

COMPORTAMENTO DE ANÉIS DE ÓLEO REVESTIDOS COM NITRETO DE TITÂNIO PELOPROCESSO PVD (1)JAN VATAVUK (2)VALMIR DEMARCHI (3)RESUMO :

Estuda-se o efeito do tratamento de deposição de nitreto de titânio na superfície de segmentos para anéis de óleo de motores de combustão interna.

Para tanto, compara-se esses segmentos com aqueles revestidos através da eletrodeposição de cromo normais de produção.

Para tal comparação, ensaiou-se esses anéis de óleo em um motor Ford Escort XR-3 durante cerca de 30 horas. Os resultados indicam que mesmo para um teste de curta duração como o realizado, ocorre uma ligeira degradação da camada de nitreto de titânio.

ABSTRACT :

The effect of TiN deposition by Physical Vapor Deposition (PVD) on the surfaces of steel rails used in oil control rings was analysed. These components were compared with standard chrome electroplated rails. The test was carried out in a dynamometer using a Ford Escort engine for about 30 hours. The results show that, even in a short-time test, the TiN surface starts to degrade in some regions.

- 
- (1) Seminário sobre materiais resistentes ao desgaste.
  - (2) Mestre em Metalurgia - EPUSP. Pesquisador do Centro Tecnológico de Pesquisa de Motores da COFAP.
  - (3) Engenheiro Mecânico - EPUSP. Pesquisador do Centro Tecnológico de Pesquisa de Motores da COFAP.

## 01. INTRODUÇÃO

Os anéis de pistão utilizados em motores de combustão interna devem atender aos seguintes requisitos básicos (1) :

- a) promover uma vedação efetiva dos gases de combustão impedindo que os mesmos passem da câmara de combustão ao carter do motor;
- b) impedir que uma quantidade excessiva de óleo lubrificante atinja a câmara de combustão, onde seria queimada, causando um elevado consumo de óleo;
- c) permitir a transmissão de calor do pistão para a parede do cilindro.

Dividimos os anéis de pistão em dois grandes grupos : anéis de compressão e anéis de óleo. Os requisitos a) e c) descritos acima são basicamente cumpridos pelos anéis de compressão, enquanto que o requisito b) é desempenhado em conjunto pelos anéis de óleo e de compressão.

Com as crescentes exigências presentes nos motores modernos no que se refere aos anéis de pistão, surge a necessidade de desenvolvimentos que garantam maior resistência ao desgaste, redução do consumo de óleo, projetos com baixo atrito, etc. Desta forma, este trabalho enfoca um desenvolvimento de nova cobertura para anéis de óleo.

É grande a variedade de tipos de anéis de óleo utilizados em motores. Nosso estudo foi feito utilizando-se um anel de múltiplas peças, normalmente utilizado em motores do ciclo Otto.

Conforme esquematizado na figura 1, este anel é composto por dois segmentos que são pressionados contra a parede do cilindro pelo efeito de mola proporcionado pelo expansor. Os segmentos são responsáveis pela raspagem do excesso de óleo da parede do cilindro, deixando apenas um filme de óleo que garantirá a lubrificação dos anéis de compressão. O expansor tem por função manter os segmentos separados entre si, pressioná-los contra a parede do cilindro e contra as laterais do canaleta (promovendo o efeito de vedação lateral) e ainda permitir que o óleo raspado pelos segmentos passe para o interior do pistão através dos furos de retorno de óleo.

