



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi

Experimental vibration analysis of cryogenic treated shafts supported by journal and rolling element bearings

Yazar(lar) (Author(s)): Menderes KAM¹, Hamit SARUHAN²

*ORCID*¹: 0000-0002-9813-559X

*ORCID*²: 0000-0002-6428-8117

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Kam M. ve Saruhan H. “Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 129-134, (2019).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.385565

Kriyojenik İşlem Uygulanmış Millerin Yuvarlanmalı ve Kaymalı Yataklarda Deneysel Titreşim Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Menderes KAM^{1*}, Hamit SARUHAN²

¹Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Tek., Düzce Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.11.2017 ; Kabul/Accepted : 20.12.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda aynı yüklenme şartlarında ve çalışma hızlarında titreşim davranışlarının ne olabileceği ve nedenleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli millerden deplasman ölçerler aracılığıyla alınan veriler analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli millerden elde edilen sonuçlara göre; en düşük genlik değerleri kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlenmiş millerde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kriyojenik işlem, kaymalı yatak, yuvarlanmalı yatak, mil, titreşim analizi.

Experimental Vibration Analysis of Cryogenic Treated Shafts Supported by Journal and Rolling Element Bearings

ABSTRACT

In this study, the effects of cryogenic treatment and tempering on the vibration behaviors of rotating shafts mounted on the rolling element and journal bearings were investigated for the same loading conditions and operating speeds. In this experimental study, the data obtained with the help of proxy probes were analyzed and the results were compared. The results showed that the lowest amplitude values were obtained for the cryogenic treated shaft mounted on the journal bearing. The amplitude values of journal bearing are significantly superior to the rolling element bearings having stability in account.

Keywords: Cryogenic treatment, journal bearing, rolling element bearing, shaft, vibration analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstride dönen makine sistemlerinde yaygın olarak kullanılan AISI 4140 (42CrMo4) çeliği uygulanan ısı işlemleri ile kazandığı mekanik özelliklerinden dolayı krank mili ve aks mili olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, soğuk işlem yöntemi olan kriyojenik işlem, geleneksel ısı işlemi tamamlayıcı bir işlemdir. Kriyojenik işlem düşük sıcaklıklarda malzemeleri soğutma ve bekletme işlemidir. Bu işlemle malzemenin sertlik ve tokluğunu aynı anda arttırmak mümkündür. Aynı zamanda kaplamalara göre parçanın tüm bölümünün olumlu yönde etkileyen kalıcı bir işlemdir [1-8].

Literatürde kriyojenik işlem ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak araştırmacılar kriyojenik işlemin malzemenin mekanik özelliklerini (sertlik, tokluk ve aşınma direnci) iyileştirdiği özellikle aşınma direncini ve sertliğini önemli derecede artırdığını tespit etmiştir. Bazı malzemelerde kriyojenik işlemin bekletme süreleri arasında en uygun olanın 36 saat olduğu belirtilmiştir [5, 9-14].

Literatürde mil-yatak sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda çok sayıda matematik model bulunmasına rağmen deneysel çalışma sayısı oldukça azdır. Genelde yapılan çalışmalar mil-yatak sisteminin kritik hızları ve kararlılığı alanında olmuştur. Jecott [15] mil-yatak sisteminde sönümleyici kullanarak milin kararlılığını incelemiştir. Mil-yatak sistemlerinin kararlılığı alanında Robertson [16] ve Smith [17] çalışmıştır. Dimentberg [18] dinamik rijitliği hesaplayan metodu tanıtmıştır. Lunda ve Strenlicht [19] mil-yatak sistemi çalışmalarına rijitlik ve sönümlenme özelliklerini dahil ederek bir çalışma yapmıştır. Aktürk ve ark. [20] mil-yatak sisteminde titreşimleri incelemek için matematiksel model oluşturmuştur. Aktürk ve Gohar [21] mil-yatak sisteminde bilge boyutundaki değişimin milin titreşimine olan etkisini incelemiştir. Dai ve ark. [22] bir milin dinamik davranışlarını analiz etmiştir. Perret [23] ve Meldau [24] yuvarlanmalı yatakların titreşim analizlerini detaylı bir şekilde yapmıştır. Gustafsson ve Tallian [25] yuvarlanmalı yatakların titreşim oluşturan karakteristik özellikleri ile ilgili incelemelerde bulunmuş, Gupta ve ark. [26], Meyer ve ark. [27], Yamamoto ve ark. [28], McFadden ve Smith [29] yataklarda titreşim karakteristikleri üzerinde çalışma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mendereskam@duzce.edu.tr

