RULMANLARDA VE KAYMALI YATAKLARDA SERAMİKLERİN KULLANIMI

Hikmet Rende*
Prof.Dr., Akdeniz Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya
hrende@akdeniz.edu.tr

Cem Hanyaloğlu
Yrd.Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya
cemhanyaloglu@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Seramik, eski Yunancada yanmış kil anlamındaki "Keramos" kelimesinden adını almıştır. Yemek yenilen kaplar, yere döşediğimiz fayanslar, çiçek saksıları, gıdayı sakladığımız kaplar geleneksel seramik malzemeden yapılmıştır. Teknikte ise ancak 19. yüzyılın ortalarına doğru modern seramik malzemelerin kullanımına başlanmıştır. Modern seramik malzemelerin (Teknik seramikler, endüstriyel seramikler, ileri teknik seramikler, ileri teknoloji seramikler olarak adlandırılan) üretimi ancak fırınlarda yüksek sıcaklıkların elde edilmesiyle gerçekleşebilmiştir. Bu malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, elektrik, kimya, otomotiv sanayisinde, tıbbı cihazlarda uygulama alanı bulmuş ve birçok problemin çözülmesinde yardımcı olmaktadır. Savunma sanayisinde, otomotiv ve transport tekniğinde hafif malzemeler çok önem arz etmektedir. Endüstriyel seramikler, malzeme yapılarından kaynaklanan avantajları sayesinde günümüzde metallerin yerini almakta, birçok sektörde kendine uygulama alanı bulmakta ve artarak bulmaya devam etmektedir. Endüstriyel seramik ürünlerinde 1998-2008 yılları arasında geçen 10 yılda dünya pazarında 10 kat artış olmuştur. Bu makalede, makine elemanları olan rulmanlarda ve kaymalı yataklarda endüstriyel seramik malzemelerin kullanımı üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Seramik rulmanlar, hibrid rulman, seramik kaymalı yatak

Use of Ceramic Materials as Ball Bearings and Plain Bearings

ABSTRACT

The word "ceramic" comes from the Greek word "keramikos," which means fired clay. The materials we use in our daily life such as porcelain plates, tiles, pots, food storage pots are all made of ceramics. Industrial ceramics were started to be used in the middle of 19.century technically. Production of modern ceramics (called technical ceramics, industrial ceramics, advanced technical ceramics, high technology ceramics) was achieved when high temperatures were reached industrial furnaces. Due to their good physical and chemical properties they are widely used in electronics, chemical, automotive and bio-medical industry and they provide solutions for the problems in different fields. Light materials are preferred and important in defence and automotive industry. Due to their superior properties and advantages industrial ceramics are substituting metallic structural materials in these days. And day by day they are widely used in different fields of industry. Industrial ceramic goods are increased by a factor of ten in the market in a period of ten years between years of 1998 to 2008. In this article, use of industrial ceramic materials as ball bearings and plain bearings is examined.

Keywords: Ceramic ball bearings, hybrid bearings, ceramic plane bearings

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 12.09.2012
Kabul tarihi : 19.11.2012

Rende, H., Hanyaloğlu, C. 2012. "Rulmanlarda ve Kaymalı Yataklarda Seramiklerin Kullanımı," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 633, s. 28-35

1. GİRİŞ

Endüstrinin birçok bölümlerinde bir aparatın bir makinenin ömrü, bu sistemi meydana getiren elemanların ömrüyle belirlenir. Bakım-onarım maliyeti ve uygulanan metodun ekonomikliği bu ömre bağlıdır.

Aşınma ve korozyon başta olmak üzere deformasyon, mekanik yorulma, termoşok ve kavitasyon gibi hususlar, makine elemanlarında hasarın meydana gelmesine neden olan başlıca etkenlerdir. Bu açıdan, seramik malzemeler birçok probleme çözüm getirebilir. Şüphesiz, farklı seramik malzemelerin özelliklerine dikkat etmek ve itinalı bir seçim yapmak önemlidir.

Yaklaşık olarak 1970 yıllarında rulmanlı yataklarda silisyum nitrür ve zirkonyum oksit kullanımının uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

Aynı yıllardan beri korozyona karşı ve aşınmaya karşı maruz kalan pompalarda sinterlenmiş silisyum karbür (SSiC) malzemeden oluşan kaymalı halkalar ve yataklar kullanılmaktadır.