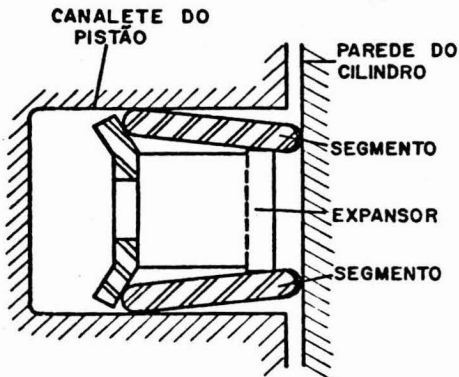


Fig.01) Vista em Corte do Anel de Óleo de Múltiplas Peças

Os segmentos, em sua forma normal de fabricação, são enrolados a partir de uma fita de aço e recebem uma camada de cromo eletrodepositada em sua face de trabalho (face de contato com a parede do cilindro). O objeto deste trabalho é comparar um segmento normal de produção (cromado em sua face de trabalho) com um segmento totalmente revestido com nitreto de titânio pelo processo PVD (Physical Vapor Deposition) (2,3). Para tal comparação foi realizado um teste em motor em dinamômetro e analisados os componentes após teste.

## 02. TÉCNICA EXPERIMENTAL

### 2.1. Descrição do Teste

#### 2.1.1. Características do motor utilizado :

- Fabricante : FORD DO BRASIL
- Modelo : FORD CHT XR3
- Construção : 4 cilindros em linha
- Potência Máxima (NBR 5484) : 63kW a 5200 rpm
- Torque Máximo (NBR 5484) : 115Nm a 3600 rpm
- Cilindrada : 1555 cm<sup>3</sup>
- Taxa de Compressão : 12:1
- Ciclo : Otto
- Combustível : álcool

#### 2.1.2. Procedimento de ensaio :

- Amaciamento : 19 horas e 45 min. segundo procedimento FORD HB 300.101.
- Levantamento de curvas de desempenho segundo procedimento FORD HB 300.202.
- Durabilidade : 10 horas a 3600 rpm x WOT (regime de máximo torque).
- Pesagens para determinação do consumo de óleo após amaciamento e durabilidade segundo procedimento COFAP.

#### 2.1.3. Componentes utilizados :

As amostras dos segmentos tratados pelo processo PVD foram montadas nos cilindros nºs 2 e 4, enquanto que os segmentos cromados normais de produção foram instalados nos cilindros 1 e 3. Os anéis de primeiro e segundo canaletes eram os normais de produção. Os pistões e camisas utilizados eram equipamento original, fabricado pela Metal Leve e COFAP respectivamente, já utilizadas anteriormente.

### 2.2. Materiais e Análise Metalográfica

Os materiais utilizados na confecção dos segmentos cromados e aqueles revestidos pelo processo PVD com nitreto de titânio, bem como os expansores seguem na Tabela I, com as respectivas durezas.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	CROMADO	PROCESSO PVD (TiN)	EXPANSORES (MOLA)
C	0,65/0,80	0,80/0,95	0,15 máx.
Si	0,15/0,35	0,35/0,50	1,0 máx.
Mn	0,40/0,80	0,25/0,40	5,50/7,50
Cr		17,0/18,0	16,0 /18,0
Mo		1,0 /1,25	
V		0,08/0,15	
Ni			3,50/5,50
N			0,25 máx.
DESCRIÇÃO	aço carbono temperado e revenido	aço inox martensítico temp.e reven.	aço inox austenítico encruado
DUREZA HV 0,2	278	400	500

No que se refere às camadas (PVD (TiN) e cromada) na Tabela II temos as espessuras e durezas típicas.

TABELA II

	ESPESSURA	DUREZA
PVD (TiN)	Aprox. 2 $\mu$ m	3500 HV (3)
Cromada	100/180 $\mu$ m	800 HV 0,1 mín. (4)

Para observação das superfícies de trabalho dos segmentos e expansores, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura JEOL T330. No caso das amostras com PVD utilizou-se, além de imagem de elétrons secundários, imagem de elétrons retroespalhados, que se apresentou mais escuro para o caso do nitreto de titânio em relação ao metal de base.

O material contra atritante (camisas) apresenta as características apontadas na Tabela III :

TABELA III

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
C		3,00/3,50
Si		2,00/2,70
Mn		0,60/0,80
P		0,50/0,80
S		0,10 máx.
Ti		0,03/0,10
Cu		0,80 min.
DUREZA		230/270 HB 5/750
MICROESTRUTURA	Matriz	Perlitica com rede de esteadita proporcional ao teor de fósforo. Ferrita <5%.
	Grafita	Predominantemente ASTM A-247 A e D, tamanho 4 a 8.

