

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055902 (941-950)

AKU J. Sci.Eng.20 (2020) 055902 (941-950)

DOI: 10.35414/akufemubid.746254

Araştırma Makalesi / Research Article

Kaplama Yapılmış Enjektör Gövde Millerinin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması

Hüseyin BAYRAKÇEKEN^{1*}, Recai KUŞ², Seyit AYTEKİN³¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

*Sorumlu yazar e-posta: bceken@aku.edu.tr

recaikus@gmail.com

seyitaytekin91@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7705-7924>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-3709>

Geliş Tarihi: 01.06.2020

Kabul Tarihi: 06.10.2020

Öz

Günümüz içten yanmalı motorlar içerisinde dizel motorları önemli bir yer tutmaktadır. Her ne kadar egzoz emisyonları nedeniyle kullanımları azalmış olsa da deniz araçları, jeneratörler, raylı sistem araçları, su motorları gibi farklı alanlarda kullanımları devam etmektedir. Dizel motorlarının en önemli donanımlarından birisi de yakıt sistemi olup, Common Rail başta olmak üzere çok çeşitli yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Dizel yakıt sistemlerinde yüksek basınç pompası ve enjektör parçaları çok hassas imal edilmektedirler. Common Rail enjektörler çok yüksek basınç (1400-2000 bar) altında çalışmaktadırlar. Bu durum enjektörün nozzle, iğne, mil ve valf gibi parçalarında kolay hasara neden olabilmektedir. Bu çalışmada, Common Rail enjektör gövde mili kaplanmasının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, yapılan çalışmada ticari taşıt motorlarında kullanılan 3 adet dizel enjektör, farklı kaplamalar yapılarak standart enjektör ile yakıt püskürtme değerleri ve çalışma sonrası mil yüzeyindeki aşınmalar kıyaslanmıştır. Üç adet enjektör gövde mili sırası ile Cr(Krom), TiN(Titanyum Nitrür), ALTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür) kaplanarak standart enjektör ile çalışma testleri yapılmıştır. ALTiN ve TiN kaplama yapılmış gövde milleri PVD ark yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Cr kaplı mil ise sıvı daldırma yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama sonrası mil pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Enjektörler 90 saat boyunca sürekli çevrim oluşturularak çalışma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda kaplama yapılan millerin standart enjektör katalog değerlerini sağladığı, püskürtme miktarlarının \pm toleransı aralığında olduğu ve kaplamanın enjektörlerde kullanılmasına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Yüzey Kaplama; Common Rail; Enjektör; Pürüzlülük; PVD Kaplama

Investigation of Physical Properties of Injector Body Shafts with Plated

Abstract

Diesel engines have an important place in today's internal combustion engines. Although use of the engines has decreased due to exhaust emissions, the engines continue to be used in different fields such as marine vehicles, generators, rail system and water vehicles. One of the most important equipment of diesel engines is the fuel system, especially such as common rail system with wide usage area. High pressure pump and injectors parts are manufactured very precisely in diesel fuel systems. Common-Rail injectors operate under very high pressure (1400-2000bar). This can cause easy damage injector parts such as nozzle, needle, shaft and valve. In this study, the effects of coating the common rail injector were investigated. For this purpose, different coatings were made on 3 diesel injectors which used in commercial vehicle engines and then fuel injection values and wear on the shaft surface after operation were compared with the standard injector. Body shafts covered with ALTiN and TiN are coated using the PVD arc method. Three injector body shafts were coated with Cr, TiN, ALTiN, respectively and working tests were performed with standard injectors. Cr coated shaft is coated using liquid immersion method. After the coating, the shaft roughness values were measured. The injectors were continuously tested by creating a cycle for 90 hours. As a result, it was determined that the coated shafts provided the original injector catalogue values, the spray quantities were within the \pm tolerance range and the coating was suitable for use in injectors.

Keywords

Surface Coating; Common Rail; Injector; Roughness; PVD Coating

1. Giriş

Dizel motorların, son zamanlarda öneminin azaldığı düşünülse de güç, performans vb özellikleri nedeniyle farklı kullanım alanlarında yoğun bir şekilde görevlerini sürdürmektedir. Yakıt sistemi teknolojisi ve püskürtme sistemi dizel motorlarının performansını etkileyen en önemli unsurlardır. İyi bir yanma verimi için, atomize bir enjeksiyon ve hızlı tetikleme süresi ile yakıtın, tutuşma sağlanarak optimum motor gücü elde edilmesi sağlanır. Dizel motorlarında yakıt sistemi oldukça hassas ve önemli olmasının yanı sıra maliyeti de oldukça yüksektir. Bazı tip enjektörler arızalandığında müdahale etmek mümkün olmadığından, enjektörü komple değiştirme yoluna gidilmektedir. Enjektörlerin en sık görülen arızası, enjektör valf seti yüzey hasarları ve gövde mili aşınmasına bağlı yakıt kaçakları ve yanma odası ile temas halinde olan enjektör memesi korozyon hasarlarıdır.

