

# MOTORLARDA PLAZMA SPREY KAPLI SİLİNDİRLERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Özgen AKALIN

İTÜ Makina Fakültesi

## ÖZET

Frictional performance of plasma spray coated cylinder bores which show considerable promise as future cylinder bore material have been analyzed under simulated engine conditions. The effects of running speed and temperature have been investigated for various plasma spray coated cylinder bores. Obtained results were compared with the frictional characteristics of conventional cast-iron cylinder bores. The results showed that plasma spray coated cylinder bores enable the use of surfaces with low surface roughness, which result in higher tendency to develop hydrodynamic lubrication.

Geleceğin silindir malzemesi olabilecek plazma spreycaplı silindir yüzeylerin sürtünme özellikleri, gerçek motora yakın kontrollü deney ortamında test edildi. Değişik plazma spreycaplı yüzeyler için hız ve sıcaklığın etkisi araştırıldı. Elde edilen sonuçlar, dökme demir silindir yüzeylerinin sürtünme özellikleri ile karşılaştırıldı. Sonuçlar, plazma spreycaplı silindirlerin, düşük yüzey pürüzlülüklerinin kullanılmasına olanak sağlayarak, hidrodinamik rejimde çalışmayı kolaylaştırdığını gösterdi.

## Tribological Performance of Plasma Spray Coated Cylinder Bores in IC Engines

### ABSTRACT

Frictional performance of plasma spray coated cylinder bores which show considerable promise as future cylinder bore material have been analyzed under simulated engine conditions. The effects of running speed and temperature have been investigated for various plasma spray coated cylinder bores. Obtained results were compared with the frictional characteristic of conventional cast-iron cylinder bores. The results showed that plasma spray coated cylinder bores enable the use of surface roughness, which result in higher tendency to develop hydrodynamic lubrication.

### GİRİŞ

Dökme demir içten yanmalı motorlarda en yaygın olarak kullanılan silindir malzemesidir. Sert karbür parçaları aşınma dayanımını arttırmakta ve grafit parçalar katı yağlayıcı görevi yapmaktadır. Alüminyum motor blokları standart dökme demir bloklara göre motor ağırlığının ve büyüklüğünün düşürülmesi, silindir aralıklarının azaltılması ve ısı transferi özelliklerinin iyileştirilmesi gibi birçok üstünlüğe sahiptir. Ancak alüminyum silindir yüzeyleri soğuk çalışma yada ısınma gibi fakir yağlama koşullarında yapışma ve dolayısıyla aşınmaya sebep

olmaktadır. Dökme demir gömlekler tribolojik özellikleri nedeniyle silindir bloğuna preslenerek yada motor bloğu içinde döküm olarak kullanılmaktadır. Bazı sınırlı uygulamalarda Nikasil yada nikel seramik gibi sert kaplamalar da kullanılmaktadır. Alüminyum silindir yüzeylerinin katı yağlayıcı ve aşınmaya dayanıklı malzemelerle kaplanması motor performansı, ömür ve maliyet açısından birçok üstünlük getirecektir. Son yıllarda silindir yüzeylerinin termal sprey ve plazma sprey tekniğiyle kaplanması ve bu kaplamaların sürtünme ve aşınma özellikleri önemli bir araştırma konusudur. [1-4]

Stribeck diyagramı (Şekil 1) sürtünme katsayısı ve Sommerfeld sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Sommerfeld sayısı hız ve viskozitenin çarpımının temas yükü ya da temas basıncına oranı olarak ifade edilebilir. Bu diyagram sınır, karma ve hidrodinamik yağlama rejimlerinden oluşmaktadır. Hidrodinamik yağlama rejiminde yağ film kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne oranı iki yüzeyi birbirinden ayıracak düzeydedir. Bu durumda, sürtünme viskoz akışkan içindeki kesme kuvvetlerinden kaynaklanır. Karma yağlama rejiminde, viskozitede yada kayma hızındaki düşüş yada yükteki artış sonucunda yağ film kalınlığı düşer ve metal metale sürtünme hidrodinamik sürtünmeye eklenir. Sınır yağlama şartlarında ise yük tamamen temas halindeki yüzey pürüzleri tarafından karşılanır. Düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip silindir yüzeyleri kullanılarak, hidrodinamik yağlama rejiminde çalışma mümkün olmakta ve dolayısıyla sürtünme ve aşınma önemli ölçüde düşürülebilmektedir.