### 03. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Numa primeira análise, pode-se observar que o desgaste dos segmentos cromados foi maior do que daqueles submetidos ao Processo PVD, vide figuras 2 e 3.

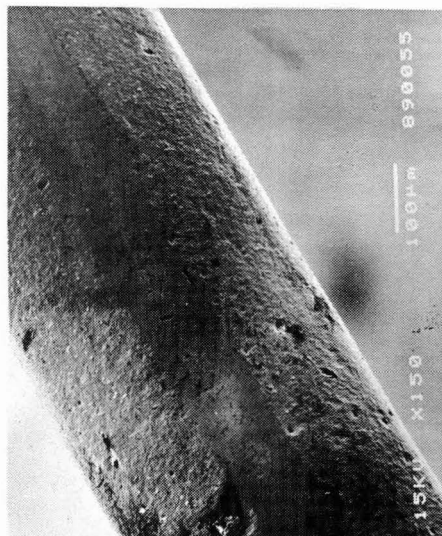
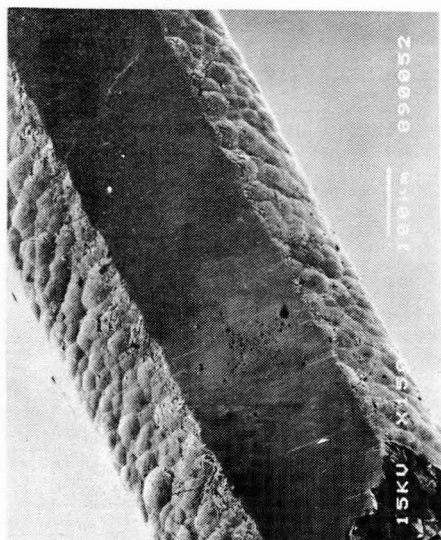


Fig. 2) Segmento Cromado

Fig. 3) Segmento com PVD (TiN)

#### Imagens de Elétrons Secundários

Observando-se as superfícies de contato dos segmentos (PVD e cromados), pode-se inferir que a pressão de trabalho neste estágio de desgastes seja maior para aqueles com PVD. Esta pressão é originada pela força exercida através dos expansores. Apesar dos segmentos cromados se apresentarem com força ligeiramente maior, as áreas de contato foram mais importantes.

As figuras 4 a 7 correspondem a aumentos crescentes da região de desgaste dos segmentos, onde pode-se notar uma maior incidência de riscos de desgaste na superfície de trabalho dos cromados. Vale lembrar que existem evidências de que o mecanismo de desgaste predominante nos anéis de óleo seja o abrasivo (5,6).