Dizel motorlarının yakıt ve enjeksiyon sistemi üzerinde oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar yakıtın atomizasyonu, yanma, homojen dağılım vb farklı alanlarındadır. Yakıt sistemi elemanlarının ömürlerini artırmak içinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Malzeme ömür artışı için farklı kaplama-taşlama yapılması otomotiv sektöründe çokça kullanılan yöntemlerdir. Kaplama, taşlama, yakıt sistemi elemanları gibi farklı unsurlarla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Taşlama işleminde yüzey kalitesini etkileyen en önemli unsurun, taşlanan yüzeyin kalitesi ve taşlama taşının kabiliyeti olduğu belirlenmiştir. Taşlanacak yüzeyin kullanım alanı göz önünde bulundurularak taşlama taşı belirlenmelidir. Yüksek yapışma oranı, tanecik büyüklüğü ve parça tepkisi aşınmayı ve yüzey kalitesini etkileyen etkenlerdir (Nguyen, 2018).

İyi bir taşlama için malzeme yüzeyindeki ısı artışının önemi vurgulanmıştır. Taşlama esnasında yüzeyde sıcaklık 600 °C'yi aştığında yüzeyde yanma olduğu

görülmüştür. Taşlamada yanma meydana gelmesinin nedeni, kesme sıcaklığının yükselmesinin, yüzey oksidasyonunun ve demir dışı oksitlerin birikmesinin alevlenmeye neden olduğunu belirlemişlerdir. Sıcaklık sürekli olarak 802 °C' ye yükseldiğinde, taşlama kılcal çatlakları görünür hale geldiğini ve termal çatlaklar gözlemlendiği tespit edilmiştir(Lin, 2018).

Mukavemetli kaplama türü olan ALTİN kaplama hakkında yapılan araştırmada, ark iyon kaplama (AIP) ile ALTİN kaplamaları (s-ALTİN) ve (c-ALTİN) numunesi kullanılmıştır. İki farklı kaplamanın kimyasal bileşimi, mikro yapısı, sertlik, yıpranma özellikleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuç olarak, s-ALTİN kaplamanın c-ALTİN kaplamasının tipik kolon yapısı yerine daha pürüzsüz bir kaplama yüzeyi ve daha yoğun bir mikro yapı sergilediğini belirlenmiştir. s-ALTİN kaplama, geleneksel AIP ile üretilen c-ALTİN kaplamasına kıyasla daha yüksek bir sertlik, daha düşük bir sürtünme katsayısı ve daha iyi aşınma direnci sergilediği belirlenmiştir (Xiao, 2017).

Sertlik değerleri 40, 43, 52, 57 ve 62 HRC olan farklı numuneler krom kaplanarak malzeme yorulma ömürleri araştırılmıştır. Tüm numuneler 20 Hz frekansta, 7,5 kN gerilme yükünde (R:0,1) numune testleri yapılmış ve çatlak başlangıcını ve çatlak yayılmasını kaydetmek için belirli sayıda döngüden sonra optik mikroskop altında incelenmiştir. Düşük sertlik değerinde kromun etkisiz olduğunu, ancak komponent sertliğinin 62 HRC olduğu takdirde yorulma ömrünün %62 oranında arttığı belirlenmiştir (Mukhtar, 2018).

Çok delikli bir dizel enjektörün motorlarda düzgün olmayan yakıt dağıtımı ve yanma, emisyon bozukluğu araştırılmıştır. Yakıt enjeksiyon miktarı bakımından delikler arasında yaklaşık % 1 tutarsızlık elde edilmiştir. Alt katmandaki meme deliklerinin (4 delik) yakıt enjeksiyon miktarlarının, üst katmandaki meme deliklerinin (4 delik) yakıt enjeksiyon miktarlarından %5-15 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, nozul deliklerinin

karşılaştığı farklı akış direnci değerlerine bağlı olduğu belirlenmiştir (Tong, 2018).

Kesici takım olan matkap üzerine yapılan ALTİN ve TİALN kaplamanın yüzey aşınması ve deformasyon incelemesi üzerine yapılan çalışmada ALTİN kaplı matkabın yüksek sıcaklıklarda daha etkili dayanım sergilediği ve TİALN kaplı matkabın ise birim yüzeye düşen yükü daha etkili yaydığı buda daha az ısıya neden olduğu belirlenmiştir (Beake, 2017).

Kaplama işlemi, yoğunlaşma, çekirdeklenme, ara yüz oluşumu ve filmlerin veya kaplamaların kalınlığını etkileyen birçok faktöre bağlı olduğu ortaya konularak yapışma oranı film kalitesini buna bağlı kaplama kalınlığını belirlediği ifade edilmiştir (Mattox, 2018).

2. Materyal ve Metot

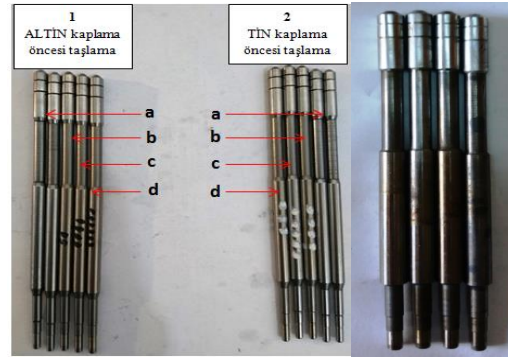
Yapılan deneysel çalışmada, Bosch marka common rail yüksek basınç sistemi ile çalışan enjektörler tercih edilmiştir. Enjektörler; Euro 3-5 norm motor tiplerinde kullanıma uygun, 4-6 silindirli 250-450 kW güç üreten, 14-19/1 sıkıştırma oranına sahip, 4-9 lt silindir hacmine sahip motorlarda kullanılabilir. Kademeli püskürtme yapabilme, çok delikli girdap akım püskürtme özelliğine sahiptir. Testler, biri standart enjektör ve farklı kaplamalı üç enjektör milinde olmak üzere toplam 4 adet farklı enjektör üzerinde yapılmıştır.

