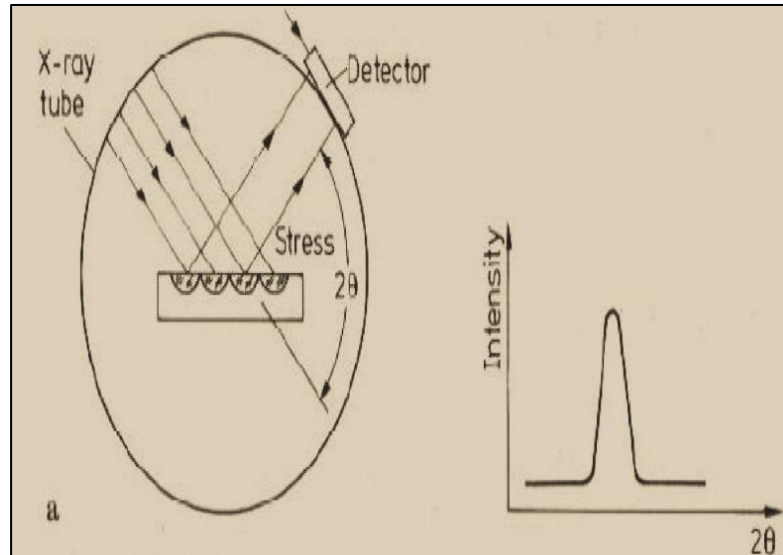
karakteristiklerinden yararlanılarak tespit edilmektedir. Kalıntı gerilmelerinin ölçülmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan tahribatsız ölçüm teknikleri şunlardır; fotoelastik yöntemler, manyetik yöntemler, ultrasonik yöntemler, termo elastik yöntemler, kırınım yöntemleri [30].

3.2.1. Kırınım Yöntemleri

Bu yöntemler sadece kristal yapıya sahip malzemeler ya da malzeme içerisindeki kristal fazlara uygulanabilmektedir. Kırınım yöntemleri, kristal yapıya sahip bir materyal gerilme etkisinde olduğunda kristal kafes düzlemleri arasındaki mesafelerde ortaya çıkan değişimlerin analiz edilerek kafes gerilmelerinin ölçümüne dayanır. Bu yöntemlere ait nüfuziyet ve uzaysal çözünürlük mekanik yöntemlere göre daha yüksektir. Fakat mekanik yöntemlerde gereken test zamanı kırınım yöntemlerine göre oldukça kısadır. Nötron kırınımı, şiddetli X-ışını ve X-ışını teknikleri yaygın bir şekilde kullanılan kırınım teknikleridir. [31].

3.2.1.1. X-ışını Kırınımı Yöntemi

Bu metot kalıntı gerilmelerin tespit edilmesinde çok doğru neticeler veren bir tekniktir. Kristal yapıdaki atomik düzlemler arasındaki mesafeler, kalıntı gerilmeleri ya da gerilmeler nedeniyle uzayıp kısalmaktadır. Bu mesafedeki artışı o bölgedeki bir çekme gerilimini belirtirken mesafedeki azalış ise basma gerilmelerinin mevcudiyetini göstermektedir. X-ışını kırınımı tekniğinde malzeme içerisine gönderilen ışınlar malzemedeki kristal düzlemlerinden yansımaktadır. Bu esnada malzemeye gelen ışınların yönü değiştirilerek en fazla yansımanın meydana geldiği açı tespit edilir. Tespit edilen açıyla beraber Bragg yasasından yararlanılarak iki atomik düzlem arasındaki mesafe hesap edilir (Şekil 3.7). [31].



Şekil 3.7. X ışını kırınım yöntemi. [31].

3.2.1.2. Şiddetli X-ışını Kırınımı

Şiddetli X-ışını kırınımı yönteminin prensibi XRD yöntemiyle aynıdır. Şiddetli X-ışınları ya da senkrotron oldukça şiddetli yüksek enerjili X-ışınları temin etmektedir. Bu ışınlar konvansiyonel X-ışınlarına göre daha derin bölgelere penetre

edebilmektedir. Bu penetrasyon birçok malzemede 1 ila 2 mm ve alüminyum malzemelerde neredeyse 50 mm olmaktadır.

3.2.1.3. Nötron Kırınımı

Nötron penetrasyonu X-ışınlarına oranla neredeyse 1000 kat daha yüksektir. Bundan dolayı Nötron kırınımı 4 ila 50 mm gibi daha büyük nüfuziyet derinliğine sahip olup pek çok mühendislik malzemesinin daha derinlerine nüfuziyet sağlanmaktadır. [32].

3.2.2. Ultrasonik Yöntemler

Ultrasonik yöntemler, bir katı boyunca hareket eden ses ötesi dalga hızlarının katıdaki var olan gerilme düzeylerine duyarlılığını kullanmaktadır. Parçada var olan kalıntı gerilmelerin büyüklük ve doğrultuları malzeme içerisindeki ses ötesi dalga hızlarının değişimi üzerinde direkt olarak etkisi olmaktadır. Başka bir deyişle bir malzemenin gerilmeli durumunda ilettiği ses ötesi dalga hızı, malzemenin gerilmemiş durumundaki ses ötesi dalga hızına göre farklılık göstermektedir. Malzeme elastik olarak davrandığı sürece, dalga hızı malzemedeki kalıntı gerilme durumuna bağlıdır.

3.2.3. Manyetik Yöntemler

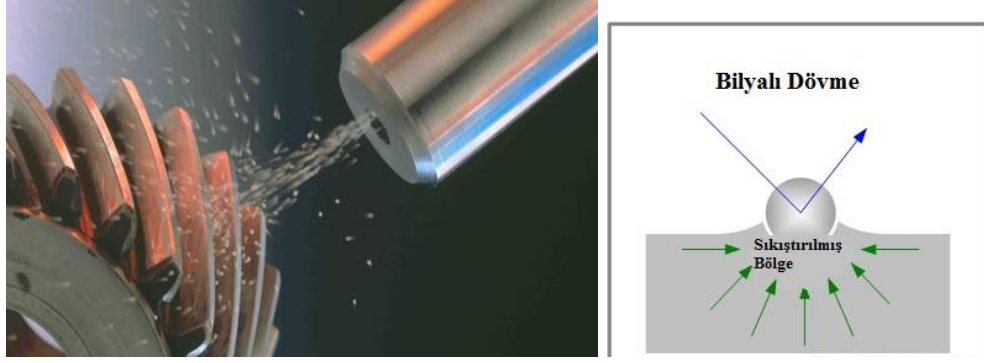
Ferromanyetik malzemelere ait manyetik özellikler, manyetoelastik etkiler ve mıknatıssal büzülme nedeniyle malzeme içerisindeki iç gerilme durumuna duyarlıdır. Bu teknik mıknatıslanma ve gerilme arasında mevcut etkileşime dayanır. Parçanın sahip olduğu gerilme durumuyla ilişkili olarak parçaya ait elektro-manyetik özellikler farklılık göstermektedir. [32].

3.2.4. Termoelastik Yöntemler

Malzemedeki elastik şekil değiştirmeler sıcaklıkta ufak deformasyonlara yol açmaktadır. Bu sıcaklık değişimi doğrudan yüzey gerilmelerinin toplam değişimiyle orantılıdır. Böylelikle parçadaki kalıntı gerilmeler tespit edilebilmektedir. Termoelastik yöntemler çoğunlukla yorulma araştırmaları için kullanılmakta olup ölçüm aralığı geniş, çabuk ve kullanımı kolaydır. [33].

4. BİLYALI DÖVME İŞLEMİ

Malzeme yüzeyine kontrollü olarak yüksek hıza sahip küre şeklindeki taneciklerin püskürtülmesiyle malzeme yüzeylerindeki mekanik özelliklerin geliştirilmesine katkı veren bilyalı dövme prosesi günümüzde yaygın şekilde yararlanılmaya başlanan bir işlemdir. İşlemden temel mantık yüzeyin mikro düzeyde deformasyona uğratarak çevresinde bası gerilmesi (Compressed zone) meydana getirilmesi ve bu deformasyonun bütün yüzeyde gerçekleştirilmesidir (Şekil 4.1). Otomotiv, enerji ve havacılık gibi pek çok sektörde bu proses yardımıyla sistemler ve komponentler daha yüksek limitlerde çalışabilirken daha uzun hizmet süresine sahip olmaktadır [34].



Şekil 4.1. Bilyalı dövme İşlemi[35].

İşlem için yararlanılan bilya çapı, dövme yoğunluğu, bilya malzemesi, püskürtme debisi ve bilyaların püskürtülme uzaklığı gibi parametreler ile işlemde çeşitlilik oluşturulabilmektedir. Yapılan araştırma ve çalışmalarda, ısıl işlem sertleştirilmesi ile meydana gelen parçanın servis ömründeki değişimin bilyalı dövmeyle temin edilebildiğini ortaya koymuştur [36].

Bilyalı dövme prosesinde ki bilyalar belli standartlar çerçevesinde tanımlanmaktadır. bilya seçimi, dövülmesi planlanan bölgenin geometrisi ve iş parçası malzemesi arzu edilen kalıntı gerilme miktarına bağlı olarak farklılık arz etmektedir.

Dövme şiddetleri Almen şerit veya plakaları sayesinde belirlenmektedir. Bu teknik John O. Almen tarafından geliştirilerek patenti alınmıştır. Almen plaka testinin amacı bilyalı dövme işleminde iş parçasına verilen enerjinin kıyaslanabilir olarak ölçülmesidir. Eğer ince bir şerit için belli parametreler çerçevesinde bilyalı dövme işlemi yapılırsa, yüzeyde meydana gelen gerilimden dolayı eğrisel bir şekle sahip olur. Almen ölçüm cihazı ile bu eğriliğin ölçümü yapılarak dövme şiddeti tespit edilir.

Almen şeritleri, şerit kalınlığı doğrultusunda C, N ve A şeklinde isimlendirilmektedir. SAE 1070 malzemeden üretilen şeritlere ait bilgiler Tablo 4.1’de sunulmaktadır. Bu malzeme özellikler ve tablodaki ölçülere sahip olan şeritler şerit tutucuya 4 noktadan sabitlenerek şerit bilyayla dövülerek tek yüzeyde gerilim oluşturulur.

Tablo 4.1. Almen şeritlerinin standartlaştırılmış özellikleri [11].

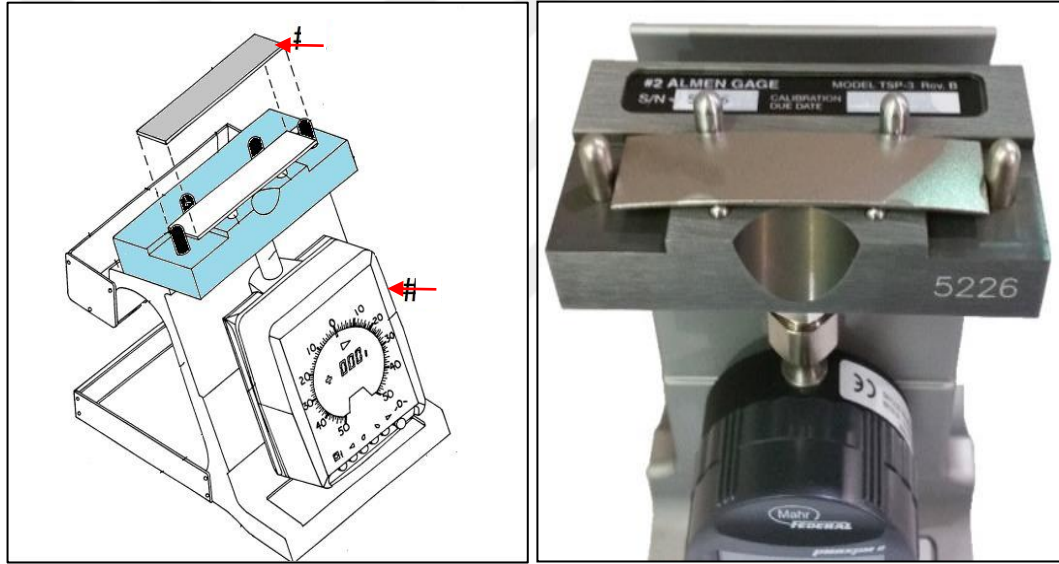
| Şerit Adı | Standart | Düzelmsellik | Sertlik | Kalınlık |
|-----------|--------------|--------------|-----------|----------|
| C | AMS-S 13165 | +/- 0.038 mm | 44-50 HRC | 2.39 mm |
| A | SAE J442 | +/- 0.025 mm | 44-50 HRC | 1.29 mm |
| N | SAE AMS 2432 | +/- 0.013 mm | 45-58 HRC | 0.76 mm |

Bilyayla dövme işlemine tabi tutulan plaka yüzeyinde, nozuldan püskürtülen bilyaların meydana getirdiği toplam enerji kaynaklı kalıntı gerilmelerin sonucunda plastik deformasyonla bağlantılı şekil değişimi gerçekleşir. Plakada; 2 ekseninde de simetrik olması ve de tüm yüzeyin aynı parametreyle dövülmesi nedeniyle sabit çaplı bir yay meydana gelir. Şekil 4.2, dövülmüş bir Almen şeridindeki deformasyonu göstermektedir



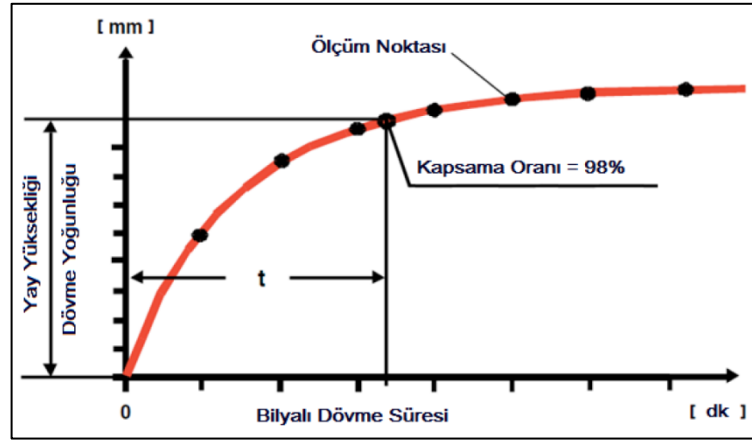
Şekil 4.2. Almen testi sonrasında şeritte meydana gelen deformasyon [37].

Almen şeridinde meydana gelen deformasyon, çok farklı çeşitleri de olan Şekil 4.3'deki Almen Ölçüm Cihazı olarak isimlendirilen hassas bir indikatör vasıtasıyla ölçülerek bilyalı dövmenin şiddeti belirlenir.



Şekil 4.3. Almen test plakası ve Almen ölçüm cihazı [38].

Bilyalı dövme işleminde kayda değer başka bir parametre de işlemin kapsama oranıdır. Bilya kullanılan bir dövme prosesinden başarılı bir netice alınabilmesi için bu kapsama oranının en az %98 düzeyinde olması gerekir (Şekil 4.4).



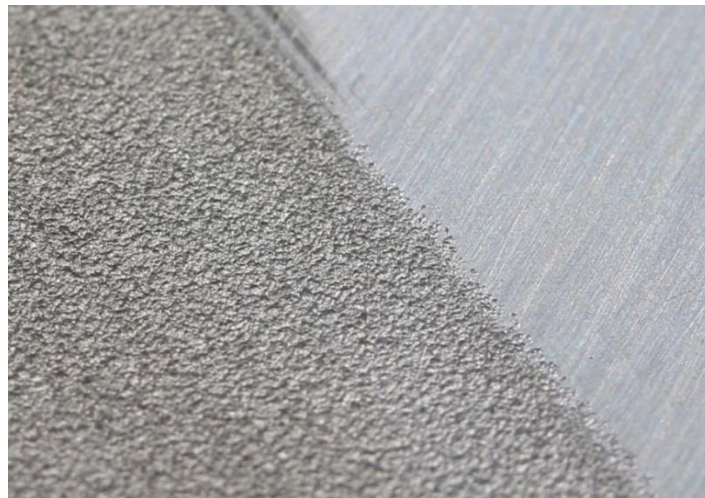
Şekil 4.4. Kapsama oranının dövme yoğunluğu ile ilişkisi. [39].

%100 değeri teorik açıdan hesaplanabilen bir değerdir ancak elde edilebilir bir değer değildir. Yapılan araştırma ve çalışmalarda kapsama oranlarının %100 olarak seçildiği görülmektedir. Bunun nedeni deneysel araştırmalarda her yüzeyin arzu edilen ve eşit dövme şiddetinde dövülerek dövme zamanının uzun sürmesinden ileri gelmektedir. % 100 ve daha üzeri kapsama oranlarında meydana gelen kalıntı gerilmeler göz ardı edilebilir düzeyler olarak görülmektedirler [40].

4.1. Bilyalı Dövme İşleminin Amacı

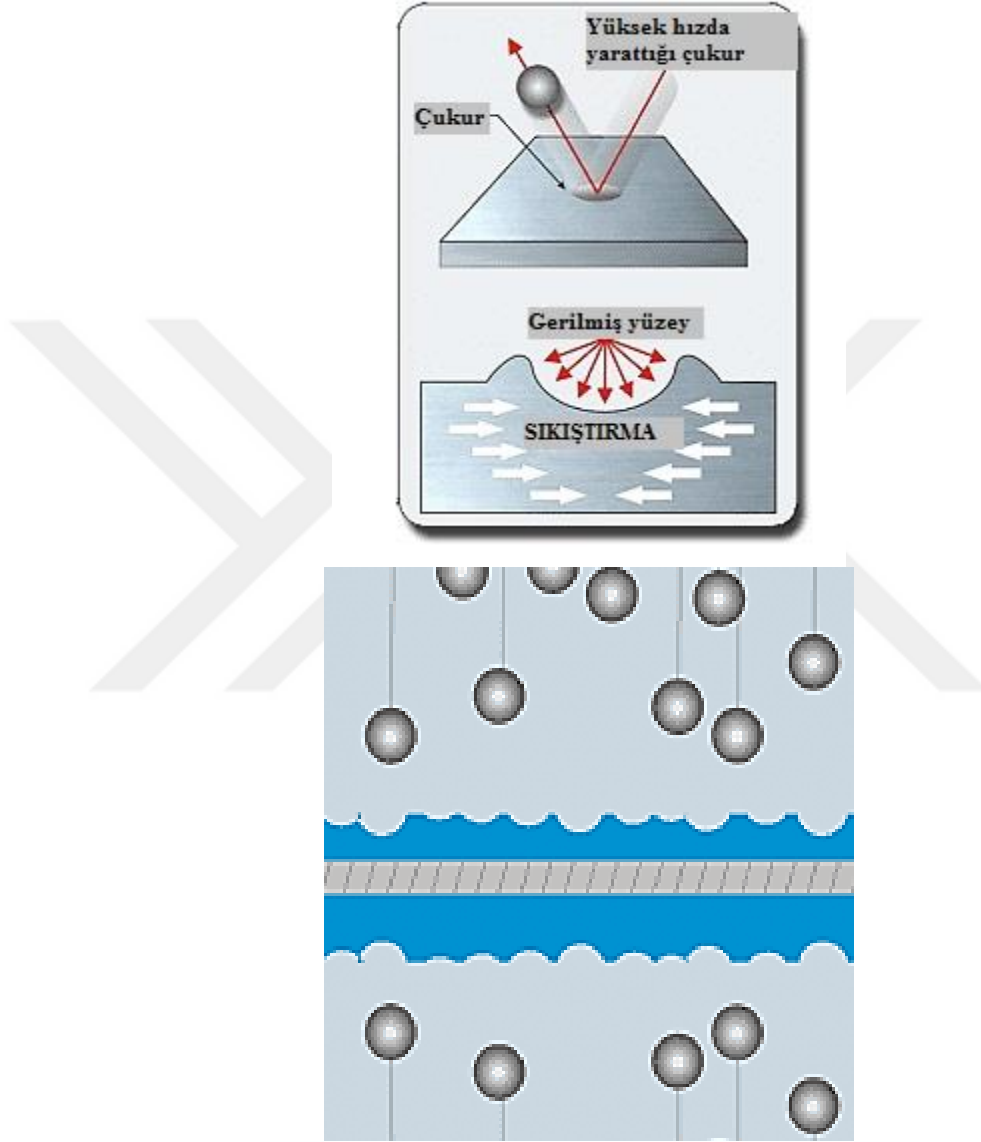
Bilyalı dövme prosesi, metalik malzemelerin gerilmeli korozyon ve yorulmaya karşı dayanımlarının artırılması amacıyla ılık ya da soğuk şekilde uygulanabilen bir mekanik yüzey prosesidir [41].

Bilyaların metal yüzeyine çarpması, ince uçlu bir çekicinin malzeme yüzeyine vurulması neticesinde meydana gelen etkiye benzer bir etki göstererek, metalin yüzeyinde çukurcuk ve tümsekler meydana getirir (Şekil 4.5)[42].



Şekil 4.5. Bilyalı dövme görüntüsü[43].

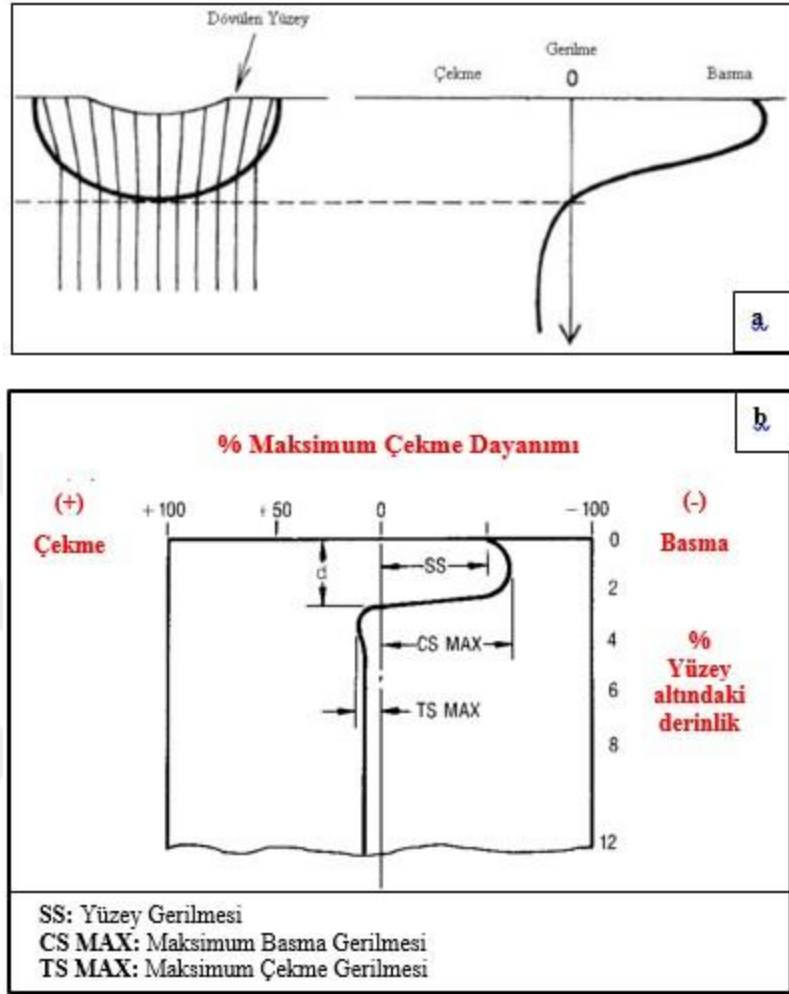
Bu işlem için faydalanılan bilyalar genel olarak küresel şekilde olup içeriği paslanmaz çelik, kesme tel, cam, çelik, seramik ya da dökme demir olabilir. Bilyalar, kalıcı plastik deformasyona neden olacak hızlarda, metal yüzeylerine püskürtülmelidir. Malzeme yüzeylerine püskürtülen bilya sayısının sayılamaz düzeyde olması su jeti prensibiyle benzetilmekle birlikte, bilyaya ait davranış incelendiğinde yüzeye çarpan bilyaların yüzeyde küre takesiyle eş bir çukurcuğu (Şekil 4.6) oluşturmasından dolayı malzemenin plastik olarak akması söz konusudur [42].



