

# AUTOMATIZAÇÃO DE UM REATOR CVD ASSISTIDO POR PLASMA DC PULSADO

M. A. Ramírez<sup>1</sup>; L. L. de Melo<sup>2</sup>; L. M. de Araújo<sup>1, 2</sup>; V. J. Aroldi<sup>1</sup>

1- Instituto nacional de Pesquisas Espaciais,  
Avenida dos Astronautas, 1758.  
Jardim da Granja – CEP: 12247-010 – São José dos Campos – SP – Brasil  
Telefone: (12) 3208-6579

2- Faculdade de tecnologia de São José dos Campos – Professor Jessen Vidal,  
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350  
Distrito de Eugênio de Melo– CEP: 12247-014 – São José dos Campos – SP – Brasil  
Telefone: (12) 3905-2423 – Fax: (12) 3905-4669  
Email: [Imaiaradearaujo@gmail.com](mailto:Imaiaradearaujo@gmail.com)

**RESUMO:** Este artigo apresenta o processo de automatização do reator de deposição para filmes de diamante tipo carbono (DLC) assistido por plasma PECVD-DC pulsado com catodo adicional. É uma nova técnica utilizada por pesquisadores e empresas deste ramo, no qual apresenta grande potencial de aplicação tecnológica, baixo custo de operação, capacidade de produzir filmes com alta taxa de crescimento e elevada aderência dos filmes aos substratos. A seguir, o desenvolvimento do trabalho será sintetizado, com ênfase na automatização dos equipamentos por meio de um controlador lógico programável (CLP) responsável pelo controle no processo de crescimento de filmes de DLC, e com o auxílio de uma tela sensível ao toque para que o operador do reator possa ter acesso aos componentes automatizados e dessa maneira confere ao sistema melhores condições de operação dentro de uma perspectiva de industrialização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Automatização, reatores CVD e diamante tipo carbono.

**ABSTRACT:** This article presents the process of automation in one reactor of deposition films diamond-like carbon (DLC) assisted by pulsed DC plasma. This is a new technique used by researchers and companies this branch. This film presents great potential for technological application, low cost, capacity to produce films with high growth rate and maximum grip to substrates. Following the development of this article will be synthesize with emphasis on automation of the equipments through a programmable logic controller (PLC) that was placed all data required of the processes and with the assistance of touch screen we can have access of automated components and that gives the better system.

**KEYWORDS:** Automation, CVD reactors and diamond-like carbon.

## 1. INTRODUÇÃO

O filme de diamond-like carbon (DLC) é um material que apresenta propriedades e constituição muito próximas das do diamante natural, principalmente a dureza, resistência ao

desgaste, alta resistência elétrica, transparência óptica, baixo coeficiente de fricção.

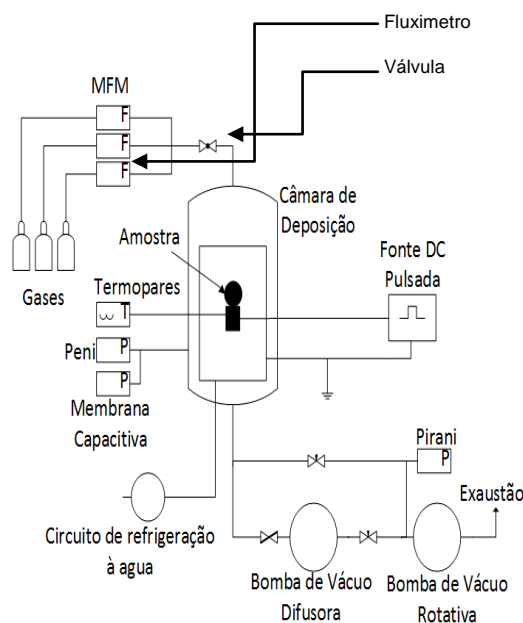
A estrutura do DLC diferentemente da do diamante natural é pobre em ligações  $sp^3$ , dando lugar às ligações  $sp^2$  e também as ligações  $sp^1$  em redes relativamente desordenadas [1].

