

OVALAMA İLE DİŞ AÇMA İŞLEMİ SIRASINDA YAĞ KULLANIMININ DİŞ PROFİLLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

M. Rauf KABAKÇIOĞLU^{1, a)} ve İbrahim KILINÇ^{2, b)}

¹DİTAŞ Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş., Ar-Ge Merkezi, 51000, Niğde, Türkiye,
(ORCID: 0000-0002-9623-5239)

²DİTAŞ Doğan Yedek Parça İmalat ve Teknik A.Ş., Ar-Ge Merkezi, 51000, Niğde, Türkiye,
(ORCID:0000-0002-9589-2819)

^{a)} raufkabakcioglu@ditas.com.tr ^{b)} ibrahimkilinc@ditas.com.tr

Özet

Ağır ticari araçlarda direksiyon kutusundan gelen hareketi pitman aracılığı ile tekerleğe ileten, bir tekerin yaptığı hareketi karşı diğer tekere ileten parçalara rot kolu denilmektedir. Rot kolları genel olarak iki adet rot başının boru ile birbirine bağlanmasından oluşmaktadır. Bu bağlantılar ayar durumuna göre ayarlanabilir dişli yapı veya sabit sıcak kenetleme şeklinde olmaktadır. Bükümü olmayan düz rot kollarında genel olarak belli kullanım ömrü sonrasında veya yorulma testi sırasında belirli çevrimlerden sonra rot başı gövde şaftındaki dişli bölgeden hasara uğramaktadır. Bu hasarlar hedeflenen yük ve hedeflenen çevrim sayısını sağladıktan sonra gerçekleşse de rekabetçi otomotiv sektöründe daha uzun ömürlü parçaların hedeflenmesi sebebi ile araştırma ihtiyacı doğurmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmaları sonucunda ovalama ile diş açma sırasında yağlamanın etkisi dikkat çekmiş olup ovalama ile diş açma sırasında yağlama durumunun diş profilleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, rot başı gövdesi üretiminde ovalama ile diş açma prosesi sırasında yağlı ve yağsız olmak üzere iki farklı senaryoda gövde numuneleri üretilerek optik mikroskop altında incelenmiştir. Buna göre yağ kullanılmadan üretilen numunelerde yağ kullanılarak üretilen numunelere göre daha belirgin mikro çatlakların olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikroyapı, diş açma işlemi, çatlak oluşumu, rot başı

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF LUBRICANT USE ON GEAR PROFILES DURING THE GEAR HOBBLING PROCESS

Abstract

In heavy commercial vehicles, the components that transmit the motion from the steering box to the wheels via the pitman arm and transfer the movement of one wheel to the other, are called tie rods. Tie rods generally consist of two rod ends connected by a tube. These connections can be either an adjustable threaded structure or a fixed hot crimped type, depending on the adjustment requirement. In straight tie rods without any bends, damage typically occurs at the threaded area of the rod end shaft after a certain service life or after a specified number of cycles during fatigue testing. Although these failures occur after meeting the target load and cycle requirements, the competitive nature of the automotive industry drives the need for parts with longer service life, thus prompting further research. As part of this study, literature reviews highlighted the significant effect of lubrication during thread forming by rolling. Therefore, the impact of lubrication on thread profiles during the thread forming process was investigated. In this context, rod end body samples were produced under two different scenarios—lubricated and unlubricated—during the thread rolling process used in rod end body production. These samples were then examined under an optical microscope. It was observed that samples produced without lubrication exhibited more pronounced micro-cracks compared to those produced with lubrication.

Keywords: Microstructure, thread forming, crack formation, tie rod end

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde, direksiyon ve süspansiyon sistemlerinde görev alan bağlantı elemanlarının güvenilirliği hem sürüş emniyeti hem de sistem dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür bileşenler, araç kullanım ömrü boyunca dinamik ve değişken yüklemelere maruz kalmakta olup; yorulma, çatlama ve kırılma gibi arızalara açıktır. Özellikle rot başı ve gövde parçalarında meydana gelen ani hasarlar, sürüş güvenliği açısından ciddi riskler doğurabilmektedir [1, 2].

Literatürde, rot başı ve benzeri bağlantı elemanlarında gözlenen arızaların büyük bir kısmının mikroyapısal düzensizliklerden ve üretim sürecinde yapılan hatalardan kaynaklandığı vurgulanmaktadır. Falah ve arkadaşları [3], rot başı kırılmalarının temel nedenleri arasında uygunsuz ısı işlemi, hatalı malzeme seçimi ve mikroyapısal düzensizlikleri sıralamıştır. Benzer şekilde, Verma et al. [4], kırılma vakalarının çoğunda çatlak başlangıç noktalarının dişli bölgelerdeki yüzey altı mikro bozulmalardan kaynaklandığını bildirmiştir.

