



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **DEPOSIÇÃO DE FILMES FINOS DE MOLIBDÊNIO POR MAGNETRON SPUTTERING EM AMOSTRAS DE FERRO PURO**

**Narayanna Marques Ferreira, narayanna\_marques@yahoo.com.br<sup>1</sup>.**  
**Clodomiro Alves Júnior, clodomiro.jr@hotmail.com<sup>1</sup>**  
**Edalmy Oliveira de Almeida, edalmy@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Raquel Guilherme de Carvalho, raquellgcarvalho@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Jorge Magner Lourenço, magner@cefetrn.br<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP 59072-970, Programa de Pós Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais - PPGCEM - Natal/RN – Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN – Diretoria Educacional de Tecnologia Industrial – DIETIN, Av. Sn. Salgado Filho, 1159, Tirol, CEP 59015-000. Natal/RN.

**Resumo:** *O revestimento por deposição superficial é um processo de tratamento termoquímico, que envolve a deposição de um filme fino geralmente de aproximadamente de 1 a 2 micros sobre um substrato metálico e que se constitui numa das mais importantes técnicas da engenharia de superfície. O tempo e o custo do processo são ainda relativamente altos e o controle da camada superficial é extremamente difícil, principalmente em peças com grande massa e geometrias não uniformes; além disso, o tratamento superficial pode sofrer influência devido ao tipo de material que será revestido. O processo de deposição por magnetron sputtering trata-se da remoção de material da superfície de um sólido através do impacto de partículas energéticas. Este trabalho apresenta um estudo da deposição de filmes finos de molibdênio a plasma com configuração magnetron sputtering em amostras de ferro puro. Com a finalidade de avaliar o efeito difusivo dos sistemas Fe-Mo foram depositados filmes de Mo em duas condições distintas: amostras compactadas e sinterizadas, em que as amostras compactadas foram sinterizadas em forno resistivo tubular após o processo de deposição por magnetron sputtering. Foram realizadas análises na superfície e as modificações microestruturais produzidas pela deposição, por caracterização microestrutural através da microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados relatam que houve formação de filme fino de Mo nas amostras de ferro sinterizados. Para as amostras de ferro compactadas com posterior sinterização houve a percepção do efeito difusivo, visto que para as condições em que o filme foi revelado na superfície a difusividade não ocorreu. Este trabalho expõe a possibilidade da deposição superficial em componentes porosos usando descarga luminescente na configuração magnetron sputtering.*

**Palavras-chave:** *Metalurgia do pó. Deposição a plasma. Magnetron sputtering. Ferro puro*

### **1. INTRODUÇÃO**

A Metalurgia do Pó é uma técnica de transformação de pós-metálicos, não-metálicos e cerâmicos, através da compactação e consolidação da peça por aquecimento controlado, resultando em um componente útil para as diversas áreas da engenharia. A seqüência de transformação envolve a aplicação de leis básicas de calor, trabalho, e deformação para o pó. Na transformação ocorre a mudança da forma, propriedade e da estrutura de um pó no produto final. German, (1985).

A versatilidade do ferro e suas ligas, amplamente utilizados em todos os setores da indústria fizeram surgir uma importante área da Metalurgia do Pó conhecida como Metalurgia do Pó Ferrosa (MPF). É importante ressaltar que a adição controlada de elementos de liga ao componente principal da mistura é um dos meios mais utilizados para se atingir a qualidade desejada aos componentes da MPF. Os elementos de liga usualmente adicionados ao pó de ferro são: Carbono (C), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Fósforo (P), Alumínio (Al), Cromo (Cr), Tungstênio (W), Cobalto (Co), Molibdênio (Mo), entre outros.

Os elementos de liga tem por função conferir ao material determinadas combinações de características mecânicas; em outras situações, estes elementos servem como aceleradores da difusividade atômica, ou simplesmente ainda apresentam características mistas dos dois efeitos. Esses elementos de liga melhoram as propriedades mecânicas pelo efeito de solução sólida substitucional, quando homogeneizados durante o processo de sinterização. Lourenço, (2004).

