

COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE CAMADAS PROTETORAS
DEPOSITADAS POR PVD E CVD

No presente trabalho é feita uma avaliação do comportamento tribológico de diferentes camadas protetoras depositadas por PVD (Physical Vapour Deposition) e CVD (Chemical Vapour Deposition). Para avaliar estes depósitos foram feitos testes de desgaste abrasivo por riscamento e de desgaste por deslizamento. Tanto a deposição por PVD quanto por CVD provocaram em média um aumento da rugosidade de 1 a 2 μm em termos de R_z . A alta dureza dessas superfícies caracteriza uma alta resistência à abrasão por riscamento. O par que apresentou menor desgaste por deslizamento foi Ti(C,N)-PVD sobre S6-5-2/ Al_2O_3 .

Diógenes Marins Favery Junior
Nova Automation LTDA

Karl-Heinz Habig
Bundesanstalt fuer Materialpruefung - Berlin

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos foram desenvolvidas diversas camadas protetoras, depositadas por processos como PVD (Physical Vapour Deposition) e CVD (Chemical Vapour Deposition). Faltam, no entanto, critérios de escolha para a aplicação mais adequada de cada tipo de proteção pretendida. O comportamento tribológico desses materiais representa um dos parâmetros de escolha importante, porém deve-se considerar que os fenômenos atrito e desgaste dependem do Tribosistema, isto é, das peças, dos materiais e do meio ambiente que compõem a estrutura do Tribosistema e das condições de solicitações, as quais agem sobre esta estrutura /1/.

No presente trabalho serão apresentados os resultados da avaliação de diferentes depósitos através de medições das rugosidades, de testes de desgaste abrasivo por riscamento e de testes de desgaste por deslizamento.

2. TESTE DE DESGASTE

2.1 - Corpos de prova e materiais

Para os testes de desgaste foram empregados um disco como corpo base e um pino como contracorpo. Como material do contracorpo foi utilizado aço ferramenta X155CrVMol21 e óxido de alumínio (Al_2O_3), dois materiais que em geral possuem alta resistência ao desgaste.

As camadas protetoras foram aplicadas sobre discos de diferentes materiais previamente revenidos /2/. As combinações entre as camadas protetoras e os corpos base, como também suas rugosidades estão apresentadas na tabela 1. As condições de deposição e as características das camadas depositadas podem ser obtidas de /3-5/.

Tabela 1 - Valores das rugosidades antes e após a deposição das camadas protetoras.

	Material		C45	42CrMo4	100Cr6	X155CrVb121	S6-5-2	X10CrNiTi189
	Camada	Base						
	Sem proteção							
	R _a	µm	1,37±0,12	1,68±0,10	1,50±0,11	1,03±0,17	1,37±0,24	1,65±0,17
	R _a	µm	0,16±0,01	0,19±0,01	0,17±0,01	0,10±0,02	0,14±0,02	0,19±0,03
CVD	TiC / Ti(C,N)	R _a µm	1,79±0,44	1,81±0,60		2,86±0,21	2,59±0,43	
		R _a µm	0,26±0,06	0,27±0,07		0,35±0,05	0,37±0,08	
	TiN	R _a µm	2,29±0,63	1,78±0,24			2,47±0,35	2,27±0,42
		R _a µm	0,32±0,11	0,23±0,04			0,35±0,05	0,29±0,08
	TiC/TiN/Al ₂ O ₃	R _a µm		2,28±0,62			6,37±0,61	
		R _a µm		0,32±0,09			0,89±0,10	
PVD	TiC	R _a µm				1,77±0,16		
		R _a µm				0,15±0,01		
	Ti(C,N)	R _a µm	2,46±0,27	2,03±0,21		1,85±0,32	1,73±0,19	
		R _a µm	0,24±0,02	0,22±0,03		0,16±0,02	0,17±0,02	
	TiN	R _a µm		3,48±0,70	3,28±0,45	3,74±1,29	3,48±1,07	2,95±0,55
		R _a µm		0,38±0,09	0,28±0,05	0,41±0,24	0,35±0,07	0,28±0,03
	Ti(C,N)/TiN	R _a µm				2,86±0,71		
		R _a µm				0,24±0,07		
	Cr-N	R _a µm		3,04±0,46		2,50±0,45		
		R _a µm		0,37±0,07		0,31±0,07		

2.2 - Condições dos testes

2.2.1 - Medição da rugosidade

A rugosidade foi medida através do rugosímetro T20DC da firma Hommel. O percurso de medição escolhido foi de 4,0 mm e o Cut-off de 0,8mm.