Şekil 4.6. Bilyanın metal yüzeyinde oluşturduğu çukurcuklar. [44].

Bilyanın yüzeye şiddetli şekilde çarpmasıyla beraber deforme olan bölgelerin genişlemesi yüzeyin alt bölgelerinde yalnızca elastik deformasyona uğrayan bölgeler tarafından engel olunmaya çalışılacaktır. Bu yüzden yüzey ve yüzey altındaki bilyanın etkilediği bölgelere kadar basma artık gerilmesi, malzemenin iç kesimlerinde genişlemeyi engelleyen elastik deformasyona uğramış bölgelerde ise çekme gerilmesi gerçekleşmektedir. Yüzeyde çukur oluşumuna yol açan çekme gerilimi, metali işlem öncesi durumuna getirmeye çalışan yüzeyin altındaki basma gerilimince engel olunmaya çalışılır. Bundan dolayı yüzeyin altındaki bölge yüksek basma gerilmesiyle

yüklenir. Birbiriyle çakışan çukurcukların altında basma özelliği taşıyan kalıntı gerilme profili oluşmaktadır. Bilyalı dövme işlemi görmüş bir parçanın en kesitinde meydana gelen artık gerilme profili Şekil 4.7’de gösterilmiştir [45].



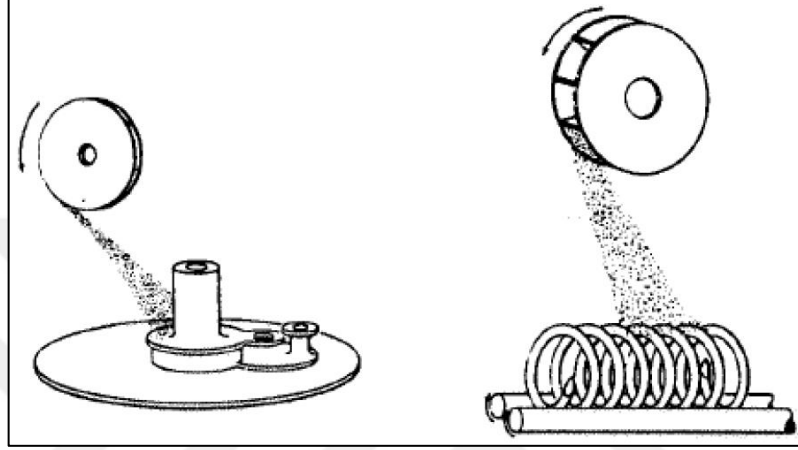
Şekil 4.7. Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili a. Bilyalı dövme sonrası oluşan yüzey profili, b. Bilyalı dövme sonrası yüzeyde oluşan basma gerilmesi [45].

Kalıntı gerilmeler yalnızca elastik gerilmeler şeklinde nitelendirilebilir. Bundan dolayı metalik malzemelerde bilyalı dövme işlemi sonrasında ortaya çıkan kalıcı gerilmeleri elastik limit ve altındaki gerilmeler olarak ifade edilebilir. Başka bir ifadeyle kalıntı gerilmeler akma mukavemetini geçemez, aksi halde başka bir plastik deformasyon mevzu bahis olur. Yürütülen çalışmalarda bilyalı dövme prosesi sonrasında meydana gelen artık gerilmelerim yaklaşık en az akma mukavemetinin % 50’si, en yüksek o metalin akma mukavemeti mertebelerinde olduğu bulgulanmıştır [42]-[2].

Basma kalıntı gerilmeleri çatlak başlaması ve ilerlemesini engeller. Gerilmeli korozyon ve yorulma hasarlarının tamamının yüzeyden başladığı dikkate alındığında, bilyalı dövme işlemiyle meydana gelen basma gerilmesi makine aksamalarının servis süresini uzatmaktadır [46].

4.2. Bilyalı Dövme Makinaları

Bilyalı dövme işleminde kullanılan makinalar çok çeşitli olmakla beraber iki kategoride sınıflandırılabilir. Bu makineler hava basıncı ve bilyaların püskürtülmesi gibi proses parametrelerinin otomatik ya da manuel olmasına bağlı şekilde sınıflandırılırlar. Mesela büyük ve hantal materyaller davul tipi bilyalı dövme makineleri, helis yayların lineer konveyörlü makineler, küçük aksamlar için de dönel tablalı makineler bulunmaktadır. Şekil 4.8’te bu işlem amacıyla yararlanılan lineer konveyör ve dönel tablalı sistemler gösterilmektedir [47].



Şekil 4.8. Bilyalı dövme için yararlanılan lineer konveyör ve dönel tablalı sistemleri [47].

Hava püskürtmeli bilyalı dövme prosesinde hava basıncı, yerçekimi kuvveti etkisiyle de makine haznesinde yer alan bilyaların, bir nozul vasıtasıyla malzeme yüzeyine püskürtülmesinde en önemli unsurdur. Şekil 4.9’da gösterilen hava püskürtmeli bilyalı dövme makinasının etkin dövme yoğunluğuna sahip olması, uzun bir nozul yardımıyla karmaşık geometriye sahip dişli makine parçalarını rahatlıkla dövülebilmesi bu makinaları klasik bilyalı dövme makinaları göre daha üstün kılmaktadır [47].



Şekil 4.9. Otomatik hava püskürtmeli bilyalı dövme cihazı.

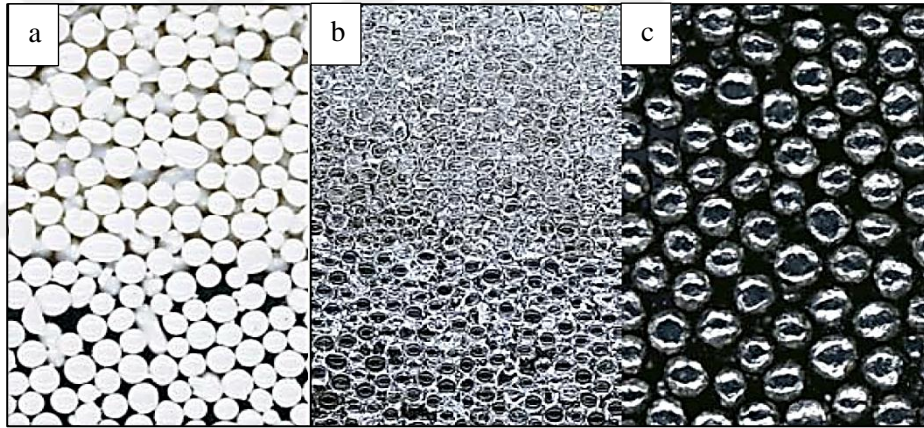
4.3. Bilyalı Dövme İşlem Parametreleri

Bilyalı dövme işlemine ait karakteristiği belirleyen birçok parametre mevcuttur. Bu parametreler dövme maruziyeti, dövme medyası ve Almen şerite bağlı pek çok kombinasyonu kapsamaktadır [48]. Parametrelerin tamamı dövme şiddetini ve işlem sonrası meydana gelen yüzey karakteristiklerinin gerçekleşmesine yol açar. Bir başka ifadeyle bilyalı dövmede temel parametre dövme şiddetidir. Öteki parametreler, dövme şiddetinin temin edilebilmesi için kontrol edilebilen alt parametrelerdir.

4.3.1. Bilya Çapı ve Malzemesi

Bilyalı dövme işleminde yararlanılan bilya malzemeleri çelik teller, çelik, dökme çelik, dökme demir, cam, paslanmaz çelik ve seramiktir (Şekil 4.10). Çelik bilyalar standartlar kapsamında S70 ila S930 arasındaki değerlere sahiptir. Tablo 4.2’te uygulamada kullanılan bilya tipleri ve malzemeleri, Tablo 4.3’te ise bilyaların standartları ve sertlik değerleri gösterilmektedir [11].

Bilya malzemesi genel olarak sertlik değeri yüksek çelik malzemelerdir. En çok kullanılan bilya tipi AMS 2431 standardına uygun olanlardır.



Şekil 4.10. Pratik uygulamalarda kullanılan farklı tip bilyalar, a) Seramik bilya, b) Cam bilya, c) Paslanmaz çelik bilya.

Tablo 4.2. Bilya tipleri ve malzemeleri [11].

| | | |
|---------------------------|---|--------------------------------|
| Demir İçerenler | Çelik Bilya, Yuvarlatılmış Kesme Tel, Paslanmaz Çelik Bilya | |
| Demir Dışı Olanlar | Metalik Olanlar | Alüminyum, Çinko, Bakır, Bronz |
| | Metalik Olmayanlar | Cam, Kürecik Seramik Bilya |

Tablo 4.3 Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri [11].

| Bilya Tipi | Standart | Sertlik |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| Çelik Bilya | AMS 2431/1 veya AMS 2431/2 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Tel Kesme | AMS 2431/3 veya AMS 2431/8 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Cam Bilya | AMS 2431/6 | 48-52 HRC |
| Seramik Bilya | AMS 2431/7 | 58-63 HRC |

4.3.2. Püskürtme Debisi

Malzeme üzerine fırlatılacak parçacıkların sabit bir püskürtme debisine sahip olmaları gereklidir. Böylelikle malzeme yüzeyinde arzu edilen eşit fiziksel özelliklerin elde edilme mümkün hale gelecektir. Püskürtme debisi, en iyi kapsama oranının elde edilebilmesi için öneme sahip bir parametredir.

4.3.3. Püskürtme Basıncı

Bilyaların yüzeyi dövme enerjisi üzerinde direkt etkisi olan parametre bilyaların nozul çıkış basıncıdır. Önerilen bilya materyali, iş parçasına ait fiziksel özellikler ve çapa göre standartlar paralelinde püskürtme basıncının seçilmesi gerekmektedir.

4.3.4. Püskürtme Mesafesi

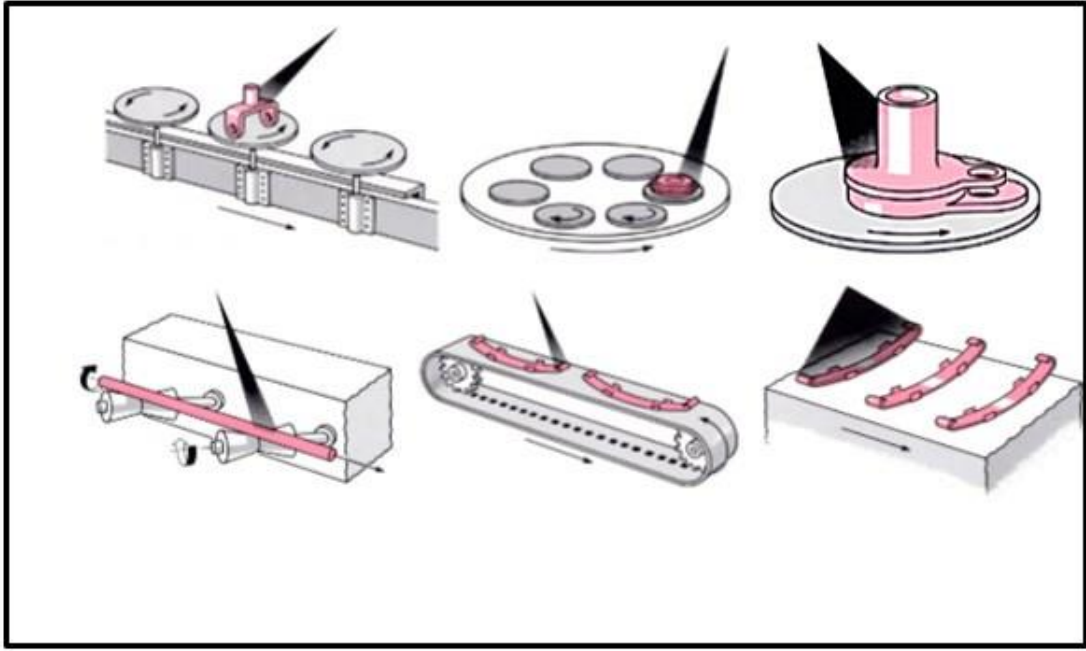
Almen testi yapılma amacı, dövme prosesinde materyale aktarılan toplam enerjiyle doğrudan bağlantılıdır. Belli bir hıza sahip püskürtülen bilyaların üzerindeki en yüksek enerjiyle yüzeye çarpması ve sekmesi sonrasında yeniden püskürtme işlemi için havuza düşmesi gerekir. Bu amaçla debi ve bilya çapıyla orantılı şekilde bir püskürtme mesafesinin seçilmesi gerekmektedir.

4.3.5. Püskürtme Açısı

Yüzey normali ile parça yüzeyi arasındaki alanda nozulun konumlandığı açıya “Püskürtme açısı” adı verilmektedir. İdeal anlamda tüm enerjinin verilebilmesi adına dik açıyla püskürtme yapılması gerekli olsa da bilyaların yüzeyden geriye sekmesi, birbirleriyle en az temas gibi kısıtlamalar nedeniyle yaklaşık 80 ila 85° açıda seçilmesi gerekmektedir. Şekil 4.11’de gösterildiği gibi kompleks geometri yapısı olan yüzeyler için çok çeşitli açı değerleri de seçilebilir.

4.3.6. Test Şeridi

Test şeritleri talep edilen dövme yoğunluğu doğrultusunda seçilmektedir. Sırasıyla düşük (6A altı) dövme yoğunluğu için C tipi, orta (6A – 24A) dövme yoğunluğu için A tipi ve de yüksek (24A ve üstü) dövme yoğunluğu için N tipi şeritlerden yararlanılır [49].



Şekil 4.11.Pratik uygulamalarda kullanılan farklı püskürtme açıları ve püskürtme mesafeleri [50]

4.4. Bilyalı Dövme Prosesinin Uygulama Alanları

Bilyalı dövme prosesleri endüstriye ait birçok alanda uygulanmaktadır. Şekil 4.12.'de Havacılık endüstrisinde bilyalı dövme işlemine ait bir uygulama gösterilmektedir. Bu dövme işlemi, makina aksamlarının yorulma mukavemetlerinin yükseltilmesi, gerilmeli korozyon hasarlarının azaltılması, olası veya mevcut çatlak ilerlemelerinin durdurulması ya da yavaşlatılması, kavitasyonla oluşan hasarların yavaşlatılması ve çeşitli malzeme gruplarında üretilen parçaların birleştirilmesi amacıyla yapılmaktadır [51].

Bilyalı dövme işlemi başlıca kullanım amacı olan yoruma dayanımının artırılması ve kalıntı gerilmeleri gidermesiyle tam olarak açıklanabilmektedir. Talaşsız veya talaşlı her çeşit imalat yöntemiyle üretilen parçalar kesinlikle kalıntı gerilmeler barındırırlar. Ayrıca bu kalıntı gerilmelerden kurtulmak için gerilim giderme tavlama da uygulanmaktadır. Meydana gelen kalıntı gerilmeler zararlı ve faydalı türde olup, yüzey tabakasında meydana gelen çekme kalıntı gerilmeleri zararlı iken yüzeyde ve yüzeyin hemen altında meydana gelen basma gerilmeleri ise faydalıdır.



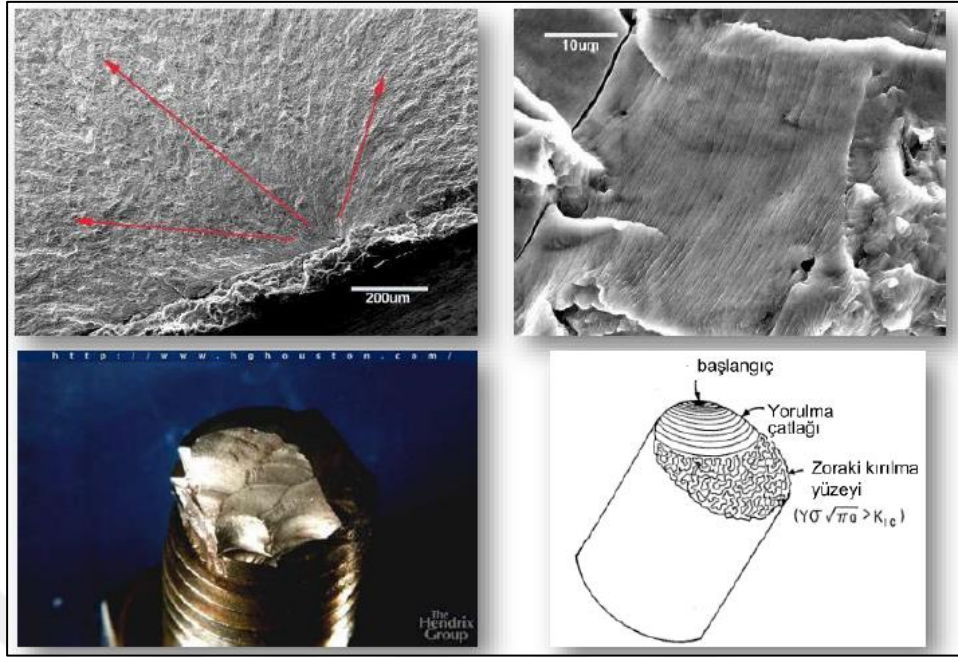
Şekil 4.12. Havacılık endüstrisinde bilyalı dövme işlemine ait bir uygulama (Uçak kanadı) [52].

Makine parçalarına gelen toplam kuvvetin hesaplanması için oluşan kalıntı gerilmeler ile dış gerilmeler dikkate alınmaktadır. Neticede hesaplanan gerilim değeri o makine parçasına ait muhtemel hasarlarla ilgili ön bilgilendirme yapmaktadır.

5. YORULMA

5.1. Yorulma Prosesi

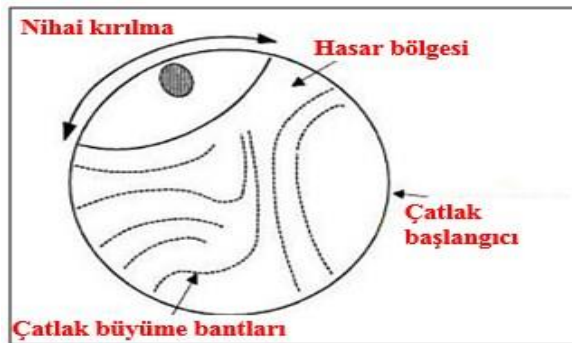
Malzemelere ilişkin yorulma ömürlerinin ön görülmesi literatür de ve endüstride yaygın bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte bilyalı dövme proseslerinde de yorulma araştırmaları sürmektedir. Şekil 5.1 de gösterildiği gibi genellikle yorulma çatlak süreci; çatlak başlangıcı, çatlak yayılımı ve kırılma şeklinde ayrılmaktadır. Çatlak yayılım safhasının ömür tahmininin iyileştirilmesine ve çatlak yayılımına yönelik oldukça çok çalışma yapılmış olup, bununla beraber çatlama başlangıcına dair araştırmaların azlığı dikkat çekmektedir [53].



Şekil 5.1. Yorulma hasarı görüntüleri [54].

Çeşitli yükleme şartlarında, test parçası geometrisi ve kristalografik karakteristikleri paralelinde çok taneli malzemelere ait yorulma davranışları detaylı bir şekilde araştırılmış ve yorulmaya dair ömür tahminleri için farklı yaklaşımlar getirilmiştir. Yorulmanın çatlak başlangıcında en ciddi etkenlerden biri, malzeme mikroyapısıdır. Yorulma çatlak oluşumunda mikroyapının esas rolü, hesaplama modellemesi ve deneyler bakımından detaylı olarak analiz edilmiştir. Yorulma çatlak başlangıcının mikroyapıda heterojenlik olmasıyla yakından bağlantılı olduğu tespit edilmiştir[55]. Özetle lokal deformasyonun doğru olarak öngörülebilmesi, çok taneli malzemelerin çatlak başlangıcı için zorunludur [56]. Yorulma, mukavemet limiti altında tekrarlı gerilmeler nedeniyle oluşan bir kırılma tipidir. Bununla beraber malzemenin son mukavemeti altında kırılma oluşuncaya dek devam eder [57].

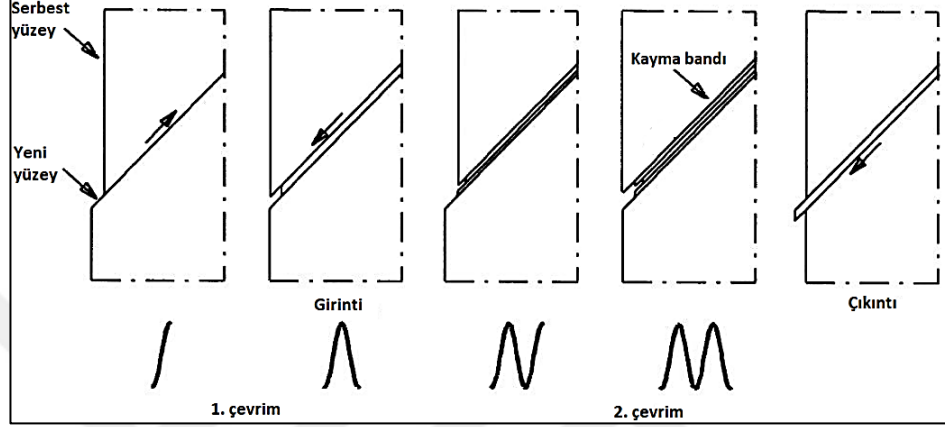
Yorulma kaynaklı kırılmalar, tek düze kırılmalara göre farklılıklar göstermektedir. Çatlak yüzeylerinin incelenmesi durumunda sünek ya da gevrek kırılma türü olduğu fark edilebilmektedir. Örneğin makro incelemede, çatlak başlangıç safhası, çatlak büyüme bantları ve nihai kırılmanın görülebilmesi mümkündür (Şekil 5.2) [57].