yapmıştır. Taplak ve Uzmay [30] dönen mekanik sistemlerin dinamik davranışlarının analizini gerçekleştirmek için bir düz bağlantılı mil sistemi imal etmiş ve farklı işletme şartları için titreşim parametreleri yönünden incelemiştir. Karahan [31] ve Mechevske [32] yapmış oldukları çalışmalarda endüstride kullanılan makinelerde titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisini analiz etmiş, Whalley ve Abdul-Ameer [33] bir mil-yatak sisteminin kritik hızını, dönme frekansını ve rezonansını hesaplamıştır.

Kılınç ve Saruhan [34] kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş millerin farklı yük düzeyleri için kritik hız analizini gerçekleştirmiştir. Gümüştaş ve Saruhan [35] kaymalı yatakların dinamik davranışlarını etkileyen geometrik boyutların ve mil-yatak arasındaki boşluk ölçülerinin mil-yatak sistemi çalışma kararlılığı üzerinde etkisinin incelenmesi için farklı yük düzeyleri ve farklı çalışma hızlarında deneyler gerçekleştirmiş ve elde edilen verileri ayrıntılı olarak analiz etmiştir.

Bu çalışmada kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış AISI 4140 çeliğinden imal edilen millerin kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda aynı yüklem şartlarında ve çalışma hızlarında yapılan deneysel çalışmada elde edilen bulgular analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılmak üzere AISI 4140 çeliği miller hazırlanmıştır. Bu millerin ısıtım süreçleri Çizelge 2’de verilmiştir. Hazırlanan millerden, ilk mil standart olarak kullanılmış ek olarak herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Diğer millere ise ilk önce geleneksel ısıtım işlemi (Conventional Heat Treatment - CHT) uygulanarak istenilen sertlik değerine getirilmiştir. Geleneksel ısıtım işlemi uygulanan üçüncü ve dördüncü mile, geleneksel ısıtım işlemi tamamlayıcı bir işlem olan kriyojenik işlem (Cryogenic Treatment - DCT36) -140 °C’de 36 saat olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü mile ise kriyojenik işlem sonrasında 200 °C’de 2 saat temperleme işlemi (Cryogenic Treatment and Tempering - DCTT36) uygulanmıştır.

Şekil 1’de deneylerde kriyojenik işlem uygulanmış millere destek olarak yataklanmaları için kullanılan yuvarlanmalı yatak ve pirinç malzemeden imal edilmiş kaymalı yataklar verilmiştir.



Şekil 1. Yuvarlanmalı ve kaymalı yataklar (Rolling element bearing and journal bearing)