2.2.2 - Teste de desgaste abrasivo

O processo utilizado para o teste de desgaste abrasivo por riscamento foi o do prato abrasivo (Fig. 1). Neste processo a solicitação tribológica foi produzida por partículas de Flint (granulometria 220), Alumina (granulometria 220), Carbonato de Silício (granulometria 220) e Diamante (granulometria 600, 200 µm). Os três primeiros tipos de partículas estavam fixados a um papel e as partículas de diamante sobre um disco. Os desgastes linear e em massa foram

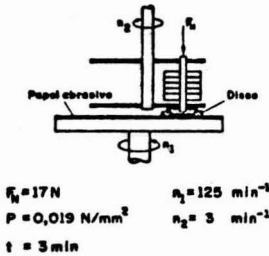
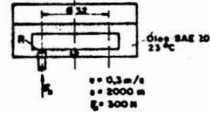


Fig.1- Esquema de teste de desgaste por riscamento



Pino:	a) X155 CrV Mo121	b) Al_2O_3
	$810 \pm 13 \text{ HV10}$	$R_2 = 0,8 \mu\text{m}$
	$R_2 = 1,5 \mu\text{m}$	$R = 12 \text{ mm}$
	$R = 6 \text{ mm}$	
Disco:	Aço com camada protetora	

Fig.2- Esquema de teste de desgaste por deslizamento

medidos respectivamente por meio de um dispositivo apalpador eletrônico e com uma balança analítica.

2.2.3 - Teste de desgaste por deslizamento

Para o teste de desgaste por deslizamento utilizou-se uma máquina do tipo pino-disco (Fig.2). O pino possuía na sua extremidade de de contato uma calota esférica, que gerava no começo do teste um contato pontual, que se transformava em uma área, com o decorrer do teste, devido ao desgaste. Essa geometria de contato foi escolhida pois fornece uma boa repetibilidade e evita erros de ajuste na montagem. Supondo que o pino e o disco de aço não tenham camada protetora, tem-se uma pressão de contato hertziana P_0 de 2800 N/mm^2 . Para par Aço/ Al_2O_3 esta pressão é menor ($P_0 = 2000 \text{ N/mm}^2$ considerando $E = 350000 \text{ N/mm}^2$ e $\nu = 0,3$), devido ao maior raio da calota do pino de Al_2O_3 . Esta pressão no início do teste provoca uma alta parcela de contato metal-metal (atrito limítrofe), de modo que o coeficiente de atrito inicial fornece uma indicação sobre a resistência à adesão das camadas protetoras. O coeficiente de atrito inicial dos pares que tem tendência à adesão geralmente é maior que 0,3 e situa-se em torno de 0,1 para pares que não tenham essa tendência /6/.

O desgaste linear do corpo base e do contracorpo bem como o coeficiente de atrito foram medidos continuamente durante o ensaio.

Para que se pudesse diferenciar as camadas foram executados testes contra um disco de diamante. Os resultados estão apresentados nas Figuras 5 e 6. As medidas de desgaste foram feitas após 30 e 60 segundos de teste. Comparando os resultados, nota-se um maior desgaste das camadas de nitreto de titânio, não existindo uma diferença significativa entre os métodos de aplicação PVD e CVD.

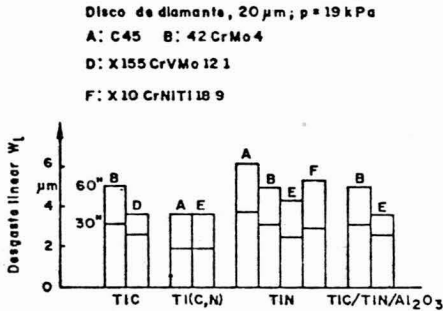


Fig.5 - Desgaste abrasivo de camadas depositadas por CVD quando ensaiadas com partículas de diamante

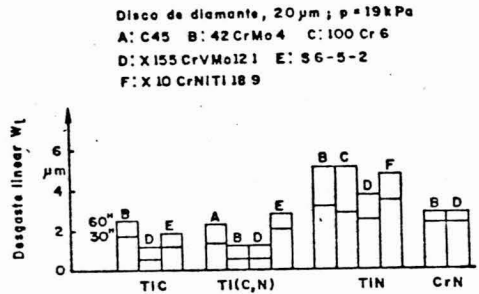


Fig.6 - Desgaste abrasivo de camadas depositadas por PVD quando ensaiadas com partículas de diamante

Em geral as camadas depositadas por PVD apresentaram um desgaste menor do que as depositadas por CVD. Para melhor avaliação deste resultado é necessário que um grande número de testes, em diferentes lotes, sejam realizados.