Şekil 5.2. Yorulma çatlak yüzeyi [57].

5.1.1 Çatlak Başlangıcı

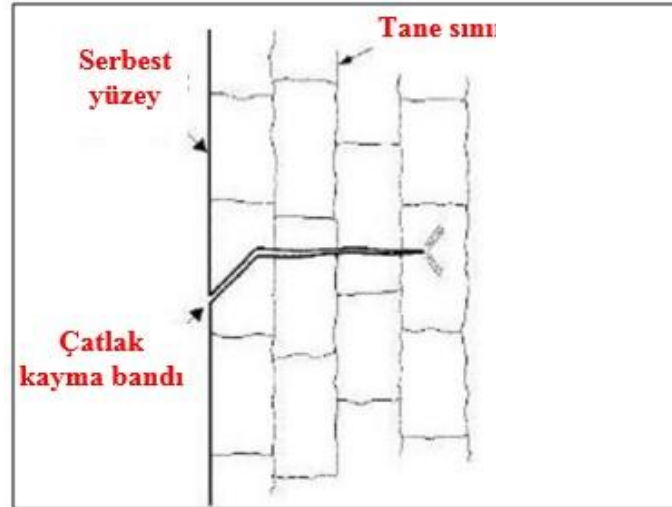
Yorulmada ilk aşaması çatlak başlangıcı şeklinde tanımlanmaktadır. Yorulma, materyalin serbest yüzeyinden kaynaklanmaktadır. Plastik şekil değiştirme sınırları altındaki kuvvetler sadece belirli sayıdaki taneler üzerinde etkili olmaktadır. Her bir gerilme çevrimi, kaymayla tanenin serbest yüzeylerinde bir plastik şekil değiştirme çevrimine yol açmaktadır. Tekrarlı yükleme durumu, yeni serbest yüzeylere, dolayısıyla yorulma çatlak başlangıcının devam etmesine yol açar. Çatlak başlangıcı periyodu malzemenin yüzey koşullarıyla ilişkilidir (Şekil 5.3) [58].



Şekil 5.3. Çatlak başlangıcı periyodu

5.1.2 Çatlak İlerlemesi

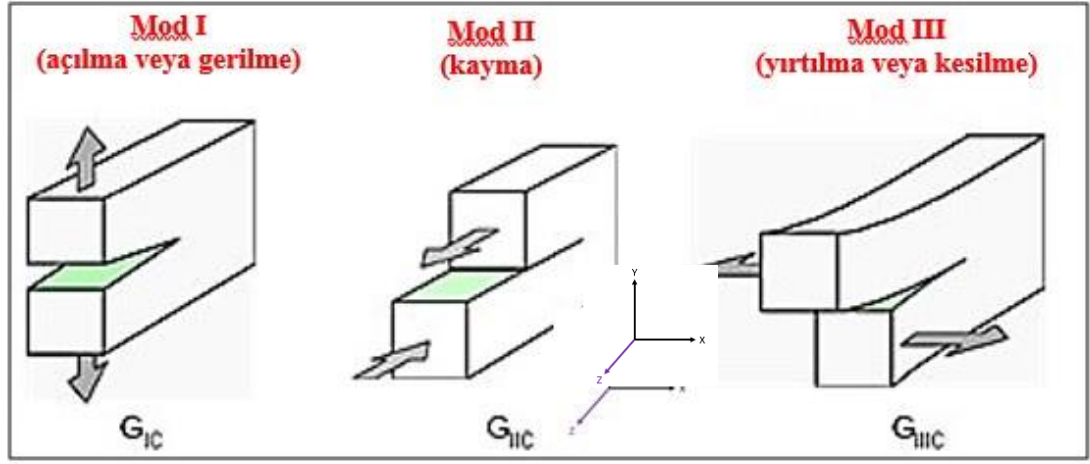
Mikroyapı ölçekte kayma bantlarına ait serbest yüzeylerde başlayan yorulma çatlakları, gerilme yoğunluğunun artması gibi bir rol oynarken bu yük şartlarında kayma düzlemi doğrultusunda çatlakların büyümesine yol açmaktadır. Kayma bantı doğrultusunda çatlak ilerlemesi 1. aşama ilerlemesi şeklinde adlandırılmaktadır. En yüksek gerilim doğrultusunda dik yönde ilerlemeye başlayan kayma bantları boyunca ilerleyen çatlaklar ise 2. aşamadır (Şekil 5.4) [59].



Şekil 5.4. Mikro ölçekte çatlak ilerlemesi.

5.1.3 Nihai Kırılma

Materyal boyunca çatlak ilerlemesi durumunda kesit alanı azalırken çevrimli yüklemde uygulanan kuvvet gerilme limitlerini aşarak gevrek ya da sünek kırılma gerçekleşmektedir. Söz konusu kırılma modları 3 temel grupta sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada göz önünde bulundurulacak parametreler malzeme ve yükleme yönüdür. Mod I (açılma veya gerilme), malzemenin y doğrultusundaki çekme kuvvetleriyle yüklendiği ve çatlak yüzeylerinin aynı doğrultusunda çekildiği durumdur. Mod II (kayma modu), malzemenin çatlak yüzeylerine paralel yöndeki kesme kuvvetleriyle yüklenmesiyle ortaya çıkar. Mod III (yırtılma veya kesilme) durumunda malzeme z doğrultusundaki kesme kuvvetleriyle yüklenmektedir (Şekil 5.5). [60].



Şekil 5.5. Kırılma modları.

5.2. Farklı Yükleme Koşullarında Yorulma Gerilmeleri

Yorulma testi, çeşitli gerinim ve gerilim şartlarında tanımlanabilmektedir. Yük şartlarındaki yorulma gerilmeleri, gerilme oranı ve ortalama gerilme değerleri paralelinde kategorize edilebilir.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (5.1)$$

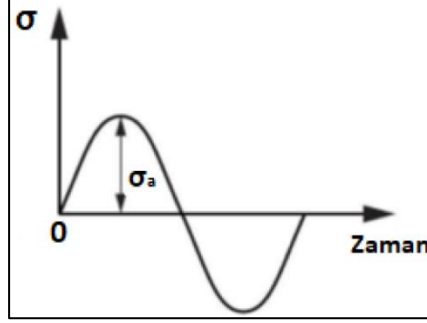
5.1 denkleminde görülen σ_a gerilme genliğini, σ_{max} en yüksek çevrimsel yüklemdeki en yüksek gerilmeyi ve σ_{min} çevrimsel yüklemde meydana gelen en düşük gerilmedir.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (5.2)$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (5.3)$$

5.2.1. Tam Değişken Yükleme

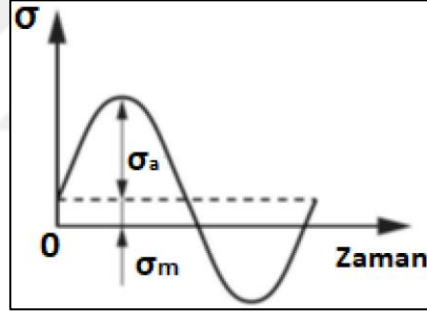
$\sigma_m = 0$ ve $R = -1$ durumu tam değişken yükleme şartları olarak ifade edilmektedir. Çoğunlukla dönen eğme testi prosedürün de ki testler için yararlanılmaktadır. σ_m ve σ_a yükleme şartlarında ortalama gerilme ve gerilme genliği değerleridir.



Şekil 5.6. Tam değişken yükleme durumu.

5.2.2. Çekme Basma Yüklemesi

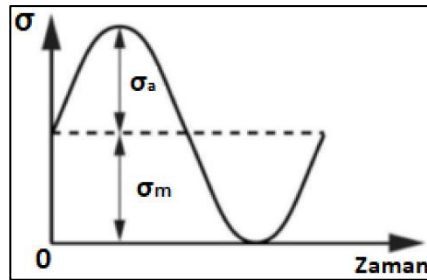
Ortalama gerilme üzerindeki genlik gerilmeleri çekme basma yüklemesi şeklinde ifade edilmektedir. Ortalama gerilim değeri, yükleme sırasında pozitif bir değere tekabül etmektedir.



Şekil 5.7. Çekme basma yüklemesi.

5.2.3. Tekrarlanan Gerilme

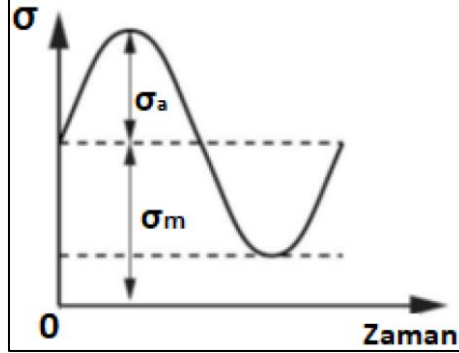
$\sigma_{min} = 0$ ve σ_m değerindeki pozitif bir aralıkta olan gerilme tekrarlanan gerilme şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 5.8. Tekrarlanan gerilme.

5.2.4. Alternatif Gerilme

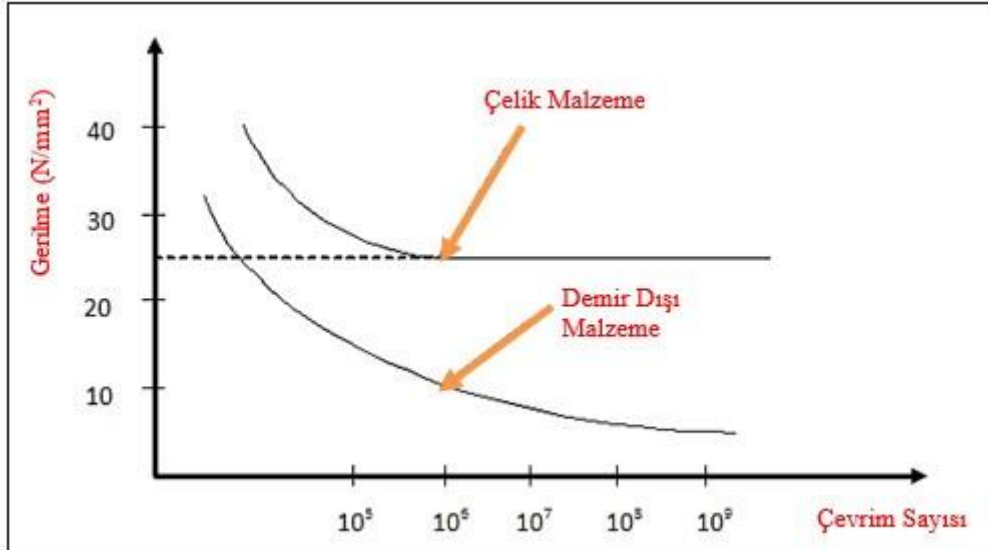
σ_a ve σ_m değerlerinin pozitif bölgede olduğu yüklenme durumu alternatif gerilmedir.



Şekil 5.9. Tekrarlanan gerilme.

5.3. S-N Diyagramı (Wöhler Diyagramı)

S-N diyagramı, sabit çeşitli gerilmeler altında test numunesinin kaç çevrimde kırılacağına dair bilgiyi göstermektedir. Bu eğriye ulaşılabilmesi için genellikle birden çok test numunesinden yararlanılır. Sabit ortalama gerilme (σ_m) altında her bir test numunesine değişik gerilmeler uygulanır ve de test numunesi kırılıncaya dek geçen çevrim sayısı saptanır. Deneyler süresince gerilme genliği (σ_a) sabit tutulmaktadır. [61].



Şekil 5.10. Çelik/Demir dışı malzemelerin gerilme-çevrim sayısı grafiği [61].

5.3.1. Yorulma Ömrü

Tekrarlı yüklenme şartlarında materyalin yorulma hasarı görmeksizin dayanacağı en yüksek çevrim sayısı materyalin o yüklenme durumuna ait yorulma ömrünü sunmaktadır. Bir malzemeye ait yorulma ömrünün zamanla ilişkisi yoktur. Bu ömür, periyodik zorlanmalarla ilişkili olarak yükün şiddetiyle farklılık göstermektedir.

Titanyum alaşımlı ve çelik malzemelerin belli bir yorulma ömrünün altındaki sonsuz çevrimde dahi kırılmadıkları bilinmektedir. Sonsuz ömrün tespit edildiği bu gerilim değerine yorulma sınırı tanımlaması yapılmaktadır. Bakır, Mg alaşımlı ve diğer alaşımlı malzemelerle beton malzemeler için bir yorulma sınırı mevzu bahis değildir. Bu malzemelerde yorulma dayanımı tanımlaması yapılmaktadır. Bu tür malzemeler için uygulanan yük düşürülse bile belirli bir çevrim sayısı sonrasında yorulma hasarı meydana gelmektedir [6].

6. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bilyalı dövme tekniği 1940 döneminde uygulanmaya başlanmıştır. Başlıca uygulamaların İkinci Dünya Savaşı esnasında yararlanılan uçak motorlarındaki yüksek gerilme ve yorulmalar yaşayan komponentlerin söz konusu mukavemetlerini geliştirilmesi amacıyla yapıldığı bilinmektedir. Bilyalı dövme tekniğinin ilk uygulayıcıları GM (General Motors) ve SAE şeklinde kayıtlara geçmiştir. F.P. Zimmerli [62].tarafından ilk çalışma ve araştırmalar yapılırken bilyalı dövme işleminin yorulma üzerindeki pozitif etkisi tespit edilmiştir.

Zimmerli [62] tarafından yapılan ilk inceleme ve araştırmalarda görülen en önemli problemin, prosesin kontrollü ve tutarlı şekilde gerçekleştirilememesi olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu deneylerde fosfor bronz, paslanmaz çelik, tel ve yay malzemelerine çeşitli bilya çapları kullanılarak bilyalı dövme prosesi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mukavemet değerlerinin neredeyse %50 artış gösterdiği görülmüştür. Bunun yanında metallerin yorulma ömürlerinin arttığı, ısıl işlemle bilyalı dövme işlemi etkisinin ortadan kalktığı, ağırlığın düşürülmesi için bu işlemde yararlanılabileceği ve yorulma direnci için iyi bir yüzey pürüzlülüğüne gerek olmadığı tespit edilmiştir.

Almen [63] dövme şiddetinin tespit edildiği ve günümüzde bu isimle anılan teknik ve donanımlarla ilgili bir patent başvurusu yapmıştır. Bu teknik zamanımıza kadar ulaşmış olup bilyalı dövme işlemine ait karakterizasyonun tespit edilmesinde yararlanılmaktadır.

Herzog, Zin, Wohlfahrt ve Scholtes [64]. tarafından farklı bilyalı dövme parametrelerinin Al7020 alüminyum alaşımı ve X35CrMo17 çeliğindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçları aktarım hızı ve hava basıncına bağlı olarak değişen dövme süresi, sertlik, bilya boyutu ve dövme hızıyla sağlanan en yüksek kalıntı basma gerilme değerini ve yorulma dayanımını kayda değer seviyede artırdığını göstermiştir. Bunun yanında bilya sertliğinin artmasıyla kalıntı basma gerilme değerinin daha da arttığı tespit edilmiştir.

Hozapfel ve Wick [65] tarafından yapılan çalışmada dövme basıncı, bilya tipi ve boyutu, dövülen parça sertliği, bilya akış hızı gibi bilyalı dövme parametrelerinin AISI 4140 çeliğine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bilyalı dövme işlemi sonrasında yüzeyden derinliğe inildikçe sertlik oranının azalma gösterdiği, kalıntı basma gerilme değerinin ise bir noktaya kadar artış gösterdiği, sistem basıncının artmasının neticesinde ise bilya akış hızının arttığı ve bunun kalıntı basma gerilme değerini de artırdığı tespit edilmiştir.

Dülek, Orman, Karataş ve Sarıtaş [59] tarafından yapılan çalışmada bilyalı dövme parametrelerinin Ç1020 çeliğinin yorulma dayanımına etkisi ve oluşan kalıcı gerilmenin katman kaldırma yöntemi ile araştırılmıştır. Çelik malzeme haddelenmiş durumda ve tavlanmış dövülmüş durumda iken çelik malzemede oluşan yorulma ömrü ve kalıcı gerilmeler karşılaştırılmıştır. Bilyalı dövme ile tavlanmış numunelerin yorulma dayanımı 205 MPa seviyesinden 265 MPa seviyesine çıktığı, maksimum kalıcı gerilmelerin ise 276 MPa (basma) ile 363 MPa (basma) arasında değiştiği görülmüştür.

Akiniwa, Kimura ve Sasaki [66] tarafından yapılan çalışmada, AISI 1045 karbon çeliğine 2 farklı ısıl işlem uygulanarak bilyalı dövmenin yorulma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar yorulmaya pozitif etkisi olduğu görülürken yüzey pürüzlülüğünün de en az yüzey sertlikleri ve kalıntı gerilme kadar önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

Wick, Holzapfel, Schulze ve Vohringer [67] tarafından yapılan çalışmada altı değişik değerde ısıl işleme tabi tutulmuş AISI 4140 çeliğinin yüzeyine uygulanan 0,3 mmA yoğunluktaki bilyalı dövme etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüksek sertliğe sahip test numunelerinde daha düşük kalıntı gerilme değeri, en düşük sertlikli numunelerde ise en yüksek kalıntı gerilme değeri tespit edilmiştir. Dövme tekniğinin değiştirilmesi durumunda ise sertlik değeri düşük numunede yüzey pürüzlülük değerinin yükseldiği, bilya boyutunun artırılmasıyla ise yine yüzey pürüzlülük değerinin yükseldiği bulgulanmıştır.

Dalaei ve Karlsson [68] tarafından bilyanın dövmenin değişken genlikli yüklemeler altında yorulma dayanımına etkisini incelemeye yönelik çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bilyalı dövme işleminin düşük genlikli yüklemelerde daha uzun malzeme ömrü temin edildiği, çok yüksek genlikli çevrimlerde bilyalı dövülen ve dövülmeyen malzemelerin birbirlerine çok yakın ömür değerleri gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca 0,25 mmA dövme şiddeti ve % 200 yüzey sarma oranı ile en yüksek yorulma mukavemetinin sağlandığı, ilk yüklemeler sırasında malzeme ömrünün büyük bölümünün harcandığı, sürdürülen yüklemelerde kalıntı gerilmelerin doğrusal olarak azaldığı görülmüştür.

Byrne, O'Neill, Twomey ve Dowling [69] tarafından yapılan çalışmada kaplama öncesi titanyum alaşımına bilyalı dövme ve işlemi uygulanarak bu işlemlerin titanyum alaşımının kaplama adhezyonuna etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki tekniğin de yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırarak kaplama adhezyonunu artırdığı bulgulanmıştır.

Vielma, Llaneza ve Belzunce [70] tarafından bilyalı dövme şiddetinin AISI 4340 çeliğine eşdeğer F1212 çeliği üzerindeki yorulma mukavemeti etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçları 0,2 mmA ile 0,56 mmA dövme şiddetleri arasındaki değişik dövme şiddetleri kullanılan testlerde, parlak yüzeylerde pürüzlülük değerinin şiddet değeri ile birlikte artış gösterdiği ve de %100 yüzey sarma oranına kadar yüzey pürüzlülüğünün arttığını göstermiştir. Ayrıca daha yüksek sarma oranlarında pürüzlülük değerinin çok değişim göstermediği, daha yüksek şiddetli uygulamalarda kalıntı basma gerilme değerinin beklenene nazaran düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Yorulma testi sonuçları, dövme şiddeti ile beraber yorulma dayanımının yükseldiği fakat yüksek şiddetli uygulamalarda yorulma mukavemetinin gittikçe azaldığını, %50 çekme mukavemeti ile uygulanan yüklemelerde en yüksek yorulma performansı 0,25

mmA şiddetinde bulunmuştur.

Ahmed, Mhaede, Wollmann ve Wagner [71] tarafından 2 farklı faza sahip Ti6Al4V alaşımı 850, 450 ve 125 - 250 µm boyutlardaki bilyalarla 0,22 mmA Almen yoğunluğunda dövülerek korozyon dayanımı, yüzey pürüzlülüğü, sertlik ve kalıntı basma gerilmesi üzerindeki etkiler araştırılmıştır. Tespit edilen sonuçlara göre bilyalı dövmeyle malzeme yüzeyin sertliğinin arttığı, yüzeyde kalıntı basma gerilmesi olduğu bulunmuştur. Ayrıca büyük çaplı bilyaların düşük pürüzlülükler sağladığı ve korozyon dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Fakat genel anlamda bilyalı dövmeyle korozyon dayanımının azaldığı bulgulanmıştır.

Ünal [72] tarafından yapılan bilyalı dövme parametrelerinin optimizasyonuna yönelik araştırmada Almen test plakalarının bilyalı dövme parametrelerine göre işlem sonrası aldığı eğiklik yüksekliğinin önceden tahmin edilebilmesi amacıyla bir analiz gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde AISI1070 tip yay çeliğinden üretilen A tipi Almen test plakaları kullanılmıştır. Almen dövme şiddeti doğrultusunda belirlenen eğiklik yüksekliği, dövme süresi, hava basıncı, bilya boyutu parametrelerine göre bir eşitlik ortaya çıkarılmıştır. Söz konusu eşitliğe göre dövme süresi ile bilya boyutunun aynı anda artmasıyla eğiklik yüksekliğinde önemli bir artış görülmüştür. Ne var ki bu parametrelerden birinin sabit kalması ya da düşük oranlarda artmasıyla, almen dövme yoğunluğunun beklenenden daha az bir değerde arttığı tespit edilmiştir. Bilya boyutundaki artışın hava basıncındaki artış ile desteklenmesiyle dövme şiddetinde de belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Neticede bu parametreler içerisinde almen dövme şiddetinin tespit edilmesinde hava basıncının oldukça önemli bir parametre olduğu bulgulanmıştır.