Parça üretiminde uygulanan şekillendirme işlemleri sırasında; yağlama, şekillendirme hızı ve soğutma yöntemi gibi üretim parametreleri doğrudan mikroyapı karakteristiğini etkilemektedir [5]. Özellikle yağlama uygulaması, şekillendirme sırasında sürtünmeyi azaltarak deformasyonun daha dengeli yayılmasını sağlar. Kraemer ve arkadaşları [6], bağlantı elemanlarında yağlama eksikliğinin, yüzey altı yönlendirilmiş deformasyonlara, liflenme oluşumuna ve sonuç olarak çatlak başlangıçlarına neden olduğunu göstermiştir. Yağsız üretim, liflenmiş yapıların ve lokal sertlik değişimlerinin oluşmasına neden olarak yorulma dayanımını düşürmektedir [6, 7].

Bu çalışmada, rot başı gövdesinin üretiminde uygulanan yağlama koşullarının mikroyapısal yapıya olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, yağlı ve yağsız dış açma olmak üzere iki farklı üretim senaryosu belirlenmiş ve iki senaryoda da üretilen parçaların gövde ve diş bölgelerinden alınan kesitler mikroskobik olarak değerlendirilmiştir. İncelemelerde;

deformasyon yönelimi ve mikro çatlak varlığı gibi mikroyapısal parametreler esas alınmıştır.

Elde edilen bulgular, üretim parametrelerinin çatlak oluşumu üzerindeki etkilerini açık bir şekilde ortaya koymakta ve gövdenin üretim sürecinde kalite iyileştirmelerine yönelik bilimsel bir temel sağlamaktadır. Aynı zamanda bu çalışma, üretimde yağlamanın göz ardı edilmesi ve yeterli miktarda kullanılmaması durumunda, parça ömrü ve güvenliği üzerindeki etkisini mikroyapı ölçeğinde göstermesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

2. MALZEME VE METOD

2.1 Malzeme

Çalışma kapsamında ovalama ile dış açma işlemi sırasında C45R malzemedan sıcak dövme prosesi ile üretilen ve normalizasyon ısı işlemi uygulanmış rot başı gövdeleri kullanılmıştır. C45R malzeme kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. C45R malzeme kimyasal kompozisyonu

Content (%)	C45R
C	0.42-0.5
Si (max)	0.4
Mn	0.5-0.8
Ni (max)	0.4
P (max)	0.03
S	0.02-0.04
Cr (max)	0.4
Mo (max)	0.1

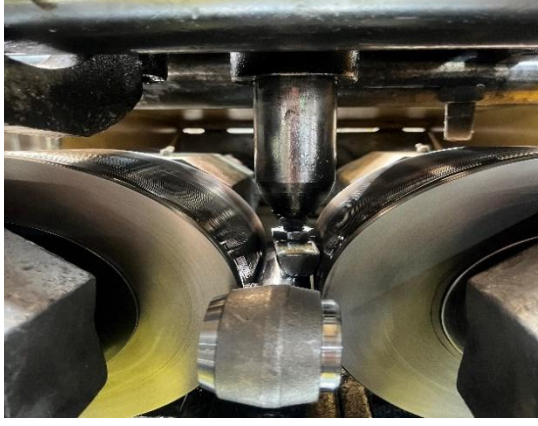
2.2 Deneysel Çalışmalar ve Analizler

Çalışma kapsamında, rot başı gövde numunelerine ovalama dış açma yöntemi ile iki farklı senaryoda dış açma işlemi gerçekleştirilmiştir.

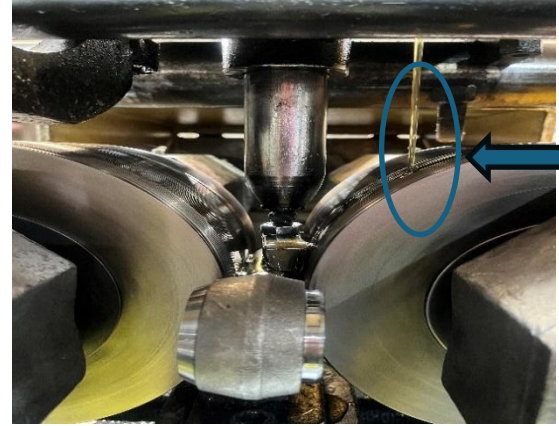
- Senaryo 1: Ovalama ile Yağ Kullanmadan Dış Açma
- Senaryo 2: Ovalama ile Yağ Kullanarak Dış Açma

Şekil 1’de yağ kullanımı olmadan dış açma işlemi, Şekil 2’de yağ kullanılarak dış açma işlemi gösterilmektedir.