Em estudos recentes, técnica de deposição via “sputtering”, técnicas que usam descarga em plasma via rádio frequência (r.f.) e técnica de deposição via descarga em plasma DC pulsado foram amplamente estudadas [1,2]. Com a técnica de deposição via descarga em plasma DC pulsado obteve-se os melhores resultados para aplicações em diversas diretrizes, como a espacial e automotiva [3].

A deposição de filmes DLC pela técnica de deposição química a vapor assistida por plasma DC pulsado (PECVD DC pulsado) é uma novidade recentemente desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa DIMARE do INPE, nos quais são especialistas em técnicas de síntese de materiais de carbono por deposição química à vapor (CVD). Atualmente emerge como uma tecnologia que se consolida com o elevado impacto tecnológico nas áreas: aeroespacial, médica, odontológica, automotiva e industrial. O processo PECVD-DC pulsado exige máximo rigor no controle das variáveis de processo e sua aplicação em revestimentos tecnológicos, na indústria exige o desenvolvimento de um processo de automatização e controle. Esta automatização requer um profundo conhecimento técnico e científico do processo, associado ao conhecimento de tecnologias, dentre elas a automação industrial. Neste trabalho serão apresentadas as especificações e os diversos procedimentos utilizados para controle do processo em um reator PECVD-DC pulsado, no qual foi construído no laboratório do grupo DIMARE, pertencente ao Laboratório Associado de Sensores LAS/INPE para revestimento de peças usadas em satélites e algumas outras aplicações que usam como filme o DLC.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A esquematização apresentada na figura 1 é o diagrama básico de um reator PECVD-DC pulsado.



**Figura 1.** Diagrama simplificado de um reator PECVD DC pulsado.

O processo de deposição de filmes de DLC ocorre em pressões da ordem de 10 Pa e varia conforme a análise.

No início do processo, é feito vácuo na câmara de deposição para evitar gases residuais e pelo fato de que o plasma necessita do vácuo para acontecer. Em relação à extinção dos gases residuais por intermédio do vácuo, é pelo fato de que alguns gases entram espontaneamente em combustão na presença do ar, como por exemplo, o Silano ( $\text{SiH}_4$ ) que é utilizado para que haja uma interface do filme com o substrato, ou seja, uma maior aderência entre o filme e a amostra.

O sistema de vácuo é composto por uma bomba mecânica de duplo estágio para vácuo baixo e uma bomba difusora à óleo para vácuo de alto da ordem de 0,1 Pa. A pressão é monitorada por sensores de pressão tipo Pirani, Penni e capacitivo que mede pressão absoluta. Gases hidrocarbonetos, como o metano  $\text{CH}_4$ , são usados como precursor para crescimento do DLC durante a deposição. Outros gases ainda podem ser usados durante uma fase de pré-tratamento da superfície, que

tem por objetivo melhorar a adesão do filme ao substrato que se deseja revestir.

Outros gases ainda podem ser usados durante uma fase de pré-tratamento da superfície, que tem por objetivo melhorar a adesão do filme à peça que se deseja revestir.

O controle de fluxo destes gases é realizado por meio de sensores e controladores de fluxo de massa térmico, e mantido em torno de 20 sccm.

O plasma é produzido por um campo elétrico criado pela aplicação de uma tensão DC pulsada entre o catodo e o anodo. A tensão de descarga usual é de -600 V e a frequência dos pulsos varia de 10 kHz a 50 kHz. O anodo pode ser uma placa onde a peça é fixada ou a própria peça, dependendo da forma e tamanho, conforme a figura 2 [4,5].



**Figura 2.** Reator CVD assistido por plasma DC pulsado

Para controle do sistema, foi usado um CLP FP-X C30T da Panasonic. Este CLP possui processador RISC de 32 bits, taxa de varredura de 2 ms, ou menos, para 5000 passos de varreduras, alta capacidade de memória de programas e até 382 posições de I/O com cartões de expansão, além de uma série de conexões de rede, como Ethernet, Modbus

RTU, serial, etc. O programa de controle foi configurado para varrer as entradas de sensores do sistemas e atuar conforme a programação pré estabelecida para o processo.