Goulmy ve diğerleri [73] tarafından Inconel 718 malzemeden üretilen bir türbin diskinin bilyalı dövme sonrası yorulma ömründeki değişim incelenmiştir. Araştırma sonuçları yorulma etkisindeki parçalarda kalıntı gerilmelerin nispeten azaldığı tespit edilmiştir. Daha yüksek sıcaklıkta testi yapılan numunelerde gerilme azalmalarının daha fazla olduğu saptanmıştır.

Klotz ve diğerleri [74] tarafından bilyayla dövülmüş Inconel 718 için yorulma ömrü gelişimini gösteren bir model üzerinde çalışılmıştır. Araştırma sonuçları tüm düşük çevrim yorulma çatlaklarının silindirik numunelerin yüzeyinden başladığı, yorulma ömrünün yüzeyin tokluğu ile çok yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

Slavin, Child, Moore ve Hennig [75] tarafından bilyalı dövme prosesi için küresel olarak şekillendirilmiş tel ile (SCCW - spherical conditioned cut wire) ile çelik döküm bilyayı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları küreleştirilmiş tel ile dövülen numunelerde yüzey pürüzlülüğünün bilya ile dövülene göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kalıntı gerilme ölçümlerinde küreselleştirilmiş tel ile dövülen numunelerde kalıntı gerilmenin kısmen daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Liu, Li ve Liu [76] tarafından yapılan araştırmada Ti6Al4V alaşımına 0,15 ila 0,35 MPa arasında farklı püskürtme basınçlarında ve 15 ila 60 dakika arasında farklı püskürtme sürelerinde bilyalı dövme işlemi uygulanmış olup bilyalı dövme işleminin malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve mikroyapısına etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçları püskürtme basıncının artmasıyla yüzeye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyde meydana gelen en derin nokta - en yüksek tepe arasındaki mesafenin arttığını

göstermiştir. Dövme zamanının artmasıyla ilk 15 dakikalık sürede ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı ve de uzayan sürelerde yüzey pürüzlülüğünün aşırı dövmeyle bağlı şekilde değişmediği belirlenmiştir.

Fernández-Pariente a., S. Bagherifard b, M. Guagliano b, R. Ghelichi [77] Bu yazıda, küçük kusurların farklı nitrürlenmiş serilerin yorgunluk eşiği üzerindeki etkisine nitrür atışlı Bilyalı dövme ile düşük alaşımlı çelik numuneleri deneysel olarak araştırılmıştır. Kum örnekleri üzerinde dönen eğilme deneyleri. Ön çatlak görevi gören mikro delikler d'yi farklı yöntemlerle (elektro-erozyon ve girinti) kullanarak tanıtmak hata büyüklüğünün etkisini ve bunları üretme sürecinin etkisini değerlendirir yorgunluk eşiğinde. DKth cinsinden yorumlanan sonuçlar iyi bir anlaşma göstermektedir. tahmin edilenlerle, ölçülen deneyin taksitli olduğunu düşünen bir formülle hesaplanır. artık gerilmeler, FWHM parametresi, mikro-sertlik değerleri ve kırık SEM gözlemi ve tükenme örnekleri. Elde edilen sonuçların eleştirel bir tartışması etkiyi vurgular hata büyüklüğünün ve yorgunluktaki mikro deliklerin üretilmesinde kullanılan yöntemineşik.

Koji Takahashi, Hideki Okada, Kotoji Ando [78] Bu yazının amacı yapay küçük kusur içeren yüksek mukavemetli çelik numunelerin burulma yorgunluk limitinin araştırılması. Tasarım / metodoloji / yaklaşım - 0.1-0.4mm derinliğinde veya 0.15 veya 0.3mm derinliğinde bir yarı dairesel yarı Bilyalı dövme işlmine tabi tutuldu. Daha sonra burulma yorgunluk testleri yapıldı. Bulgular - Delikli numunelerin burulma yorgunluk sınırları yarı dairesel yarı Bilyalı dövme ile sırasıyla yüzde 25-64 ve yüzde 156-186 artmıştır. Burulma Bilyalı dövme işlemine tabi tutulan ve derinliği 0,1 mm'den az delinmiş bir delik içeren numunelerin yorulma sınırları veya derinliği 0,15 mm'den az olan yarı dairesel bir yarı kusur oluşturdu. Bu sonuçlara dayanarak, 0,1 mm'den daha derin bir kusur ve derinliği 0.15 mm'den az olan yarı dairesel yarı Bilyalı dövme ile zararsız hale getirilebilir.

Pratik uygulamalar - Önerilen yöntem, halkalı burulmayamaruz kalan mekanik parçalara uygulanabilir. helezon yaylar, krank milleri ve tahrik milleri gibi

7. MATERYAL VE YÖNTEMLER

7.1. Materyal

Bu tez çalışmasında DIN 50CrV4 çeliği kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal içeriği Tablo 7.1’de, sertleştirme ve temperleme sonrası mekanik özellikleri Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. 50CrV4 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

| C | Si | Mn | P | S | Cr | V |
|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,47 - 0,55 | Maks. 0,4 | 0,70 - 1,1 | Maks. 0,035 | Maks. 0,030 | 0,90 - 1,20 | 0,10 - 0,20 |

Tablo 7.2. 50CrV4 malzemesinin mekanik özellikleri

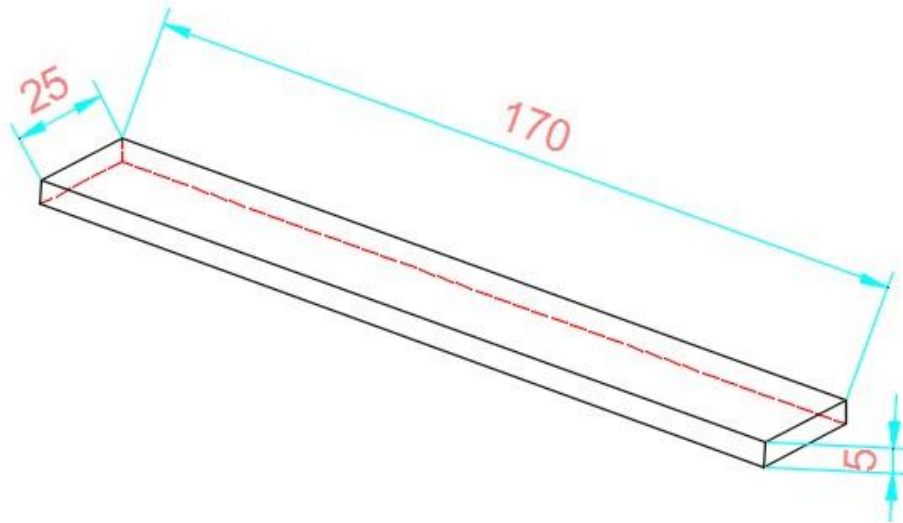
| Akma Dayanımı (N/mm ²) | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | % Uzama | Sertlik (HV) |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------|
| 1262 | 1342 | 21,2 | 460 |

50CrV4 çeliği şanzıman, direksiyon parçası, aktarma organları parçaları, mavsal parçaları, akslar vb yüksek yüklerde yüksek aşınma direncini karşılaması gereken parçalar için uygun bir malzemedir.

7.2. Yöntemler

7.2.1 Numunelerin Isıl İşlemi

Levhasal biçimdeki 50CrV4 malzemesi Şekil 7.1’de gösterilen ölçülerde lazerli kesim yapılarak hazırlanmıştır.



Şekil 7.1. Testlerde kullanılan numune ölçüleri

Numuneler önce sertleştirme-temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemde Şekil 7.2(a)'da gösterilen ısıtım fırını kullanılmıştır. Bu fırın da 900°C sıcaklığa kadar ısıtılan numuneler 10 dakika tutulmuştur. Sonrasında 20 sn soğutma yağı içinde bekletilerek soğutulmuştur. Bu işlemin ardından numunelerin sertliği yaklaşık olarak 58 HRC seviyelerine gelmektedir.



Şekil 7.2. (a) Isıtım fırını (b) Isıtılan parçanın şekillendirilip yağda su verme işlemi yapıldığı pnömatik pres (Dönmez Debriyaj)

7.2.2 Yıkama yağlama

Kalıp içerisinde su verme (KSV) prosesin de numuneler, yağda soğutulduklarından dolayı çıkan numunelerde oluşan çapakların ve istenmeyen yüzey yağlanmasının giderilmesi gerekmektedir. Eğer temizleme yapılmadan temperleme işlemi yapılırsa, temperlemeden beklenen performansa ulaşamayabilir. Bu nedenle kalıpta su verme işleminden sonra Şekil 7.3'te gösterilen yıkama makinesinde özel karışimli bir kimyasal ile yıkama işlemi gerçekleştirilip parçalar yağdan temizlenmiştir.



Şekil 7.3. Yıkama ve yağ alma makinesi (Dönmez Debriyaj)

7.2.3 Temperleme

Kalıpta su verme işleminden sonra parçalarda gergin yapıdan dolayı meydana gelen kırılma ve çatlamları engellemek için zaman harcamadan temperleme işlemi yapılması gerekmektedir. Deney parçaları Şekil 7.4 de gösterilen temperleme fırınında 180 dakika boyunca 400 °C de tutulmuştur. Bu işlem sonrasında numuneler yaklaşık olarak 45 HRC sertliğine gelmektedir.

Temperleme makinesinin teknik özellikleri aşağıdaki şekildedir;

Kapasite : 750 kg/h
Isıtma Gücü : 85140 kcal/h
Yakıt Cinsi : Rezistans
Elektrik Gücü : 75 kW



Şekil 7.4: Temperleme Fırını (Dönmez Debriyaj)

7.2.4. Polisaj

Temperlemeden sonra beklenildiği gibi, numunelerin üst kısımlarında tufaller meydana gelmiştir. Deney çubuk ölçülerinde herhangi bir ölçüsel değişim olmadan yapılan polisaj işlemi ile yüzeydeki tufaller giderilmiştir.(Şekil 7.5. ve 7.6).



Şekil 7.5. Polisaj öncesi deney çubuğu



Şekil 7.6. Polısaj sonrası deney çubuğu

7.2.5. Yüzey Kusurlarının Oluşturulması

Bu çalışma kapsamında 4 farklı tipte kusur oluşturulmuştur.

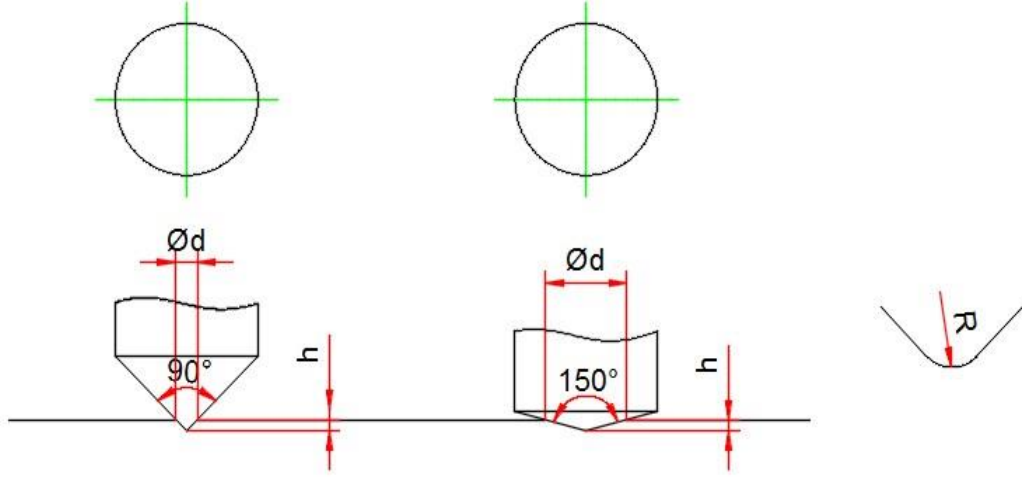
- 1) Farklı derinliklerde ve uç açısı 90° olan yuvarlak uçlu yüzey kusurları
- 2) Farklı derinliklerde ve uç açısı 150° olan yuvarlak uçlu yüzey kusurları
- 3) 2mm derinliğinde numune kesiti boyunca çizik
- 4) 3mm çapında delik

Yüzey kusurlarını oluşturmak için Şekil 7.7' de gösterilen 90° - 150° uç açısına sahip özel çakılar yaptırılmıştır.



Şekil 7.7. Yüzey kusurları oluşturma çakıları

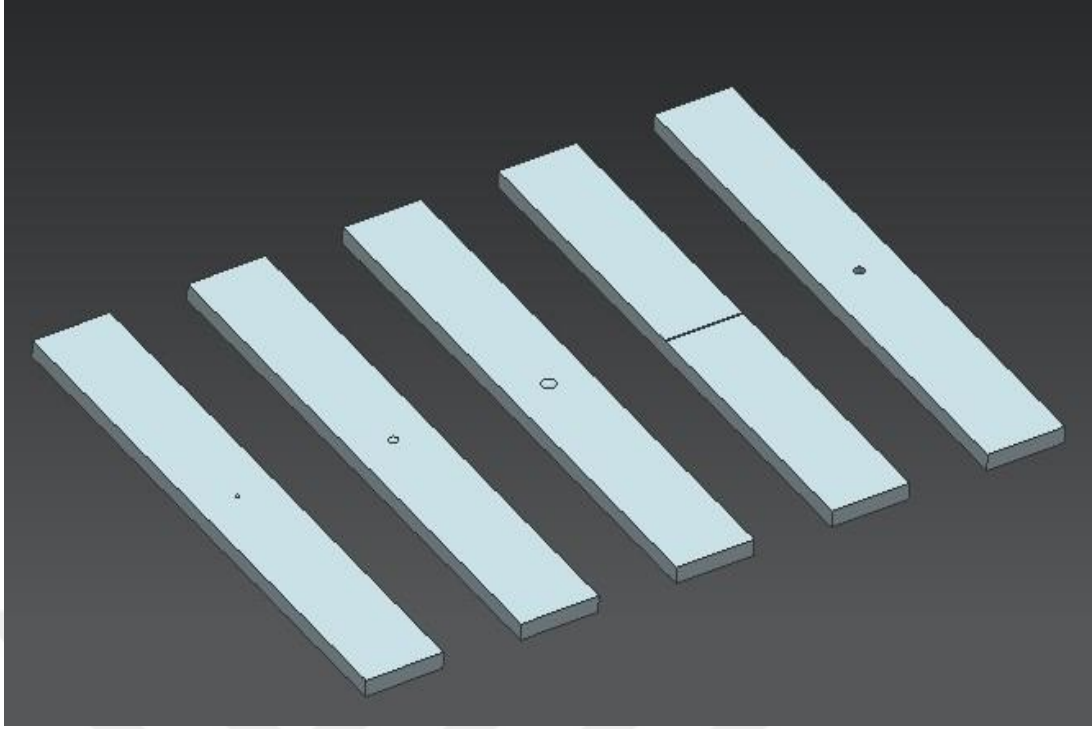
Bu çakılar ve CNC yardımıyla test parçalarının üzerlerine ölçüleri hassas olacak bir şekilde yüzey kusurları oluşturulmuştur. (Şekil 7.10). Şekil 7.8’de yapay yüzey kusurlarının geometrileri gösterilmiştir



Şekil 7.8. Yapay yüzey kusurları



Şekil 7.9. CNC ile Yüzey kusurları oluşturma



Şekil 7.10. Yapay yüzey kusuru oluşturulmuş test parçaları

Ayrıca EDM makinası ile numune aksenal yönde paralel 2mm derinliğinde çizik ve 3mm matkap ucu ile 3mm çapında boydan delik açılmıştır.

Oluşturulan yüzey kusurları Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Oluşturulan deney grupları

| GRUP | Derinlik(mm) | Çap/Genişlik(mm) |
|--------------|--------------|------------------|
| 90° - 0.2mm | 0,2 | Ø0,4 |
| 90° - 0.4mm | 0,4 | Ø 0,8 |
| 90° - 0.6mm | 0,6 | Ø 1,2 |
| 150° - 0.2mm | 0,2 | Ø 1,5 |
| 150° - 0.4mm | 0,4 | Ø 3 |
| 150° - 0.6mm | 0,6 | Ø 4,5 |
| Enine Çizik | 0,2 | 0,4 |
| Çap 3 Delik | 0 | Ø 3 |

7.2.6. Bilyalı Dövme

Yüzey kusurları işlenmiş test numuneleri Şekil 7.11’de gösterilen makine ile 10 Almen değerinde ve S230 bilya ile bilyalı dövme işlemine tabi tutulmuştur. Söz konusu dövme parametreleri Ali Elmas tarafından 2019 da yapılan “Bilyalı dövme prosesinin 50CrV4 çeliğine etkilerinin incelenmesi ve optimum proses parametrelerinin belirlenmesi başlıklı yüksek lisans tezindeki sonuçlar referans alınarak seçilmiştir.[79] Bilyalı dövme ile ilgili spesifik detaylar aşağıdaki gibidir. Bilyalı dövme öncesi ve sonrası parçalar Şekil 6.12 ve 6.13 te gösterilmiştir.

Nozul-numune arası mesafe : 50 cm
Nozul-numune arası açı : 40°
Kullanılan malzeme : 50CrV4 (ısıl işlemlili – diyafram yay malzemesi)
Dövme süresi : 30 saniye
Sabit tutulmuştur.



Şekil 7.11. Bilyalı Dövme Makinesi (Dönmez Debriyaj)



Şekil 7.12. Bilyalı dövme öncesi test numunesi



Şekil 7.13. Bilyalı dövme sonrası test numunesi

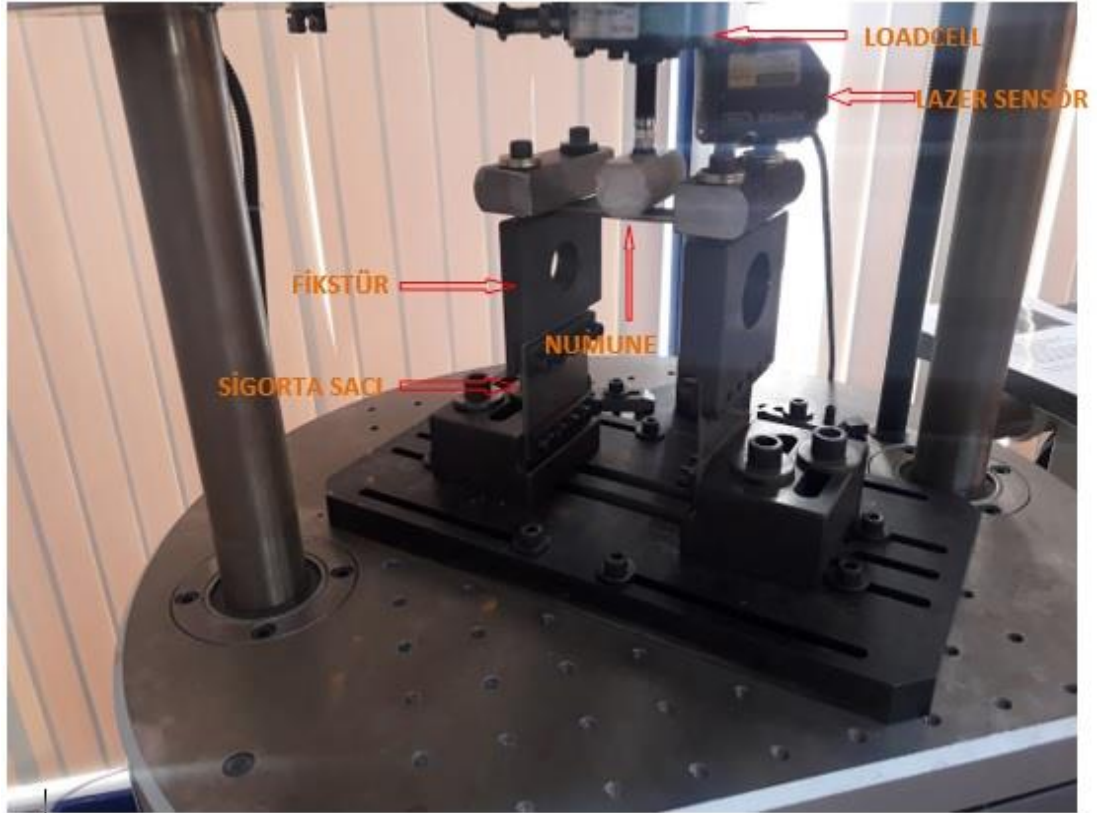
Referans olması amacıyla yüzey kusurları işlenmemiş test numuneleri de aynı şartlarda bilyalı dövme işlemine tabi tutulmuştur.

7.2.7. Yorulma Testleri

Yorulma testleri Şekil 7.14 (a)'da gösterilen Sincotek Power Swingly 20 Mot cihazında yapılmıştır. Test parçaları Şekil 7.14(b) gösterildiği gibi yapay yüzey kusurlarının olduğu yüzey alt tarafa gelecek şekilde pozisyonlanmıştır.



Şekil 7.14. (a) Sincotec Power Swingly 20 Mot cihazı



Şekil 7.14. (b) Test için numunenin yerleşimi

3-nokta eğme yorulma testleri $22^{\circ}\text{C} \pm 5.0^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında ve $f = 45\text{Hz}$ ortalama frekans değerinde yapılmıştır. Test sırasında çevrim sayısı üst limiti konmamış ancak ± 1 Hz değerini aşması durumunda cihaz otomatik olarak kapanmak üzere ayarlanmıştır.

Bu cihazda titreşim kafası üzerinden eş zamanlı ayarlanmış bir frekans oluşur. Makinenin üst kısmında dengesiz kütle tahrik aracı bulunmaktadır. Bu titreşim kafası genliği oluşturur. Titreşim kafası ön gerilmeli baskı yayları tarafından taşınır ve merkezi olarak yönlendirilir. Ortalama yük tahriği, alt makine parçasında bulunur. Dişli motoru aracılığıyla statik önyükleme üretilir. Numuneler makine plakası ve üst çapraz lazeri arasına sabitlenmiştir. Test sisteminin kontrolü EXCITING MOT ile gerçekleştirilmektedir.

Test esnasında LoadCell in ucuna bağlanan saptama aparatı numuneye teğet olacak şekilde konumlandırılıp lazer sensör ile numunenin çalışma stroğunu belirlemek için sıfırlama yapılmıştır.

3 er tane yapılan test numunelerine 3 farklı yük uygulanmıştır. 4.000 N statik ön yük uygulandıktan sonra 3 farklı dinamik yüklemeye yorulma testleri gerçekleştirilmiştir: $F_{\text{dyn.}} = - 2.000 \text{ N}$, -2.500 N ve -3.000 N . 3-nokta eğme testinde gerilmenin belirlenmesi için standart mukavemet hesabı yapılmıştır.