Olağanüstü aşınmaya ve korozyona karşı dirençleri, iyi tribolojik özelliklere sahip olmalarının yanı sıra bu malzemelerin imal işlemleri karmaşık olduğundan, bir yönden pahalı kılmakta diğer yönden bu malzemeler ile tasarım tecrübelerinin eksikliğinden kullanımlarını zorlaştırmıştır.

Mukavemet değerlerinin değişikliği (dağınıklığı) ve birçok durumda arzu edilmeyen gevreklik durumu, diğer yönden seramik malzemelerin özellikleri hesaplama yöntemi ve tasarım ilkeleri, metal malzemelerde olduğu gibi, bilinmediğinden bu malzemelerin kullanımını yavaşlatmaktadır.

Son yıllarda imalat teknolojilerinin ilerlemesi ve seramik malzemeler ile tasarım konusunda yeterince tecrübe edinilmesi durumunda, bu malzemelerin kullanımı daha çok yaygınlaşacaktır.

2. SERAMİK MALZEMELER

2.1 Tür ve Özellikleri

Seramik malzemeler dendiğinde; geleneksel seramikler porselen ya da çömlek gibi günlük hayatımızda kullandığımız çeşitli seramikler ve endüstriyel seramikler (modern veya ileri seramikler) diye adlandırılan karbürler, nitrürler, oksitler ya da saylonlar (SiAlON) gibi oksinitrürler anlaşılmaktadır.

Oksit seramikler: Alüminyum oksit (Al_2O_3), magnezyum oksit (MgO_2), zirkonyum oksit (ZrO_2) ile oksit olmayan seramikler; silisyum karbür (SiC), bor karbür (B_4C), silisyum nitrür (Si_3N_4) ve saylonlar (SiAlON) gibi seramikler endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertlik, ısıya dayanıklılık, iyi korozyon direnci, ısıl ve elektriksel yönden yalıtkanlığı, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek aşınma direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı sanayide birçok probleme çözüm getirebilirler.

Yukarıda sayılan avantajlarının yanı sıra bu malzemelerin gevrek olmaları, çekme dayanımlarının çok düşük olması dezavantajlarıdır.

Bilhassa nitrür grubuna giren silisyum nitrür ayrıca silisyum karbür (SiC), bor karbür (B_4C), zirkonyum oksit ve alüminyum oksit, yüksek güçler için öngörülen seramikler grubuna girmektedir. Bunlardan özellikle silisyum nitrür ve zirkonyum oksitin rulmanlı yataklarda kullanımı uygundur.

Yukarıda belirtildiği gibi yaklaşık olarak 1970 yıllarında rulmanlı yataklarda silisyum nitrür ve zirkonyum oksit kullanımının uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Her iki malzeme yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, diğer seramiklere göre daha iyi eğilme dayanımı ve düşük özgül ağırlığı ve yüksek korozyon direnci gösterirler.

Rulmanların yapımında kullanılan seramik ve çelik malzemelerin özellikleri Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Rulmanların Yapımında Kullanılan Seramik ve Çelik Malzemenin Bazı Özellikleri

Özellikler	Birim	Rulman çeliği	Zirkonyum oksit (ZrO_2)	Silisyum nitrür (Si_3N_4)
Yoğunluk	(g/cm^3)	7,8	6,05	3,24
Eğilme mukavemeti	(N/mm^2)	2500	1050	900
Sertlik	$10^3(N/mm^2)$	7	12	15,2
E-modul	10^5 (N/mm^2)	2,1	2	3,2
Isıl genleşme kat sayısı	10^{-6} 1/K	11,6	10	3,2
Maks. İşletme sıcaklığı	°C	150	900	1400
Renk			Beyaz/sarı	Siyah

2.2 Üretimleri

Silisyum nitrür, birçok metotlarla elde edilir. Bunlar toz halinde elde edilir ve sinterlemede kullanılan yardımcı maddelerin (sintering aids) cinsi ve miktarı, şekil verme ve presleme şekline göre birbirinden farklı özellikte olan malzemeler elde edilir.

Güvenilir ve ekstrem olarak yüklenebilir (zorlanabilir) yapı parçaları elde etmek için büyük ölçüde bilgiye ve tecrübeye dayalıdır (know how) ve çok küçük proses toleransları gerekmektedir.

Silisyum nitrür birçok basamakta büyük basınçlar altında şekillendirilir ve parçalar sıcak izostatik presleme ile üretilir, böylece son ürün parçalarda malzeme davranışı izotroptur; örneğin yoğunluk dağılımı homojendir. Üretilen parçalar son boyut geometrilerine çok yakındır, sadece toleranslara getirilmeleri için minimum taşlama işlemleri uygulanır.