Enjektör gövde milleri kaplama sonrası ölçü değişmemesi için önce taşlama işlemi yapılarak standart mil çap ölçüsünden düşürülmüştür. 3 adet numunenin her biri ALTİN (Alüminyum titanyum nitrür), TİN (Titanyum nitrür), Cr (Krom) kaplanmıştır. Enjektörün çalışma basınçları, yakıt dağılımı, ani yüklemeler durumunda yakıt atomizasyon değişimleri, damlama, yakıt kaçırma vb. enjektör çalışmasını etkileyen parametreler test edilmiştir.

Taşlama İşleme; Enjektör gövde milleri kaplama işlemi yapılmadan önce 0,003-0,013 mm arasında silindirik taşlama yapılmıştır. Gövde milleri puntalı taşlama yöntemi kullanılarak taşlanmıştır. Taşlama işlemi 120 kum tanecik yapısında, %98 oranında

Al₂O₃ kimyasal bileşiğe sahip, ısıl işlem çelikleri, takım çelikleri, özel çelikler ve paslanmaz çeliklerin taşlanmasında kullanıma uygun taşlama taşı kullanılarak 0,001 mm paso miktarı ile hassas taşlama yapılmıştır.

Malzeme üzerinde taşlama sırasında oluşan rezonans, yüzey çizgi yönlerinin üniform özellik taşınması ve kaplama malzemesinin çizgisel boşlukları eşit şartlarda doldurması için punta mili devri saat yönüne ters olacak şekilde 2500 d/d ve taşlama taşı devri saat yönünde 20.000 d/d olarak yapılmıştır.



Şekil 1. Farklı ölçülerde taşlanmış gövde milleri (ALTİN (Alüminyum titanyum nitrür), TİN (Titanyum nitrür), Cr (Krom))

Şekil 1' de görülen gövde milleri gruplandırılarak taşlanmıştır. ALTİN kaplama yapılan 1 numaralı mil grubu ve TİN kaplama yapılan mil grubu ise 2 numaralı mil grubu olarak adlandırılmıştır. Çizelge 1.de taşlama yapılan millerin ölçüleri görülmektedir.

Çizelge 1. Taşlama sonrası gövde millerinin ölçümleri yapılarak taşlama değerleri.

Kaplama çeşidi	a	b(μm)	c(μm)	d(μm)
ALTİN	Orijinal mil	-4	-8	-12
TİN	Orijinal mil	-8	-10	-8

2.1 ALTİN, TİN ve Cr Kaplama İşlemi

Kaplama PVD ark (Fiziksel Buharlaştırma Yöntemi) ile kaplama malzemesinin buharlaştırılıp fırın içerisinde asal gaz ile doldurulması ile yapılmıştır. ALTİN ve TİN kaplama sonrasında malzeme yüzeyinde 8 µm kalınlık elde edilmiştir. Buhar fazdaki kaplama malzemesi potada sabit duran mil yüzeyine yüksek hızda bombardıman edilmiştir. Çizelge 2.de ALTİN ve TİN kaplama özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. TİN ve ALTİN kaplamanın özellikleri.

Özellikler	TİN	ALTİN
Renk	Altın rengi	Antrasit/mavi
Sertlik (Hv 0,05)	>2400	3300
Maksimum sıcaklık °C	500	700
Maksimum tabaka kalınlığı (µm)	3	3
Sürtünme katsayısı	0.40	0.37
Yoğunluk gr/cm ³	5.2	5.1
Yüzey pürüzlülüğü (Ra µm)	0.20	0.20

Diğer kaplama çeşitlerine göre PVD teknolojisi ile kaplanmış millerin en büyük avantajı, yüksek sertlikteki çeliklerinin kimyasal yapısını etkilemeden daha düşük sıcaklıklarda kaplama yapılmış olmasıdır. Kaplama sıcaklığı 200–700 °C maksimum sıcaklıklarda yapıldığı için kaplama kalitesi bozulmadan homojen bir kaplama yapılabilmiştir. Şekil 2’de TİN ve ALTİN kaplama yapılmış miller verilmiştir.