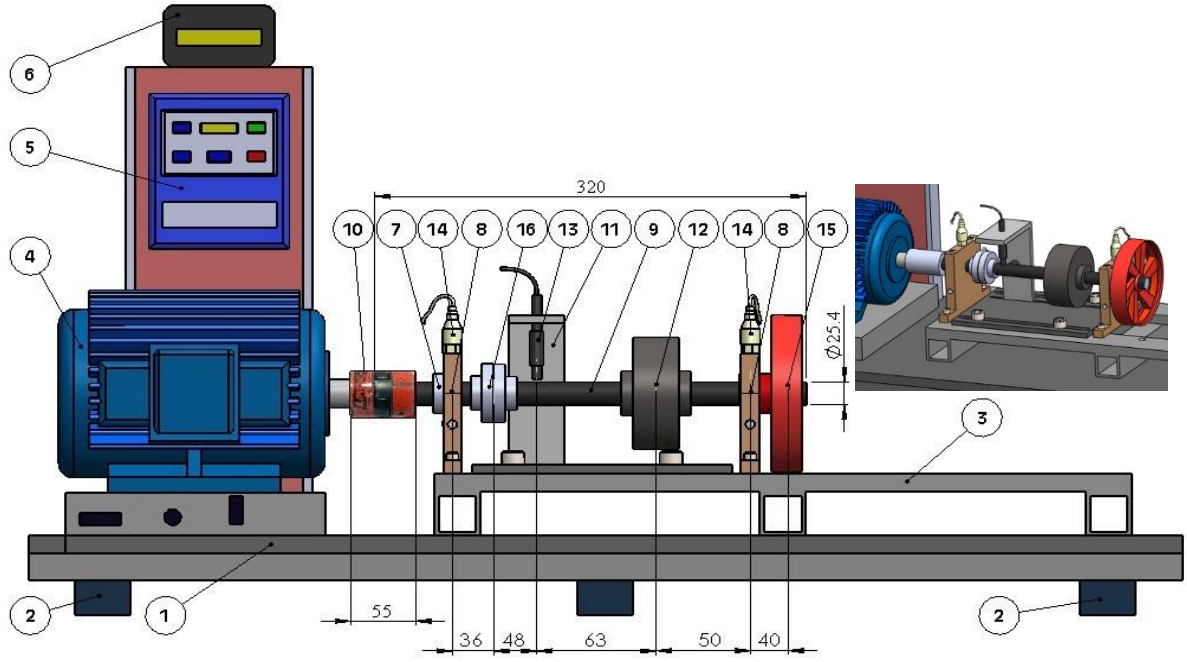
Şekil 2’de gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada ilk deney serisi için S, ikinci deney serisi için CHT, üçüncü deney serisi için DCT36 ve dördüncü deney serisi için DCTT36 kodlu numune miller kullanılmıştır. Titreşim genliğini artırmak için 126,25 mm çapında ve 5040 gr ağırlığında, 65 mm çapında ve 684 gr ağırlığında diskler ve milin ucuna takılmış fan kullanılmıştır. Deney düzeneği oluşturularak aynı yüklem ve çalışma şartlarında kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş, kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem sonrasında temperleme işlemi uygulanmış millerin titreşim verileri VibraQuestTM yazılım ve donanım sistemi kullanılarak toplanmıştır. Sistemden millerin rezonansa (tınlaşım) girdiği hızları belirleyen Bode eğrisi değerleri ve milin yatak içindeki hareketine bağlı olarak merkezinin Orbit (yörünge) değerleri alınmıştır.

Çizelge 1. AISI 4140 çeliğin kimyasal bileşimi (Chemical composition of AISI 4140 steel)

| Element | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Al |
|---------|------|------|------|-------|------|------|-----|------|
| (%) | 0,39 | 0,27 | 0,74 | 0,008 | 0,01 | 1,06 | 0,2 | 0,03 |

Çizelge 2. AISI 4140 çeliği millerin ısıtım süreci (Heat process of AISI 4140 steel shafts)

| No | Mil Kodu | Uygulanan Isıtım İşlemler |
|----|----------|--------------------------------------|
| 1 | STANDART | - |
| 2 | CHT | CHT |
| 3 | DCT36 | DCT36 (36 saat) |
| 4 | DCTT36 | DCTT36 (36 saat) Temperleme (2 saat) |



| No | Parça adı | No | Parça adı |
|----|-----------------------------------|----|-------------------------|
| 1 | Gövde | 9 | Mil |
| 2 | Plastik takoz | 10 | Esnek kaplin |
| 3 | Bilye yatağı desteği | 11 | Deplasman ölçer aparatı |
| 4 | ½ HP Motor | 12 | Disk 1 (5.04 kg) |
| 5 | Hız kontrol ünitesi | 13 | Deplasman ölçer |
| 6 | Takometre | 14 | İvme ölçer |
| 7 | Yuvarlanmalı yatak- Kaymalı yatak | 15 | Fan |
| 8 | Yatak yuvası | 16 | Disk 2 (0.684 kg) |

Şekil 2. Deney düzeneği (Experimental set-up)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Yapılan deneysel çalışmada mil-yatak sisteminde kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış millerden deplasman ölçerler (proxy probes) ile alınan veriler ayrıntılı olarak analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Aynı çalışma şartlarında yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli miller için düşey (Ch 1) ve yatay (Ch 2) doğrultuda çalışma hızlarının durma (0 rpm) durumundan 3000 rpm'e yükselerek gelmesi sırasında yakalanan titreşim genlik değerleri alınmış ve yatay yönde elde edilen veriler düşey yöndeki verileri doğrulamak amacıyla kullanılmıştır.