Estudos de (Hammes et al, 2006 e Santana et al, 2007) relatam que quando se realiza a sinterização de ferro puro com enriquecimento de Mo na superfície, tem-se como resultado um componente constituído, basicamente, de ferro puro sinterizado, em que somente a superfície tem-se uma liga composta de Fe-Mo.

É importante relatar a interpretação do diagrama de fase como uma ferramenta muito útil na metalurgia e em outros ramos da ciência dos materiais. Nos diagramas de fases é possível a identificação das fases presentes, para qualquer temperatura e composição, desde que a liga esteja em equilíbrio termodinâmico. As linhas mostradas no diagrama representam as posições dos pontos críticos teóricos, isto é, indicam as temperaturas que teoricamente deveriam existir as transformações estruturais, tanto no aquecimento como no resfriamento. A Fig. (1) ilustra o diagrama de fase binário Fe-Mo, com teores de molibdênio variando de 0 a 100, em percentuais de massa e átomos.

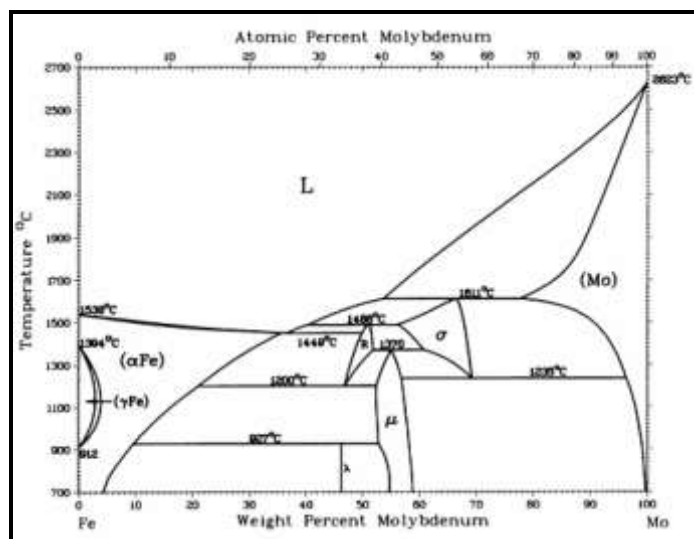


Figura 1. Diagrama de fase binário Fe-Mo. Fonte: Baker, 1992.

Através do diagrama de fase binário Fe-Mo percebe-se que o Molibdênio tem solubilidade de 33% em peso na temperatura de 1450°C. É possível, verificar a estabilidade da fase  $\alpha$  com o aumento do percentual em massa de Mo ocasionando uma contração do campo  $\gamma$  (da fase austenita). Nota-se ainda que o ponto máximo do campo  $\gamma$  situa-se numa composição química de aproximadamente 3% Mo e temperatura de 912°C à 1150°C. Todavia, o campo  $\alpha$  localiza-se numa faixa de composição química intermediária de 0 a 33% em peso de Mo e temperatura que varia de 700°C a 1538°C. Esse comportamento deve-se ao fato do Mo, assim como Cr, Si, Ti e P, serem elementos alfa-gêneos, no caso do molibdênio é o elemento que apresenta óxidos menos estáveis e de fácil redução. Para alguns casos a adição destes elementos pode significar a estabilização da fase  $\alpha$  para uma extensa faixa de temperaturas. Pavanati, (2005).

Uma importante área que se encontra em constante crescimento de pesquisas e aplicações na indústria é a engenharia de superfície. O interesse no uso de técnicas assistidas por plasma no processamento de materiais metálicos vem crescendo significativamente nos últimos anos. As possibilidades de modificação de características superficiais de um material, resultado de um bombardeamento da superfície exposta pelas espécies do plasma, alcançam o desenvolvimento de pesquisa na busca de novas técnicas e processos que satisfaçam as necessidades da indústria. Brunatto (2000).