Yıllardan beri korozyona karşı ve aşınmaya karşı maruz kalan pompalarda sinterlenmiş silisyum karbür (SSiC) malzemeden oluşan kaymalı halkalar ve yataklar kullanılmaktadır.

Olağanüstü aşınmaya ve korozyona karşı dirençleri ve iyi tribolojik özelliklere sahip olmalarının yanı sıra bu malzemelerin imal işlemleri karmaşık olduğundan, pahalıya mal oluşu ve tasarımdaki deneyim azlığı kullanımlarını kısıtlı tutmakta idi, ancak son yıllarda imalat teknolojilerinin ilerlemesi ve seramik malzemeler ile tasarım konusunda yeterince tecrübe edinilmesinden dolayı seramik malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Sinterlenmiş silisyum karbürün (SSiC) fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kaymalı Yatakların Yapımında Kullanılan Seramik Malzemenin Özellikleri

Özellikler	Birim	Sıcaklık°C	SSiC
Yoğunluk	(g/cm^3)	20	3,1
E-modul	10 ^{5} (N/mm^2)	20	4,1
Isıl iletkenlik	W/mK	20	3,2
Isıl genleşme kat sayısı	10^{-6} 1/K	20 – 500	4,0
		500 – 1000	5,8
		1000 - 1500	6,0

3. EKSTREM KAYMALI VE RULMANLI YATAKLARDAN İSTENEN ÖZELLİKLER

Modern rulmanlar, yüksek taşıma kabiliyetine, emniyetli bir duruma ve belli bir fiyata ulaşmış durumdadırlar. Ancak günümüzde hâlâ araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir ve tribolojik açıdan bu makine parçalarıyla ilgili daha birçok hususa açıklık getirilmesi gerekmektedir.

Eskiden olduğu gibi bugünde, tekniğin bütün bölümlerinden gelen yüksek isteklere karşılık verebilmek için yeni malzemeler gerekecektir.

Ekstrem rulmanlardan neler bekleniyor:

- Ömürlerinin daha uzun olması
- Taşıma kabiliyetlerinin daha fazla olması
- Devir sayılarının daha yüksek olması
- Rijitliklerinin daha iyi olması
- Yüksek sıcaklıklara daha dayanımlı olması
- Minimum sürtünme ve maksimum aşınma dayanımına sahip olmaları
- Korozyon dayanımlarının yüksek olması
- Minimum gürültü oluşması

Bu isteklerin çoğu seramik rulman malzemelerinin kullanılmasıyla, örnek olarak ilk sırada silisyum nitrür malzemenin kullanımıyla karşılanabilir.

Bu tür endüstriyel seramiklerin yoğunluğun düşük olması (3,2 g/cm^3) yuvarlanma elemanlarının santrifüj kuvvetlerinden dolayı merkezkaç kuvvetlerinin azalmasına ve böylece sınır devir sayılarının artmasına neden olur.

Yatak rijitliği ileri seramik malzemelerin büyük elastisite modülü (E=3,2x10^5 N/mm^2) ile iyileştirilmiştir.

Sertliğin çok fazla olması sürtünme katsayısının azalmasına ve böylece aşınmanın azalmasına neden olur. Yüksek ısı iletkenliği sabitine ve düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları işletme sıcaklığı artışını belli sınırlarda kılmaktadır.

İyi bir yağlama olmaması durumunda veya kuru olarak çalışmaları durumunda metal rulmanlarda olduğu gibi hasar görmezler.

Silisyum nitrür malzemesinden oluşan rulmanlar yüksek işletme sıcaklıklarında (800°C) çalışabilmektedir.

Manyetik değildirler, elektriği iletmezler. Korozyon dayanımları çok iyidir.

Bu avantajlarına ilave olarak çelik malzemeden imal edilmiş rulmanların bazı avantajlı özelliklerine de sahiptirler. Örneğin;

- Aşırı yük durumunda kırılma olmaz.
- Hidrodinamik yağlamada oluşan filmin oluşma şekli aynıdır.
- Yağlama şekilleri çelik yataklarda olduğu gibidir.

Yukarıda sayılan özelliklerin optimal olarak kullanılabilmesi için yatak konstrüksiyonunun istenen malzeme özeliklerine göre yapılması ve seramik malzemenin özelliklerine göre uygulanmasıyla mümkün olabilir.