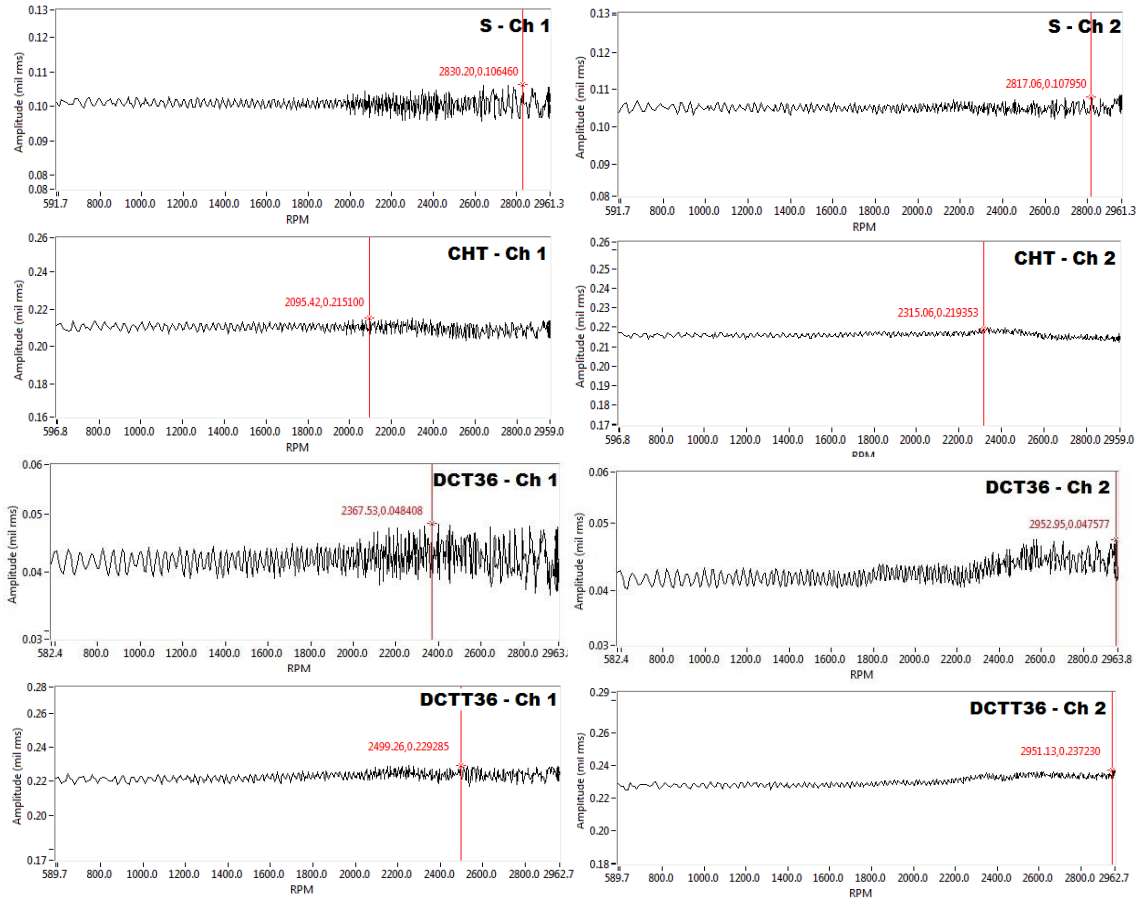
Şekil 3 ve Şekil 4'te yuvarlanmalı ve kaymalı yataklar ile desteklenmiş, kriyojenik işlem ve temperleme işlemli miller için bode eğrileri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi düşey (Ch 1) yönde genlik değerleri sırasıyla yuvarlanmalı yatak destekli DCT36 milinde 2367,53 rpm'de (revolution per minute – dakikadaki devir sayısı) 0,048 mil (0,0254 mm), S milinde 2830,20 rpm'de 0,106 mil, CHT milinde 2095,42 rpm'de 0,215 mil ve DCTT36

milinde ise 2499,26 rpm'de 0,229 mil olarak bulunmuştur.