De forma simplificada, pode-se dizer que o plasma é um gás parcialmente ionizado. Nos tratamentos de superfícies que utilizam o plasma recorre-se a uma importante característica, o grau de ionização que é da ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$ , isto é, 01 íon para cerca de 10 a 100 mil átomos ou moléculas neutras. Para o tratamento de superfície o plasma é geralmente pouco ionizado, comumente chamado de “Plasma Frio”. Para esse tipo de efeito, “plasma frio”, na maioria das vezes é utilizado nas técnicas de descargas elétricas luminescentes com aplicações para fins metalúrgicos, tais quais os utilizados nas técnicas de nitretação por plasma, bem como nas técnicas de deposição de filmes finos.

A deposição superficial é um processo de tratamento termoquímico, que envolve a deposição de um filme fino, e que se constitui numa das mais importantes técnicas da engenharia de superfície. Os filmes finos consistem em películas delgadas de um determinado material que é depositado em um substrato, a espessura destes filmes vai normalmente poucos angstroms ( $10^{-10}$  m) até alguns micrômetros. Porém, o que determina se a camada depositada (revestimento) trata-se de um filme fino não é apenas a espessura do filme, mas sim a razão da espessura do filme e a espessura do substrato. Ohring, (1991).

O processo de deposição assistido por plasma divide-se em dois grupos distintos: Deposição de Vapor Químico (PACVD) e Deposição de Vapor Físico (PAPVD). O processo PACVD pode ser reativo, ou seja, o material extraído do alvo reage com o meio gasoso do plasma depositando no substrato o produto dessa reação. O PAPVD é um processo não reativo, em que átomos do material são arrancados da superfície por evaporação ou sputtering de um alvo proveniente do bombardeamento de espécies energéticas do plasma e são transportadas até o substrato (peça). Dos métodos de obtenção de filmes finos no processo P.V.D, os que tratam do fenômeno de sputtering despertam especial

interesse devido às características adquiridas pelos filmes depositados por essa técnica. Entre elas destacam-se a boa aderência, a repetibilidade e um controle dos parâmetros de crescimento, a possibilidade de deposição de filmes de ligas compostas, entre outras.

O Magnetron Sputtering é uma técnica que emprega ímãs permanentes ou eletroímãs, junto à superfície de um alvo que geram um fluxo incidente de íons sobre a superfície do mesmo, todavia, os elétrons idealmente não devem chegar ao ânodo, mas serem capturados nas proximidades do alvo, produzindo uma ionização eficiente. Isto é realizado pelo emprego de campos magnéticos orientados paralelamente ao alvo. As linhas de forças do campo magnético formam um circuito fechado, pois estas saem normal a superfície do alvo, então curvam a uma direção paralela à superfície do alvo e finalmente, retornam completamente o circuito magnético. Os efeitos das linhas magnéticas exercem uma força sobre os elétrons secundários emitidos do catodo de maneira que os elétrons percorram a trajetória das linhas de campo magnéticos. Ohring, (1991).

O objetivo do presente trabalho é de significativa importância para a comunidade científica em geral, pela avaliação da técnica de deposição de filmes finos de molibdênio na configuração do Magnetron Sputtering em compactados e sinterizados de ferro puro. Sendo assim, neste trabalho será apresentado um estudo a cerca da caracterização da microestrutura do material em estudo, com a microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Procedimentos Experimentais

O pó de ferro, DC 177 utilizado nos ensaios foi fornecido pela empresa Hoganes do Brasil Ltda. Este foi produzido pelo processo de atomização em água, com tamanho de partículas na faixa de 30 a 200  $\mu\text{m}$ ; no entanto, o tamanho médio de partículas é de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . A Tab. (1) apresenta dados da composição química fornecida pelo fabricante.

**Tabela 1. Composição química do pó de ferro puro DC 177 da Hoganas Brasil Ltda.**

Composição Química (%) em peso										
C	O	N	S	P	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Fe
< 0,01	0,09	0,001	0,009	0,005	< 0,10	0,10	0,03	0,05	0,05	Bal.