OVALAMA İLE DİŞ AÇMA İŞLEMİ SIRASINDA YAĞ KULLANIMININ DİŞ PROFİLLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ



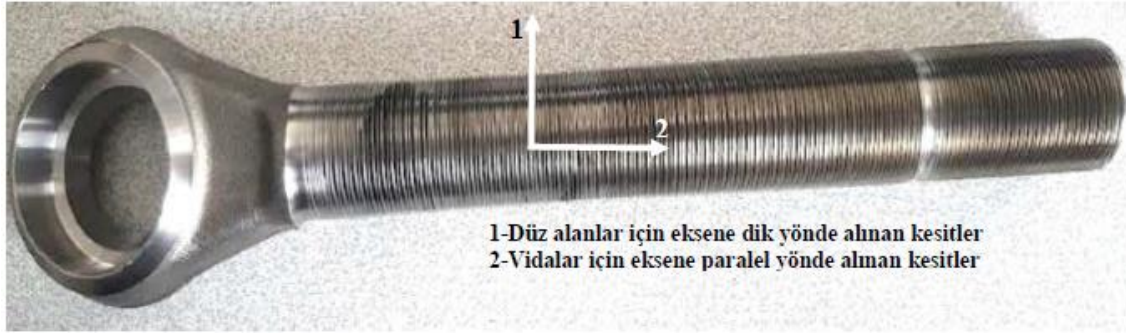
(a) Yağsız Diş Açma İşlemi



Ovalama
esnasında

(b) Yağlı Diş Açma İşlemi

Şekil 1: Ovalama ile diş açma işlemi



1-Düz alanlar için eksene dik yönde alınan kesitler
2-Vidalar için eksene paralel yönde alınan kesitler

Şekil 2. Rot Parçasına Ait Kesit Alma Yönleri

İki senaryoda da üretilen parçaların diş açılmış bölgesinden ve ana gövde kısmından kesitler alınmış; optik mikroskop altında mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerde özellikle deformasyon

yönelimi ve mikro çatlak varlığı gibi kriterler esas alınmıştır. Ek olarak kullanım ömrü sonrasında hasara uğramış bir rot başı gövdesi üzerinden de benzer şekilde kesitler alınmıştır.



(a) Kullanılmamış rot (Yağsız gövde)

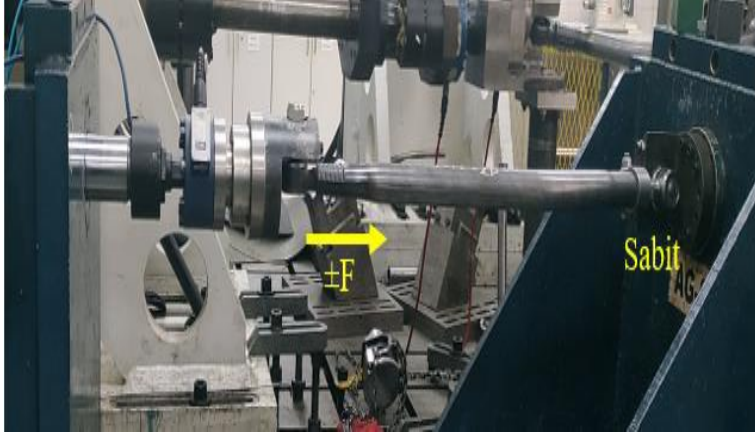


(b) Kullanılmamış rot (Yağlı gövde)



(c) Kullanım ömrü sonrasında hasara uğramış rot

Şekil 3. Numunelere Ait Alınan Kesit Görüntüleri



(a) Rot kolu dinamik test sistemi



(b) Yorulma testi sonucu kırılan yağsız diş açılan rot başı gövdesi ve kırılmayan yağlı gövdeli rot başı gövdesi

Şekil 4. Test sistemi ve test edilen numuneler

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA



(a) Yağsız üretilen ve kullanılmamış rot başının şaftının diş dibinde tespit edilen çatlak



(b) Yağlı üretilen ve kullanılmamış rot başının şaftının diş dibinden alınmış görüntü. Çatlak yok.