Kullanılan formül;

$$\sigma = 3FL / 2wd^2$$

Burada; F:uygulanan yük, L:mesnetlerarası mesafe, w: numune genişliği, d: numune kalınlığıdır.

Karşılaştırmak maksadıyla, yüzey kusuru içermeyen numuneler de bilyalı dövme yapılmış ve yapılmamış olarak yorulma testine tabi tutulmuştur.

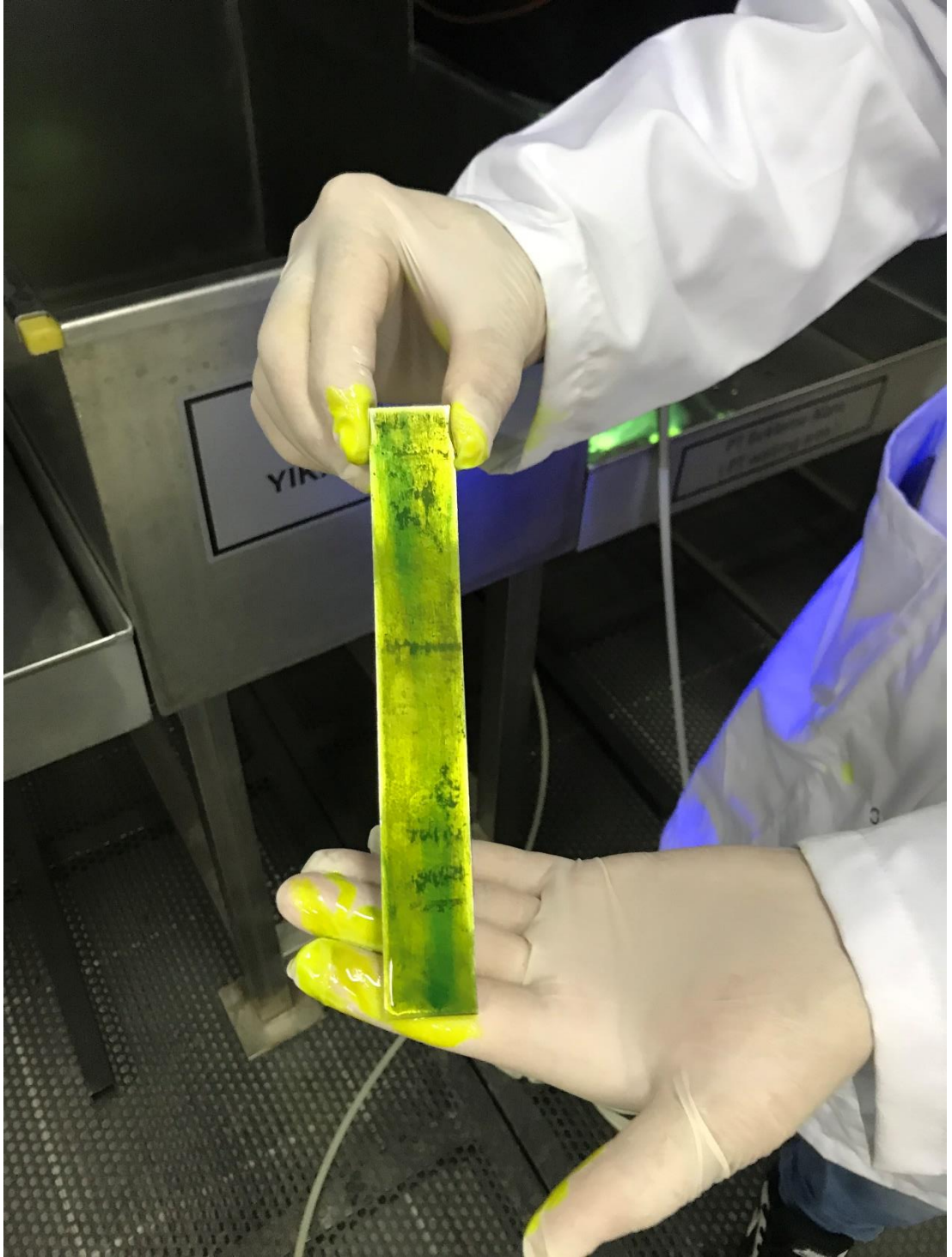
7.2.8. Test ve Analizler

7.2.8.1. Penetran Sıvı Testi

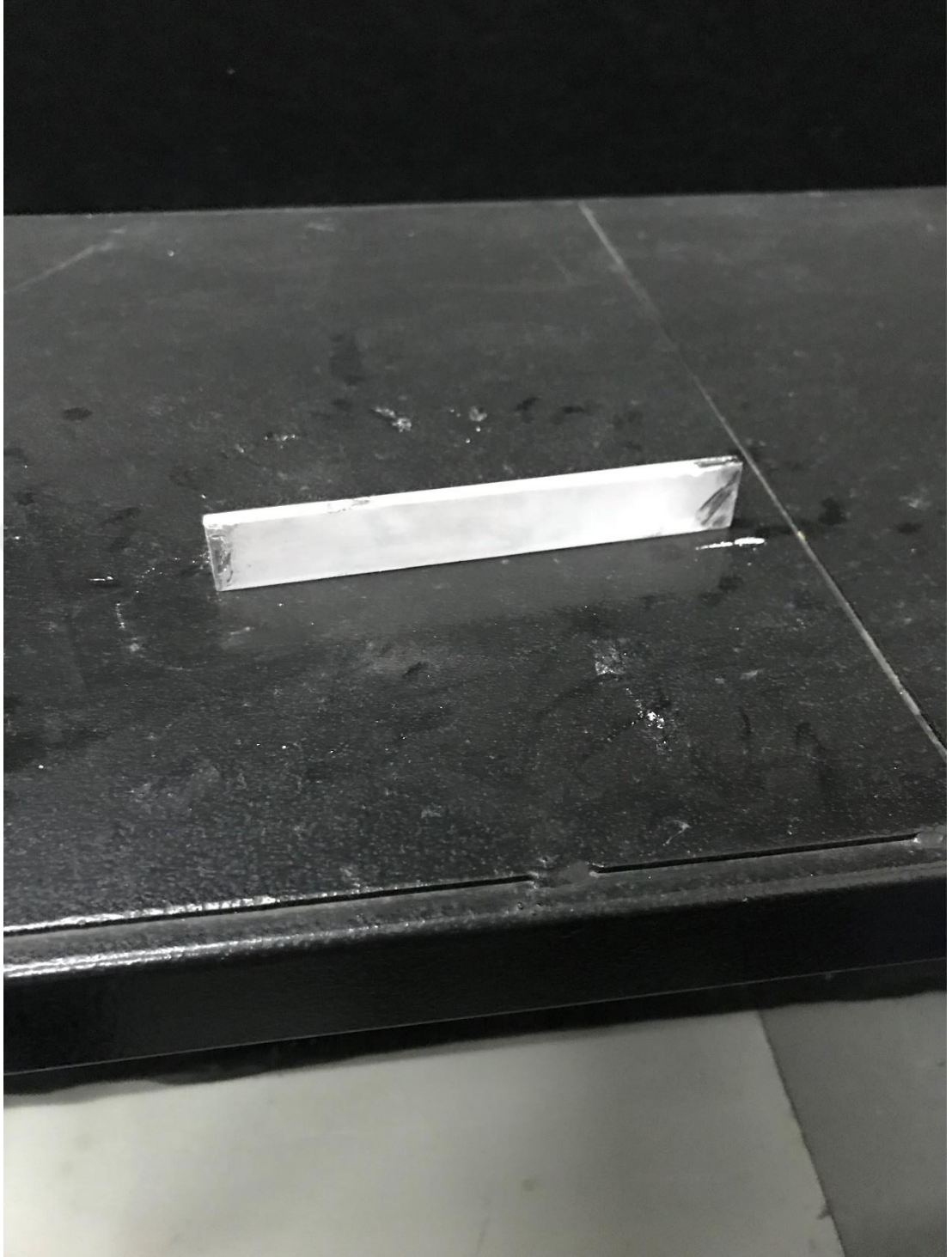
Yorulma testlerinden gelen test parçalarına; Şekil 7.15'te gösterilen penetran sıvı testinin yapıldığı operasyon aşamaları uygulanır. Testten gelen parçalar sıvının penetrasyon süresi kadar havuzda bekletilir, daha sonra parça üzerindeki fazla penetran sıvı süzülmesi için bir süre bekletilir. Geliştirici(developer) ile çatlakların içine nüfus eden penetran sıvının, ultraviyole ışık ile görünmesi için, yüzeyine geliştirici bir katman uygulanır. Şekil 7.16'da penetran sıvı havuzundan çıkmış test numunesi, Şekil 7.17'de de penetran geliştirici(developer) sonrası test numunesi gösterilmektedir. Yorulma testinde kırılmayan parçalar üzerindeki çatlaklar, penetran sıvı testinin aşamalarına tabi tutularak Şekil 8.1-8.2-8.3'te gösterildiği gibi karanlık odada ultraviyole ışık altında tespit edilebilir.



Şekil 7.15. Penetran sıvı operasyon kademeleri



Şekil 7.16. Penetran sıvı havuzundan çıkmış test numunesi

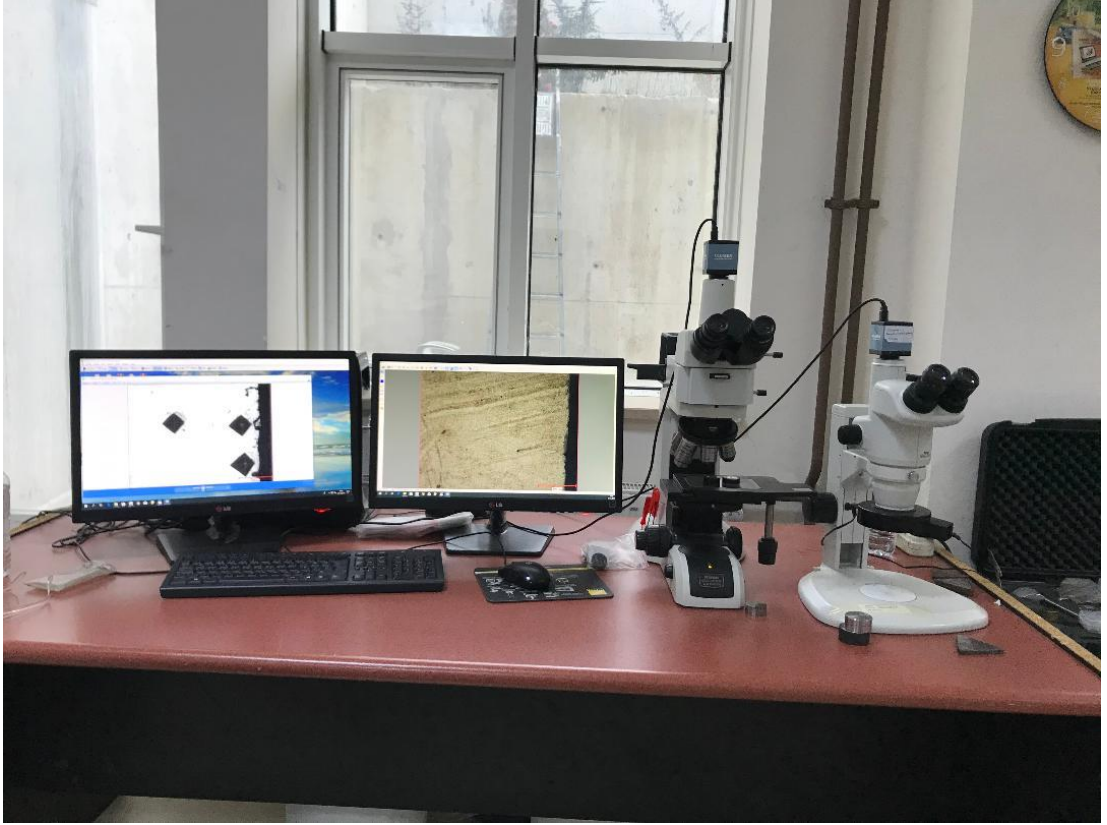


Şekil 7.17. Penetran testi geliştirici uygulaması sonrası test numunesi

7.2.8.2 Mikro Yapı incelemesi

Bilyalı dövme yapılmış ve yapılmamış test numunelerinin mikro yapısını da yüzeye yakın bölgelerde herhangi bir değişiklik olup olmadığının anlaşılabilmesi için mikroyapı incelemesi uygulanmıştır. İki farklı numuneden 10x10mm ebatlarında parça çıkartılıp bakalite alındıktan sonra zımparalama makinesinde zımparalanmıştır. İlk olarak 60 numara zımpara ile numunelerin üstünden kaba olarak zımparalandıktan sonra sırasıyla 400, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalar ile zımparalama işlemleri uygulanmıştır. İki numunede 90° döndürülerek her bir döndürme ortalama 5-10 dakika arası zımparalanmıştır.

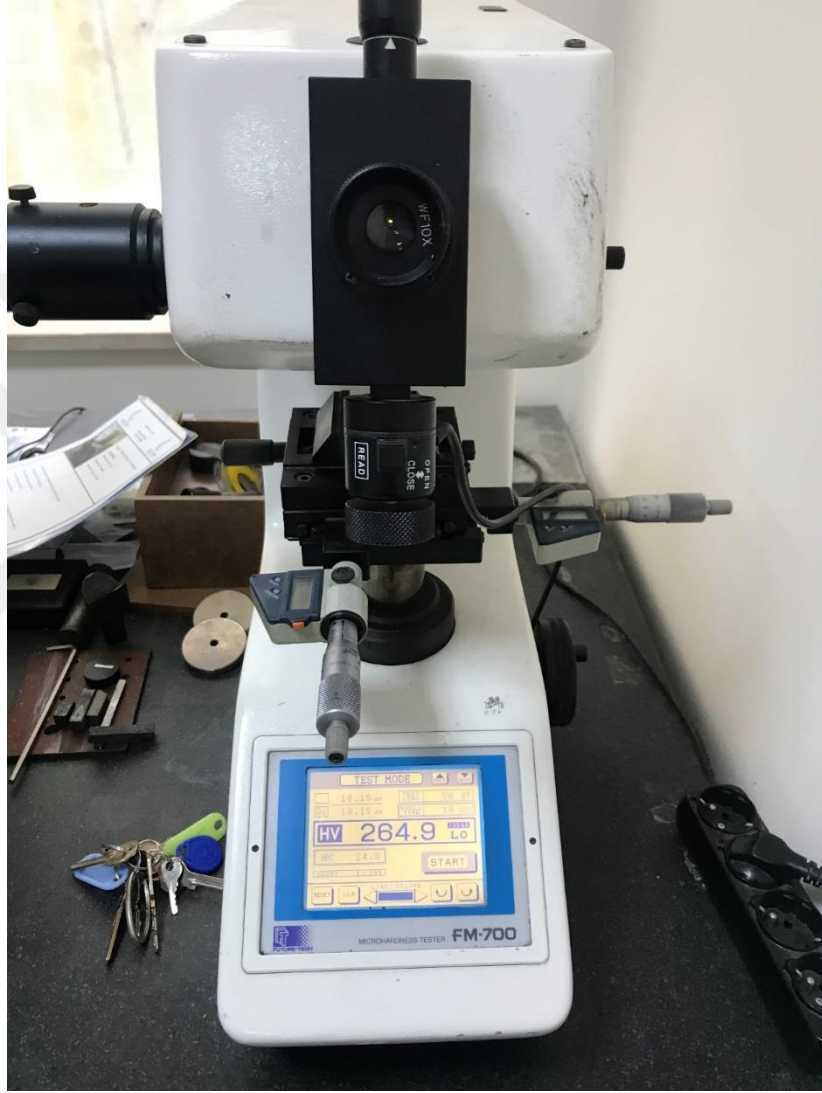
Zımparalama işlemi bittikten sonra alümina sıvı yardımıyla keçe üzerinde parlatma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra %2 nital dağlayıcı hazırlanarak numuneler 5-6 saniye kadar bu çözeltide dağlanıp hemen su ile yıkanmıştır. Kurutma makinesi ile kurutulan numunelerin mikro yapı incelemesi Celal Bayar Üniversitesi Laboratuvarında bulunan Şekil 7.18'de gösterilen Nikon marka Eclipse LV150N mikroskop yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 7.18. Nikon Eclipse LV150N model mikroskop (CBÜ)

7.2.8.3. Mikro Sertlik Ölçümü

Mikroyapı incelemesi yapılan numunelere, bakalit üzerinde iken aşağıdaki Şekil 7.19'de gösterilen Futuretech marka mikro-sertlik ölçüm cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Numuneler üzerinden 50gr yük altında 10 saniye boyunca, yüzeye yakın bir bölgeden başlayarak başlayarak 0.15 mm aralıklarla sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.19. Dijital Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazı-Futuretech (CBÜ)

7.2.8.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Bilyalı dövme uygulanan test numunelerinde bilyalı dövmenin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numunede yapılan profilometre ölçümleri aynı zamanda numunelerin ne seviyede homojen olarak hazırlanabildiklerinin göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu ölçümler Celal Bayar bünyesindeki Şekil 7.20’de gösterilen Mitutoyo marka SJ-301 model profilometre ile yapılmıştır.



Şekil 7.20. Mitutoyo SJ-301 marka profilometre (CBÜ)

7.2.8.5. SEM / EDS İncelemeleri

Bilyalı dövme prosesinin mikroyapıya olan etkilerini belirlemek üzere SEM incelemeleri ve EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca yorulma testlerinde kırılan parçaların kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemeler Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan **Carl Zeiss 300VP SEM Cihazı** (Şekil 7.21) kullanılmıştır.

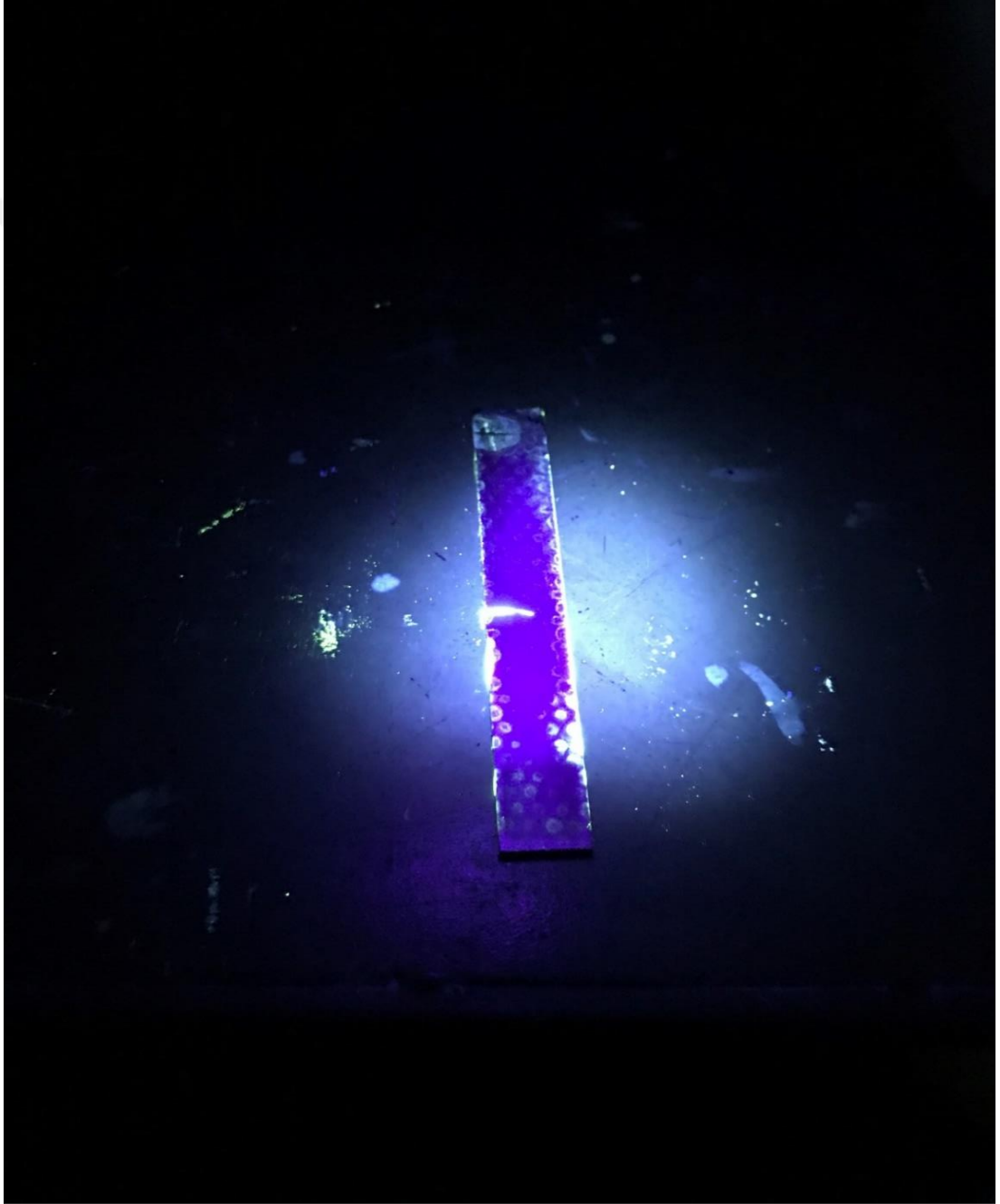


Şekil 7.21. SEM Görüntüleme Cihazı (Katip Çelebi Ü.)