Em uma IHM é possível acionar e monitorar os parâmetros de deposição, como, fluxo de gases, temperatura do substrato, indicador de pressão, como mostra a figura 3. O sistema de controle permite também selecionar um programa de deposição previamente definido.



**Figura 3.** Interface homem máquina (IHM)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso do CLP para controle do reator PECVD-DC pulsado introduziu grande melhoria no controle do processo de deposição. No início e ao longo da deposição é possível fazer todos os ajustes e controle através de uma única interface de comando, reduzindo a necessidade de atuação manual nos vários atuadores (válvulas, potenciômetros, chaves) de controle [4].

O uso de uma interface homem máquina (IHM) permite acompanhar com mais facilidade tudo o que acontece durante o processo. O CLP fez com que o controle dos parâmetros de cada experimento se tornasse mais preciso e com ajuste rápido e automático,



liberando o operador do difícil processo de regulação manual, as vezes, muito complicado, principalmente quando se precisa controlar vários parâmetros ao mesmo tempo. As intervenções no crescimento podem ser controladas de uma forma melhor, como por exemplo, a abertura da válvula borboleta, válvula na qual separa a câmara de deposição e é responsável pelo controle de pressão no interior da câmara, essa válvula era anteriormente utilizada de forma manual, mas agora com o uso da IHM pode saber quão aberta ou quão fechada a válvula está, dando ao experimento características mais precisas, conforme a figura 4. O indicador de abertura da válvula é monitorado por um indicador numérico digital de zero à dez, sendo zero válvula totalmente fechada e dez válvula totalmente aberta, com dois dígitos que permitem uma variedade ampla de posições da válvula.



**Figura 4.** Válvula borboleta

#### 4. CONCLUSÕES

A automatização do reator PECVD DC pulsado trouxe melhorias técnicas e operacionais significativas para a operação e controle do processo. Neste tipo de equipamentos as variáveis termodinâmicas de processo respondem a qualquer variação de outros parâmetros durante deposição do filme DLC. Isto

difículta o controle e a reprodutibilidade do crescimento, e consequentemente, das características dos filmes. Estes problemas foram significativamente reduzidos uma vez que a automatização atua quase que instantaneamente no controle. O CLP facilitou também a operação do equipamento do ponto de vista do operador, que agora pode controlar o sistema também na IHM. Este resultado é importante para a consolidação do processo para aplicações industriais, onde a automatização é crítica quando se pensa em revestimentos de filmes de DLC em escala industrial.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] ROBERTSON. J. Material Science and Engineering, Review Journal, R 37, 129-281 2002.
- [2] GRILL. A, IBM Journal of Research and Development, vol. 43 (1-2) (1999).
- [3] BONETTI. L.F, CAPOTE. G, MELO, L.L, AIROLDI V.J, CORAT. E.J, SANTOS. L.V. Desenvolvimentos e caracterização de um sistema de descarga RF para deposição de filmes finos de DLC com alta dureza e aderência em diversos substratos. In: XXVIII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 2005, Santos/SP. Livro de Resumos, 2005. v. 1
- [4] RAMIREZ, M.A, SILVA. P.C, CORAT. E.J, AIROLDI. V.J. An evaluation of the tribological characteristics of DLC films grown on Inconel Alloy 718 using the Active Screen Plasma technique in a Pulsed-DC PECVD system. Surface & Coatings Technology, v. 284, p. 235-239, 2015.
- [5] AIROLDI. V.J, BONETTI L.F, CAPOTE. G, SANTOS. L.V, CORAT E.J, A comparison of DLC film properties obtained by r.f. PACVD, IBAD, and enhanced pulsed-DC PACVD. Surface and Coatings Technology, Volume 202, Issue 3, 5 December 2007, Pages 549–55.



**III Congress of Industrial  
Management and Aeronautical  
Technology**

Fatec  
São José dos  
Campos  
Prof. Jacson Vidal

CPS  
Centro  
Paula Souza

GOVERNO DO ESTADO  
SÃO PAULO