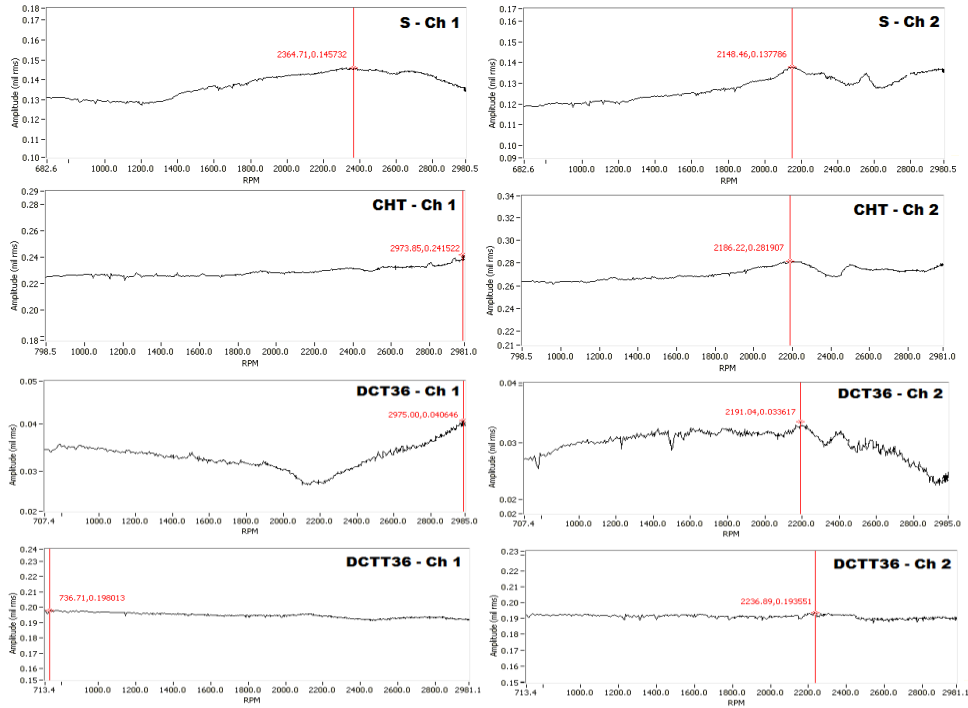
Kaymalı yatak destekli millerde ise genlik değerleri sırasıyla DCT36 milinde 2975,00 rpm'de 0,040 mil, S milinde 2364,71 rpm'de 0,145 mil, DCTT36 milinde 736,71 rpm'de 0,198 mil ve CHT milinde ise 2973,85 rpm'de 0,241 mil olarak bulunmuştur.

Düşey yönde en düşük genlik değerleri sırasıyla kaymalı yatak destekli millerde DCT36 ve S milinde, yuvarlanmalı yatak

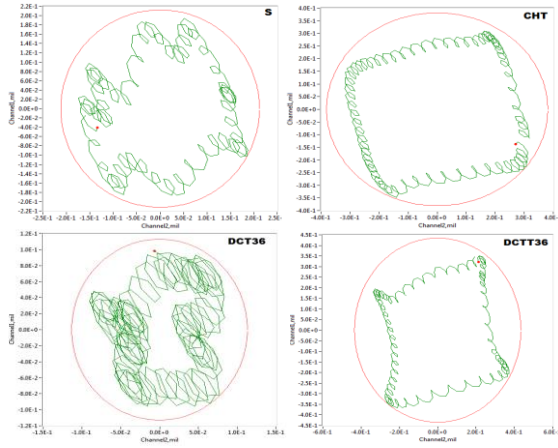
destekli millerde ise DCT36 ve S millerinde bulunmuştur. Bu verilere göre kriyojenik işlem uygulanmış miller kaymalı yataklarda daha az salınım yaptığı ve daha düşük genlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