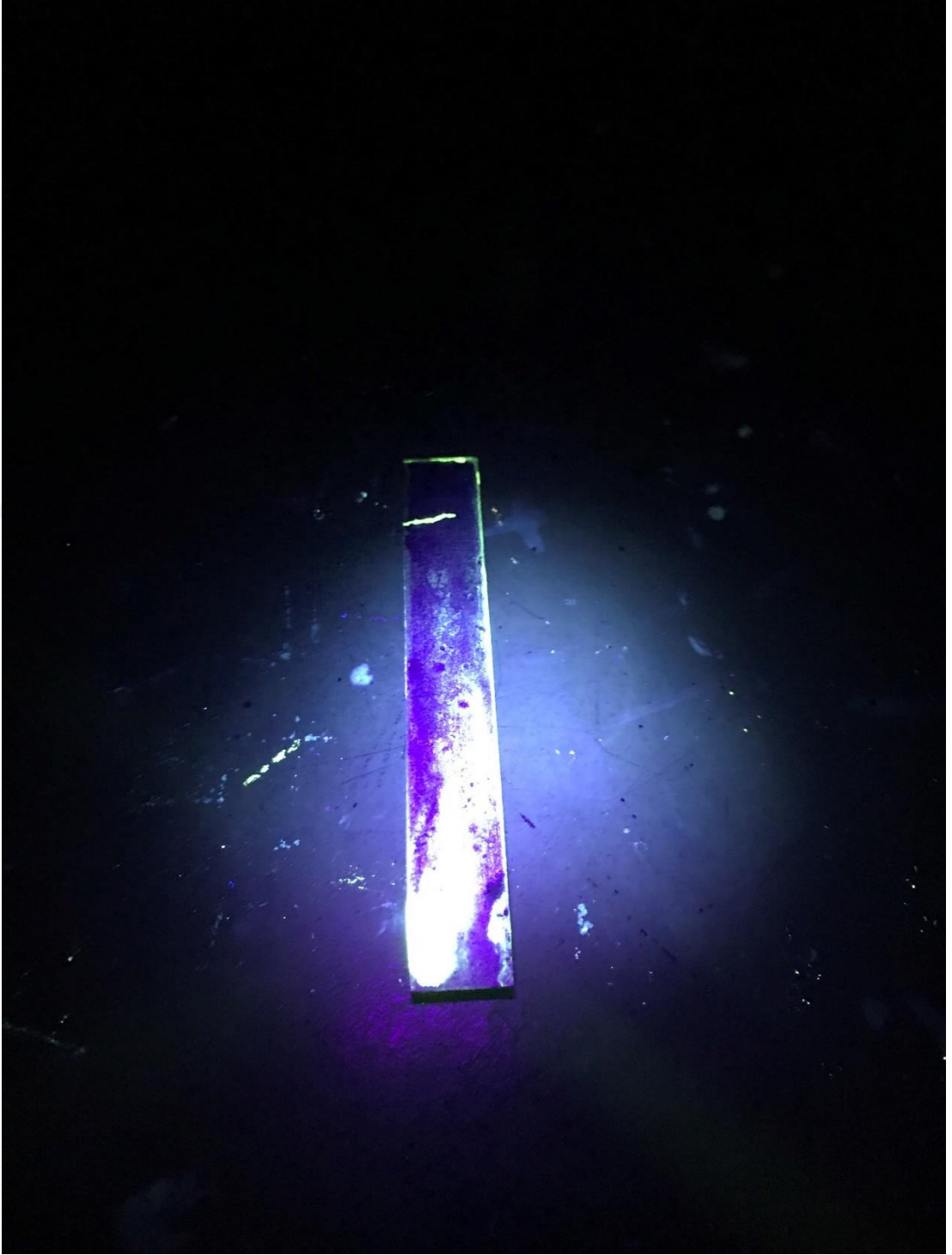
8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

8.1. Penetran Sıvı Testi

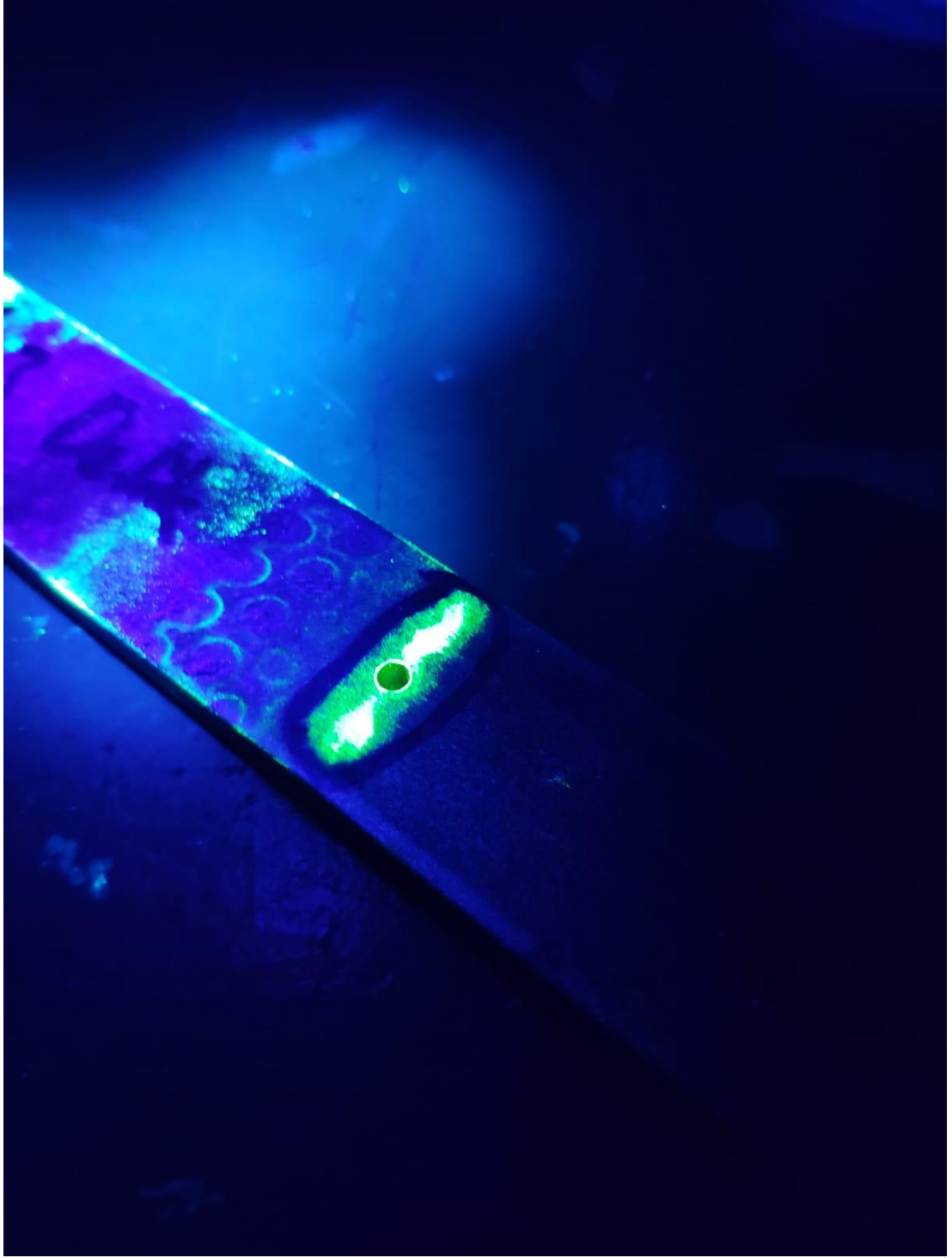
Yorulma testinden gelen kırılmayan parçalar penetran sıvı testinden sonra ultraviyole ışık altında incelendiğinde Şekil 8.1 - 8.2 - 8.3 'de gösterildiği gibi ve çatlakların yapay yüzey kusurları olduğu orta göbek kısmında ve hatalı olan uç kısımlarda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.1. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü



Şekil 8.2. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü



Şekil 8.3. Ultraviyole ışık altında çatlak kontrolü

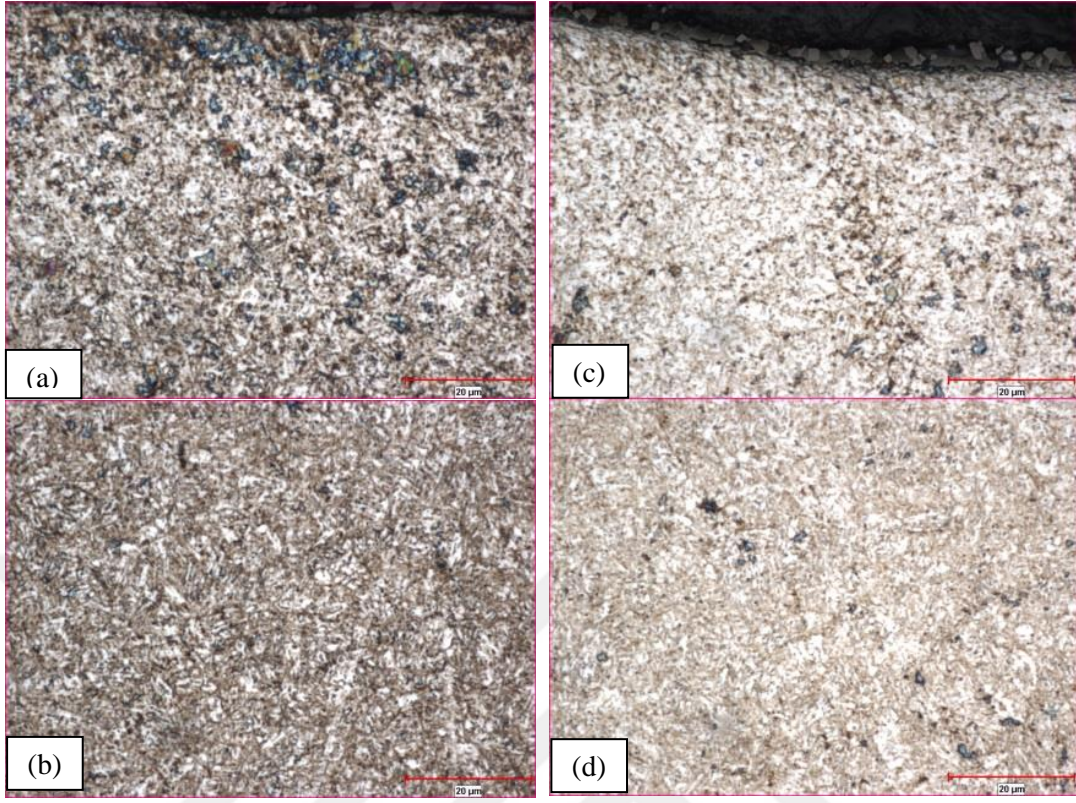
8.2. Mikroyapı İncelemesi

Bilyalı dövme yapılmış ve yapılmamış numunelerin mikroyapı incelemeleri sonucu ısıtıl işleminden sonra malzemenin temperlenmiş martensit ve kalıntı östenitten oluştuğu gözlenmektedir. Kalıntı östenit yumuşak bir yapı olarak kalacağından sertlik değerini ve malzemenin mukavemetini olumsuz yönde etkiler.

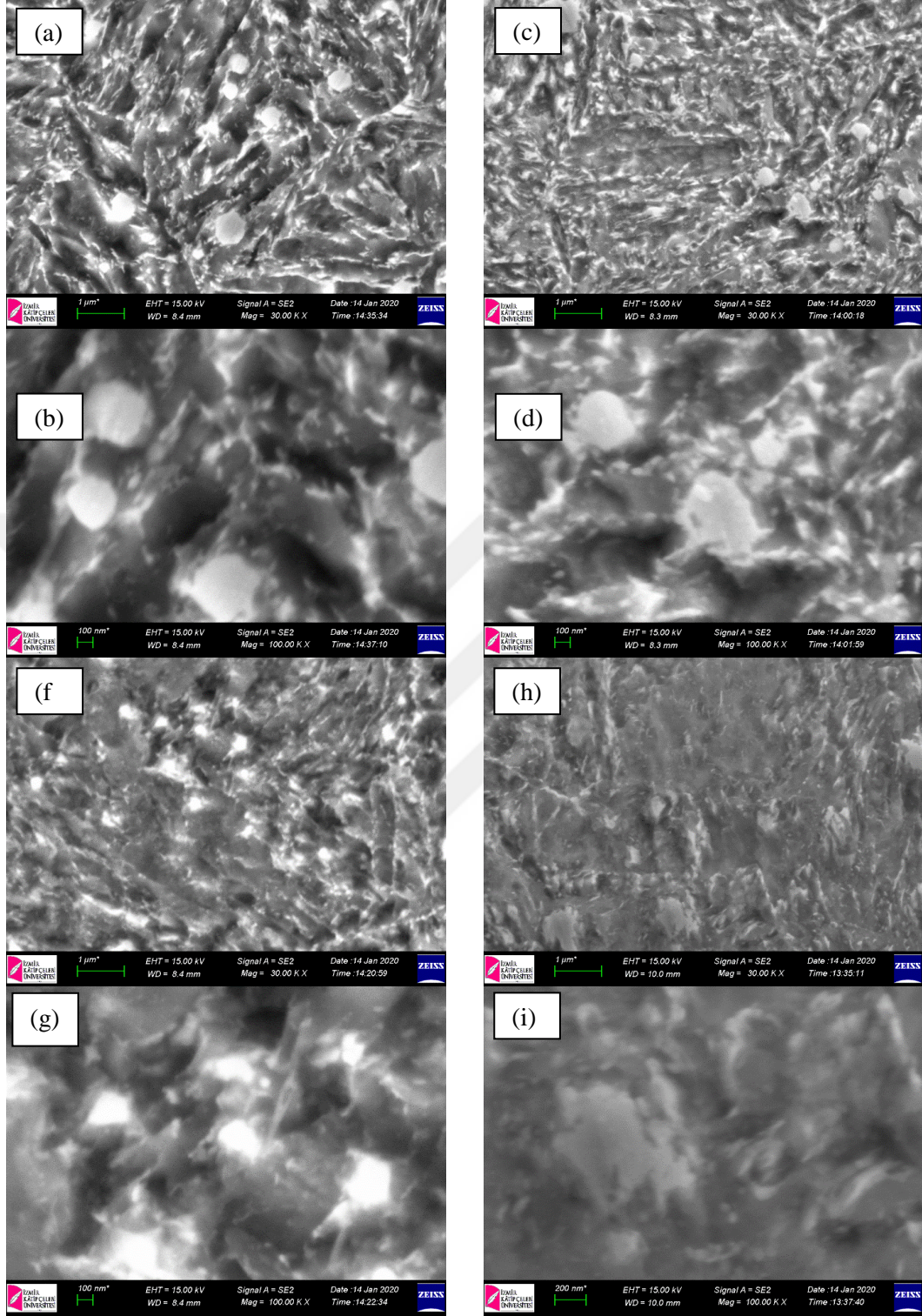
Bilyalı dövme işlemi bu yumuşak bölgelere uygulanarak plastik deformasyona maruz bırakılmaya çalışılır. Daha sonra kumlanmış malzemenin iç yapısı incelendiğinde bilyalı dövmenin malzeme yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar sert bir tabaka oluşturduğu mikroyapı incelemeleri ve mikro sertlik ölçümleri ile saptanmıştır.

SEM incelemelerinde numunelerin orta bölgelerinde tipik temperlenmiş çelik mikroyapısı olan martensit plakaları ve küresel karbürleri görülmektedir (Şekil 8.5. bilyalı dövülmemiş malzeme için (a),(b) ve bilyalı dövülmüş malzeme için (c),(d)). Ayrıca çok miktarda kalıntı östenit gözlenmektedir. Tablo 8.2’de görülen düzgün yüzeyli beyaz fazdan alınan EDS analizi kalıntı östeniti doğrulamaktadır. Tablo.8.2’de (f) ve (g) ‘de bilyalı dövülmemiş malzeme ve (h) ve (i) bilyalı dövülmüş malzeme yüzeyinden alınan SEM görüntüleri görülmektedir. Burada kalıntı östenit fazının azaldığı, boyutunun küçüldüğü ve ayrıca karbür fazlarının da miktarca azaldığı görülmektedir. Bilyalı dövülmemiş malzeme yüzeyindeki kalıntı östenit düzgün yüzeyli iken bilyalı dövülmüş malzeme yüzeyinde düzgün yüzeyli biçimini kaybederek girintili çıkıntılı bir görünüme ulaştığı görülmektedir. Bunun bilyalı dövme etkisiyle östenit tanelerinin deformasyona uğraması, kırılması veya diğer östenit taneleriyle birleşmesi ile açıklanması mümkündür.

Yüzeyde küresel karbür taneciklerinin azalması dekarbürizasyona işaret etmektedir. Tablo 8.3’de yüzeyden ve numune orta bölgesinden alınan EDS analizleri yüzeyden karbon miktarının azaldığını açıkça kanıtlamaktadır. Öte yandan, SEM mikroyapı fotoğrafları bilyalı dövme uygulanmış yüzeylerde martensit plakalarında inceleme gözlenmiştir.



Şekil 8.4.(a)Bilyalı dövülmemiş numunenin yüzeyi ,(b)Bilyalı dövülmemiş numunenin ortası, (c) Bilyalı dövülmüş numunenin yüzeyi ,(d) Bilyalı dövülmüş numunenin ortası.



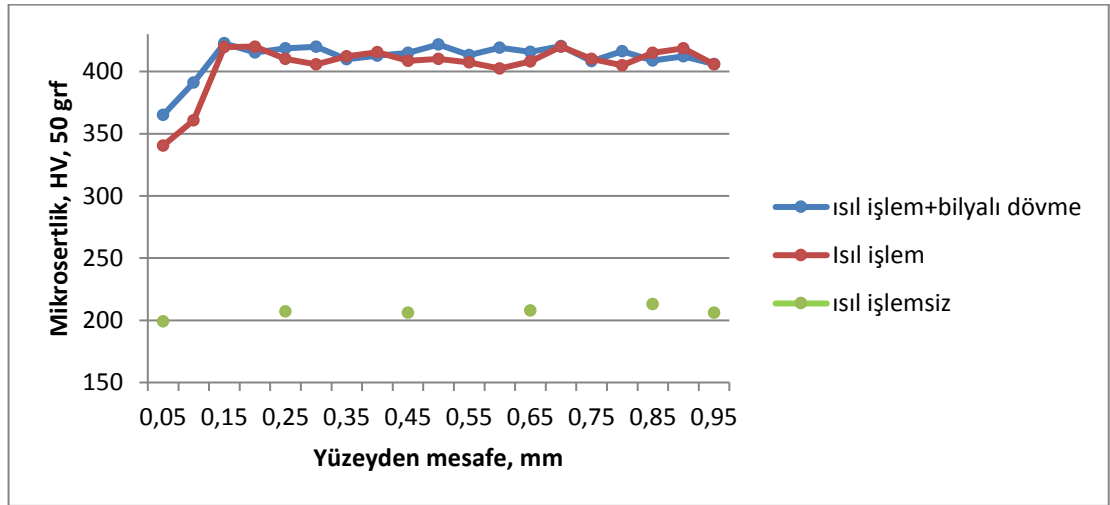
Şekil 8.5. (a),(b) Bilyalı dövülmemiş numunenin ortası (c),(d) Bilyalı dövülmüş numunenin ortası (f),(g) Bilyalı dövülmemiş numunenin yüzeyi (h),(i) Bilyalı dövülmüş numunenin yüzeyi

Tablo 8.1. Bilyalı Dövülmüş Numunede EDS Analiz Sonuçları

| Element | Yüzeydeki element konsantrasyonu, % ağırlıkça | Orta bölgedeki element konsantrasyonu, % ağırlıkça | Artık östenitteki element konsantrasyonu, % ağırlıkça |
|---------|---|--|---|
| C | 0.81 | 1.24 | 1.20 |
| Si | 0.29 | 0.36 | 0.48 |
| V | 0.00 | 0.25 | 0.51 |
| Cr | 0.38 | 1.19 | 2.47 |
| Mn | 0.33 | 1.14 | 1.78 |
| Fe | 98.19 | 95.82 | 93.63 |

8.3. Sertlik Ölçümleri

Isıl işlem yapılmış, üzerine bilyalı dövme yapılmış ve hiçbir işlem yapılmamış (alındığı gibi) numunelerin mikrosertlik sonuçları Şekil 8.6 de verilmiştir. Görüldüğü gibi, ısıl işlem yapılmamış temin edildiği koşullarda olan malzeme ortalama 206 HV sertliğe sahip iken ısıl işlem sonucu ortalama 415 HV sertlik elde edilmiştir. Ancak yüzeyde ciddi oranda dekarbürizasyon meydana gelmiştir. Bilyalı dövme dekarbürizasyon sonucu meydana gelen sertlik kaybının bir kısmını gidermiştir. Dekarbürizasyon çizik, inklüzyon vb süreksizlikler gibi gerilim konsantrasyonuna neden olmasa da, yüzey sertliğinin azalması sebebiyle yorulma ömrünü azaltan bir etkidir. Bilyalı dövme ile geri kazandırılan sertlik parçanın yorulma ömrünü artırmakta ve çatlak başlangıç oluşumunu engellemektedir.



