

# CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS MECANISMOS DE DESGASTE DE FERRAMENTAS DE METAL DURO REVESTIDAS COM DLC NA USINAGEM DE LIGAS DE ALUMÍNIO<sup>1</sup>

*Giovanni Rocha dos Santos<sup>2</sup>  
Ricardo Diego Torres<sup>3</sup>  
Fred Lacerda Amorim<sup>3</sup>*

## **Resumo**

Neste projeto está sendo investigada a vida de ferramentas de fresamento revestidas com DLC na usinagem de uma liga de alumínio com 18% de silício. Os resultados preliminares mostram que a vida das ferramentas revestidas com DLC é superior a ferramentas não revestidas com o mesmo nível de rugosidade. A final camada de DLC com um coeficiente de atrito em torno de 0,09 reduz o desgaste adesivo no flanco do inserto de metal duro.

**Palavras-chave:** Revestimentos, DLC, Desgaste, Usinagem

<sup>1</sup> Contribuição Técnica Apresentada no 3º Encontro da Cadeia de Moldes, Matrizes e Ferramentas.

<sup>2</sup> Aluno de Mestrado da PUCPR e Eng. De Processos da Balzers Balinit do Brasil.

<sup>3</sup> Professor Doutor do Curso de Engenharia Mecânica da PUCPR.

## 1 INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio são amplamente utilizadas na indústria de componentes mecânicos devido a sua baixa massa específica (e.g.  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) e resistências mecânicas que podem atingir 400 MPa, no caso das ligas submetidas ao tratamento térmico de precipitação. As ligas de alumínio silício são as mais utilizadas na obtenção de peças fundidas, em função do seu baixo ponto de fusão, que próximo ao ponto eutético atinge valores tão baixos quanto  $550^\circ\text{C}$ . O silício, também, oferece uma resistência ao desgaste quando os componentes são submetidos a temperaturas e solicitações mecânicas elevadas como no caso de pistões para motores de combustão interna. No caso de motores Diesel as solicitações mecânicas e térmicas são mais elevadas necessitando a aplicação de ligas de alumínio com teores de silício em torno de 18%.

Na usinagem de alumínio são utilizados basicamente o metal duro sem revestimento e o PCD (Polycrystalline Diamond). As ferramentas de metal duro são aplicadas basicamente em operações de desbaste e usinagem interna. O PCD é aplicado especialmente em operações de acabamento em função do seu elevado custo.

Na a usinagem de alumínio utilizando ferramentas de metal duro, a vida da ferramenta é limitada, principalmente, pelo desgaste adesivo. O desgaste adesivo, o qual é bastante intenso, ocorre basicamente pela transferência de material da peça de trabalho para a ferramenta. A adesão de material da peça de trabalho na superfície da ferramenta pode ocorrer de duas formas diferentes: no primeiro caso envolve a formação de gume postiço (Built-up Edge) que é a adesão de material da peça nas arestas de corte da ferramenta. No segundo caso, o material transferido adere na superfície de saída de cavaco da ferramenta. Este fenômeno é chamado de camada postiça (Built-up Layer).

A solução para minimizar o desgaste adesivo seria o desenvolvimento de um revestimento que não interaja com o componente em termos da formação de intermetálicos, e que o processo de deposição não prejudique o acabamento da peça no que diz respeito à rugosidade da ferramenta. Os revestimentos a base de TiN, TiCN e TiAlN, que são normalmente aplicados em ferramentas de metal duro para usinagem de aço,<sup>(1,2)</sup> não podem ser utilizados em ferramentas para corte de alumínio, pois o titânio reagiria com alumínio formando compostos intermetálicos que aceleram o processo de desgaste. O processo de arco catódico utilizado na deposição do revestimento a base de carbonitretos no substrato de metal duro piora a rugosidade em até 100%.<sup>(3,4)</sup> Com base no que foi exposto previamente os filmes de DLC (Diamond Like Carbon)<sup>(2)</sup> oferecem uma alternativa para melhorar a vida das ferramentas, pois a fina camada depositada não interage com o componente. Um outro aspecto importante diz respeito ao baixo coeficiente de atrito dos revestimentos a base de carbono (e.g.  $\mu=0,2$ ). Neste projeto está sendo investigada a vida de ferramentas de metal duro revestidas com DLC na usinagem de ligas de alumínio com teor de silício de 18%.

