



## **Resistência à erosão de um revestimento de Carboneto de Tungstênio (WC 12Co) e do aço Carbono 1020 carbonitretado**

**Objetivo:** Determinar a resistência ao desgaste por erosão de um revestimento aspergido e amostra carbonitretada.

### **CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS TESTADOS**

Amostras de aço AISI 1020 carbonitretados e revestimentos de WC-12Co depositados por aspersão térmica HVOF.

### **RESULTADOS DOS TESTES**

Ambas as amostras apresentam valores de durezas típicas, sendo a dureza do revestimento de WC-12Co praticamente o dobro do material carbonitretado.

Os resultados obtidos nas condições de teste laboratoriais empregadas mostram que os revestimentos de WC-12Co depositados por aspersão térmica HVOF apresentam uma resistência ao desgaste erosivo 4,2 vezes superior ao do material carbonitretado. Se o revestimento aspergido apresentasse um acabamento superficial similar ao do material carbonitretado, essa diferença deveria ser ainda maior.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. EQUIPAMENTO DE TESTE E PARÂMETROS DO ENSAIO

O equipamento para a realização dos testes de desgaste erosivo foi baseado na norma ASTM G76-95 “Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets” (em anexo). O equipamento é composto por uma câmara de testes com a capacidade de realizar um controle sobre a temperatura do teste (da temperatura ambiente até 1100°C), de um sistema de aquecimento de ar comprimido (quando necessário) e de um sistema de aceleração de partículas.

O sistema de aceleração de partículas e desgaste erosivo tem a função de misturar o ar aquecido com as partículas e acelerá-las até o material alvo, proporcionando o fenômeno da erosão. A Figura 9 apresenta, esquematicamente, o sistema de aceleração. Ele é composto por um venturi, com uma entrada para o ar, e outra para as partículas. O carregamento das partículas só é possível devido ao vácuo produzido pelo venturi, criando um fluxo homogêneo de partículas e ar. A Figura 10 mostra um diagrama esquemático do venturi.

O fluxo de partículas erosivas é então injetado e acelerado em um longo tubo metálico. A utilização de um tubo com grande comprimento (região de aceleração) garante que todas as partículas alcancem a velocidade do fluxo de gás.

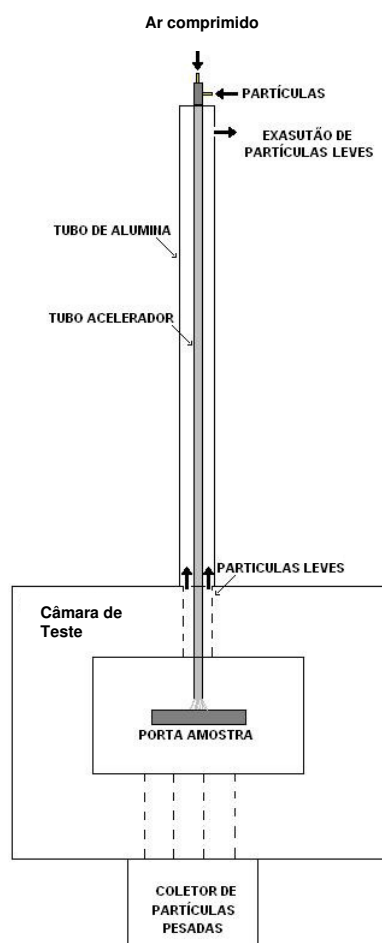


FIGURA 9 – Diagrama esquemático do sistema de aceleração de partículas e desgaste erosivo.

O restante do sistema de aceleração consiste em um tubo metálico de aço inoxidável 316, de 1,6 m e com diâmetro interno de 4,5 mm; permitindo que as partículas se distribuam com maior homogeneidade na corrente de ar comprimido, levando ao equilíbrio de velocidades das partículas e do ar aquecido. A velocidade do fluxo de ar é controlada através de um sistema de medida de vazão através de um venturi com tomada de pressão.