Fig. 4) Segmento Cromado

Fig.5) Segmento com PVD

Imagens de Elétrons Secundários

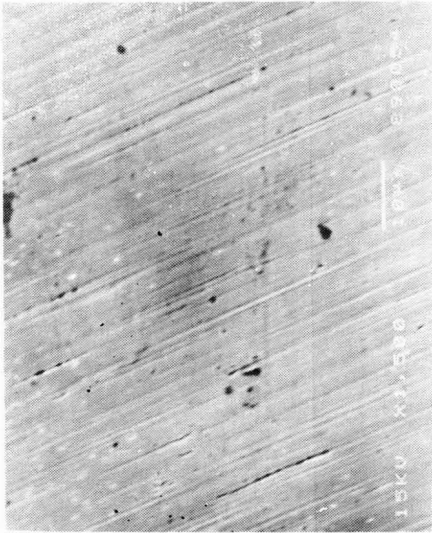


Fig. 6) Segmento Cromado

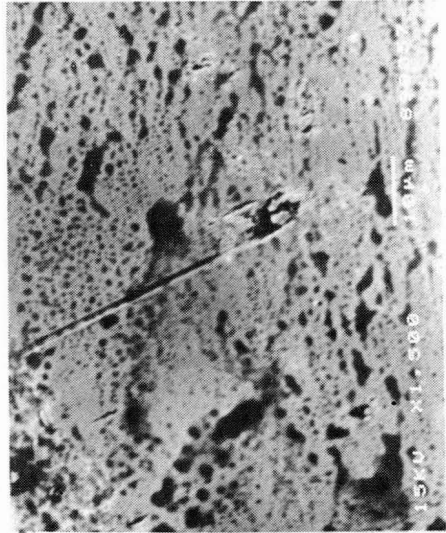


Fig. 7) Segmento com PVD

## Imagens de Elêtrons Secundários

Apesar do conhecido efeito de melhora no que tange a resistência ao desgaste de ferramentas de corte submetidas ao processo PVD, em particular a deposição de nitreto de titânio (2), as evidências do presente teste em motor de combustão interna, indicam que em certas regiões do segmento ocorreu um "desgaste" excessivo da camada de TiN. A figura 8 mostra imagem de elétrons retroespalhados, onde as regiões mais claras se aproximam da imagem do metal de base, correspondendo a uma diminuição de espessura ou mesmo de ausência de camada. Vale lembrar que sua espessura inicial é de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ .

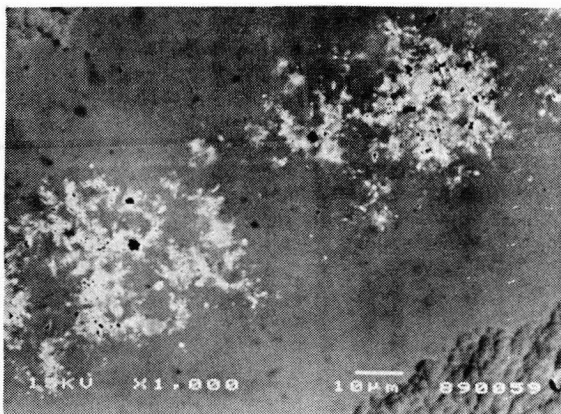


Fig. 8) Segmento com PVD.

Imagem de Elétrons Retroespalhados

Levando-se em conta que no presente teste foram utilizadas camisas já amaciadas, com uma rugosidade inicial menor do que das de camisas novas, pode-se inferir que os segmentos com PVD não tenham tido performance satisfatória. A figura 9 representa algumas regiões onde ocorreu des-tacamento da camada de TiN, o que pode eventualmente ter sido ocasionado pela dureza relativamente baixa (aprox. 400 HV) do metal de base.



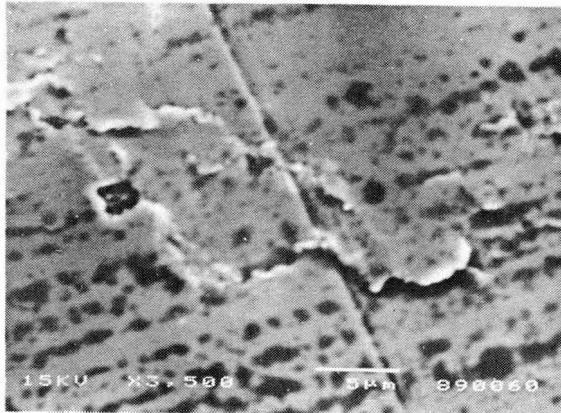


Fig. 9) Segmento com PVD.

#### Imagem de Elétrons Secundários

O aspecto visual das camisas indicou um comportamento similar quanto ao desgaste, tanto para os segmentos cromados quanto para os revestidos com nitreto de titânio.

No que diz respeito aos expansores, estes apresentaram desgaste expressivo quando em contato com os segmentos revestidos com nitreto de titânio. Vale lembrar que o metal em contato com os outros expansores era aço carbono (278HV). A figura 10 ilustra este fato.