3.3 - Resultados dos testes de desgaste por deslizamento

3.3.1 - Camadas protetoras depositadas por CVD

Os resultados dos testes dos pares com camadas de nitreto de titânio estão apresentados na Figura 7. Os aços para beneficiamento C45 e 42CrMo4 bem como o aço inox X10CrNiTi189 com camadas de nitreto de titânio tenderam ao engripamento quando os contracorpos e

O desgaste planimétrico do corpo base e de contracorpo também foi levantado. Ele é igual à área do perfil de desgaste medido perpendicularmente à área de contato e à direção de deslizamento, para esta medição foi utilizado um rugosímetro.

3. RESULTADOS

3.1 - Resultados das medições da rugosidade

A deposição das camadas tanto por CVD como por PVD provocou em média um aumento da rugosidade R_z de 1 a 2 μm e R_a de 0,05 a 0,25 μm , conforme mostrado na Tabela 1. Como exceção figuram as camadas de $\text{TiC}/\text{TiN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ depositadas por CVD, que tiveram um aumento mais acentuado da rugosidade. A deposição de camadas de nitreto de titânio por PVD gerou uma rugosidade em termos de R_z um pouco mais elevada do que a por CVD. Esta rugosidade foi causada pela formação de picos mais altos por este tipo de deposição (Fig. 3).

3.2 - Resultados dos testes de desgaste abrasivo

As camadas depositadas por CVD e PVD quando ensaiadas com partículas de carboneto de silício tiveram um baixo nível de desgaste, apresentando desgaste significativo apenas no início do ensaio (Fig. 4).

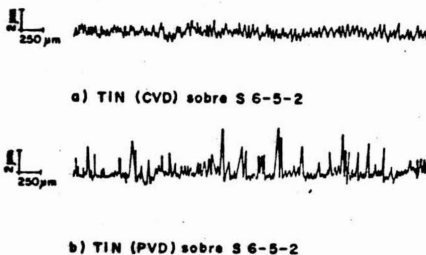


Fig.3 - Gráfico da rugosidade das camadas de nitreto de titânio depositadas por PVD e CVD

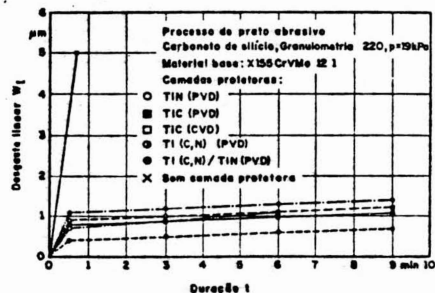


Fig.4 - Desgaste abrasivo de camadas depositadas por PVD e CVD quando ensaiadas com partículas de SiC

ram de aço X155CrVMo121, isto pode ser avaliado pelo alto coeficiente de atrito. O nitreto de titânio aplicado ao aço ferramenta S6-5-2 apresentou desempenho melhor, o coeficiente de atrito inicial ($f=0,27$) reduziu-se a 0,1 (série B) e o desgaste da camada foi praticamente nulo. Os pares com contracorpos de óxido de alumínio comportaram-se melhor, o coeficiente de atrito inicial foi apenas um pouco elevado. Para o par com camada de nitreto de titânio sobre o aço X10CrNiTi189 houve engripamento após a camada ter sido totalmente desgastada.

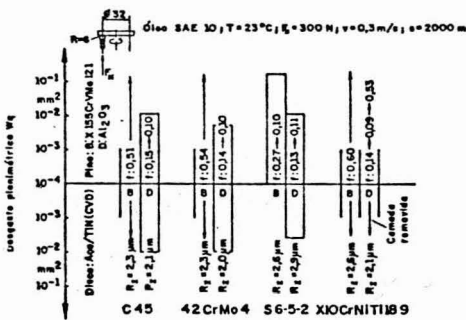


Fig. 7 - Comportamento tribológico de pares com camadas de TiN-CVD

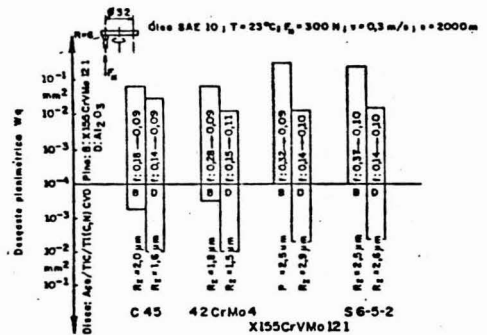


Fig. 8 - Comportamento tribológico de pares com camadas de TiC/Ti(C,N)-CVD

As camadas de carboneto de titânio/carbonitreto de titânio apresentaram resultados melhores (Figura 8). O elevado coeficiente de atrito inicial para os pares com contracorpos de aço retornaram ao nível de 0,1 (série B). As camadas aplicadas sobre os aços ferramenta X155CrVMo121 e S6-5-2 apresentaram desgaste desprezível, enquanto que nos casos dos aços para beneficiamento C45 e 42CrMo4 o desgaste foi pequeno. No caso dos pares com contracorpos de óxido de alumínio o coeficiente de atrito manteve-se baixo. Os contracorpos apresentaram um desgaste menor e as camadas de TiC/Ti(C,N) nos corpos base desgastaram-se mais que no caso dos pares com contracorpos de aço.