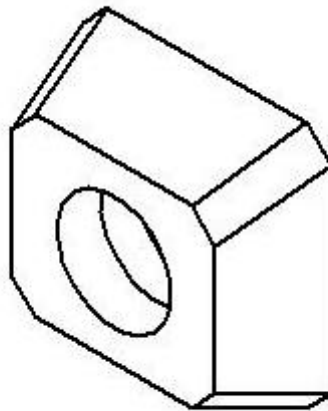
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As ferramentas de metal duro foram preparadas a partir de blanks sinterizadas. A geometria final das ferramentas foi obtida através da afiação com rebolo de diamante. Após a afiação as ferramentas foram recobertas com um filme de DLC através da técnica de PACVD (*Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition*). As ferramentas foram, então, submetidas a um ensaio de fresamento de uma liga de alumínio cuja composição é mostrada na Tabela 1 abaixo.

**Tabela 1.** Composição química da liga de alumínio –silício.

Elemento	Silício (%)	Cobre (%)	Manganês (%)	Níquel (%)	Al (%)
% Peso	16,5 – 17,5	4,2 – 4,9	0,5 – 0.65	0,25	Saldo

Os parâmetros de usinagem utilizados nos ensaios práticos de fresamento foram os seguintes: rotação de 1500 rpm, velocidade de corte de 367 m/min e avanço 0,25 mm/rot. A operação de fresamento foi refrigerada com óleo solúvel. Após a usinagem as arestas de corte das ferramentas foram analisadas com o objetivo de determinar a magnitude e os mecanismos de desgaste associados a usinagem da ligas de alumínio. Adicionalmente determinou-se o coeficiente de atrito do filme de DLC. O coeficiente de atrito foi determinado através da técnica esfera sobre o plano. A velocidade de deslocamento da esfera de aço no substrato de alumínio foi 3,14 cm/s e amplitude de 2mm. A esfera utilizada neste estudo tem 6 mm de diâmetro confeccionada em o aço 100 Cr 6. Ensaio foi conduzido em uma temperatura de 22 °C e humidade de 52%. A Figura 1 mostra a geometria da ferramenta de fresamento utilizada neste estudo.



**Figura 1.** Geometria da ferramenta utilizada no fresamento da liga de alumínio.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISE

A vida útil do inserto de metal duro com DLC foi superior ao inserto sem revestimento, sendo que o inserto revestido e não revestido apresentaram uma rugosidade por volta de 30  $\mu\text{m}$ . As Tabelas 2 e 3 apresentam as medidas de rugosidade das ferramentas utilizadas neste estudo. A ferramenta com DLC usinou 630 peças por aresta, enquanto que a média histórica de peças usinadas dos insertos sem revestimento era 200 peças por aresta. Um outro aspecto importante a ser ressaltado é que o processo de deposição do DLC por PACVD não alterou a rugosidade dos insertos como pode ser constatado nas Tabelas 2 e 3.

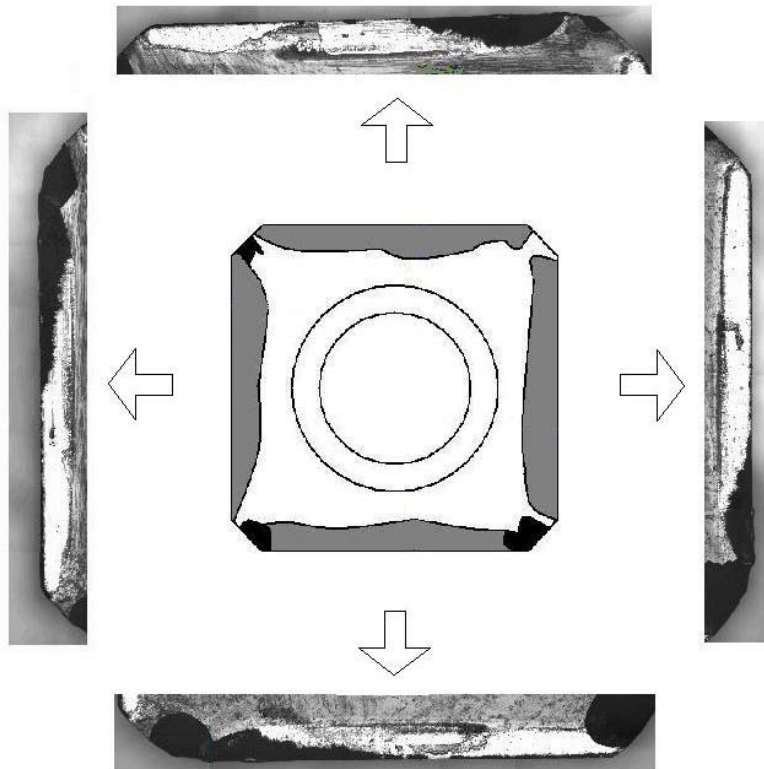
**Tabela 2.** Rugosidade  $R_a$  dos Insertos antes da Deposição.