## PLAZMA SPREY TEKNİĞİ

Döner plazma sprey tabancalarının geliştirilmesi bu kaplamaların silindir yüzeylerine güvenilir bir mikro yapı sağlayarak ve seri şekilde uygulanmasını kolaylaştırmıştır. Plazma sprey tekniğinde bir katot ve anot arasında elektrik arkı yaratılır. Bir soy gaz bu elektrik arkı içinden geçirilerek 6000 ° C sıcaklığında bir plazma oluşturulur. Plazmanın tabancadan çıkışı sırasında bir taşıyıcı gaz aracılığıyla metal tozları bu plazma içine püskürtülür. Plazma bu metal tozlarını eriterek silindir yüzeyinde kaplamayı oluşturur. Plazma debisi, toz inceliği, toz miktarı ve elektrik akımı değiştirilerek yüzeyde istenen yağ tutma yeteneği elde edilebilir. Bu işlem Şekil 2. de şematik olarak gösterilmiştir.

Bu teknikte boron-nitrat gibi üstün sürtünme ve aşınma özelliklerine sahip katı yağlayıcı metal tozları da dahil birçok toz metal kolaylıkla kullanılabilir. Segman hareketi sonucunda boron-nitrat parçacıkları silindir yüzeyine sıvanarak sürtünmeyi önemli ölçüde düşüren katı yağlayıcı bir tabaka oluşturur. Dökme demir silindirler honlanmış yağ tutucu yüzeye ihtiyaç gösterirler. Bu honlanmış yüzey sürtünmeden kaynaklanan ısıyı yayarak aşınmayı önler. Pratikte dökme demir yüzeyler için 0,3 m m dan daha küçük yüzey pürüzlülüğüne sahip silindirler kullanılamaz. Özellikle üst ölü nokta civarındaki yüksek gaz basıncı nedeniyle bu honlanmış yüzey aşınarak motorun ömrünü kısaltır. Diğer taraftan, katı yağlayıcı içeren kaplamalar için yağ tutucu kaba honlanmış yüzey gerekli değildir. Ayrıca, plazma sprey yöntemi ile oluşturulan gözenekli yapı yağ tutucu bir özelliğe sahiptir. Böylelikle, bu yöntemle çok düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeylerle hidrodinamik yağlama rejiminde çalışma ve daha yüksek aşınma dayanımı sağlanabilir.

## TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada piston segmanı ve silindirlerde oluşan sürtünmenin gerçek motora yakın kontrollü deney ortamında güvenilir bir şekilde ölçülebilmesi için yüksek strok ve temas alanına sahip bir simulatör kullanılmıştır. Bu test sistemi çalışma hızını, temas sıcaklığını ve yağ miktarını kontrol etmekte ve aynı anda sürtünme kuvveti, segman normal kuvveti, krank açısı ve temas sıcaklığı kaydedilmektedir. Bu simulatör hakkında detaylı bilgi referans [5,6] da bulunabilir. Aksi belirtilmedikçe simulatör 500 dev/dak, 70 ° C yağ sıcaklığı, 160 N normal yük, 10 ml/h yağ debisinde çalıştırılmıştır.

Motorlarda silindir kaplaması olarak kullanılabilecek iki tip plazma sprej kaplamanın sürtünme karakteristikleri belirlendi. Elde edilen sonuçlar standart dökme demir silindirlere ile karşılaştırıldı. M1-P orta yada düşük karbonlu çelikten suyla atomize edilmiş düşük maliyetli demir oksit (FeO) içeren demir tozlarıdır. FFS-Standart kaplama ise nikel ile kapsüllenmiş boron-nitrat ve 434 paslanmaz çelik tozlarından oluşmaktadır.

Şekil 3. de FFS-Standart ve M1-P kaplamaların simulatörde elde edilen sürtünme katsayıları krank açısına göre 70 ° C yağ sıcaklığında verilmiş ve sonuçlar standart dökme demir silindir ile karşılaştırılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi, bu şartlarda dökme demir ve plazma sprej kaplı silindirlere karma yağlama rejiminde çalışmakta, hız artarken sürtünme katsayısı azalmaktadır. Ancak düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip plazma sprej kaplamalar daha düşük sürtünme katsayıları ve hidrodinamik yağlama rejimine eğilim göstermektedir.