As camadas de carboneto de titânio/nitreto de titânio/óxido

do de alumínio foram depositadas sobre os aços 42CrMo4 e S6-5-2. A rugosidade das camadas sobre o aço ferramenta foi maior que sobre o aço para beneficiamento (Figura 9). Camadas mais rugosas provocaram um alto desgaste do contracorpo de aço, e no caso do contracorpo de óxido de alumínio ocorreu engripamento. Para os pares com camadas mais lisas do corpo base (TiN/TiC/Al₂O₃ sobre 42CrMo4) o atrito inicial elevado diminuiu, durante o ensaio, a 0,1. O desempenho do par com contracorpo de óxido de alumínio foi melhor do que com contracorpo de aço pois apresentou menor desgaste.

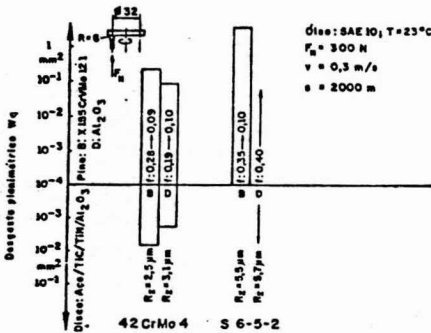


Fig.9 - Comportamento tribológico de pares com camadas TiC/TiN/Al₂O₃ - CVD

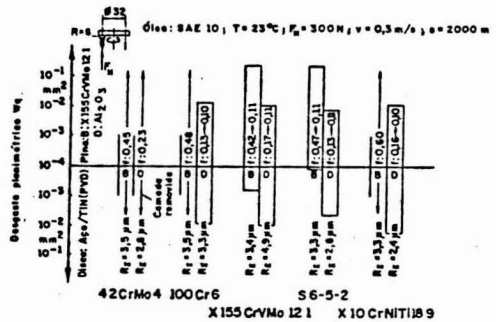


Fig.10 - Comportamento tribológico de pares com camadas TiN - PVD

3.3.2 - Camadas protetoras depositadas por PVD

As camadas de nitreto de titânio depositadas por PVD tiveram um comportamento em termos de atrito e de desgaste parecido com as depositadas por CVD (Fig. 10). As camadas depositadas sobre os aços relativamente moles 42CrMo4, 100Cr6 e X10CrNiTi189 quando atritadas contra corpos de aço X155CrVMo121 engriparam, o que não ocorreu com as camadas depositadas sobre aços mais duros como X155CrVMo121 e S6-5-2. Para estes pares o desgaste das camadas de nitreto de titânio foi pequeno. Já para os pares com contracorpos de óxido de

alumínio ocorreu engripamento somente após as camadas terem sido totalmente desgastadas.

As camadas de carbonitreto de titânio comportaram-se de maneira análoga às camadas de nitreto de titânio (Figura 11). Para os pares com contracorpos de aço X155CrVMo121 não ocorreu engripamento somente nos casos em que o corpo base era S6-5-2 com camada protetora. Para este par o desgaste da camada de carbonitreto de titânio não foi mensurável. Quando os contracorpos eram de óxido de alumínio não houve perigo de engripamento. O contracorpo de óxido de alumínio não apresentou desgaste quando friccionado contra carbonitreto de titânio sobre C45.

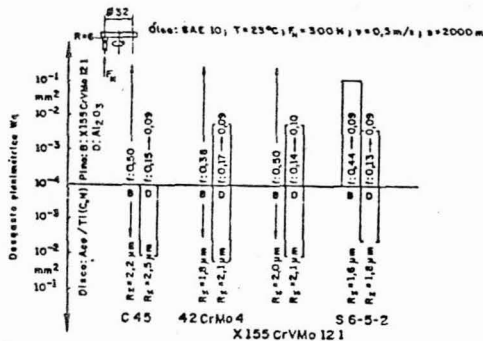


Fig. 11 - Comportamento tribológico de pares com camadas de Ti(C,N)-PVD

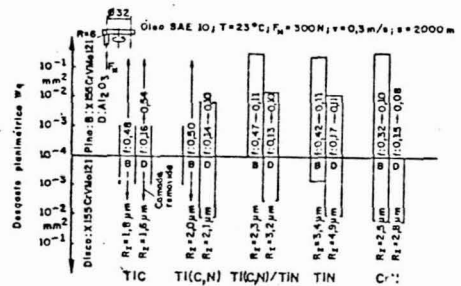


Fig. 12 - Comportamento tribológico de pares com diferentes camadas depositadas por PVD