Şekil 5. Yağsız ve yağlı gövdede mikroyapı görüntüleri

İncelenen çelik gövdelerin mikroyapısı, ferrit ve perlit fazlarından oluşan bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (OM). Yağsız ovalama yöntemi ile dış açılmış bir rot başı gövdesinin mikroyapı analizinde, 50X büyütme ile gerçekleştirilen incelemede mikro çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Tespit edilen çatlakların dış dibinden

malzemenin çekirdeğine ilerlemesi malzeme yorulması sonrası ilerleyerek rot başı gövdesinde hasar oluşumuna sebep olabilecektir. Yağlı üretim senaryosunda ise, aynı bölgeden alınan mikroyapı kesitinde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.

Kullanım Ömrü Sonrasında Hasara Uğramış Rot Parçasına Ait OM Kesit İncelemesi



Şekil 6. Yağsız haddelenmiş ve kullanım sırasında şaftı kırılmış rot başının şaftı üstünde başka bölgesinin dış dibinde tespit edilen çatlak

Kullanım ömrünü tamamlamış ve hasar görmüş rot parçasına ait optik mikroskop incelemesi de yapılmıştır. Yağsız üretim koşullarında dış açılmış gövdeden alınan kesitte çatlakların özellikle dış dibi bölgesinden başladığı ve matriks boyunca ilerlediği gözlemlenmiştir. Görselde yapının mikroyapı sürekliliğini kaybettiği, çatlak oluşumun

yoğunlaştığı bölgede deformasyon izlerinin arttığı dikkat çekmektedir. Kullanım ömrünün sonunda parça gövdenin şaft bölgesinden kırılmıştır. Bu tür yapısal bozulmaların, parça ömrü ve yorulma dayanımı açısından ciddi riskler oluşturduğu da bu şekilde gözlemlenmiştir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan rot başı gövdelerinin şaftına ovalama metoduyla uygulanan diş açma operasyonunda, yağ kullanımının, ürünün kullanımı esnasında yorulma kırılmasına sebep olabilecek mikro çatlakların oluşumunu önleyici etkisi olduğu konusunda bulgular tespit edilmiştir. Yağlı ve yağsız olmak üzere iki farklı üretim senaryosunda üretilen parçalar üzerinden mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiş; gözlemler, optik mikroskop görüntüleriyle desteklenmiştir.

Mikroyapı incelemelerinde, yağsız üretim diş dibi bölgelerinde mikro çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Kullanım ömrü sonrasında hasara uğramış bir rot başı gövdesi incelemelerinde de benzer mikro çatlaklara rastlanmıştır.

Yağsız diş açılan gövdelerde tespit edilen mikro çatlakların kullanım sırasındaki davranışını simüle etmek için, ilgili numune, yağlı diş açılan başka bir numune ile birlikte karşılaştırmalı yorulma testine tabi tutulmuştur (Bkz. Şekil 4). İki numuneye de 5Hz'de +40 kN /- 40 kN kuvvetle basma, çekme testi uygulanmıştır. Ovalama operasyonunda yağ kullanılan dişe sahip rot başı gövdesinde 1.000.000 çevrim boyunca bir hasar tespit edilmemiş ve bu noktada test durdurulmuştur. Yağsız metotla diş açılan rot başı gövdesi ise 181.351 çevrim sonra şaft bölgesinden kırılmıştır.

Bu durum ovalama ile diş açma işlemi sırasında yağ kullanımının yeterli ve doğru yapılmasının önemini ortaya koymuş olup, yeterli ve doğru yapılmadığı durumda rot başı ömrünün olumsuz etkilenebileceğini göstermiştir

Sonuç olarak, üretim proseslerinin yağlama parametresi göz önünde bulundurularak optimize edilmesi, parça ömrü ve yorulma

direnci açısından da belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, mikroyapı mühendisliği temelli proses iyileştirmelerine katkı sağlayan ve deneysel bulgularla desteklenen bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

4. SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Sembol Açıklama

μm mikrometre

Kısaltma Açıklama

OM Optik mikroskop

5. KAYNAKLAR

[1] Wu et al., *FEA of Tie Rod of Steering System for Passenger Car*, 2013

[2] Sayid et al., *Fatigue Behavior of Surfaced C45 Steel*, 2021

[3] Falah et al., *Failure investigation of a tie rod end used in automotive steering system*, 2007

[4] Verma et al., *Study on Failure of a Tie Rod in Steering System*, 2024

[5] Hassan et al., *Survey of Microstructure after Annealing of C45 Steel*, 2022

[6] Kraemer et al., *Influence of Lubrication Systems on the Strength of Threaded Connections*, 2022

[7] Rajanna et al., *Investigation of Tie Rod Failure in Passenger Cars*, 2016

[8] Steel Number, Chemical composition of steel C45R (1.1201), http://www.steelnumber.com/en/steel_position_eu.php?name_id=187