

HİBRİD RULMANLAR

Erol KÜLAHOĞLU*

*Yrd.Doç.Dr. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Bölümü

ÖZET

Yuvarlanmalı yataklarda çoğunlukla çelik malzemeler kullanılmaktadır. Hibrid Rulmanlarda ise yuvarlanma elemanı seramik, bilezikler ise çeliktir. Hibrid Rulmanlar yüksek sıcaklıkta ve yüksek hızlarda başarılı olarak görev yaparlar. Hibrid Rulmanlar havacılık-uzay endüstrisi ve takım tezgahlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yuvarlanma elemanı malzemesi çoğunlukla Silikon Nitrid' dir. Silikon Nitrid' in yoğunluğu ve sürtünme katsayısı düşük; sertliği yüksektir. Hibrid Rulmanların ömürleri daha uzundur. Bu gibi özelliklerden dolayı seramik esaslı rulmanların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Anahtar Sözcükler

Hibrid rulman, seramik rulman, silikon nitrid, seramik malzemeler.

ABSTRACT

The steel is usually used on Rolling Bearings. The rolling element (ball) is ceramic and the rings are steel on Hybrid Bearings. The Hybrid Bearings work as successfully on high-speed and high-temperature applications. The Hybrid Bearings are usually used on aerospace and machine tool industries. The material of rolling element on bearing is usually Silicone Nitride. It has significant advantages. The density and coefficient of friction of balls are low. The hardness of Silicone Nitride ball is high. The life of Hybrid Bearings is more than steel bearings. Therefore the Hybrid Bearings are used widely in industry.

Keywords

Hybrid bearing, ceramic bearing, silicone nitride, ceramic materials.

GİRİŞ

Günümüzde yuvarlanmalı yataklar (rulmanlar) oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Teknolojinin hızla gelişmesi sonucunda klasik rulmanlar bazı çalışma şartlarında yetersiz kalabilmektedirler. Bu gibi durumlarda daha farklı özelliklere sahip yuvarlanmalı yatakların kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla yuvarlanmalı yatağı oluşturan malzemelerde birtakım değişiklikler yapılarak çoğunlukla kullanılan çelik malzemenin dışında daha farklı malzemelerin kullanılması düşünülmüştür. Bunun en önemli örneği "Hibrid Rulman" dır. Hibrid Rulmanlar, seramik bilyalar ve çelik bileziklerin bir kombinasyonudur. Bu nedenle "Seramik Rulmanlar" olarak da ifade edilmektedirler. Bu rulmanlar, günümüzde özellikle başta havacılık ve uzay endüstrisi (gaz türbinleri) olmak üzere elektrik motorları, dişli kutuları, pompalar, takım tezgahları ve kompresörler gibi çeşitli sistemlerde kullanılmaktadırlar. Hibrid Rulmanlar, yüksek sıcaklıkta ve yüksek hızlı sistemlerde düşük titreşimle üstün bir performans sergilemektedir.

HİBRİD RULMAN

Son yıllarda makina elemanlarının imalatında, geleneksel malzemelerden farklı malzemelerin kullanımı üzerinde çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Böylelikle yüksek sıcaklık ve korozif ortamlar gibi ağır çalışma şartları altında makina elemanları işlevlerini görebilmektedirler. 1960'lı yılların başında, yatak tasarımcıları seramik malzemeler ile ilgilenmeye başlamışlardır. 1970' li yılların başında, seramik malzemeler ile yapılan çalışmalarda büyük aşama kaydedilmiş ve bir seramik malzeme olan Silikon Nitrid (Si_3N_4), sıcak presleme ile şekillendirilmiştir. Seramik malzemelerin şekillendirilmesinde yapılan gelişmeler neticesinde, bu malzemelerin kullanımı da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Seramik malzemelerin kullanımının yaygınlaşması sonucunda, yuvarlanmalı yataklardaki bilyaların da seramik malzemelerden üretilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Seramik bilyalar ve takım çeliğinden yapılmış olan bileziklerin birlikteliği ile hibrid rulman olarak tanımlanabilen bir yuvarlanmalı yatak elde edilmiştir. Hibrid rulmanlar, aşınma dirençlerinin fazla olması nedeni ile tamamı çelik olan rulmanlara göre 6 misli daha uzun ömürlü olabilmekte; yüksek hızlı sistemlerde yüksek hassasiyet, minimum salgı ve düşük sıcaklık artışı ile yeterince görevlerini yapabilmektedirler. Hibrid rulmanların servis ömrünün yüksek, yağ sarfiyatının az olması ve diğer rulmanlara göre performanslarının daha yüksek olması, kullanıcılar tarafından tercih edilmelerinin en önemli nedenleridir.