Os resultados dos testes das diferentes camadas depositadas por PVD sobre X155CrVMo121 estão combinados na Figura 12. As camadas de carboneto de titânio e de carbonitreto de titânio, que tiveram como contracorpos aço X155CrVMo121, apresentaram uma maior tendência ao engripamento do que as camadas de nitreto de titânio e nitreto de cromo. No que se refere a desgaste, a camada de nitreto de titânio, que foi depositada sobre carbonitreto de titânio, foi a que apresentou melhores resultados. O engripamento para os pares com con

tracorpos de óxido de alumínio ocorreu somente após a remoção da camada protetora.

4. RESUMO

A deposição de camadas por PVD e CVD, provocou em geral um aumento da rugosidade R_z da ordem de 1 a 2 μm .

As camadas de carboneto de titânio e carbonitreto de titânio depositadas por PVD apresentaram, dentro das camadas aqui testadas, uma maior resistência ao desgaste abrasivo por riscamento.

A maioria das camadas protetoras, que tiveram como contracorpos aço X155CrVMo121, apresentaram uma maior resistência ao desgaste por deslizamento do que as que tiveram como contracorpos óxido de alumínio. Dentre elas destacaram-se as camadas de TiC/Ti(C,N)-CVD sobre X155CrVMo121 e S6-5-2, TiC/TiN/ Al_2O_3 -CVD sobre S-6-5-2, TiN-CVD e PVD sobre S6-5-2 e Ti(C,N)-PVD sobre S-6-5-2, que tiveram praticamente desgaste nulo.

O óxido de alumínio como contracorpo teve uma maior resistência ao desgaste por deslizamento do que o aço X155CrVMo121, quando atritado com a maioria das camadas protetoras mencionadas.

O par que apresentou menor desgaste total foi Ti(C,N)-PVD sobre S-6-5-2/ Al_2O_3 .

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas de laboratório 5.24 "Verschleiss-Schutz; Tribometrie und Tribophysik" do Bundesanstalt fuer Materialpruefung (BAM)-Berlin que participaram da execução deste trabalho.

Este trabalho foi financiado pelo programa de pesquisa e desenvolvimento do Bundesministerium fuer Forschung und Technologie (BMFT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ Czichos, H.
Tribology - a system approach to the science and technology
of friction, lubrication and wear.
Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 1978.
- /2/ Kunst, H.
Eigenschaften von Werkstoffen mit Verschleiss -
Schutzschichten I. Einleitung, Übersicht und Planung.
Harterei - Tech. Mitt. 37 (1982) 4, pag. 158-159.
- /3/ Kunst, H.
Eigenschaften von Werkstoffen mit Verschleiss -
Schutzschichten, 2 Teil-I. Einleitung, Übersicht
und Planung
Harterei - Tech. Mitt. 40 (1985) 6, pag. 250-251
- /4/ Liedtke, D.
Eigenschaften von Werkstoffen mit Verchleiss -
Schutzschichten, 2 Teil-III. Ergebnisse von
Untersuchungen des Gefuges, der Schichtdicke,
Harte und Morphologie von Verschleiss-Schutzschichten.
Harterei - Tech. Mitt 40 (1985) 6, pag. 257-264
- /5/ Roser, K.
Eigenschaften von Werkstoffen mit Verschleiss -
Schutzschichten, 2 Teil-V. Erzeugung von Verchleiss -
Schutzschichten mit CVD-Verfahren. Bestimmung von
Eigenspannungen und Texturen.
Harterei - Tech. Mitt. 40 (1985) 6, pag. 276-282.

S U M A R Y

In this paper it will be discussed the tribological properties of different wear resistant coatings deposited by PVD (Physical Vapour Deposition) and CVD (Chemical Vapour Deposition). To verify the properties of such coatings, tests with abrasive paper and tests under condition of mixed lubrication were carried out.

The deposition of coatings by PVD and CVD causes an increasing of roughness R_z of about 1 to 2 μm . The high hardness of such coatings characterize a high abrasion resistance. The pair that showed the lowest wear was Ti(C,N)-PVD over S6-5-2/ Al_2O_3 .