Inicialmente, as amostras passaram pelo processo de mistura e homogeneização. Ao pó de ferro foram adicionados 0,8% em peso de Estearato de Zinco como lubrificante sólido, com a finalidade de diminuir o desgaste entre as paredes da matriz e o atrito entre as partículas, de forma a melhorar o processo de compactação das amostras; para a homogeneização utilizou-se um misturador tipo “Y” durante 30 minutos.

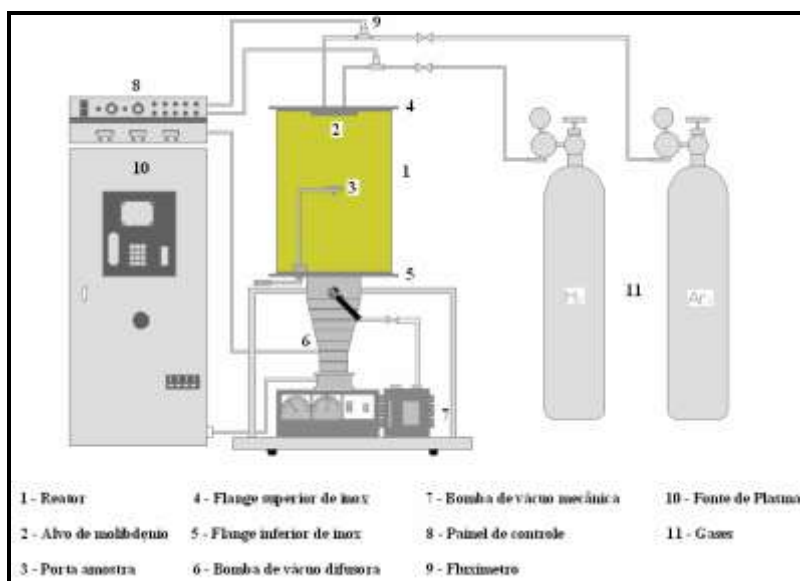
Para a sinterização das amostras utilizou-se de um forno resistivo tubular de marca JUNG J200 com atmosfera controlada de argônio, conforme ilustra a Fig. (2). O controle da temperatura de sinterização foi feito com termopar do tipo K de 3 mm de diâmetro e 1000 mm de comprimento inserido numa bainha dentro do forno, e com auxílio de um multímetro foram realizadas medições em mV sendo em seguida convertidas para graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) através da tabela FEM x Temperatura.



**Figura 02. Forno utilizado na sinterização das amostras ferro puro.**

Durante a sinterização, a extração do lubrificante foi realizada a uma temperatura de 500 $^{\circ}\text{C}$ , durante 30 minutos, somente com aquecimento resistivo. A sinterização das amostras foi realizada na temperatura equivalente a 1120 $^{\circ}\text{C}$ , com patamar de 60 minutos e taxa de aquecimento de 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , sobre atmosfera protetora de argônio com uma vazão de 1 l/min durante todo o processo.

Os tratamentos a plasma DC foram realizados em um reator com configuração Magnetron Sputtering, disponível do Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma (LabPlasma/UFRN). O desenho esquemático da Fig.(3) ilustra o detalhamento do equipamento de deposição a plasma utilizado neste trabalho.



**Figura 03. Aparato experimental utilizado no processamento de deposição de filmes finos a plasma por magnetron sputtering.**

O alvo de molibdênio utilizado para deposição possui 60,50 mm de diâmetro com formato circular fixado no catodo posicionado no flange superior do reator. No flange superior estão interligadas as conexões dos sistemas de gases, entrada e saída de água para refrigeração do catodo e a conexão da tensão elétrica. Para a deposição de filmes finos de molibdênio foram definidos os parâmetros e condições dos ensaios descritos no Tab. (2).