Şekil 4. de deneyler 24 ° C da, dolayısıyla yüksek yağ viskozitesinde tekrarlanmıştır. Bu şartlarda dökme demir silindir karma yağlama rejiminde çalışırken plazma sprej kaplı silindirlere hidrodinamik yağlama rejiminde çalışmakta, sürtünme katsayısı hız yükseldikçe artmaktadır. Plazma sprej kaplamalar dökme demir silindirlere gibi kaba honlanmış yüzeylere gereksinim göstermedikleri için hidrodinamik yağlamaya olanak sağlayan daha düşük pürüzlülüğe sahip yüzeyler kullanılabilir.

Ortalama sürtünme katsayıları 720 derecelik krank hareketi sırasında hesaplanmıştır. Şekil 5. plazma sprej ve dökme demir silindirlere 300, 500 ve 700 dev/dak çalışma hızlarında ortalama sürtünme katsayılarını göstermektedir. Daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip plazma sprej kaplamalı silindirlere dökme demir silindire göre önemli ölçüde hidrodinamik yağlamaya eğilim ve düşük sürtünme katsayıları göstermiştir.

Ayrıca katı yağlayıcı içeren II-25 kaplı dökme demir silindir de burada görülmektedir. Bu kaplama epoksi, boron nitrat, MoS<sub>2</sub> ve grafit içermektedir. Bu kaplama yüksek yüzey pürüzlülüğüne rağmen katı yağlayıcılar sayesinde karma yağlama rejiminde oldukça düşük ortalama sürtünme katsayısı göstermektedir.

Benzer plazma sprej örnekler Rao ve gurubu (1997) tarafından farklı bir test sistemi kullanılarak test edilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan aynı araştırmacılar bu malzemeleri aşırı yükte dayanıklılık testine tabi tutmuşlar, ve bu kaplamalar kullanıldığında yağ tüketiminde, güç üretiminde, segman ve silindir aşınmasında önemli iyileşmeler gözlemlendiğini bildirmişlerdir.[7]

Çalışmamızda silindir örneklerinin yüzey pürüzlülükleri silindir eksenine boyunca ölçülmüştür. Şekil 6. da görüldüğü gibi plazma sprej kaplamalı M1-P ve FFS standart kaplamalar konvansiyonel dökme demir silindire göre daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Plazma sprej yüzeyler kaba honlanmış yüzeylere gereksinim göstermediklerinden elmas honlama taşları ile ince son honlama yapılmıştır.

## SONUÇLAR

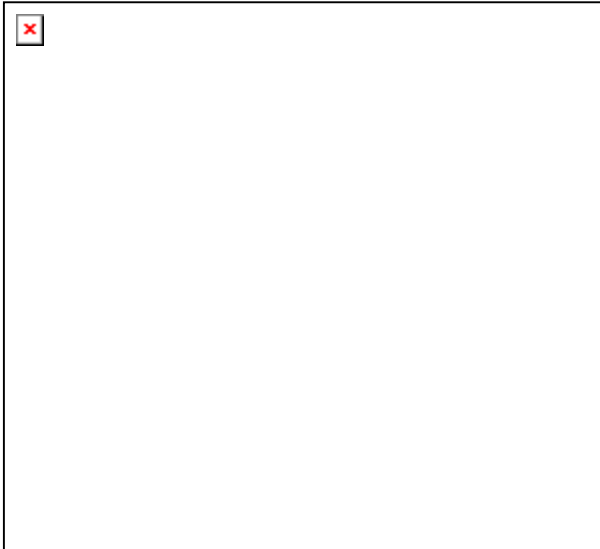
M1-P ve FFS-Standart olmak üzere iki tip plazma sprej kaplı silindir malzemesinin sürtünme özellikleri test edilmiş ve sonuçlar dökme demir silindirlerle karşılaştırılmıştır:

Düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip M1-P ve FFS-Standart silindirler düşük sıcaklıklarda hidrodinamik yağlama rejimi gösterirken, dökme demir silindir aynı test koşullarında karma yağlama rejimi göstermiştir.