Şekil 2. TİN ve ALTİN kaplanmış gövde mili

ALTİN ve TİN kaplama işleminden sonra krom kaplama yapılmıştır. Krom kaplama sıvı daldırma yöntemi ile yapılmıştır. Krom’un sürtünme katsayısı oldukça düşüktür. Aşınmaya karşı olan direnci yüksek olup, istenilen sertlik değerlerinin elde edilmesi sağlanabilmektedir. (James2003). Kaplama kalınlığı akım yoğunluğu, malzeme yüzeyi ve millerin sıvı içerisinde kalma süresi ile değişmektedir. Krom kaplama kalınlığı 2,5-500 µm aralığında yapılmaktadır (Guffie, 1989). Çizelge 3’de krom metalinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. Krom kaplama metalinin fiziksel özellikleri (IntKyn. 1)

Özgül ağırlığı:	4,1 – 4,9 g/cm ³
Rengi:	Parlak siyah
Sertliği:	5,5
Çizgi rengi:	Kahverengi
Genellikle	manyetik
özelliği yoktur	



Şekil 3. Kaplanmış kromlu miller

Şekil 3’de krom kaplama yapılmış mil gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kaplama sonrası kromlu mil ölçü değişimi

	Standart mil çap ölçüsü (mm)	Taşlanmış mil ölçüsü (mm)	Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm)	Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı)
1	4,029	-0,005	-0,004	+0,004
2	4,029	-0,004	0,005	+0,005
3	4,029	-0,009	+0,000	0,000
4	4,029	-0,003	+0,006	+0,006

ALTİN ve TİN kaplı millerde herhangi talaş kaldırma işlemi yapılmamıştır. Kaplama sonrası 65 HRC sertlik değeri elde edilmiştir. Çizelge 5’da ALTİN kaplama sonrası mil çapındaki ölçü değişimi verilmiştir.

Çizelge 5. ALTİN kaplı mil ölçü değişimi

	Standart mil çap ölçüsü (mm)	Taşlanmış mil ölçüsü (mm)	Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm)	Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı)
1	4,029	-0,017	-0,009	-0,008
2	4,029	-0,008	0,000	0,000
3	4,029	-0,003	+0,005	+0,005
4	4,029	0,000	+0,008	+0,008

Kaplama sonucunda standart ölçü değerine 4,029 mm değeri elde edilmiştir. Çizelge 6’da TİN kaplama sonrası mil çapındaki ölçü değişimleri verilmiştir.

Çizelge 6. TİN kaplı mil ölçü değişimi

	Standart mil çap ölçüsü (mm)	Taşlanmış mil ölçüsü (mm)	Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm)	Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı)
1	4,029	-0,003	+0,005	+0,005
2	4,029	0,000	+0,011	+0,011
3	4,029	-0,015	-0,007	+0,005
4	4,029	-0,008	0,000	0,000

2.2 Enjektör Çalışma Testleri

Biri standart olmak üzere farklı kaplama yapılmış dört adet enjektör mili montajı test cihazına yapılmıştır. Enjektörlerin başlangıç basıncı 160 Mpa olarak belirlenmiştir. Enjektörler marş anı, yakıt doldurma, hızlanma, sabit hız, gaz kesme, rölanti ve yakıt geri dönüş miktarı ölçümleri yapılmıştır. Her bir enjektörün testi sürekli çevrim oluşturularak test edilmiştir. Kaplama yapılan enjektörlerin ve standart ölçüye sahip enjektörlerin ortalama yakıt değerleri karşılaştırması yapılarak enjektör püskürtme

miktarları elde edilmiştir. Çizelge 7’de enjektörlere yapılan testler ve değer tablosu verilmiştir.

Çizelge 7. Enjektör çalışma testi parametreleri

Yapılan Test	Basınç (Bar)	Devir (d/d)	Enjektör tetiklenme süresi (ms)
Tam gaz	1400	1000	2000 170gr ±7
Sabit hız	600	1000	700 31 gr ±7
Rölanti	250	2500	1000 16,5 gr ±5.3
Sızdırmazlık	1400	900	0

Çizelge 8. Enjektör çalışma değer tablosu

Yapılan Test	Basınç (Bar)	Devir (d/d)	Enjektör tetiklenme süresi (ms)	Katalog Değerleri Yakıt miktarı (gr)
Tam gaz	1400	1000	2000	170,00 ±7
Sabit hız	600	1000	700	31,00 ±7
Rölanti	250	2500	1000	16,50 ±5.3
Sızdırmazlık	1400	900	0	0

Testler temel kullanım koşullarına aşağıdaki durumlara göre yapılmıştır.

Hızlanma (tam yük testi); Taşıtın hızlanma anında gaz pedalına tam basıldığı, ani tepkime durumundaki testi içermektedir. Hızlı basınç artışı durumunda enjektör püskürtme değerleri karşılaştırılmıştır. Tolerans değeri 7,7mm²/mg olarak testler yapılmıştır.

Gaz kesme (yakıt kesme testi); Basıncı ve devri yüksek olan enjektör çalışmasının aniden sürücünün gaz pedalından ayağını çektiği durum oluşturulmuştur. Devir artırılarak basınç düşürülmüş ve yakıt kesme durumu oluşturulur. Basınç 250 bar indirgenirken, devir 2500 d/d yükseltılarak test yapılmıştır.