4. SERAMİK KAYMALI YATAKLARIN VE RULMANLARIN YAPISI

4.1 Seramik Malzemeden Kaymalı Yataklar

Kaymalı yataklar rulmanlarla birlikte makine ve aparatlarda en çok uygulanan yatak şekilleridir.

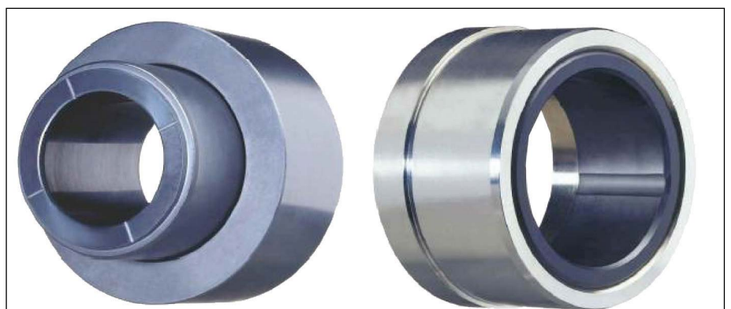
Kaymalı yataklarda birbirine karşı izafi olarak hareket eden parçaların genelde yüzeyleri temas halinde olur. Temas eden yüzeyler arasında kayma sürtünmesinin yarattığı direnc karşı yatak parçaları kaymaktadır. Bu sürtünme direncinin azaltılması temas halinde olan her iki malzemenin sürtünme katsayılarının düşük olması ya da iyi bir yağlamanın olması ya da sıvı yağlama durumunun (işletme devir sayısının sınır devir sayısından daha büyük olması, $n_{iş} > n_{sınır}$) elde edilmesiyle sağlanır.

Minimum sürtünme ve maksimum aşınma dayanımına sahip olan seramik malzemeler, kaymalı yataklarda uygulanmaktadır. Sinterlenmiş silisyum karbür (SSiC) yaklaşık olarak 20 yıldan beri kimya endüstrisinin birçok alanında başarılı olarak uygulanmaktadır. Pompalarda uygulanan kaymalı halkalar ve kaymalı yataklar, SSiC malzemedendir. Yalnız endüstri pompalarında değil aynı zamanda otomotiv sektöründe su pompalarında da SSiC'ten üretilmiş kaymalı halkalar ve yataklar kullanılmaktadır.

Gövde içine yerleştirilen kaymalı yataklar, pompanın aktardığı sıvı ile yağlanırlar. Ancak pompanın kuru çalıştırılması durumunda sorun çıkabilir.

Korozif ortamda ve yağlamanın yetersiz olduğu durumlarda SiC malzemeden oluşan kaymalı yataklar, oldukça emniyetli ve bakım istemeyen yataklar olarak değerlendirilir.

Seramik malzemeden olan kaymalı yatakların diğer bir kullanım alanı yüksek devirlerde ve yüksek işletme sıcaklığında (1500°C'de) çalışan gaz türbinlerinde yer almaktadır.



Şekil 1. Seramik Kaymalı Yataklar. EkaSiC [14]

Su altında seramik malzemelerden olan kaymalı yatakların kullanımı farklılıklar göstermektedir. Örneğin SiC ve ZrO_2 malzemeden oluşan yataklarda pitting oluşurken, sıcak izostatik preslenmiş Si_3N_4 malzemeden oluşan kaymalı yataklarda problem görülmemiştir [5].

Deniz suyunun tuzdan arındırılması prosesinde kullanılan pompaların, ince kuma ve tuzlu suya yıllarca maruz kalan kaymalı yatakları, genelde seramik malzemeden seçilir [7].

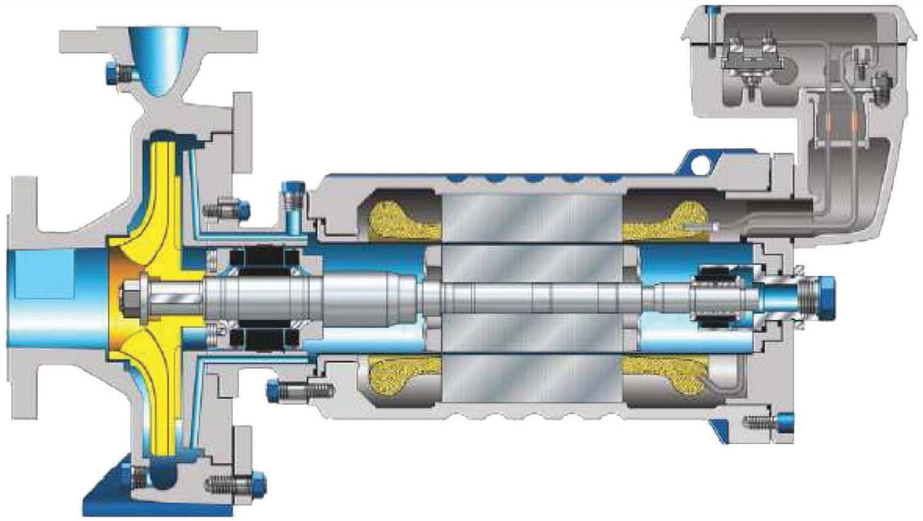
Şekil 2. Seramik Malzemeden Olan Kaymalı Yatak [11]