Yüksek hızlarda çalışan rulmanlarda dönme esnasında oluşan merkezkaç kuvveti oldukça önemlidir. Merkezkaç kuvveti etkisi ile rulmanın dış bileziğindeki yük artacak, iç bileziğindeki yük ise azalacaktır. Özellikle eğik bilyalı yataklarda, yüksek hızlardaki merkezkaç kuvveti etkisi ile dış ve iç bilezikteki eğim açıları

büyük değişmeler olur. Eğim açılarındaki değişimler nedeniyle rulmanın hassasiyeti bozulur. Bu tür olumsuzlukları gidermek için çeşitli tasarımlar yapılmaktadır [1].

Rulmanda, bilyalar üzerindeki merkezkaç kuvveti azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- Bilyalar küçültülür
- Bilya malzemesi olarak daha düşük yoğunluktaki malzemeler seçilir
- Her iki durumda göz önüne alınır

Bilya çapının küçültülmesi ile, merkezkaç kuvveti oluşturan en önemli etkenlerden biri olan kütle de azaltılır. Bunun sonucunda daha düşük merkezkaç kuvvetleri sağlanmış olacak ve rulman bileziklerine gelen baskı kuvvetleri azaltılarak rulmanın hassasiyeti de korunmuş olacaktır. Bilyaların küçültülmesi ile taşınacak olan yük değerlerinde azalma olacaktır. Tek sıralı bilyaların yerine iki sıralı bilyalar kullanılarak bu yük rahatlıkla taşınabilir.

Rulmanlardaki bilyalar, çelik yerine daha düşük yoğunluktaki seramikten yapılabilir. Seramik bilyalar, çelik bilyalara göre aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Yoğunluğu % 40 daha düşüktür
- Elastiklik modülü % 50 daha fazladır
- Sürtünme katsayısı düşüktür
- Yüzeyler, sertliğini kaybetmeden yüksek sıcaklıklara dayanabilir
- Sertliği yüksektir
- Yüzey hassasiyeti oldukça iyidir
- Korozyona ve kimyasal maddelere dayanıklıdır
- İyi bir elektrik izolatörüdür
- Anti magnetiktir
- Ömürleri uzundur
- Yağ sarfiyatı azdır

Hibrid rulmanlar, çelik rulmanlara göre daha pahalıdırlar. Fakat sahip oldukları uzun ömür ve diğer üstünlükleri düşünüldüğünde, avantajlı olmaktadır. Örneğin, bir takım tezgahının maliyeti üzerinde bir rulmanın etkisi çok küçüktür. Bu nedenle rulman, genel olarak tezgah maliyetini artıran bir unsur değildir. Diğer taraftan, bu rulmanlardaki yağ sarfiyatı ve bakım giderleri az olduğundan işletme giderleri de azalmaktadır [1].

SERAMİK MALZEMELER

Hibrid rulmanlarda kullanılan seramik malzemelerin ve çeliğin temel özellikleri Tablo 1' de ifade edilmiştir.

Silikon Nitrid (Si_3N_4)

Silikon Nitrid, günümüzde rulmanlarda başarılı bir şekilde ve oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Silikon Nitrid' e ait değerler tabloda incelendiğinde, bu malzemenin ne çok sert ne de çok kırılman olmadığı görülmektedir. Bu malzemenin, fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde yüksek performansın istendiği uygulama alanlarında iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [4]. Bu bölümde Silikon Nitrid' in temel özellikleri detaylı olarak ifade edilecektir.