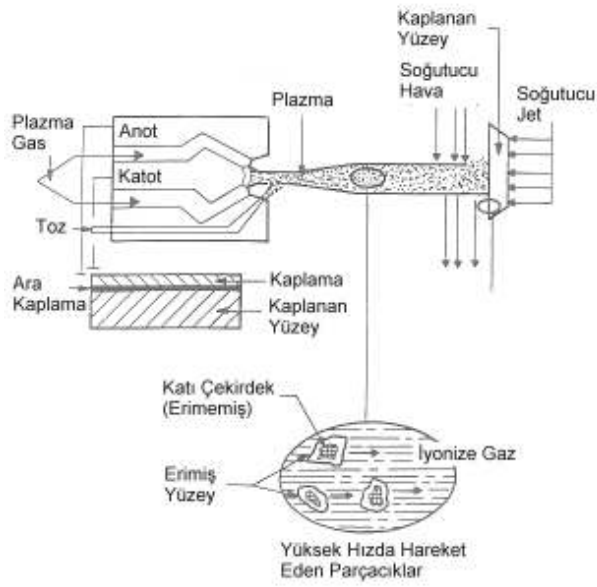
Plazma sprej silindirler dökme demir silindirler gibi kaba yağ tutucu honlanmış yüzeye gereksinim göstermeyerek hidrodinamik yağlama rejiminde çalışmayı kolaylaştırır. Alüminyum motor bloklarında plazma sprej kaplama yöntemi ile maliyetin düşürülmesi, aşınma dayanımının artırılması, sürtünmenin azaltılması ve dolayısıyla yakıt tüketiminin düşürülmesi mümkün olabilecektir.

## KAYNAKÇA

1. Funatani, K., Kurosawa, K., Fabiyi, P. A., Puz, M. F., "Improved Engine Performance via Use of Nickel Ceramic Composite Coatings", SAE Paper 940852, 1994.
2. Hartfield-Wunsch, S. E., Tung, S. C., "The Effect of Microstructure on the Wear Behavior of Thermal Spray Coatings", Proceedings of the 7<sup>th</sup> National Thermal Spray Conference, Boston MA, 1994.
3. Gaydos, P. A., "Self Lubricating Materials for High Temperature Ring/Cylinder Applications", SAE Paper 910455, 1991.
4. Wuest, G., Barbezat, G., Keller, S., "The Key Advantages of the Plasma-Powder Spray Process for the Thermal Spray Coating of Cylinder Bores in Automotive Industry", SAE Paper 970016, 1997.
5. Akalin, O., Newaz, G. M., "A New Experimental Technique for Friction Simulation in Automotive Piston Rings and Cylinder Liners", SAE Paper 981407, 1998.
6. Akalin, O., Newaz, G. M., Rao, V. D. N., "Frictional Characteristics of Plasma Spray Coated Cylinder Bores", SAE Paper 1999-01-1220, 1999.
7. Rao, V. D. N., Kabat, D. M., Cikanek, H. A., Fucinar, C. A., Wuest, G., "Material Systems for Cylinder Bore Applications - Plasma Spray Technology", SAE Paper 970023, 1997.