**Tabela 2. Parâmetros de deposição de filmes de molibdênio em substratos de ferro.**

Parâmetro de Deposição	
Fluxo de Argônio	06 sccm
Pressão do sistema à vácuo	$08 \times 10^{-3}$ mbar
Corrente	0,10 A
Tensão	460 V
Tempo de deposição	60 minutos
Resfriamento	20 minutos

As amostras foram preparadas metalograficamente sendo seccionadas no sentido longitudinal em relação ao filme depositado para garantir uma eficiência e preservação da estrutura do filme para a visualização. Após o corte, as amostras foram embutidas com resina ortoftálica pré-acelerada, com finalidade de facilitar o manuseio das amostras seccionadas e evitar o efeito de borda das amostras. Em seguida, foram lixadas e polidas em uma politriz, com pasta abrasiva de polimento a base de alumina (composição: alumina, bentonita, água destilada e corante), seguida de ataque químico na superfície para revelar a microestrutura das amostras, para isto foi utilizado uma solução de Ácido Nítrico (NITAL, concentração 2%).

As amostras tratadas foram caracterizadas por microscopia óptica (MO), utilizando microscópio PANTEC XJL-03 com monitoramento computacional, com aumentos de 400X e 500X. A análise topográfica das amostras, assim como a análise semi-quantitativa da composição química da região do filme depositado foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Philips XL-30, com microsonda de energia dispersiva de raios-X, (EDS) acoplada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação e caracterização de um pó com características adequadas a cada situação é uma das fases mais importantes, de qualquer processamento baseado pela tecnologia dos pós. Neste contexto, a determinação da distribuição do tamanho da partícula é de fundamental importância, pois irá influenciar de maneira significativa em várias etapas do processo, (preparação dos pós, compactação, sinterização, etc.) e na microestrutura final do compactado, afetando a resistência mecânica, a densidade, assim como outras propriedades. A morfologia das partículas de ferro apresenta-se na forma irregular característico do processo de fabricação - atomização a água, conforme ilustra a Fig. (4).

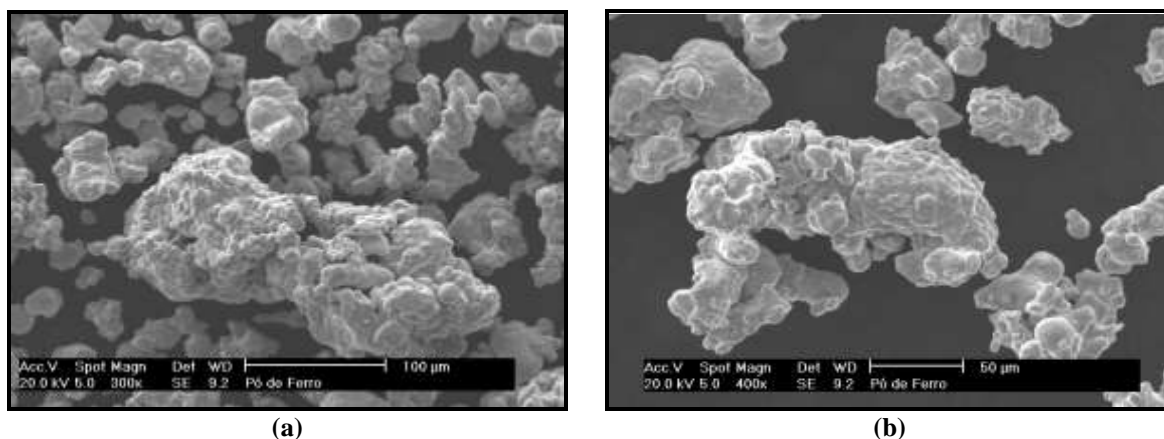


Figura 4. Morfologia das partículas de ferro puro, (a) aumento de 300x e (b) aumento de 400x.

### 3.1 Análise microestrutural de ferro puro com filme fino de molibdênio

As análises microestrutural de ferro puro com filme fino de molibdênio foram feitas em condições particulares: amostras compactadas a verde e amostras sinterizadas; as amostras compactadas foram posteriormente sinterizadas em forno resistivo nas mesmas condições que as amostras sinterizadas, conforme descrito no procedimento experimental. O intuito de se obter amostras a verde e sinterizada foi analisar o comportamento da difusão do material depositado (filme de molibdênio) nas distintas condições.