Tablo 1. Seramik ve Çelik Malzemelerin Temel Özellikleri

Özellikler / Malzeme	Silikon Nitrid	Alüminyum Oksit	Zirkon Oksit	Çelik (M50)
Kimyasal	% 87 Si_3N_4	% 99.5 Al_2O_3	% 97 ZrO_2	%0.8C,%4.1Cr
Bileşimi (%)	% 13 diğer	% 0.5 diğer	% 3 MgO	%4.25 Mo
Sertlik (HV 10)	1400-1700	1700	1800	700
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.22-3.25	3.87	5.6	7.8
Elastiklik Modülü (GPa)	310-320	530	290	210
Maksimum çalışma sıcaklığı	1000°C	1400°C	2400°C	250°C
Kırılma tokluğu (MPa.m ^{1/2})	6-8	13.5	10	>16
Hasar tipi	Parçalanma	Kırılma	Parçalanma	Parçalanma

Termal Genleşme

Silikon Nitrid' in sıcaklığa daha az duyarlı olduğundan sıcaklık ile genleşmesi de azdır. Genleşme çeliklerin % 30 u kadardır. Çelik rulmanlarda, çalışma ortamlarındaki sıcaklık etkisi ile parçalarda genleşmeler (boyut değişimleri) olabilmektedir. Özellikle hassasiyetin oldukça önemli olduğu rulmanlarda bu tür değişimler zararlı olabilmektedir. Silikon Nitrid esaslı rulmanlarda, sıcaklık etkisi ile boyutlarda fazla bir değişim olmadığından, bilya-bilezik arasındaki boşluk korunmakta, böylece rulmanın hassasiyeti bozulmamaktadır.

Sertlik

Silikon Nitrid bilyaların sertliği, çelik bilyalardan daha yüksektir. Bunun sayesinde çalışma esnasında yüzeylerde oluşan yüksek basınçlar karşılanabilmektedir. Bundan dolayı sertliğin önemli olduğu ağır şartlar altında çalışan öğütme ve taşlama makinalarındaki yataklarda çoğunlukla silikon nitrid esaslı hibrid rulmanlar kullanılmaktadırlar. Seramik bilyalar sertliklerini 1000 iC sıcaklığa kadar koruyabilmektedir.

Sürtünme

Silikon Nitrid-çelik yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı, çelik-çelik yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısına nazaran % 20 daha azdır [1]. Bu fark, özellikle büyük güçlerin harcandığı sistemlerde oldukça önemli olmaktadır. Böylelikle, temas yüzeyleri daha az aşınmakta ve enerji kaybı azalmaktadır.

Aşınma

SKF Laboratuvarlarında çeşitli tiplerdeki rulmanlar için aşınma testleri yapılmaktadır. Yaklaşık olarak 100 saat süren aşınma testi sonucunda, rulmanı oluşturan parçalar tek tek incelemeye alındığında parçalarda ağırlık azalması ve bilezik-bilya arasındaki boşluklarda da büyümeler tespit edilmiştir. Çelik bilyalı bir rulmanın ve seramik bilyalı bir rulmanın aşınma testleri Şekil 1' de ifade edilmektedir. Şekilde zamana bağlı olarak her iki rulmandaki aksenal yer değişimleri (boşluklardaki büyümeler) görülebilmektedir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde çelik rulmandaki aşınma değerlerinin hibrid rulmanlardakinin çok üstünde olduğu görülmüştür.

Aşınma testlerinde dikkate alınan diğer bir konu da, yüzeylerde oluşan ağırlık kaybıdır. Şekil 2' de, kuru sürtünme halinde çelik ve hibrid rulmanların iç bileziklerinde oluşan aşınma değerleri, görülmektedir. 1500 d/d hızda ve 100 saatlik bir zaman diliminde yapılan testlerde hibrid rulmana ait bilezikte çok az, çelik rulmanda ise oldukça fazla ağırlık kaybının olduğu görülebilmektedir.