No interior da câmara de teste é colocado o corpo-de-prova a ser desgastado, formando um ângulo com o fluxo de partículas aceleradas no interior do tubo acelerador. O corpo-de-prova é encaixado em um suporte com um goniômetro (porta amostra), que permite o ajuste do ângulo do corpo-de-prova com o fluxo de partículas.

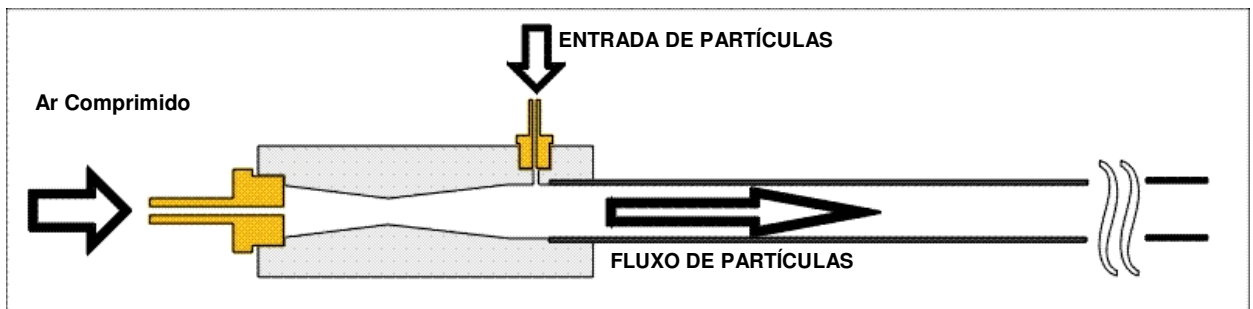


FIGURA 10 – Diagrama esquemático do venturi, dispositivo que suga as partículas erosivas, misturando e homogeneizando-as com ao ar aquecido.

O porta-amostra será fixado externamente na porta do forno, permitindo que os ajustes ao ângulo de ataque possam ser feitos externamente. Assim, o corpo-de-prova a ser testado será colocado a uma distância de 10 mm do bico acelerador e com um ângulo ajustável por meio de um goniômetro simples.

A alimentação de material erodente é realizada através de um sistema de alimentação especial, onde o material é dosado através de uma roda com cavidades de volume definido, e a taxa de alimentação é alterada através da mudança do número de rotações por minuto da roda, através de um inversor de frequência. A Figura 11 mostra o sistema de alimentação empregado nos testes.

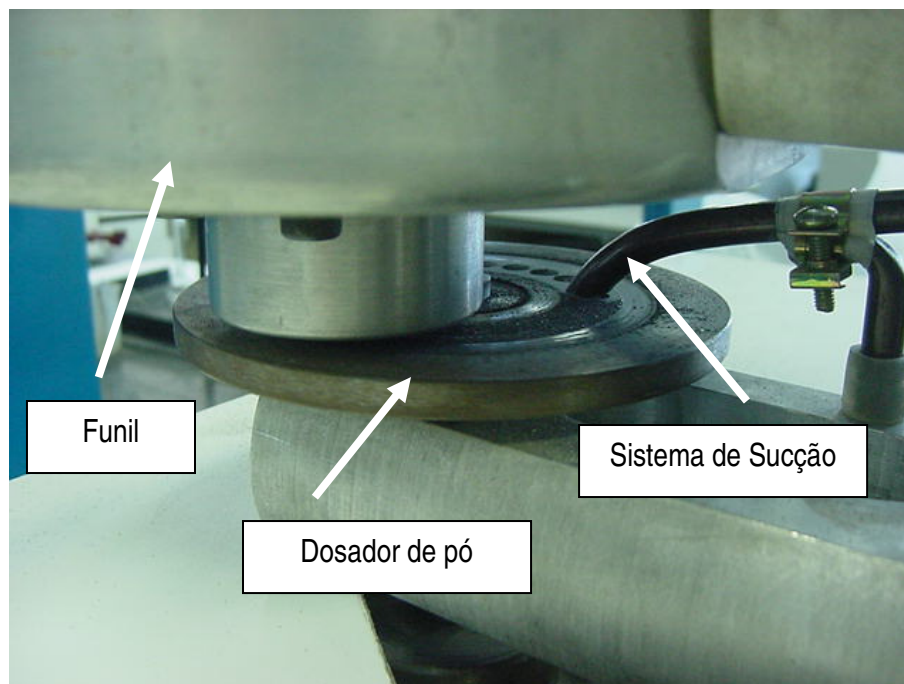


Figura 11 – Sistema de alimentação de material erosivo.