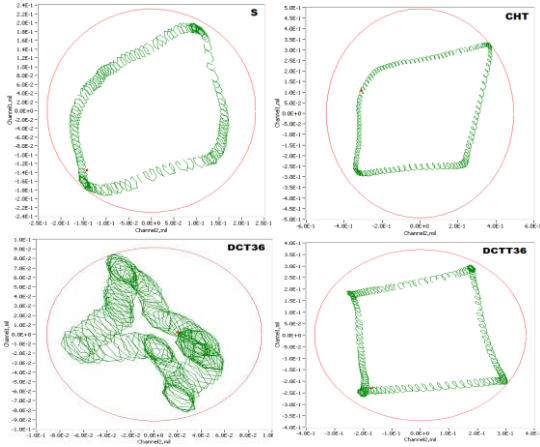
Şekil 3. Yuvarlanmalı yatak destekli millerden elde edilen düşey ve yatay doğrultuda genlik değerleri(Amplitude values obtained from shafts supported on rolling element bearing)



Şekil 4. Kaymalı yatak destekli millerden elde edilen düşey ve yatay doğrultuda genlik değerleri(Amplitude values obtained from the shafts supported on journal bearing)



Şekil 5. Yuvarlanmalı yatak destekli millerin orbit grafikleri (Orbit plots of shafts supported on rolling element bearings)



Şekil 6. Kaymalı yatak destekli millerin orbit grafikleri (Orbit plots of shafts supported on journal bearings)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada yuvarlanmalı yatak ve kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemler ve temperleme işlemlerinden elde edilen veriler analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, yuvarlanmalı ve kaymalı yatakların çalışma kararlılıkları arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Elde edilen verilere göre en düşük genlik değerleri kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millerde oluşmuştur. Kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millerin yuvarlanmalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millere göre daha az yer değiştirme yaptığı ve genlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemlerinde ise kaymalı yatak destekli millerin genlik değerlerinin yuvarlanmalı yatak destekli millere göre daha düşük olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP - 2015.06.05.351) kapsamında

yapılmıştır. UMAS'17 Sempozyumunda sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kam M., "Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi", Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Düzce, (2016).
- [2] Kam M., Saruhan H. ve Kara F., "Isıl işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1): 80-90, (2016).
- [3] Kam M., Saruhan H. ve Güney T., "Kriyojenik işlem ve sıcak dövme işlemi uygulanmış millerin deneysel titreşim analizi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(3): 21-30, (2016).
- [4] Pekgöz B., Sarıdemir S., Uygur İ. ve Aslan Y., "Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkileri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1): 19-24, (2013).
- [5] Kara F., "AISI 52100 çeliğinin yorulma ömrü ve taşlanabilirliğine kriyojenik işlem parametrelerinin etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2014).
- [6] Kara F., Çiçek A. and Demir H., "Multiple regression and ANN models for surface quality of cryogenically-treated AISI 52100 bearing steel," *J. Balkan Tribol. Assoc.*, 19(4): 570-584, (2013).
- [7] Senthilkumar D. and Rajendran I., "Optimization of deep cryogenic treatment to reduce wear loss of 4140 steel," *Materials and Manufacturing Processes*, 27(5): 567-572, (2012).
- [8] Senthilkumar D., Rajendran I., Pellizzari M. and Siirainen J., "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel," *J. Mater. Process. Technol.*, 211(3): 396-401, (2011).
- [9] Güneş I., Cicek A., Aslantas K. and Kara F., "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance of AISI 52100 bearing steel," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 67(6): 909-917, (2014).
- [10] Senthilkumar D., "Effect of deep cryogenic treatment on residual stress and mechanical behaviour of induction hardened En 8 steel," *Advances in Materials and Processing Technologies*, 1: 10, (2016).
- [11] İdayan A., Gnanavelbabu A. and Rajkumar K., "Influence of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of AISI 440C bearing steel," *Procedia Engineering*, 97: 1683-1691, (2014).
- [12] Das D., Dutta A. K., Ray K. K., "Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel," *Cryogenics*, 49: 176-184, (2009).
- [13] Das D., Dutta A. K. and Ray K. K., "Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness," *Mater. Sci. Eng. A*, 527: 2182-2193, (2010).
- [14] Özbek N.A., Çiçek A., Gülesin M. Özbek O., "Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 86, 34-43, (2014).