Yorulma Dayanımı

Şekil 3, tam yoğunlukta (içinde porozite veya inklüzyon bulunmayan) ve homojen bir yapıya sahip Silikon Nitrid malzemesinin yorulma direncinin çeliğe göre oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Bu şekilde, uçaklarda kullanılan M50 takım çeliğinden yapılmış rulmanlar ve silikon nitrid esaslı rulmanların kuru sürtünme şartlarındaki yorulma test sonuçları ifade edilmektedir. Deney numuneleri aynı yükleme şartları altında yorulma testine tabi tutulmuştur. Burada iki farklı silikon nitrid malzeme göz önüne alınmıştır. Birincisi tam yoğunluğa sahip (%100), ikincisi ise hacimsel olarak % 0.6 porozite (gözeneklilik) içermektedir. Elde edilen test sonuçları değerlendirildiğinde tam yoğunluğa sahip silikon nitrid

bilyalı rulmanların, takım çeliğinden yapılan rulmanlara nazaran daha çok yorulma dayanımına sahip olduğu görülebilmektedir. Seramik malzeme içinde porozite (gözeneklilik) veya inklüzyon (kalıntı) bulunması da yorulma dayanımını oldukça azaltmaktadır. Bunun sonucunda seramik bilyaların üretim teknolojisinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Titreşim

Hibrid rulmanlardaki titreşim (gürültü) miktarı, çelik bilyalı rulmanlara göre daha azdır. Hibrid rulman, seramik malzemenin etkisi ile daha az titreşimle çalışmaktadır. Şekil 4' de, kuru sürtünme halinde 1000 saatlik bir zaman diliminde çelik ve hibrid rulmanda oluşan titreşim değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, hibrid rulman kuru temas halinde olmasına rağmen çelik rulmana göre daha az titreşimle, uzun süre çalışabilmektedir.

Yağlama

Çelik bilyalı rulmanlarda alçak ve orta hızlarda gres ile, yüksek hızlarda ise sıvı yağ ile yağlama yapılmaktadır. Hibrid rulmanlarda ise, yüksek hızlarda da gres ile yağlama yapılabilmektedir. Bu da yağ sarfiyatını azaltarak sistemin daha temiz kalmasını sağlamaktadır. Özellikle yüksek hızlarda gresin dışarıya atılmasını önlemek amacıyla, hibrid rulmanlar contalı yapırlar.

Alüminyum Oksit (Al₂O₃)

%99.5 saflıkta olan Alüminyum Oksit malzemedan yapılmış olan bilyalar, yüksek sıcaklıklarda, aşındırıcı ve korozyif ortamlarda iyi bir şekilde çalışmaktadırlar. 1100 iC sıcaklığa kadar boyutlarında önemli bir değişim (ısı genleşme) oluşmamaktadır. Ayrıca oksidasyona karşı oldukça dirençlidir. Su, tuz çözeltileri ve bir takım asitlere karşı da belli ölçüde dayanım göstermektedir. Kırılma toklukları diğer seramik malzemelere göre yüksektir [1].

Zirkon Oksit (ZrO₂)

Zirkon oksit % 97 saflıkta olup %3 MgO içerir. Kırılma tokluğu daha yüksek olduğundan özel uygulamalarda kullanılır ve silikon nitride nazaran 2-3 misli daha fazla yorulma ömrüne sahiptir. Korozyif ve aşındırıcı ortamlarda çok iyi performans sergilerler [1].

UYGULAMA ALANLARI

Seramik malzemeler içinde en çok Silikon Nitrid kullanılmaktadır. Bu bölümde Silikon Nitrid esaslı Hibrid Rulmanların sıkça kullanıldığı uygulama alanları ifade edilecektir.

Takım Tezgahları

Takım tezgahlarının sahip olduğu mekanizmalar, çok hassas olmalıdırlar. Çünkü bu hassasiyetin bir miktar bozulması tezgahtan çıkan ürün kalitesini bozar.