Şekil 3. KSB RESIDUR ® Seramik Yatak

Deniz suyu tuzunun arındırılmasında kullanılan pompa millerinin yataklanmasında seramik malzemeden olan kaymalı yataklar kullanılmıştır (Şekil 4).

4.2 Seramik Malzemeden Rulmanlar

Çelik malzemeden imal edilmiş standart rulmanların kullanımı zorlaştığı yerden sonra, seramik malzemeden ve çelik malzemeden oluşan hibrid yataklar ya da sadece tam seramik malzemeden oluşan rulmanların kullanımı



Şekil 4. Seramik Malzemeden Olan Kaymalı Yatakların Pompalarda Kullanımı [11]

söz konusudur. Örneğin uzay tekniğinde, gıda sanayisinde ve takım tezgahlarında bu rulmanlar kullanılmaktadır.

- **Silisyumnitrür (Si_3N_4):** Hibrid yataklarda yuvarlanma elemanı olarak ve tam seramik yataklarda halkaların malzemesi olarak uygulanmaktadır.
- **Zirkonyum oksit (ZrO_2):** Alternatif olarak iç ve dış bilezik halkaları için kullanılmaktadır. Mekanik ve termik özellikleri çelik malzemeye yakındır.
- **PEEK:** Standart malzeme olarak yuvarlanma elemanları kafeslerinin yapımında kullanılmaktadır. Çok iyi mekanik özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sıcaklığa karşı dayanıklığı sebebiyle plastik malzemenin üst sınıfında yer almaktadır.
- **Hibrid rulmanlar:** İç ve dış bilezikler, rulman çeliğinden ve yuvarlanma elemanı silisyum nitrürden oluşmaktadır. Hibrid yatak halkalarında, korozyona ve aşınmaya karşı yüksek dayanımlı çelikler olan X30 CrMoV 15 1 (1.4108) ve X40 CrMoVN 16 2 (1.4123) malzemeden oluşan bilezikler üretilmektedir (Şekil 5-6-8).
- **Tam seramik rulmanlar:** İç ve dış bilezikler ile yuvarlanma elemanları silisyum nitrürden oluşmaktadır. Alternatif olarak iç ve dış bilezikler zirkonyum oksit malzemeden imal edilebilir (Şekil 7).

Seramik malzemelerin kullanıldığı rulmanlı yataklar, yukarıda anlatıldığı gibi hibrid yataklar ve tam seramik yataklar olarak ikiye ayrılır.

4.2.1 Hibrid rulmanlar

Hibrid yataklardan; yuvarlanma elemanları farklı bir malzemeden, iç ve dış bilezikler farklı bir malzemeden imal edilmiş rulmanlar anlaşılmaktadır. Hibrid yatakların iç ve dış bilezikleri 100Cr6 çeliğinden imal edilir. Yuvarlanma elemanı olarak kullanılan bilyalar, silisyum nitrür malzemeden imal edilir. Böylece ağırlık azaltılmış olur. Bu da sınır devir sayısının yükseltilmesi demektir. İç ve dış bileziklerin imalatı mevcut olan teknolojiyle yapılabilir. Silisyum nitrürden olan bilyaların imalatı ve hassas işlenmesi ise problemsiz olarak sıcak izostatik preslemeyle üretilmektedir.

Hibrid yatakların başlıca avantajları

- Yuvarlanma elemanlarının ağırlığının daha az olması sınır devir sayılarını arttırır.
- 100Cr6 çelik bilezikler ile silisyum nitrür bilyalar arasındaki temasta çok iyi olan aşınma davranışları nedeniyle rulman ömrünün artmasına neden olur.
- Yatağın elektriksel olarak izole edilmiş olması ayrı bir avantajdır.