A Figura 12 mostra o interior da câmara de testes, onde pode-se ver a posição da amostra em relação ao fluxo de material erosivo.

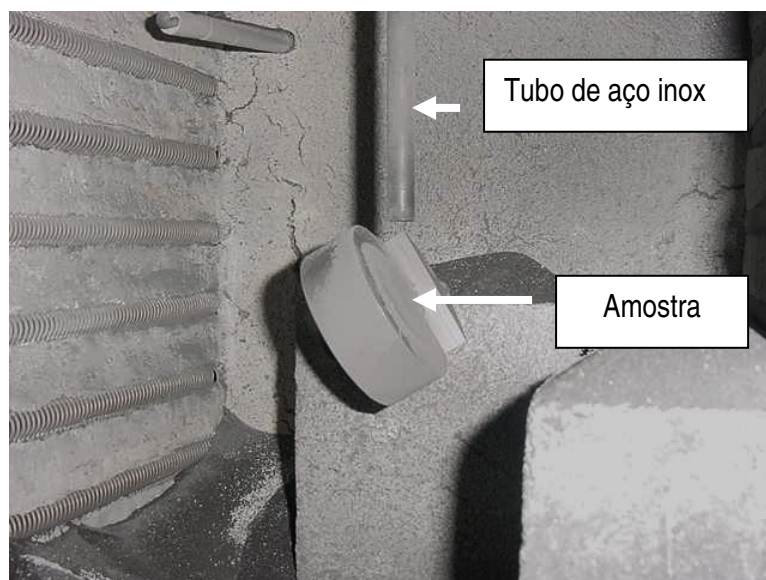


Figura 12 – Posicionamento da amostra em relação ao fluxo de material erosivo.

A Tabela 1 resume os principais parâmetros empregados para a caracterização dos revestimentos e amostras carbonitretadas. Os parâmetros dos testes foram similares para ambas as amstras.

Tabela 1 – Parâmetros do teste de desgaste por erosão

PARÂMETRO	VALOR
Velocidade do erosivo	56,3 m/s
Taxa de alimentação do erosivo	1050 g/h
Ângulo de ataque	30°
Temperatura do ensaio	20°C
Tempo de ensaio	1 hora

## 2.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.2.1. PERDA DE MASSA E VOLUME

A determinação da resistência ao desgaste é a medida normalmente realizada em termos da perda de massa das amostras em função das condições de teste. No caso dos testes de desgaste erosivo, os resultados são normalmente normalizados pela quantidade de material erodente empregado, desde que a taxa de injeção de material erodente seja mantido constante, de acordo com a equação 2

$$PM = \frac{m_i - m_f}{m_a} \quad \text{Equação (2)}$$

onde: PM = perda de massa do revestimento (%);

$m_i$  = massa inicial do corpo-de-prova antes de sofrer o desgaste erosivo (g);

$m_f$  = massa final do corpo-de-prova após sofrer o desgaste erosivo (g).

$m_a$  = massa de abrasivo empregada no teste (g)

As medidas de massa são realizadas após os testes em uma balança digital Sartorius, com capacidade de medida de 0,00001g.

A Norma ASTM G105A determina que a quantificação do desgaste deve ser expressa em perda de volume. Assim, a partir dos valores de massa dos corpos-de-prova antes e após o desgaste erosivo, determina-se também a perda de volume dos revestimentos. Destaca-se ainda que a perda de volume pode ser um tanto mais precisa que a perda de massa, pois leva em consideração a densidade do material de revestimento. E, uma vez que cada revestimento apresenta densidades diferentes, é interessante determinar o valor real da quantidade de desgaste sofrido para cada material.