- [15] Jeffcott H. H., "The lateral vibration of loaded shafts in the neighborhood of a whirling speed-the effect of want of balance," *Phil. Mag.*, 37: 304, (1919).
- [16] Robertson D., "Whirling of a journal in a sleeve bearing," *Phil. Mag.*, 15: 113-130, (1933).
- [17] Smith, D. M., "The motion of a rotor carried by a flexible shaft in flexible bearings," *Proc. Roy. Soc., Series A*, 142: 92-118, (1933).
- [18] Dimentberg F. M., "Flexural vibrations of rotating shafts," *Butterworth Co.*, London, England, (1961).
- [19] Lunda J. W. and Sternlicht B., "Rotor-bearing dynamics with emphasis on attenuation," *American Society of Mechanical Engineers*, 61-68, (1961).
- [20] Aktürk N., Uneeb M. and Gohar R., "The effects of number of balls and preload on vibrations associated with ball bearings," *Journal of Tribology*, 119: 747-753, (1997).
- [21] Aktürk N. and Gohar R., "The effect of ball size variation on vibrations associated with ball-bearings," *Proc. I. Mech. E.*, 101-109, (1998).
- [22] Dai X., Jin Z. and Zhang X., "Dynamic behavior of the full rotor/stop rubbing: numerical simulation and experimental verification," *J. Vib. Control*, 251: 807-822, (2002).
- [23] Perret H., "Die lagerluft als bestimmungsgröße für die beanspruchung eines walzlagers", *Werkstatt Betr.*, 83(4): 131, (1950).
- [24] Meldau E., "Elastische spielschwingungen konstant belasterer walzlager" *Werkstatt Betr.*, 85(2): 56, (1952).
- [25] Gustafsson O. G. and Tallian T., "Research report on study of the vibration characteristics of bearings," *SKF Ind. Inc.*, (1963).
- [26] Gupta L. W. and Wilcock D. F., "Vibration characteristics of ball bearings P.K.," *Trans. ASME J. of Lubrication Technology*, 284-289, (1977).
- [27] Meyer L. D., Ahlgren F. F. and Weichbrodt B., "An analytical model for ball bearing vibrations to predict vibration response to distributed defects," *Trans. ASME J. Mechanical Design*, 102: 205-210, (1980).
- [28] Yamamoto T. and Ishida Y., "The particular vibration phenomena due to ball bearings at the major critical speeds," *Bull. of JSME*, 17(103): 59-67, (1974).
- [29] McFadden P. D. and Smith J. D., "The vibration produced by a multiple point defect in a rolling element bearing," *Journal of Sound and Vibration*, 98(2): 263-273, (1985).
- [30] Taplak H. ve Uzman İ., "Titreşim parametrelerinin dönen mekanik sistem dinamiğine etkilerinin araştırılması," *Teknoloji Dergisi*, 7(3): 427-434, (2004).
- [31] Karahan M. F., "Titreşim analiziyle makinalarda arıza teşhisi," Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, (2005).
- [32] Mechefske C. K., "Machine condition monitoring and fault diagnostic," Quens's University, (2005).
- [33] Whalley R. and Abdul-Ameer A., "Contoured shaft and rotor dynamics," *Mechanism and Machine Theory*, 44(4): 772-783, (2009).
- [34] Kılınç S. ve Saruhan H., "Kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda mil kritik hız analizi", *6.Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 209-218, (2013).
- [35] Gümüştas E. ve Saruhan H., "Kaymalı yatak boyutlarının çalışma kararlılığına etkisinin deneysel incelenmesi", *7th International Advanced Technologies Smposium (IATS'13)*, 765-770, (2013).