Bu tip yatakların kullanım alanları, kimya tesislerindeki aparatlarda, türbinlerde, takım tezgahlarında, kompresörlerde, endüstriyel fanlarda, bilhassa yüksek devir ve az aşınma ile elektrik izolasyonu istenen yerlerde uygulanır.

Takım tezgahlarında, millerin yataklamasında silindirik makaralı rulman olarak oldukça avantajlı çözümler sunmaktadır. Hibrid-rulmanlı yataklar, bu millerin yataklamasında olduk-

Şekil 5. Hibrid Rulman

Şekil 6. Hibrid Rulman [9]

ça avantajlıdırlar. Bilhassa serbest-sabit yataklama şeklinde, serbest yatak tarafı tasarım açısından klasik serbest yataklara göre daha avantajlıdır. Rulman halkaları büyük hassasiyetle imal edilmiş olup, yüksek kaliteli rulman çeliğinden, yuvarlanma elemanları ise silisyum nitrürden oluşmaktadır. Kafesler için PEEK kullanılmaktadır.

Hibrid seramik yatakların diğer önemli kullanım alanı, çok yüksek devirlerde çalışan (400000 1/min) diş hekimliği kliniklerinde kullanılan makinelerin uç aparatlarındadır. Özel yapımlı bu rulmanların dış bilezikleri, kaliteli çelik malzemeden; kafesleri titanyum, cam-elyaftan yapılmış, bilyalar ise silisyum nitrürden (Si_3N_4) yapılmış rulmanlar kullanılmaktadır.

4.2.2 Tam seramik rulmanlar

Tam seramik yataklarda yuvarlanma elemanları, silisyum nitrür (Si_3N_4) malzemeden; bilezikler, silisyum nitrür veya zirkonyum oksit (ZrO_2) malzemeden; kafesler ise seramikten (Si_3N_4) veya seramik olmayan çeşitli malzemelerden olabilir. Farklı kafes malzemelerine örnek polimer, paslanmaz ve aside dayanıklı çelikler olabilir (Şekil 7).

Bu tip yatakların imalatı doğal olarak çelik/çelik rulmanlara veya Hibrid rulmanlara göre daha kapsamlı olduğundan daha pahalıdır.

Bu yatakların en önemli özellikleri;

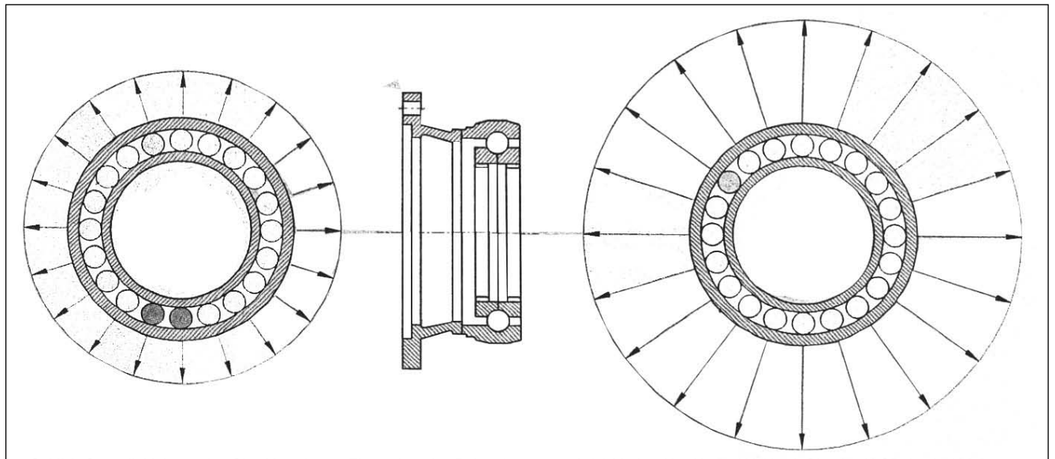
- Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi (>800°C),
- Kuru çalışabilmeleri,
- Hafif yapıları örneğin çelik rulmanlara nazaran %60 daha az,
- Kolay dönmeleri (sürtünme kuvvetleri %40 daha az),
- Korozyona karşı dirençleri,
- Manyetik olmamaları bu yatakların avantajlı taraflarıdır.

Seramik malzemeden olan yuvarlanma elemanları, çelik malzemeye göre daha küçük merkez kaç kuvveti yaratırlar. Böylece rulmanın dış bileziği daha az zorlanmaktadır (Şekil 9).