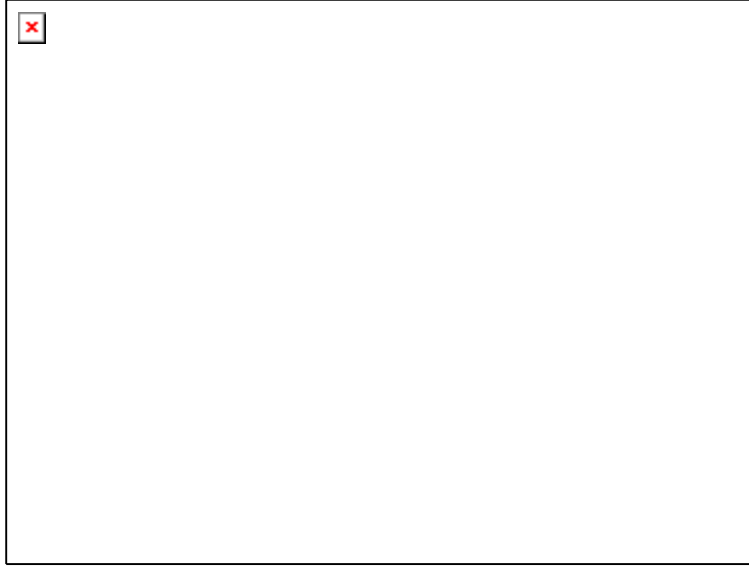
**Sekil 1. Stribeck diyagramı**



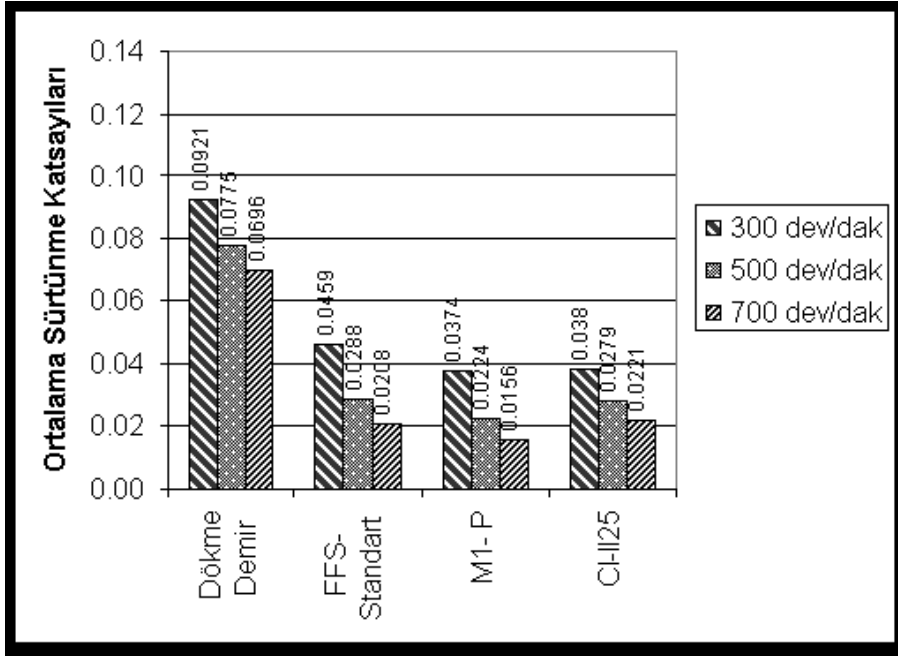
**Sekil 2. Plazma sprej kaplama yöntemi.**

**Sekil 3. Sürtünme katsayıları. 500 dev/dak, 160 N normal yük, 70 ° C yağ sıcaklığı.**

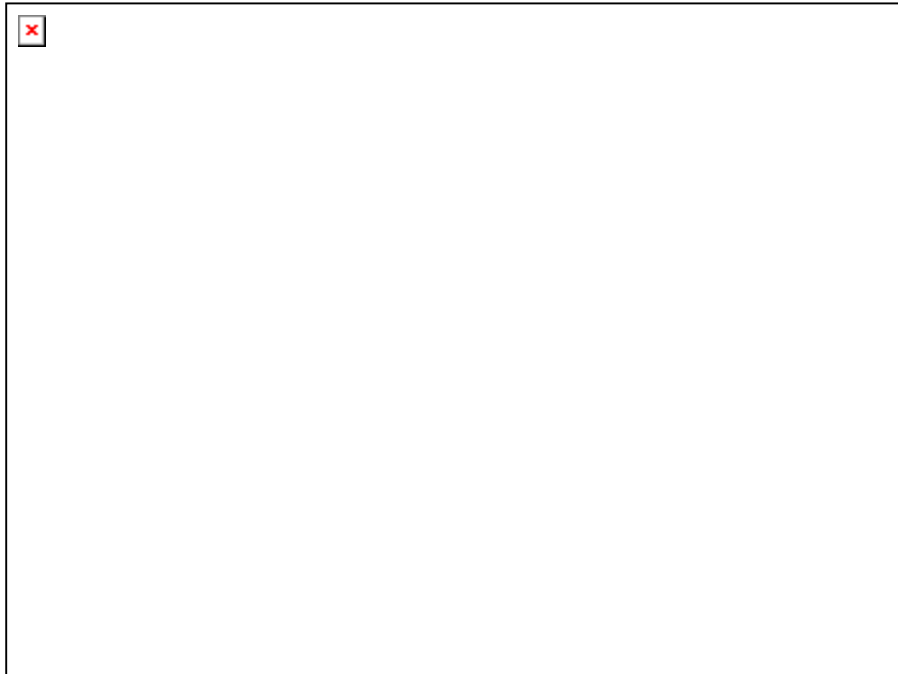




**Şekil 4. Sürtünme katsayıları. 500 dev/dak, 160 N normal yük, 24 ° C yağ sıcaklığı.**



**Şekil 5. Ortalama sürtünme katsayıları. Yüzey pürüzlülükleri; Dökme demir: 0.47 m m Ra, FFS-Standart: 0.06 m m Ra, M1-P: 0.17 m m Ra, CI-II-25: 1.28 m m Ra.**



*Şekil 6. Yüzey profilleri (m m).*