A perda de volume das amostras foi calculada considerando-se que apenas o revestimento sofreu desgaste durante o teste. A variação de volume absoluto foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$\Delta V = \frac{PM}{\rho_r} \quad \text{Equação (4.2)}$$

onde:  $\Delta V$  = variação de volume do revestimento ( $\text{cm}^3$ );

$PM$  = perda de massa, calculada através da equação 2

$\rho_r$  = densidade do revestimento ( $\text{g.cm}^{-3}$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A medida de microdureza Vickers 200g mostra que o revestimento WC-12Co apresenta um valor de microdureza de  $HV_{200}$  1200 (média de 5 pontos), valor este considerado típico para um revestimento aspergido por aspersão térmica HVOF. A microdureza das amostras carbonitretadas é de  $HV_{200}$  712, onde valores típicos para dureza de camadas carbonitretadas situam-se entre 60-65 HRC, o que significa uma microdureza Vickers equivalente de 697-820.

A Figura 12 apresenta os resultados dos testes de erosão. Como se pode ver, os revestimentos de WC-12Co depositados por aspersão térmica HVOF apresentam uma perda de volume da ordem de 4,2 vezes inferior ao do material carbonitretado nas condições de teste empregadas, o que mostra que estes revestimentos possuem uma resistência ao desgaste muito superior.

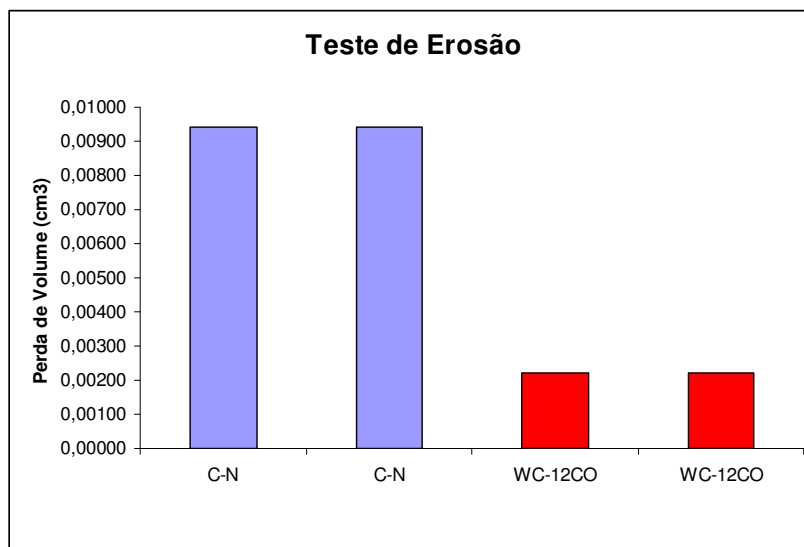


Figura 12 – Resultados do teste de erosão. O revestimento WC-12Co apresenta uma resistência 4,2 vezes maior do que a amostra carbonitretada nas condições de teste empregadas.

Este valor não representa a verdadeira diferença entre os dois tratamentos superficiais porque o acabamento superficial do revestimento aspergido é muito inferior ao das amostras carbonitretadas, levando a maiores perdas de massa devido ao desgaste das irregularidades superficiais. Se o revestimento fosse polido antes de realizar o teste, a diferença deveria ser ainda maior.

Considerando que os testes foram realizados em velocidades elevadas, a discrepância de resultados pode ser ainda maior pelo mesmo efeito citado anteriormente. Entretanto, altas velocidades são necessárias em testes laboratoriais devido ao elevado tempo requerido para provocar desgaste nestes revestimentos.

Quando os ângulos de ataque são menores, a diferença entre estas duas técnicas tende a ser maior, pois em ângulos rasantes a diferença entre metais e carbeto acentua-se devido à diferença de dureza da fase dura das duas amostras (carbonitreto e carbeto de tungstênio), que no caso do carbeto de tungstênio, a sua dureza típica situa-se ao redor de HV<sub>200</sub> 2400.