Seramik malzemeden oluşan rulmanlar, çapına göre sınır devir sayıları açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Küçük çaplı, iç bilezik çapı 10-20 mm çelik malzemeden olan rulmanlarda; sınır devir sayısı yaklaşık olarak 25000 1/min iken, seramik malzemeden oluşan aynı büyüklükte rulman için sı-

Şekil 7. Tam Seramik Rulmanlar

Şekil 8. Hibrid Rulman [9]



Şekil 9. Seramik Malzemeden Olan Yuvarlanma Elemanlarından Dolayı (n=25000 1/min) Merkez Kaç Kuvveti Yaklaşık Olarak 3 Kat Daha Azdır [3]

nır devir sayısı n=120000 1/min olduğu görülmektedir. Bu da iç çapı 50-60 mm olan normal rulmanlar için öngörülen devir sayılarının, yaklaşık olarak 5 katı kadar yüksek devir sayılarında uygulanabilir anlamına gelmektedir. İç çapı 90-100 mm olan rulmanlarda bile bu oran 3'tür.

5.YÜKSEK SICAKLIKLARDA SERAMİK MALZEMELERİN YAĞLANMASI

Seramik malzemeden olan ve yüksek sıcaklıkta çalışan makine elemanları için uygun yağ seçimi gerekmektedir. Sentetik yağlar ancak 200°C'ye kadar kullanılabilmektedir. Rulmanlar için yüksek rafinerili mineral bazlı yağlar ise 400°C'ye kadar uygulanır.

Yüksek sıcaklıklarda 400°C üstünde çalışan makine elemanlarının sıvı yağ ile yağlanmaları durumunda yağın bu sıcaklıklarda termik olarak stabil olmadığından; tribo sistemleri (mil-yatak) yağsız çalışmak zorundadır.

İşletme sıcaklıkları 600°C ile 1000°C arasında olan tribo sistemlerde seramik malzemeler kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda çalışan rulmanlar için grafit, molibdendisülfür(MoS_2) ve PTFE yağlayıcı olarak kullanılır [5].

6.TASARIMDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Tasarımda metal malzemelerde alışmış olduğumuz kuralların çoğu bu malzemeler için de geçerlidir. Ancak özel durumların da olduğu unutulmamalıdır. Tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda ifade edilmiştir:

- Basma gerilmesi tercih edilmelidir.
- Noktasal yük önlenmelidir.
- Çekme gerilmesi oldukça küçük tutulmalıdır.
- Gerilme yığılmaları önlenmelidir.
- İç kenarlar yuvarlatılmalıdır.
- Dış kenarlarda pah açılmalı, ya da yuvarlatılmalıdır.
- Başka bir malzemeyle bir arada seramikler çalışıyorsa, bu malzemelerin fonksiyonları ayrı tutulmalıdır.

Yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler ile seramik malzemeler karşılaştırıldığında seramiğin genleşmesi 10 kat daha düşüktür. Bu nedenle her iki malzemenin bir arada çalışması durumunda, bu hususun dikkate alınarak tasarımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Sıkı geçmelerin hesabında çok farklı olan ısıl genleşme katsayıları, örneğin SSiC (4.10^{-6}1/K) malzeme ile makinelerin yapımında kullanılan çelikler ($10\text{-}18x10^{-6}$1/K) dikkate alınmalıdır. Bu durumda aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır:

- Montaj esnasında termoşok minimum tutulmalıdır.
- Montaj esnasında büzülmeden dolayı eksenel yöndeki seramik malzemede oluşan çekme gerilmesi minimum tutulmalıdır.
- İşletme sıcaklığını ve toleransları dikkate alarak bindirme uzunluğu seçilmelidir.
- Çelik malzemeden olan yatak gövdesinin uzama sınırı üzerinde zorlanmamalıdır.
- Isıl genleşme katsayısı düşük olan metal malzemeler tercih edilmelidir.
- Çelik gövdenin çapakları iyi bir şekilde giderilmelidir, pahlar açılmalıdır.

7. SONUÇ

Seramik rulmanların kullanımı tekniğin birçok bölümünde yaygınlaşmıştır. Malzeme olarak yuvarlanma elemanları ve kafesler için silisyum nitrür, iç ve dış bilezikler için silisyum nitrür ya da zirkonyum oksit malzemeler kullanılabilir. Seramik malzemelerin kullanıldığı rulmanlı yataklar, Hibrid yataklar ve tam seramik yataklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Tam seramik yataklarda kafes genellikle seramik olmayan malzemeden yapılır. Seramik rulmanlar diğer çelik rulmanlara göre daha yüksek devirlerde kullanılabilmesi, kullanım ömrünün daha fazla olması, aşınma ve sürtünme direncinin düşük olması, daha geniş yelpazede kullanım olanaklarını sağlamaktadır.