Tezgahlarda özellikle miller büyük öneme sahiptir. Bu millerin titreşimden uzak tutulması gerekmektedir. Dişli çark ve kayış-kasnak mekanizmalarından gelen titreşimler, milin yataklarını etkileyecek ve bir süre sonra yataklarda titreşim sebebiyle bir takım deformasyonlar oluşacaktır.

Geçmişte, takım tezgahlarında çoğunlukla açısız temaslı bilyalı yataklar kullanılmıştır. Silikon Nitrid esaslı Hibrid Rulmanlar, yüksek sıcaklıklarda çalışabilme, düşük titreşim ve uzun ömürleri sayesinde, günümüzde NC ve CNC takım tezgahlarında özellikle fener millerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yatakların kullanımı sonucunda oluşan titreşimler azaltılarak milden ürüne gidecek hatalar engellenmiş olur [5].

Gaz Türbinleri

Uçak ve helikopterlerde kullanılan gaz türbinleri, yüksek hız ve sıcaklıklarda oldukça ağır çalışma şartlarında görev yaparlar. Türbin yataklarında kullanılan hibrid rulmanlar, yüksek hızlı sistemlerde oluşan merkezkaç kuvvetini azaltır [4]. Hibrid rulmanlar, mekanik özellikleri bozulmadan türbinde oluşan yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Ayrıca çelik rulmanlardan daha az olan termal genişmesi sayesinde, yüksek sıcaklıktan etkilenmeyerek çalışma esnasında boyutlarını koruyacaktır.

Şekil 5' de, bir helikopterdeki gaz türbininde bulunan çelik bilyalı ve silikon nitrid bilyalı (hibrid rulman) yataklara ait ömür değerleri ifade edilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi, yüksek hızlarda (devirlerde) hibrid yatakların ömrü, çelik yatakların ömründen daha fazladır. Düşük hızlarda ise ömür değerlerinde bir farklılık yoktur. Hız arttıkça merkezkaç kuvvet de artmaktadır. Merkezkaç kuvvetler 40000 d/d dan sonra artarak çelik rulmanın ömrünü daha da azaltmaktadır. Hibrid rulmanda ise merkezkaç kuvvet daha az olacağından ömrü de daha fazla olmaktadır.

SONUÇ

Hibrid rulmanlar, sahip oldukları avantajlar sayesinde gün geçtikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu rulmanlar, yurt dışında yaygın olarak

kullanılmalarına rağmen, ülkemizde henüz yeteri kadar tanınmadıkları için fazla kullanım alanı bulamamaktadırlar. Maliyet değerleri ilk olarak göz önüne alındığında, çoğunlukla geleneksel tiplerdeki rulmanların kullanımı yoluna gidilmektedir. Halbuki hibrid rulman, uzun ömür ve sağladığı diğer avantajlar ile kendisini bir süre sonra amorti edecektir. Böylelikle rulmanın bulunduğu üretim hattında da üretime ara verilmeden toplam giderler azaltılmış olmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Wan, G, 1996, Evaluating Hybrid Bearings for General Applications, SKF Evolution, Vol. 2 , pp23-25.
- [2] Cundill, R. T., 1991, Material Selection and Quality for Ceramic Rolling Elements, 4th International Symposium on Ceramic Materials and Components for Engines, pp 905-912.
- [3] Horton, S. A., 1989, Hybrid Silicone Nitride Bearings, 3rd European Symposium on Engineering Ceramics, pp 35-50.
- [4] Mori, T., Nishida, K., 1989, Properties of Silicon Nitride Rolling Bearing for High-speed Air turbine, 3rd International Symposium on Ceramic Materials and Components for Engineers, pp 1459-1468.
- [5] Godfrey, D. J., 1982, The Successful Use of Silicon Nitride Ceramic for a Bearing Operation , Engineering with Ceramics Proceeding of the British Ceramic Society , No: 32.