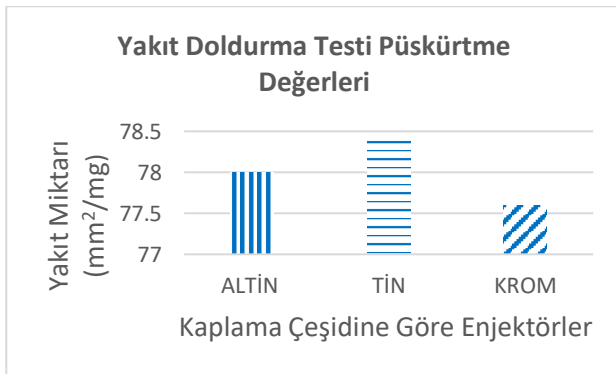
Ön (pilot) püskürtme testi; Piston Ü.Ö.N’ ya çıkarken yaklaşık 10-12° KMA değerinde, dizel yakıtının yanma gecikmesini engellemek için bir

miktar yakıt yanma odasına gönderilmektedir. Pilot püskürtme, ana yakıt tutuşmasının ve yanmasının verimli şekilde olmasını sağlamaktadır. Enjektör tetikleme değerleri kısılarak püskürtme miktarları düşürülmüştür. Bu testte basınç 1000 bara kadar yükseltilmiş devir ise 3000 d/d olacak şekilde test yapılmıştır. Püskürtülmesi gereken yakıt miktarı 3 mm²/mg olarak belirlenmiştir.

Sızdırmazlık testi (tam yük basınç); Yakıt sızıntısı, enjektörlerin zamanla aşınarak piston üzerine küçük miktarlarda yakıt damlatmasına neden olur. Bu testte basınçlı yakıt enjektöre gönderilerek hiçbir tetikleme sinyali verilmemiştir. Basınç altında enjektör içerisindeki sızdırmazlık kiti durumu ölçülmüştür. Damlatan ve yakıt kaçıran valf seti belirlenerek değişimi yapılmıştır. Sistem basıncı 1400 bar ve devir 900 d/d olacak şekilde testler yapılmıştır.

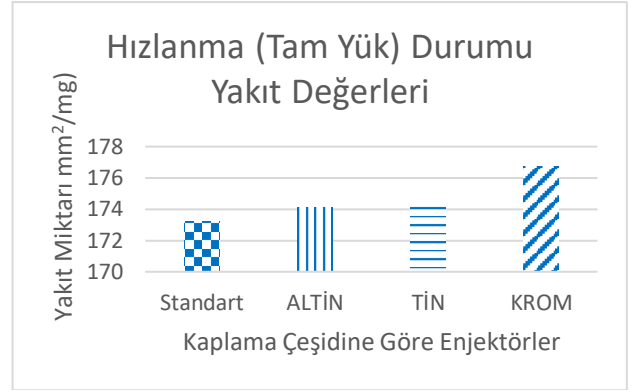
2.3. Enjektör Çalışma Testleri

Şekil 4-8'de ALTİN, TİN, Cr ve standart ölçüdeki enjektörlerin çalışma sonucunda ortalama yakıt püskürtme grafiği verilmiştir. Test süresince enjektörlerin en düşük yakıt sıcaklığı 38 °C ve en yüksek yakıt sıcaklığı 55 °C olarak ölçümler yapılmıştır. Standart enjektör püskürtme verileri ile karşılaştırma yapılarak testler uygulanmıştır. Min. 200, max. 2500 bar basınç altında enjektör testleri yapılmıştır.



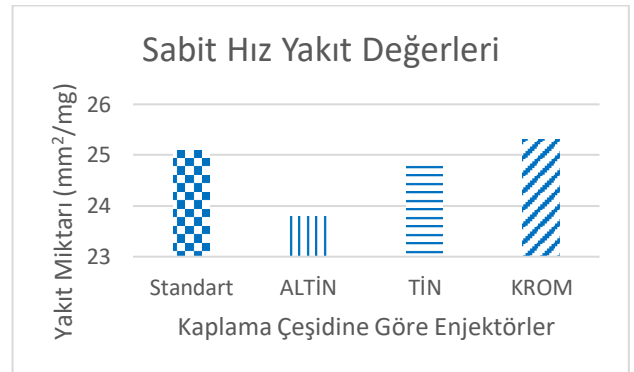
Şekil 4. Yakıt doldurma testi verileri

Şekil 4'de standart enjektöre göre kaplama yapılmış enjektörlerin püskürtme değerleri görülmektedir. Bu test tamir bakım işlemi görmüş enjektörlerin kıyaslanması özellikle de enjektör conta ve bağlantılarında kaçak tespiti amacıyla yapılmaktadır.



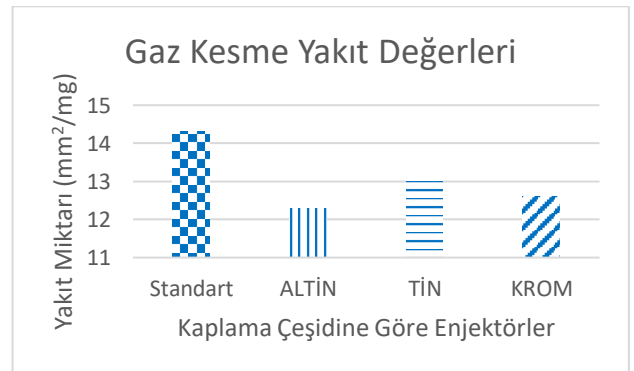
Şekil 5. Tam yük testi verileri

Tam yük testinde ani basınç artışı durumu gerçekleştirilmiştir. Bu test, 1400 bar basınç, 1000 d/d., 2000 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