Seramik rulmanlar çevre biliminde de öne çıkmakta, gıda endüstrisinde, tıbbı cihazlarda, takım tezgahlarında, tuzlu sularda çalışan pompalarda, kimya sanayinde ve birçok tekniklerde kullanım alanı bulmaktadır.

Endüstriyel seramik malzemenin özelliklerinden dolayı her ne kadar seramik yatağın bireysel fiyatı çelik yatağa göre fazla ise de, sistem (bir bütün) olarak dikkate alındığında bu elemanlarla ekonomik çözümlere ulaşılabilir. Seramik malzemeden imal edilen kaymalı yataklar ile rulmanların kullanımlarının yaygınlaşması durumunda üretim maliyetleri de düşecektir.

KAYNAKÇA

1. **Habig, K.H.** 1993. Tribologisches Verhalten Keramischer Werkstoffe Expert- Verlag Ehningen
2. **Eisfeld, F.** 1988. Keramik –Bauteile in Verbrennungsmotoren Verlag Braunschweig/Wiesbaden.
3. **Ebert, F.J.** 1990. Keramik in Wälzlagern FAG Kugelfischer Georg SchäferKGaA Publ.Nr.WL40204DA.
4. **Woydt, M., Effner, U.** 1996. Zirkonoxid:Ein neuer Wälzlagerwerkstoff, Keramische Zeitschritt 48(12)
5. **Woydt, M., Habig, K.H.** 1987. Technische-Physikalische Grundlagen zum tribologischen verhalten keramischer Werkstoffe, BAM- Forschungsbericht, 133 März.
6. **Knoch, H.** 1993. Keramische Gleitleger aus gesintertem Siliciumcarbid, Kap 7:" Tribologisches Verhalten Keramisches Werkstoffe- Grundlagen und Anwendung Esslingen Experverlag
7. **Kollenberg, W.** 2004. Technische Keramik-Grundlagen,Werkstoffe, Verfahrenstechnik Vulkan Verlag, Essen.
8. **Woydt, M., Fundus, M., Kracker, J.** 2001. Tribologie keramischer Werkstoffe, Gleitlager und Gleitringdichtungen aus SiC, expert-Verlag.
9. Cerobear Wälzlager-Firmenschrift der Firma CEROBEAR GmbH Kaiserstrasse 100, D-52134 Herzogenrath
10. Firmenschrift der Firma ESK- Kracker J.: Moderne Gleitlager -Keramikgleitlager aus Siliziumcarbidwerkstoffen, ESK Ceramics GmbH & Co. KG, Kempten, 3. 2007
11. Residur- das KSB Keramiklager KSB-Aktiengesellschaft, 67227 Frankentahl/Deutschland
12. Firmenschrift der Firma Cerobear Hybridlager für die Lebensmittel und Verpackungsindüstrie, CeroBear GmbH, Kaiserstrasse 100 52134 Herzogenrath-Deutschland
13. Firmenschrift der Firma GMN:Paul Müler Industrie GmbH&Co.KG Auβere Bayreuther Str. 230, 90411 Nürunberg/Deutschland
14. Ceramics GmbH&Co.KG, Max-Scheidhauf Str. 25 87437 Kempten-Deutschland
15. **Bartz, W.J.** 2003. Keramiklager:Werkstoffe-Gleit undWalzlager-Dichtungen Exper Verlag.
16. Wälzlager für die Lebensmittel und Getränkeindustrie NSK-Deutschland GmbH, Harkotstrasse 15, 40880 Ratingen
17. **Rende, H., Kandemir, K.** 1998. "Seramik Kesici Takım Malzemelerinin Özellikleri," Makine Tek., Temmuz sayısı.
18. **Aykaç, A.İ.** 1987. "İçten Yanmalı Motorlarda Seramik Parçaların Kullanımı," MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 28, sayı: 335
19. **Günay, V.** 1992. "AlN Seramiklerinin Sinterlenmesi, Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı," Türk Seramik Derneği Yayınları, no:5, sayı: 544-553.
20. **Kayalı, S.E.** 2010. "Seramik Malzemelerin Uygulama Alanları," İTÜ Metalurji ve Malzeme Fakültesi.