Şekil 8.6. S230 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği

8.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Test numunelerinin yüzey pürüzlülükleri Tablo 8.2 gösterilmektedir.

| | | KUMLANMAMIŞ | | | KUMLANMIŞ | | |
|-------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0.2 mm | 0.4 mm | 0.6 mm | 0.2 mm | 0.4 mm | 0.6 mm |
| 90° | 1.NU MUNE | Ra=0.337, Rz=2.115 | Ra=0.295, Rz=1.972 | Ra=0.252, Rz=1.771 | Ra=2.385, Rz=13,247 | Ra=2.702, Rz=13.297 | Ra=2.437, Rz=12.56 |
| | 2.NU MUNE | Ra=0.235, Rz=1.73 | Ra=0.262, Rz=1.61 | Ra=0.337, Rz=2.522 | Ra=2.832, Rz=13.707 | Ra=2.805, Rz=15.137 | Ra=2.07, Rz=11.93 |
| | 3.NU MUNE | Ra=0.425, Rz=2.5 | Ra=0.235, Rz=1.645 | Ra=0.39, Rz=2.44 | Ra=2.07, Rz=11.307 | Ra=2.482, Rz=12.66 | Ra=2.925, Rz=15.425 |
| 150° | 1.NU MUNE | Ra=0.185, Rz=1.545 | Ra=0.251, Rz=1.931 | Ra=0.34, Rz=2.565 | Ra=2.34, Rz=12.75 | Ra=2.695, Rz=14.177 | Ra=2.58, Rz=14.282 |
| | 2.NU MUNE | Ra=0.197, Rz=1.565 | Ra=0.2, Rz=1.467 | Ra=0.452, Rz=3.11 | Ra=2.2, Rz=12.115 | Ra=2.387, Rz=12.68 | Ra=2.647, Rz=14.977 |
| | 3.NU MUNE | Ra=0.28, Rz=2.182 | Ra=0.205, Rz=1.665 | Ra=0.555, Rz=4.187 | Ra=2.597, Rz=13.982 | Ra=2.42, Rz=12.68 | Ra=2.733, Rz=14.697 |
| Kusursuz | 1.NU MUNE | Ra=0.339, Rz=2.982 | | | Ra=1.7375, Rz=9.887 | | |
| | 2.NU MUNE | Ra=0.417, Rz=3.096 | | | Ra=2.21, Rz=13.275 | | |
| | 3.NU MUNE | Ra=0.277, Rz=2.031 | | | Ra=288, Rz=16.16 | | |
| Çap 3 Delik | 1.NU MUNE | Ra=0.322, Rz=2.543 | | | Ra=2.702, Rz=14.307 | | |
| | 2.NU MUNE | Ra=0.307, Rz=2.23 | | | Ra=2.465, Rz=13.272 | | |
| | 3.NU MUNE | Ra=0.373, Rz=2.92 | | | Ra=2.327, Rz=12.322 | | |
| Enine Çizik | 1.NU MUNE | Ra=0.251, Rz=1.878 | | | Ra=1.943, Rz=10.645 | | |
| | 2.NU MUNE | Ra=0.243, Rz=1.906 | | | Ra=2.298, Rz=12.221 | | |
| | 3.NU MUNE | Ra=0.426, Rz=3.086 | | | Ra=3.03, Rz=15.915 | | |

Tablo 8.2. Test numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri Ra-Rz= (μ m)

Görüldüğü gibi, bilyalı dövme işlemi tüm numunelere homojen olarak uygulanabilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bilyalı dövme yapılmamış parçalarda pürüzlülük değerleri Ra=0.3-05(μ m), Rz=1.5-3(μ m) arasındadır. Bilyalı dövme yapılmış test numunelerinde pürüzlülük değerleri Ra=2-2.8(μ m), Rz=11.3-15.4 (μ m) arasındadır. Bilyalı dövme sonrasında metal bilyaların çarpması sonucunda malzeme

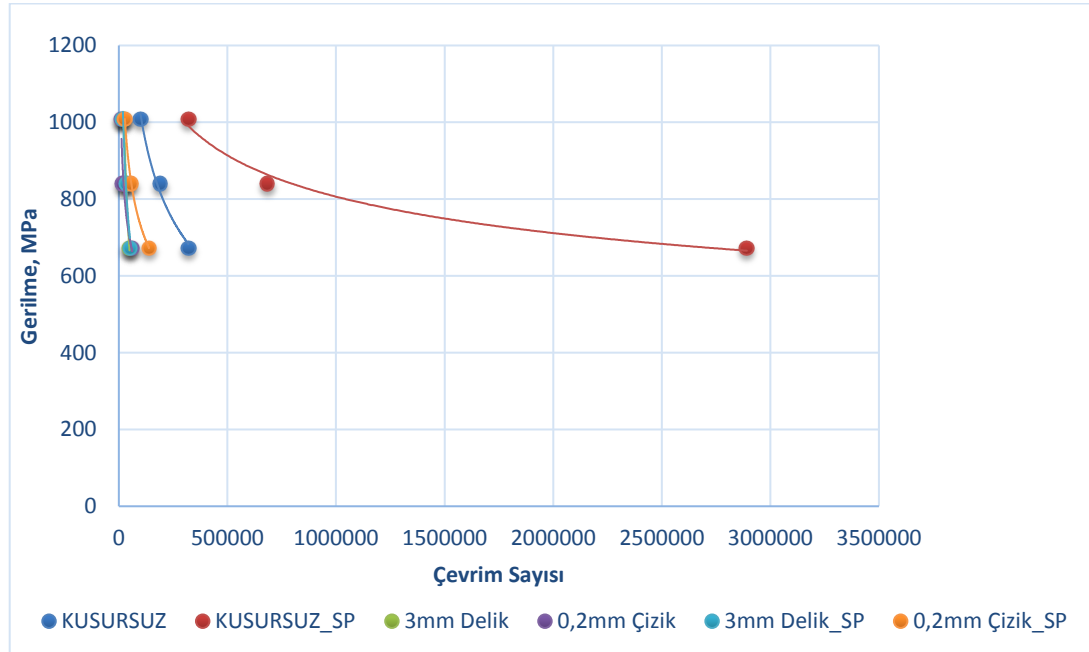
üzerinde oluşturduğu çukurcuklardan dolayı pürüzlülük değeri artmıştır.

Yorulma dayanımına etki eden önemli parametrelerden biri de malzemenin yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğünün artmasının yorulmanın daha düşük gerilmelerde başlamasına neden olacağı bilinmektedir. Öte yandan, bilyalı dövmenin sağladığı yüzey sertliği, kalıntı basma gerilmeleri, alt tanelerin oluşumu, tane boyutunun küçülmesi, dislokasyon yoğunluğunun artması v.b. etkiler yorulma dayanımı üzerinde pozitif etki yaratmaktadır.

8.5. Yorulma Testleri

8.5.1. Boydan Delik ve Enine Çizik Numunelerin Yorulma Dayanımlarının Karşılaştırılması

Enine çizik ve boydan delik içeren numunelerin yorulma ömrü önemli oranda düşüş göstermiştir (Şekil 8.7). 672 MPa test gerilmesi göz önüne alınırsa, kusursuz numuneler 320.600 çevrimde kırılırken, enine çizik içeren numune 61.565 çevrimde ve boyuna delik içeren numunede 49230 çevrimde kırılmıştır. Yorulma ömrü %80 ila 85 oranında azalmıştır. Bilyalı dövme işlemi sonucunda yorulma ömrü enine çizik için 139.271 çevrime ve boyuna delik için 50.969 çevrim değerine ulaşmıştır. Ancak bu değerler kusursuz malzemenin yorulma ömrüne ulaşmaktan hala çok uzaktır. Yani, her ne kadar bilyalı dövme işlemi yorulma ömrünü iyileştirse de, kusursuz malzemenin yarı ömrüne bile ulaşamamaktadır. Boyuna delik yorulma ömrü üzerinde daha zararlı bir etki oluşturmuştur. Bilyalı dövme işlemi bu zararlı etkileri gidermekte başarısız olmuştur.



Şekil 8.7. Test Numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği

Numunelerin kırık görüntüleri Şekil 8.8 ve 8.9' da verilmiştir. Görüleceği gibi tüm numunelerin kırılma başlangıcı yüzey olup yüzeydeki en zayıf noktadan (sert fazlar, inklüzyonlar, yüzeydeki küçük kusurlar vs.) çatlak başlamıştır. [40]

Enine çizik veya delik gerilim konsantrasyon bölgesi oluşturduğundan, yorulma başlangıcı olarak görev yapmıştır. Şekil 8.9. (a)'da 1008 MPa gerilmede 99.757 çevrimde kırılan ısıtılmış numunenin kırık yüzey görüntüsü verilmiştir. Tipik yorulma kırığı görüntüsüdür. Şekil 8.9. (g) yorulma kırığının terimleri verilmiştir. [53]

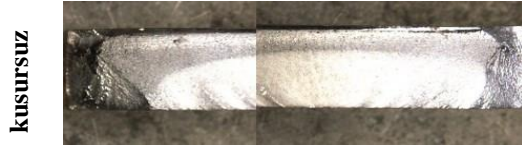
Çap 3 delik olan test numunelerinde, yorulmanın delik içeresinden başladığı SEM (Scanning Electron Microscope) yardımıyla görüntülenmiştir. Şekil 8.10



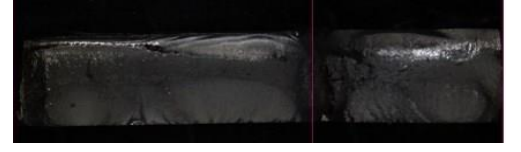
Şekil 8.8. Enine çizik ve Delik Kırık Görüntüsü

Bilyalı dövülmemiş

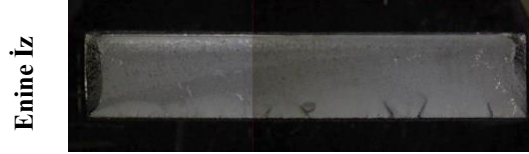
Bilyalı dövülmüş



(a)



(b)



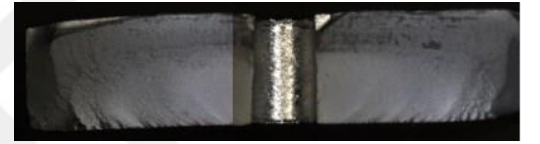
(c)



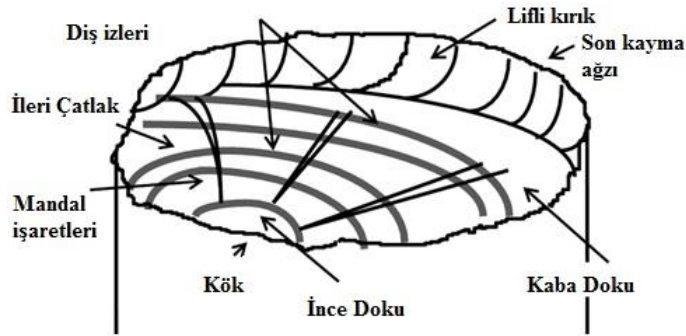
(d)



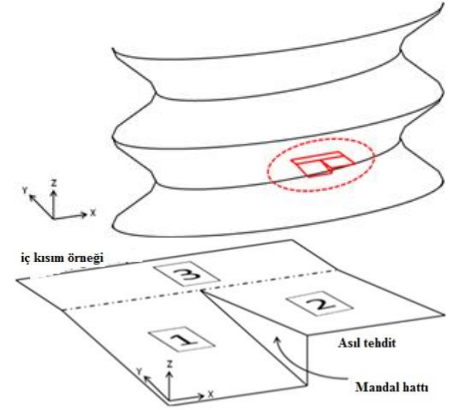
(e)



(f)

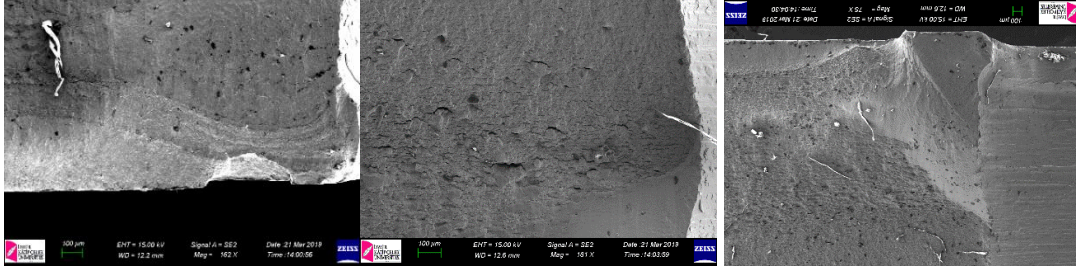


(g) Yorulma hasarının şematik görünümü[80]



(h) Yorulma hasarında mandal hattı (ratchet line) oluşumunun şematik görünüm [81].

Şekil 8.9. Enine çizik ve delik kırık görüntüsü



Şekil 8.10. Delik içeren numunede yorulma bölgesini göstermektedir. Gerilim yığılması nedeniyle yorulma delik bölgeden başlamıştır.

8.5.2. Farklı Derinliklerde ve Farklı Açılarda Oluşan Kusurların Etkilerinin İncelenmesi

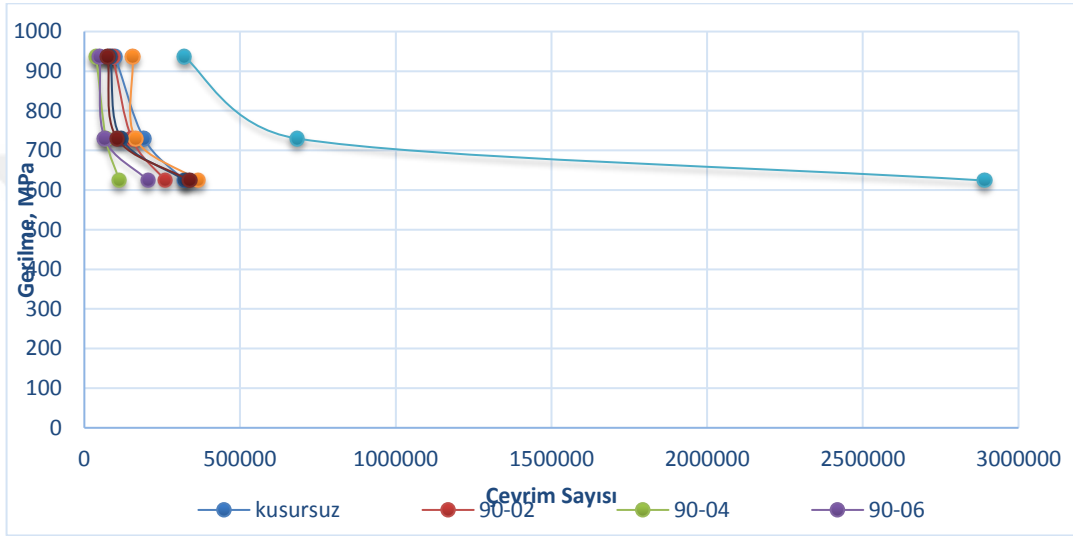
Şekil 8.11 ve 8.12’de 90^0 ve 150^0 kusur içeren test numunelerinin gerilme-çevrim sayısı grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, her iki tip kusur da malzemenin yorulma ömründe önemli düşüşe neden olmuştur. Örneğin, 672 MPa test gerilmesi gözönüne alınırca, kusursuz numuneler 320.600 çevrimde kırılırken, 90^0 0,2 mm derinlikte kusur içeren numune 259.801 ve 90^0 0,6 mm derinlikte kusur içeren numune 204.621 çevrimde kırılmıştır. Yorulma ömrü %18 ila 36 oranında azalmıştır. 150^0 kusur içeren numuneler de yaklaşık benzer çevrim sayıları göstermiştir; 0,2 mm için 265.000 ve 0,6 mm için 196.259. Bu sonuç; 2-farklı açıda dolayısıyla numune yüzeyinde farklı genişlikte kusur olmasına rağmen, yorulma ömrünün kusurun derinliğinden daha fazla etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Bilyalı dövmenin kusursuz numunenin ömrünü %800’den fazla artırdığı görülmektedir. Metal mikroskobu ve SEM incelemelerinde martenzit plakalarında inceleme gözlenmiş olup, bununla birlikte dislokasyon yoğunluğunun artması, alttanelerin oluşması, basma kalıntı gerilmelerinin oluşması vb etkilerin bilyalı dövme ile oluşabildiği ve bunun da yorulma ömrüne katkı sağladığı bilinmektedir.

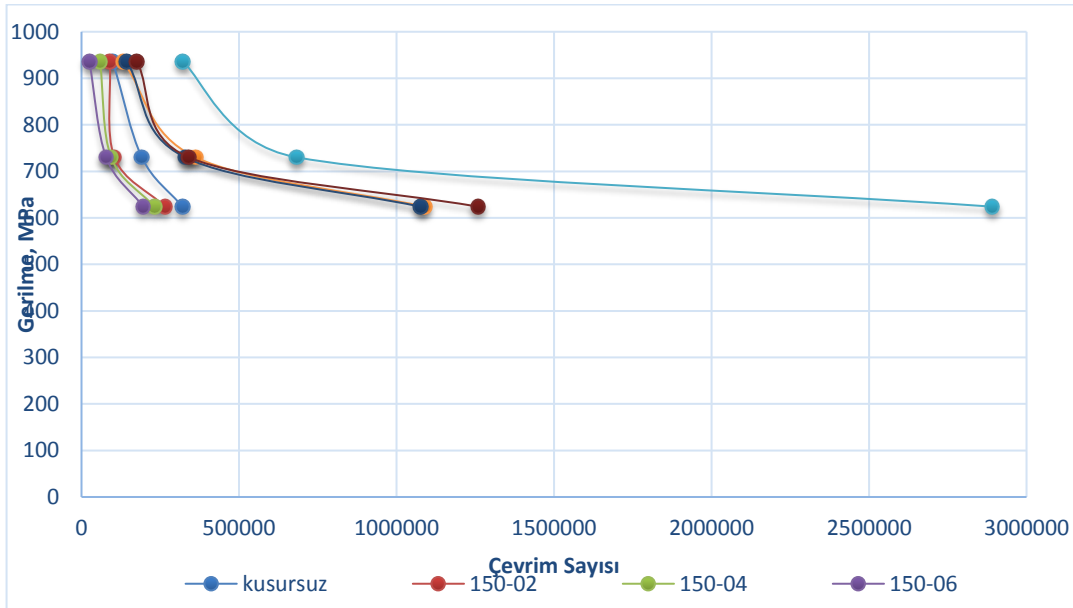
Bilyalı dövme kusur içeren numunelerde de bir miktar iyileşme sağlamıştır. Bilyalı dövmenin 150^0 kusur içeren numunelerdeki etkisi oldukça dikkat çekicidir. Kusursuz malzeme 320.600 ve kusursuz malzeme üzerine bilyalı dövme 2.891.960 çevrim sonunda kırılırken, 150^0 0,2 -0,4 ve 0,6 mm derinlikte kusur içeren numuneler sırasıyla 1.089.717, 1.076.757 ve 1.259.612 çevrim sonunda kırılmıştır. %235 ila %292 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bilyalı dövme işlemi 150^0 0,2 -0,4 ve 0,6 mm derinlikte kusurların zararlı etkilerini tamamen giderdiği gibi, malzeme ömründe ilave artışı da beraberinde getirmiştir.

Oysa 90^0 kusurlarda benzer iyileşmeler görülmemiştir. 0,2 mm derinlikteki kusur kusursuz malzemeye yakın yorulma ömrüne sahip iken, 0,4 ve 0,6 mm derinliklerde kusursuz malzemenin daha düşük yorulma ömrüne sahip olmuştur. Bilyalı dövme işlemi 0,2 mm derinlikteki kusurun neden olduğu zararlı etkiyi giderebiliyorken, 0,4 ve 0,6 mm derinliklerde kusurların etkisini gidermekte başarısız olmuştur. Şekil 7.11’de kusur içeren yüzeye bilyalı dövme yapıldığında bilyaların etkilediği alanlar gösterilmektedir. Tablo 6.2’de verildiği üzere, 90^0 0,2-0,4-0,6 mm kusur derinlikleri için 0,4-0,8-1,2 mm genişliğinde yüzeyde açıklık meydana gelmektedir. Aynı kusur derinlikleri için 150^0 ‘de 1,5-3-4,5 mm açıklık meydana gelmektedir. Yüzeyde daha büyük açıklığı olan kusurlarda bilyalar bu alanlara daha fazla etki etmekte ve malzemenin yorulma ömrünü artırmaktadır.

Şekil 8.14 bilyalı dövülmemiş ve 8.15’de bilyalı dövülmüş 90^0 0,6 mm kusur içeren numunenin SEM görüntüsü verilmiştir. Bilyalı dövülmemiş kusurlu numunede Şekil 8.14’te talaşlı imalat izleri görünürken, bilyalı dövülmüş kusurda Şekil 8.15’te bilya izleri görülmektedir. Özellikle Şekil 8.15’de yüzeyde bilyalı dövmenin etkisiyle plastik deformasyon sonucu yığılmalar gözlenmektedir. Sonuç olarak bilyalı dövme yapılmamış malzeme 204.621 ve bilyalı dövülmüş malzeme 337.827 çevrim sonunda kırılmıştır. Bilyalı dövme 90^0 0,6 mm kusur içeren numuneye uygulandığında %65 yorulma ömründe iyileşme meydana gelmiştir. 150^0 açılı kusurlarda bilyaların daha fazla etki ettiği dolayısıyla yorulma ömründe daha fazla iyileşme sağlandığı gözlenmiştir.



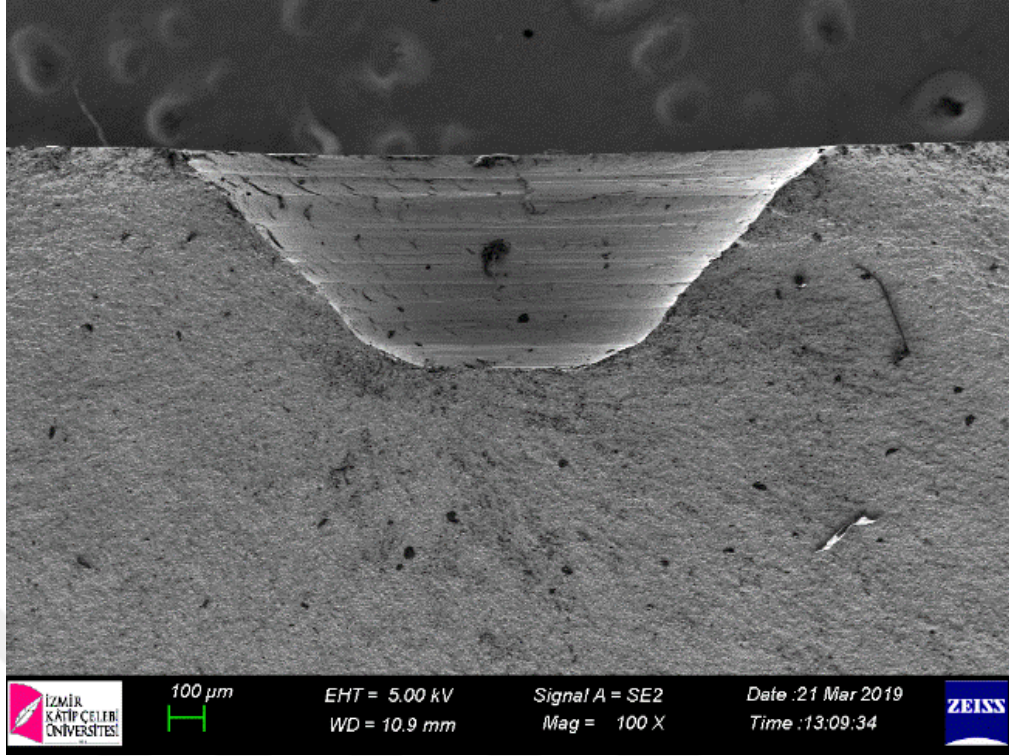
Şekil 8.11. 90^0 Kusur İçeren test Numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği



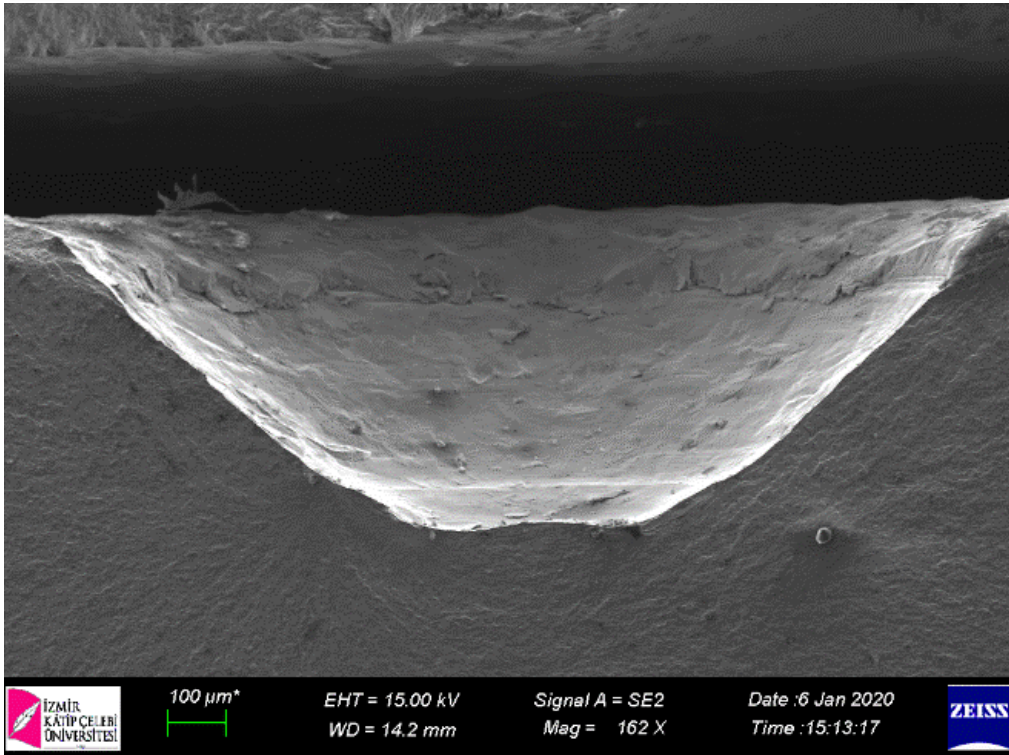
Şekil 8.12. 150^0 Kusur İçeren test numunelerinin Gerilme-Çevrim sayısı grafiği



Şekil 8.13. Bilyalı dövmenin etki ettiği yüzey alanları



Şekil 8.14. Bilyalı dövülmemiş 90° 0,6 mm kusur içeren numunenin kırık yüzey görüntüsü



Şekil 8.15. Bilyalı dövülmüş 90° 0,6 mm kusur içeren numunenin kırık yüzey görüntüsü

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi uygulamalarında aşınmanın en az seviyeye düşürülmesi ve/veya yorulma mukavemetinin artırılması amacıyla yüzey sertleştirme işlemlerinden yararlanılmaktadır. Bu işlemlerle makina parçası yüzeylerinin belirli bir derinliğe kadar istenilen düzeyde sertleştirilmesi sağlanmaktadır. Geri kalan iç bölge ise ısı işlem öncesi sertliğini devam ettirmektedir. Bu işlemler arasında yer alan bilyalı dövme prosesi malzeme yüzeyine kontrollü olarak yüksek hıza sahip küre şeklindeki taneciklerin püskürtülmesiyle malzeme yüzeylerindeki mekanik özelliklerin geliştirilmesine katkı veren ve günümüzde yaygın şekilde yararlanılmaya başlanan bir işlemdir. Bu prosesin amacı, metalik malzemelerin gerilmeli korozyon ve yorulmaya karşı dayanımlarının artırılmasıdır.