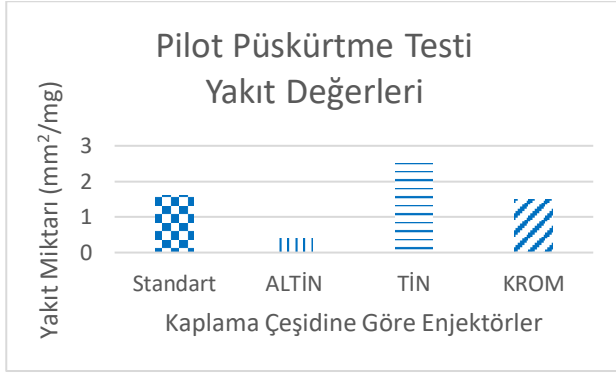
Şekil 6. Sabit hız testi verileri

Sabit hız testi yakıt basınç ve test devrinin dengede olduğu durumdur. Bu test, 600 bar basınç, 1000 d/d., 700 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



Şekil 7. Gaz kesme testi verileri

Gaz kesme testinde, enjektöre gelen yakıtın aniden kesilmesi ile oluşan değerler elde edilmiştir. Bu test, 250 bar basınç, 2500 d/d., 1000 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



Şekil 8. Pilot püskürtme verileri

Pilot püskürtme testinde enjektörün kademeli püskürtme durumu test edilmiştir. Bu test, 1400 bar basınç, 900 d/d., 300 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.

2.4. Mil Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi

Kaplama yapılan gövde milleri doğrudan kullanıma uygun değildir. Bunun temel nedeni, yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış miktarıdır. Standart enjektör gövde milindeki yüzey kalitesi kaplama yapılan mil yüzeylerinden oldukça düşük hassasiyete sahiptir. Bu değer Ra: 0,066 µm Rz: 0,610 µm olarak ölçülmüştür. Kaplama yapılan mil yüzey pürüzlülükleri 1,5 kat artış gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 8-11'de standart mil, ALTİN, TİN ve Cr kaplama yapılan millerdeki yüzey pürüzlülük değerleri değişimi verilmiştir.

Çizelge 8. Standart gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

	Standart gövde mili		
	Lt= 4,8 mm (0,8x5)	ISO 16610-21/ 0,8 mm	
	Standart mil (µm)	Kaplama sonrası (µm)	Test Sonrası (µm)
Ra	0,066	-	0,068
Rz	0,610	-	0,611
Dik:0,5 µm/ böl; Yatay: 0,8 mm/böl			

Çizelge 8'da aritmetik ortalama sapma değeri 0,066 µm, max. derinlik ortalama değeri ise 0,610 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 9. ALTİN kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

	ALTİN kaplanmış gövde mili		
	Lt= 4,8 mm (0,8x5)	ISO 16610-21/ 0,8 mm	
	Standart mil (µm)	Kaplama sonrası (µm)	Test Sonrası (µm)
Ra	0,065	0,108	0,070
Rz	0,608	1,536	0,713
Dik:0,5 µm/ böl; Yatay: 0,8 mm/böl			

Çizelge 9'de yüksek amper değerinde (yaklaşık 150-200 Amper) elementler üst üste yoğunlaşmış ve pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Kaplama sonrası Ra: 0,108 µm ve 1,536 µm değeri elde edilmiştir. Bu değer kullanıma uygun değildir. Test sonrası Ra: 0,070 µm ve 0,713 µm değeri elde edilmiştir.

Çizelge 10. TİN kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

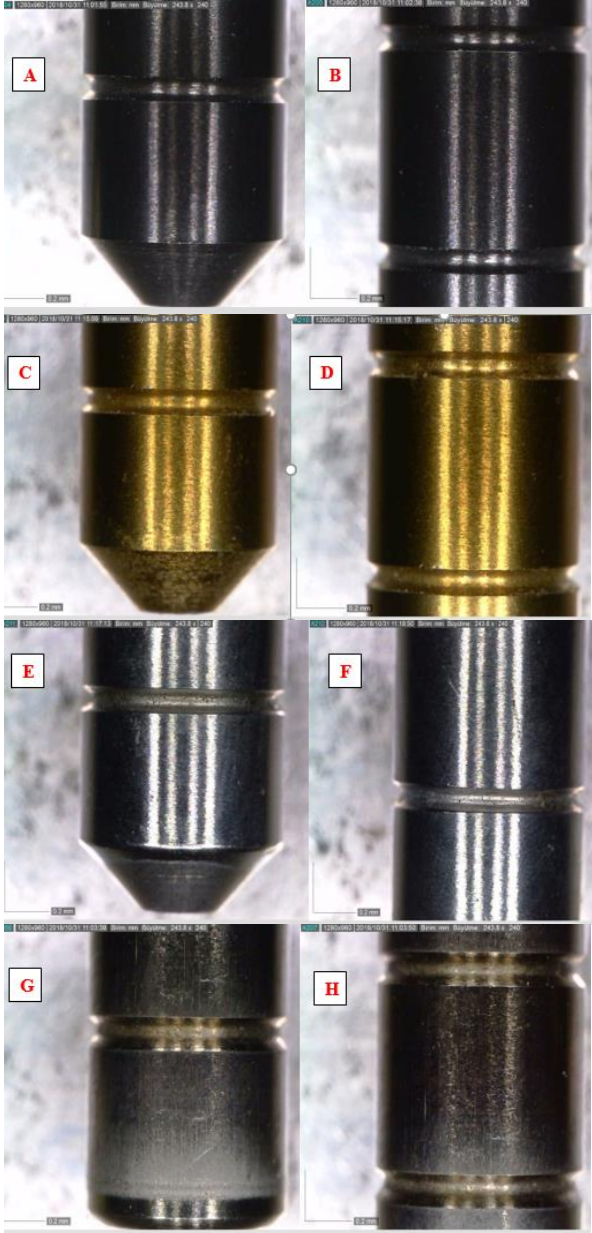
	TİN kaplanmış gövde mili		
	Lt= 4,8 mm (0,8x5)	ISO 16610-21/ 0,8 mm	
	Standart mil (µm)	Kaplama sonrası (µm)	Test Sonrası (µm)
Ra	0,059	0,126	0,074
Rz	0,595	1,419	0,765
Dik:0,5 µm/ böl; Yatay: 0,8 mm/böl			