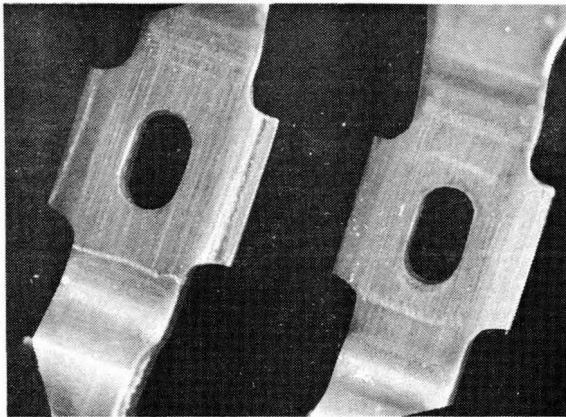


Fig.10) A esquerda: Expansor x TiN. A direita: Expansor x Aço Carbono

As figuras 11 e 12 são referentes aos expansores que trabalharam com TiN e aço carbono, respectivamente.

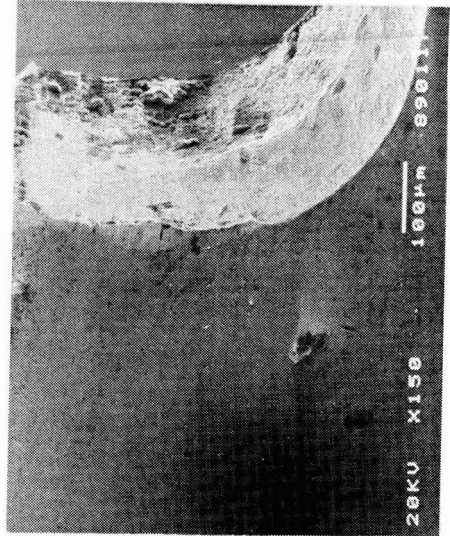
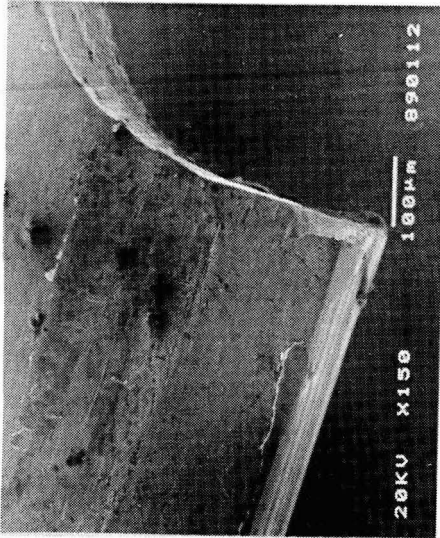


Fig.11) Expansor x Tin

Fig.12) Expansor x Aço Carbono

Imagens de Elétrons Secundários

#### 04. CONCLUSÃO

a) O revestimento de nitreto de Titânio (PVD) apresentou uma menor taxa de desgaste quando comparado ao cromo eletrolítico.

b) Os segmentos revestidos com TiN não apresentaram comportamento satisfatório quanto a durabilidade.

c) Os expansores contra atritados com segmentos revestidos com TiN apresentaram desgaste maior do que aqueles que trabalharam contra aço carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Laugênio, J. Milton et alii  
Anéis de Pistão  
Relatório Técnico COFAP nº P0103
- (2) Favery Jr, Diógenes M. & Habig, Karl-Heinz  
Comportamento Tribológico de Camadas Depositadas por PVD  
Cobem 87 - IX Congresso Brasileiro de Eng. Mecânica - Pag. 641 a  
647.
- (3) Etzkorn, H-W.  
Oberflächentechnik  
Battelle Institut E.V.
- (4) Moura, Enio L, et alii  
Anéis Cromados : Uma Nova Textura Superficial  
Relatório Técnico COFAP nº P0101
- (5) Vatajuk, J, Mariano J.R.  
Desenvolvimento de Ferro Fundido Nodular com Alta Resistência ao  
Desgaste.  
Trabalho a ser apresentado no V SIMEA.
- (6) Aeberli Kaspar, Lustgarten George-Allan  
Verbessertes Kolbenlaufverhalten bei langsamlaufenden Sulzer-  
Dieselmotoren  
MTZ, Maio.1989, pag. 197