Amostra	M1 ( $\mu\text{m}$ )	M2 ( $\mu\text{m}$ )	M3 ( $\mu\text{m}$ )	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão
1	0,04	0,02	0,02	0,03	0,012
2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,000
3	0,03	0,02	0,04	0,03	0,010

**Tabela 3.** Rugosidade  $R_a$  dos Insertos depois da Deposição.

Amostra	M1 ( $\mu\text{m}$ )	M2 ( $\mu\text{m}$ )	M3 ( $\mu\text{m}$ )	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000
3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000

O coeficiente de atrito é uma propriedade fundamental quando se trata desgaste adesivo.<sup>(4)</sup> O coeficiente de atrito dos revestimentos a base de nitreto de titânio situam – se entre 0,5 e 0,6.<sup>(3)</sup> Os valores reportados<sup>(5)</sup> para os filme a base de carbono situam-se entre 0,02 e 0,2, dependendo do processo de obtenção do filme. O coeficiente de atrito medido nas amostras revestidas com DLC neste trabalho situou-se entre 0,07 e 0,11. A Figura 2 abaixo mostra o aspecto das arestas de corte da ferramenta de metal duro revestida com DLC. Nota-se que o principal mecanismo de desgaste é o adesivo (parte branca da Figura 2), observa-se, também que houve a quebra da ferramenta (parte escura da Figura 2), a fratura observada foi ocasionada provavelmente pela formação de arestas postiças. O Desgaste adesivo médio no flanco das ferramentas foi de 0,94 mm.



**Figura 2.** Aspecto da ferramenta de metal duro revestido com DLC após usinagem de alumínio com 18% de silício.

#### 4 CONCLUSÕES

Os filmes a base de DLC oferecem uma alternativa para o aumento de vida de ferramentas utilizadas na usinagem de alumínio. O baixo coeficiente de atrito do DLC reduz o desgaste adesivo no flanco dos inserts, diminuindo a extensão da formação de arestas postiças.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 HEIDSIECK, H. Status of vacuum and plasma technology. **Surface and Coatings Technology**, v. 112, n.1-3, p. 324-338, Feb. 1999.
- 2 TORRES, R.D.; SANTOS, G.R. ; VICENTE, E.C. ; SIQUEIRA, J.C.M. Caracterização tribológica e microestrutural de filmes finos obtidos por PVD. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 16., 2004, Porto Alegre. **Anais...** 1 CD-ROM, p. 212-222.
- 3 TORRES, R.D; SIQUEIRA, C. J. M; AMORIM, F.L. Efeito do microjateamento em substratos de metal duro revestidos com filmes finos. In: CONGRESSO ANUAL DA

ABM, 59., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 2004. 1 CD-ROM, p. 4043-4051.

- 4 ENKE, K. Dry machining and increase of endurance of machine parts with improved doped DLC coatings on steel, ceramics and aluminium. **Surface and Coatings Technology**, v.116-119, p. 488-491, Sept.1999.
- 5 DUCROS, C.; BENEVENT, V.; SANCHETTE, F. Deposition, characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools. **Surface and Coatings Technology**, v. 163-164, p.681-688, Jan. 2003.

# CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF WEAR MECHANISMS IN DLC COVERED HARD METAL TOOL IN MACHINING OF ALUMINUM ALLOYS

*Giovanni Rocha dos Santos  
Ricardo Diego Torres  
Fred Lacerda Amorim*

## **Abstract**

In this work DLC covered hard metal tool has been tested in a milling operation of an aluminum alloy with 18% of silicon. The performance of the DLC covered tool is three times better than the uncovered tool with the same roughness level. The low coefficient friction of the DLC thin film reduces the flank adhesive wear of hard metal tool.

**Key-words:** Coatings; DLC; Wear; Machining.