Çizelge 11. Krom kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

	Cr kaplanmış gövde mili		
	Lt= 4,8 mm (0,8x5)	ISO 16610-21/ 0,8 mm	
	Standart mil(µm)	Kaplama sonrası(µm)	Test Sonrası(µm)
Ra	0,071	0,117	0,083
Rz	0,633	1,308	0,684
Dik:0,5 µm/ böl; Yatay: 0,8 mm/böl			

Çizelge 10'de kaplama sonrası Ra: 0,126 µm ve Rz: 1,419 µm değeri elde edilmiştir. Yapılan enjektör testlerinden sonra Ra: 0,074 µm ve Rz: 0,765 µm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 11’de krom kaplama kalınlığı 1-5 μm arasında değişim göstermiştir. Yapılan ölçüm sonucu kaplama sonrası Ra: 0,117 μm ve Rz: 1,308 μm olduğu tespit edilmiştir. Krom önce taşlama yapılarak daha sonra elmas tozu yardımı ile hassas yüzey oluşturulmuştur. Test sonrası ölçümler Ra: 0,083 μm ve Rz: 0,684 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 9. Enjektör testi sonrası millerin yüzeyinde meydana gelen aşınmalar (A, B) TiN kaplama, (C, D) AlTiN kaplama, (E, F) Cr kaplama ve (G, H) standart mil

2.5. Mil Aşınma Değişimi

Valf seti ve gövde mili birbiri içerisinde 0,001 mm boşluk hassasiyeti ile çalışmaktadır. Kaplanmış gövde millerinde tekrarlı çatlaklar oluşmadığı, orijinal mil yüzeyinde ise doğrusal çizikli bir yapının oluştuğu belirlenmiştir. Aşınmanın, iki katı yüzey arasında basıncı ve sıcaklığı artmış olan dizel yakıtının, küçük yakıt buharı tabakaları oluşturduğu ve bu mikro boşlukların patlaması ile sıvı akışının hızla boşluğa akışının malzeme yüzeyinin aşındırdığı tespit edilmiştir. Aşınan gövde millerinde valf yatağı içerisinde mikron düzeyde boşluk artışına neden olduğu bu durumdan dolayı enjektör yakıt püskürtme değerlerini etkilediği görülmüştür. Oluşan aşınmaların ani basınç değişimlerine ve gaz tepkimesine bağlı yakıt akış hızının yüzeylerde mikro düzeyde aşınma başlangıcına neden olduğu tekrarlı bir şekilde devam ettiği için zamanla doğrusal çizilmelere ve malzeme kopasına neden olduğu gözlenmiştir. Orijinal mil yüzeyi yüzde yüz pürüzsüz olmadığı için mil yüzeylerinde aşınmaya bağlı çukurlaşma oluşmuş ve kopan yüzey parçalarının dizel yakıtı ile valf koniğinden geçerken yakıt miktarını değişimine neden olmuştur. Kaplanmış mil yüzeyinde benzer deformasyon oluşumu görülmemiş ve koruyucu etki sağlamıştır.

3. Tartışma ve Sonuç

ALTiN kaplamanın kimyasal bileşimlerden, korozif aşındırıcılardan dolayı sıcak ve basınca bağlı yüzey hasarlarına uğramadığı görülmüştür.

TiN, ALTiN, CrN ve CrALN kaplamalar paslanmaz çelik yüzeyine katodik ark yöntemi ile kaplandıktan sonra mikro sertlik ve oksidasyon direnci araştırıldığında ALTiN ve CrALN kaplamalar daha iyi oksidasyon direncine sahip olduğu tespit edilmiştir (Chim, 2009).

TiN kaplama yapılmış milde, yüzeyde çizikli ve aşınmaya uğrayan bir yüzey yapısı ortaya çıkmamıştır. Kaplama malzemesi yüzeyde iyi bir tribolojik koruyucu etki göstermiştir. Valf içerisine temas eden yüzey üzerinde herhangi bir kavitasyon aşıntısı görülmemiştir.