Bu çalışmada şanzıman, direksiyon parçası, aktarma organları parçaları, mavsal parçaları ve akslarda kullanılan 50CrV4 malzemesinin, üretim ya da imalat kaynaklı yüzey kusurlarının bilyalı dövme prosesiyle etkisizleştirilmesi amaçlanmış olup, bu kapsamda yorulma ömrü testine tutularak yaptıkları çevrim sayıları incelenmiştir. Söz konusu malzemeye öncelikle yağda su verme ısı işlemi yapılarak temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında yüzey kusuru oluşturulmuş ve bilyalı dövme uygulanarak yorulma testleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- Mikro yapı incelemelerinde bilyalı dövmenin malzeme yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar plastik deformasyon oluşumu sonucu sert bir tabaka meydana getirdiği tespit edilmiştir.
- Sertlik ölçümlerine göre yüzeyden 50 μm ile 250 μm arasındaki derinliklerdeki sertlik farkları bilyalı dövme numunede 53.7 HV, bilyalı dövmesiz numunede 69.7 HV bulunmuştur. Meydana gelen bu farklı sertlik değerleri bilyalı dövme işleminin dekarbürize olmuş tabakanın etkisini ortadan kaldırdığını, yüzeyde oluşan yumuşak katmanın bilyalı dövme ile giderildiğini ispatlamaktadır. Bilyalı dövme ile parçanın yüzeyinde yaklaşık olarak 250 mikronluk derinlikte sertleştirilmiş yüzey oluşmaktadır. Böylelikle parçanın yorulma ömrü artarken çatlak başlangıç oluşumu engellenmektedir.
- Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonuçlarına göre bilyalı dövülmemiş parçalarda pürüzlülük değerleri $R_a=0.3-0.5$, $R_z=1.5-3$ arasında tespit edilmiştir. Bilyalı dövülmüş test numunelerinde pürüzlülük değerleri $R_a=2-2.8$, $R_z=11.3-15.4$ arasında bulunmuştur. Bilyalı dövme sonrası metal bilyaların çarpması neticesinde malzeme üzerinde oluşan çukurcuklar nedeniyle pürüzlülük değeri artmıştır.
- Bilyalı dövme ve bilyalı dövmesiz olmak üzere yapılan yorulma testlerine göre bilyalı dövmenin kusurlu olmayan numunenin ömrünü önemli ölçüde artırdığı, kusurlu parçalarda ise kusurun açısına, derinliğine boydan ize ve deliğe göre iyileştirme sağladığı saptanmıştır.
- Yorulma testlerinden gelen numunelerin SEM analizlerine göre bilyalı dövmesiz enine çizik ve delik numunelerde yorulma çatlaklarının ve ikincil

çatlakların daha çok olduğu görülmüştür. Sünek kırılmaya ilişkin herhangi bir bulguya rastlanamamış olup, bilyalı dövmenin parçaların dış yüzeyinde sertleştirilmiş bir tabaka oluşturduğu ve bu tabakanın çatlak büyümesini geciktirdiği değerlendirilmektedir.

- Enine çizik test numunelerinin bilyalı dövmesiz ve bilyalı dövmeli yorulma ömürlerini karşılaştırdığımızda bilyalı dövme yapılmış numune yapılmamış numuneye göre 8 kat daha fazla çevrim yapmıştır.
- 90° lik yüzey kusuru olan numunelerde 150° lik yüzey kusuru olan numunelere göre daha az yorulma ömrü görülmüştür. Bunun nedeni ise 90° yüzey kusuru olan numunelerde 150° lik yüzey kusuru olan numunelere göre daha keskin bir çentiğin oluşmasıdır.
- 90°'lik açıda 0.6 mm derinlikteki yüzey kusurunun oluşturduğu izin yüzeye açık çapı 1.2 mm iken 150°'lik açıda 0.6 mm derinlikteki yüzey kusurunun oluşturduğu izin çapı 4.5 mm dir. Buna göre yüzey alanı arttıkça bilyaların yüzey vurma oranı da artacağı için bilyalı dövme işleminin etkisi daha fazla olacaktır.
- Malzeme herhangi bir yüzey kusuruna sahip olsa bile bilyalı dövme işlemi bu kusurun giderilmesinde yararlı bir tekniktir.
- Bilyalı dövme işlemi malzemenin sertleşme sırasında maruz kalabileceği dekarbürizasyondan kaynaklı sertlik kaybını geri kazanmada da etkilidir.

KAYNAKLAR

- 1- Efe, Y. , AA7075 Alüminyum Alaşımlarının Farklı Tip Yüzey İşlemleri İle Yorulma Davranışlarının İyileştirilmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. (2018), 82s.(Yüksek Lisans Tezi).
- 2- Varol, R ve Sarıtaş, S. Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. Bildiri kitabı, (1996). 1.Ulusal T/M Konferansı, 407-417.
- 3- <https://www.metalurjimalzeme.net/celiklerde-yuzey-sertlestirme/>
- 4- Ünal, O. Optimization of Shot Peening Parameters by Response Surface Methodology. Surface and Coatings Technology, (2016). 350, 99-109.
- 5- Bagherifard, S., Fernandez-Pariente, I., Ghelichi, R., ve Guagliano, M. Effect of severe shot peening on microstructure and fatigue strength of cast iron, International Journal Of Fatigue, (2014). 65, 64–70.
- 6- Akbulut, M. AISI 1045 Çeliğinin Yorulma Davranışı Üzerinde Mekanik Yüzey İşleminin Etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine mühendisliği anabilim Dalı, Erzurum, 2011, 76s (Yüksek Lisans Tezi).
- 7- Ünal, O. ve Varol, R. Almen intensity effect on microstructure and mechanical properties of low carbon steel subjected to severe shot peening. Applied Surface Science, (2014). 290, 40–47.
- 8- Bagherifard, S., Fernandez-Pariente, I., Ghelichi, R., ve Guagliano, M. Effect of severe shot peening on microstructure and fatigue strength of cast iron, International Journal Of Fatigue, (2014). 65, 64–70
- 9- Bagherifard, S., Hickey, D.J., Fintova', Pastorek, S. F., Fernandez-Pariente, I., Bandini, M., Webster, T.J. ve Guagliano, M. Acta Biomaterialia, (2018). 66, 93-108.
- 10- <http://mechanicalengineeringseminarworld.blogspot.com/2014/02/laser-shot-processing.html>
- 11- Bek, N., Peening uygulamaları. Yüzey İşlem ve Kumlama Dergisi, (2010). 7, 26-28.
- 12- Malaki, M. ve Ding, H. A review of ultrasonic peening treatment. Materials & Design, (2015). 17 (15), 1072-1086.

- 13-** Abushgair, K. N. , Experimental Studies the Effect of Flap Peening Process on Aluminum Alloys. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, (2017). 11 (3), 173-180.
- 14-** Askerov H, Aslanov T I, Ahmedov R H Metallerin Mekanik Özellikleri ve Sertleştirilmesi (1.baskı) (2007) BAKÜ 150 s.
- 15-** Turan, M. E. , R260 Kalite Tren Raylarında Kalıntı Gerilmenin Belirlenmesi ve Bunun Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı. 2015, 81s. (Yüksek Lisans Tezi).
- 16-** Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A. Ş. Ors rulmanları ve makaralarının yorulma ömrünün artırılması için kalıcı gerilmelerin iyileştirilmesi. ORS Bülteni, Sayı 5. (2004). 33s.
- 17-** Kafkas, F., Karatas, Ç., Sozen, A., Arcaklioglu, E. ve Saritas, S. Determination of residual stresses based on heat treatment conditions and densities on a hybrid (In2-4405) powder metallurgy steel using artificial neural network. Materials and Design, (2007). 28, 2431-2442.
- 18-** Price, J. W. H, Paradowska, A. Z., Joshi, S., Finlayson, T., Semelay, C. ve Nied, H. Comparison of experimental and theoretical residual stresses in welds: The issue of gauge volume. International Journal of Mechanical Sciences, (2008). 50, 513-521
- 19-** Yiğit, O., Dilmeç, M., ve Halkacı, S. Tabaka kaldırma yöntemiyle kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması. Mühendis ve Makine Dergisi, (2008). 49 (579), 1-8.
- 20-** Withers P. J. ve Bhadeshia H. K. D. H. Residual stress, part 1- measurement techniques. Materials Science and Technology, (2001). 17 (A), 355-365.
- 21-** Schajer, G. S. Residual stresses: measurement by destructive testing. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier, (2001). 8152-8158.
- 22-** Kafkas, F. Vidaların Talaşlı İmalatında İmalat Parametrelerinin Vida Dış Dindeki Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği anabilim Dalı. Ankara. 2007. 229s. (Doktora Tezi).

- 23-** Özer A. ve Özçatalbaş Y. Delik Delme Yöntemiyle Kalıcı/Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Gerinim Ölçerlerin Kalibrasyonu. Journal Of The Faculty Of Engineering & Architecture Of Gazi University, (2011). 26(3), 657- 666.
- 24-** Totten, G., Howes, M. ve Inoue, T. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. Materials Park, Ohio, (2002). 424-436.
- 25-** Withers P. J. ve Bhadeshia H. K. D. H. Residual stress, part 1- measurement techniques. Materials Science and Technology, (2001). 17 (A), 355-365.
- 26-** Ekmekci, B. Theoretical and experimental investigation of residual stresses in electric discharge machining. The Middle East Technical University. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara, 2004. 247s. (Ph. D. Thesis).
- 27-** Schajer, G. S. Residual stresses: measurement by destructive testing. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier, (2001). 8152-8158.
- 28-** Zhang, Y., Pratihari, S., Fitzpatrick, M. E. ve Edwards, L. Residual stress mapping in welds using the contour methods. Material Science Forum, (2005). 490-491, 294-299.
- 29-** Prime, M. B. (1999). Residual stress measurement by successive extension of a slot: the crack compliance method. Applied Mechanics Reviews, 52, 75-96 (1999).
- 30-** Turan, M. E. R260 Kalite Tren Raylarında Kalıntı Gerilmenin Belirlenmesi ve Bunun Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı. Karabük, 2015, 81s. (Yüksek Lisans Tezi).
- 31-** Prevý, P. S. X-ray diffraction residual stress techniques. Metals Handbook, 10. Metals Park: American Society for Metals, (1986). 380-392.
- 32-** Yiğit, O., Dilmeç, M., ve Halkacı, S. Tabaka kaldırma yöntemiyle kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması. Mühendis ve Makine Dergisi, (2008). 49 (579), 1-8.
- 33-** Andrew L., Gyekenyesi, G. ve Baaklini, Y. (1999). Termoeleastic stress analysis: the mean stress effects in metallic alloys. NASA/TM, US.
- 34-** James, M. N., Residual Stress Influences in Mechanical Engineering. Proceedings of the XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, (2010), 1-13.
- 35-** <http://www.sspst.com/icerik/goTo/5/shot-peening-bilyali-dovme-nedir.html>;Substech.com_

- 36-** Kubit, A., Bucior, M., Zielecki, W. Ve Stachowicz, F., The impact of heat treatment and shot peening on the fatigue strength of 51CrV4 steel. *Procedia Structural Integrity*, (2016). 2, 3330-3336.
- 37-** Brooks, R. E. An Introduction to Shot Peening for Increasing Gear Fatigue Life, *Gear Solutions Magazine* (2016).
- 38-** <http://www.sspst.com/icerik/goTo/14/almen-gage--almen-olcum-cihazı-nedir-.html>
- 39-** Çeliker, S. Bilyalı dövme ve kriyojenik işlem uygulanmış inconel 718 alaşımının aşınma davranışının incelenmesi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir. (2018). 70s (Yüksek Lisans Tezi).
- 40-** Lundberg, M., Peng, R. L., Ahmad, M., Vuoristo, T., Bäckström, D. ve Johansson, S. , Influence of Shot Peening Parameters on Residual Stresses in Flake and Vermicular Cast Irons. *Materials Science*, (2013). 768-769, 534-541.
- 41-** Schulze, V. *Modern Mechanical Surface Treatments States, Stability, Effects*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. (2006).
- 42-** Varol, R. 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme İşlem Parametrelerinin Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya 1990, 38s. (Doktora Tezi).
- 43-** <https://www.stresstech.com/en/knowledge/articles/stresstech-bulletin-14-shot-peening-residual-stresses/>
- 44-** <https://istsurface.com/applications/abrasive-blasting-equipment/shot-peening-machine/>
- 45-** Kostilnik, T. Shot Peening. *Metals Handbook Tenth Edition*, (1994). 5: 126-135
- 46-** Champaigne, J., Shot Peening Overview. (2001). Erişim adresi: <https://www.shotpeener.com/library/pdf/2001012.pdf>
- 47-** Savaş, S. Monitoring variation of surface residual stresses in the shot-peened steel components by magnetic barkhausen noise method. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara. (2010). (Yüksek Lisans Tezi).
- 48-** Champaigne, J., Shot Peening Intensity Measurement. *The Shot Peener Magazine*, (1992). 6 (4), 1-6

- 49-** Jain, A., A database for shot peening parameters and desired residual stress distribution. International Conference on Shot Peening and Blast Cleaning, (2001). 181-189.
- 50-** <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/shot-peening>
- 51-** Ramati, S., Kennerknecht, S. ve Levasseur. G. Single piece wing skin utilization via advanced peen forming technologies. In: Proceedings of the ICSP7, Varşova. (1999).
- 52-** Salah, N. B. Shot Peening Applications and Future Research In The Aerospace Industry, ICSP. (2017).
- 53-** Efe, Y. , AA7075 Alüminyum Alaşımının Farklı Tip Yüzey İşlemleri İle Yorulma Davranışlarının İyileştirilmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. (2018), 82s.(Yüksek Lisans Tezi).
- 54-** Kaymaz, İ. , Makine Elemanları-1 Ders Notları. (2017).
- 55-** Demirkol, M. Malzemelerin Mekanik Davranışı Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi. (2004).
- 56-** Li, L., Shen, L. ve Proust, G. , Fatigue Crack İnitiation Life Prediction For Aluminium Alloy 7075 Using Crystal Plasticity Finite Element Simulations. Mechanics Of Materials, (2015). 81, 84–93.
- 57-** Tanrıku, B. Fatigue Life Of Tungsten Cobalt Carbide Used As A Core Material İn Cold Forging Dies. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Bilim Dalı. İzmir 2016. 62s. (Yüksek Lisans Tezi).
- 58-** Topcuoğlu, İ. S. Kaynaklı 7020 Alüminyum Alaşımının Korozyonlu Yorulma Ve Darbeli Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim, Kontrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı , Erzurum 2019. 102s. (Yüksek Lisans Tezi).
- 59-** Dülek, E., Orman, Ş., Karataş, Ç. ve Sarıtaş, S. Bilyalı Dövme Parametrelerinin Ç1020 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisi Ve Oluşan Kalıcı Gerilmenin Katman Kaldırma Yöntemi İle Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (2003). 20 (3), 289-295.
- 60-** Klesnil, M. ve Lukas, P. (1992). Fatigue of metallic materials. New York: Elsevier,

- 61-** Ateş, B. Katı Çözelti Sertleşmesinin Küresel Grafitli Dökme Demirin Dönel Eğmeli Yorulma Davranışına Etkisi.). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Malzeme mühendisliği anabilimdalı, İstanbul, (2013). 101s(Yüksek Lisans Tezi)
- 62-** Zimmerli, F.P. Shot blasting and its effect on fatigue life. Surface Treatment of Metals, ASM, Metals Park, (1941). 261–278.
- 63-** Almen, J. O. (1942). Shot Blasting Test, US Patent No: 2350440
- 64-** Herzog, R., Zin, W., Wohlfahrt, H. ve Scholtes, B. The Significance of Almen Intensity for the Generation of Shot Peening Residual Stresses. International Conference on Shot Peening (1996). (ICSP-6), 270-281
- 65-** Hozapfel, H. ve Wick, A. Effect of Shot Peening Parameters on the Properties of Surface Layers in AISI 4140 in Different Heat Treatment Conditions. The Shot Peener, (1996). 10 (1), 6-13.
- 66-** Akiniwa, Y., Kimura, H. ve Sasaki, T. Effect Of Residual Stresses On Fatigue Strength Of Severely Surface Deformed Steels By Shot Peening. Powder Diffraction, (2009). 24 (1), 37-40.
- 67-** Wick, A., Holzapfel, H., Schulze, V. ve Vohringer, O. Effect of Shot Peening Parameters on the Surface Characteristics of Differently Heat Treated AISI 4140. International Conference on Shot Peening (2011). (ICSP-7), 42-53
- 68-** Dalaei, K. ve Karlsson, B. Influence of shot peening on fatigue durability of normalized steel subjected to variable amplitude loading. Int. J. Fatigue. (2012). 38, 75-83
- 69-** Byrne G.D., O'Neill L., Twomey B. ve Dowling D. P. Comparison Between Shot Peening and Abrasive Blasting Processes as Deposition Methods for Hydroxyapatite Coatings onto a Titanium Alloy, Surface and Coatings Technology, (2013). 216, 224-231.
- 70-** Vielma, A. T., Llaneza, V. ve Belzunce, F. J. Shot Peening Intensity Optimization to Increase the Fatigue Life of a Quenched and Tempered Structural Steel. Procedia Engineering, (2014). 74, 273-278.
- 71-** Ahmed A.A., Mhaede M., Wollmann M. ve Wagner L. Effect of Micro Shot Peening on The Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Two Microstructure Ti–6Al–4V Alloy, Applied Surface Science, (2016). 363, 50-58
- 72-** Ünal, O. Optimization of Shot Peening Parameters by Response Surface Methodology. Surface and Coatings Technology, (2016). 350, 99-109

- 73-** Goulmy, J., Boyer, V., Toualbi, L., Kanoute, P., Kruch, S., Reiraint, D., Rouhaud, E., Seror, A. ve Puydt, Q. , Assessment of shot-peening on fatigue life of Inconel 718 turbine disk. ISCSP İtalya. (2017).
- 74-** Klotz, T., Delbergue, D., Miao, H. Y., Bocher, P., Lévesque, M. ve Brochu, M. Analytical fatigue life prediction of shot peened Inconel 718. International Journal of Fatigue, (2017). 113, 204-221
- 75-** Slavin, G., Child, D., Moore, B. ve Hennig, W. Evaluation of spherical conditioned cut wire in comparison to cast steel shot peening media applied to Inconel 718. ISCSP İtalya. (2017).
- 76-** Liu, Y. G., Li M. Q. ve Liu H. J. Nanostructure and Surface Roughness in The Processed Surface Layer of Ti-6Al-4V via Shot Peening, Materials Characterization, (2017). 123, 83-90
- 77-** Fernández-Pariente a,†, S. Bagherifard b, M. Guagliano b, R. Ghelichi b Fatigue behavior of nitrated and shot peened steel with artificial small surface defects, Engineering Fracture Mechanics 103 (2013) 2–9
- 78-** Koji Takahashi, Hideki Okada, Kotoji Ando, Effects of shot peening on the torsional fatigue limit of high-strength steel containing an artificial surface defect.(2018) 3, pp.274-284
- 79-** Elmas, A. , Bilyalı dövme prosesinin 50CrV4 çeliğine etkilerinin incelenmesi ve optimum proses parametrelerinin belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. (2019), 92s.(Yüksek Lisans Tezi).
- 80-** https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-29241-6_7
- 81-** <https://www.fastenal.com/en/3289/fastener-fatigue>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih BARIŞ
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1982
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : fthbrs@yahoo.com

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Endüstri Meslek Lisesi, 1999
Lisans : Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği, 2007
-
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı 2016-2020

Mesleki Deneyim

SL Enerji ve Aydınlatma Limited Şirketi - Mekanik Tasarım – 2009-2009
Olgun Çelik – Arge Merkezi - Arge Mühendisi 2010-2013
ECA Valfsel - Arge Merkezi - Arge Mühendisi 2013-2019