TiN kaplama yapılan yüzeyler üzerinde çalışma yapılmış, kaplanmış çelik yüzeyler, kaplamasız paslanmaz çelik yüzeylerinden daha iyi kavitasyon ve erozyon direnci göstermiştir. TiN kaplama ve değişik bağ sayısındaki aynı kaplamanın kavitasyon erozyonuna karşı en iyi korumayı sağladığı görülmüştür (Krella, 2013).

Krom kaplama yapılmış millerde, krom mil yüzeyinde malzeme tokluğu, yüksek aşınma mukavemeti, verimli bir kaplama ve homojen yapı etkisi göstermiştir. Krom malzemesi çalıştığı yüzey yapısını aşındırmadan çalışmış ve standart mil pürüzlülüğüne en yakın değer elde edilmiştir.

Krom kaplama ile ilgili yapılan bir çalışmada, SM45C hafif karbon çeliği üzerine yapılan krom kaplama ile Fe₂O (demir oksit) oluşumu gözlenmiştir. Krom kaplama ile malzeme yüzeyinde aşınma ve korozyon direncinin etkili bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir (Nam2004).

Standart milde, mil şaft kısmında boyuna hasarlar meydana gelmiştir. Yüksek basınçlı yakıt yüzeyler arasında aşındırma yapmıştır. Valf ve gövde mili birbiri içerisinde hareketinin sonucu olarak da aşınma hızlanmıştır. Mil hareketi doğrusal olduğu için aşınma tek yönde ve mil temas yüzeylerinde yoğun, valf alt noktalarına gelen yüzeyde azalan aşınma göstermiştir. Mil üst yüzeyi basınca en fazla maruz kalan kısım olması sebebi ile aşınma daha fazla olmuştur.

Sonuç itibari ile kaplama yapılan yüzeyler enjektör çalışma eşik değerlerinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Standart enjektör katalog yakıt değerlerine çok yakın püskürtme miktarı elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan enjektörler (±) sapma toleransı değerleri içerisinde olduğu görülmüştür. Kaplama yapılan enjektörler de standart enjektöre göre aynı yük ve devir aralığında tam yük testi dışında bütün testlerde yakıt miktarlarında 0,1–3,0 mm²/mg yakıt düşüşü görülmüştür. Yakıt düşüşü maliyette verimlilik ve yedek parçada ömür eğrisinin artması anlamına gelmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi 17.FEN.BİL.77 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

4. Kaynakça

- Beake B.D., Endrino J.L., Kimpton C., Fox-Rabinovich G.S., Veldhuis S.C. (2017), Elevated temperature repetitive micro-scratch testing of AlCrN, TiAlN and AlTiN PVD coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, (69), 215-226
- Chim Y.C., Ding X.Z., Zeng X.T., Zhang S., (2009), Oxidation resistance of TiN, CrN, TiAlN and CrAlN coatings deposited by lateral rotating cathode arc, *Thin Solid Films*, (517), 4845-4849
- Guffie R.K. (1989), Hard Chromium Plating Products Finishing, 70-78
- James H., Lindsay J., (2003), Decorative Hard Chromium Plating, *Plating and Surface Finishing*. (90), 22-24
- Krella A.K., (2013), Cavitation erosion resistance of Ti/TiN multilayer coatings, *Surface and Coatings Technology*, (228), 115-123
- Lin K. B., Zhou, J. Guo Q. Y., Liu W., Wang J. (2018), Influence of grinding parameters on surface temperature and burn behaviors of grinding rail, *Tribology International*, (122), 151-162
- Mattox D.M., (2018), Chapter 8 Condensation, Nucleation, Interface Formation, and Film Growth, *The Foundations of Vacuum Coating Technology*, (2), 221-240.
- Mukhtar F, Qayyum F, Anjum Z, Shah M., (2018), Effect of chrome plating and varying hardness on the fretting fatigue life of AISI D2 components, *Wear*.
- Nam K.S., Lee K.H., Kwon S.C., Lee D.Y., Song Y.S., (2004), Improved wear and corrosion resistance of chromium(III) plating by oxy nitro carburizing and steam oxidation, *Materials Letters*, (58), 3540-3544

Nguyen D.T., Yin S, Tang Q, Son P. X, Duc L. A., (2018), Online monitoring of surface roughness and grinding wheel wear when grinding Ti-6Al-4V titanium alloy using ANFIS-GPR hybrid algorithm and Taguchi analysis. *Precision Engineering*.

Tong L, Jiang S, Moro A, Wang C, Zhou L., Luo F., (2018), Measurement and validation of hole-to-hole fuel injection rate from a diesel injector. *Flow Measurement and Instrumentation*. (61), 66-78

Xiao B. J.,Chen Y, Dai W, Kwork K.Y., Teng-ZhangT.F., (2017), Microstructure, mechanical properties and cutting performance of AlTiN coatings prepared via arc ion plating using the arc splitting technique, *Surface and Coatings Technology*, (311), 98-103

İnternet Kaynakları

(Int Kyn. 1) <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom> Erişim Tarihi:12.05.2020