#### 3.1.1 Compactados de ferro puro com filme de molibdênio

A Figura (5) apresenta a microscopia óptica (MO) da amostra compactada de ferro com filme de molibdênio, e posterior sinterização. É perceptível a presença de poros arredondados uniformemente distribuídos nesta amostra.

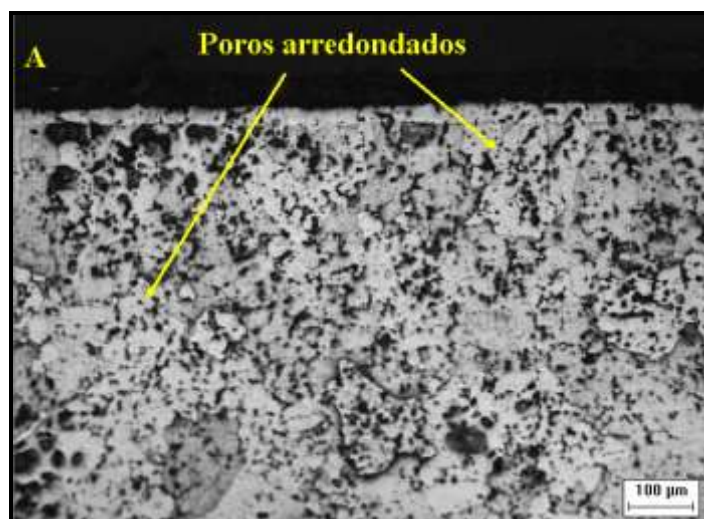
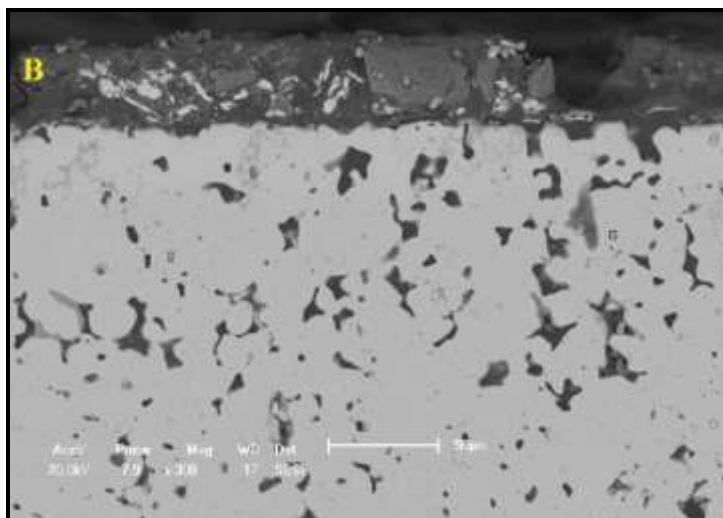


Figura 5. Microscopia óptica (MO) da amostra compactada de ferro com filme de molibdênio, e posterior sinterização, com aumento de 400x.

A amostra compactada a verde recebe filme fino de molibdênio pelo processo “sputtering” que se deposita na superfície porosa da amostra, no entanto, nota-se a ausência da camada que caracteriza a presença da adesão do filme fino na superfície porosa. Para tanto, a deposição a plasma com configuração magnetron sputtering trata-se de uma deposição a baixas temperaturas, em que a formação do filme fino ocorre com a nucleação e a formação de “ilhas de átomos” de molibdênio sobre o substrato do ferro.

A Figura (6) apresenta a microscopia eletrônica de varredura (MEV) da amostra compactada de ferro com filme de molibdênio, e posterior sinterização.



**Figura 6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da amostra compactada de ferro com filme de molibdênio, e posterior sinterização, com aumento de 300x.**

A inexistência da camada de molibdênio na superfície dos compactados de ferro pode ser explicada pelo fato da miscibilidade do molibdênio no ferro. A superfície de ferro possui uma região rica em molibdênio pela deposição feita, desta forma com a ativação da temperatura de sinterização, o ferro promove a ativação da fase  $\alpha$ , conforme ilustra o diagrama de fase binário Fe-Mo na Fig. (3) e, conseqüentemente, solubilizando todo o molibdênio da região.

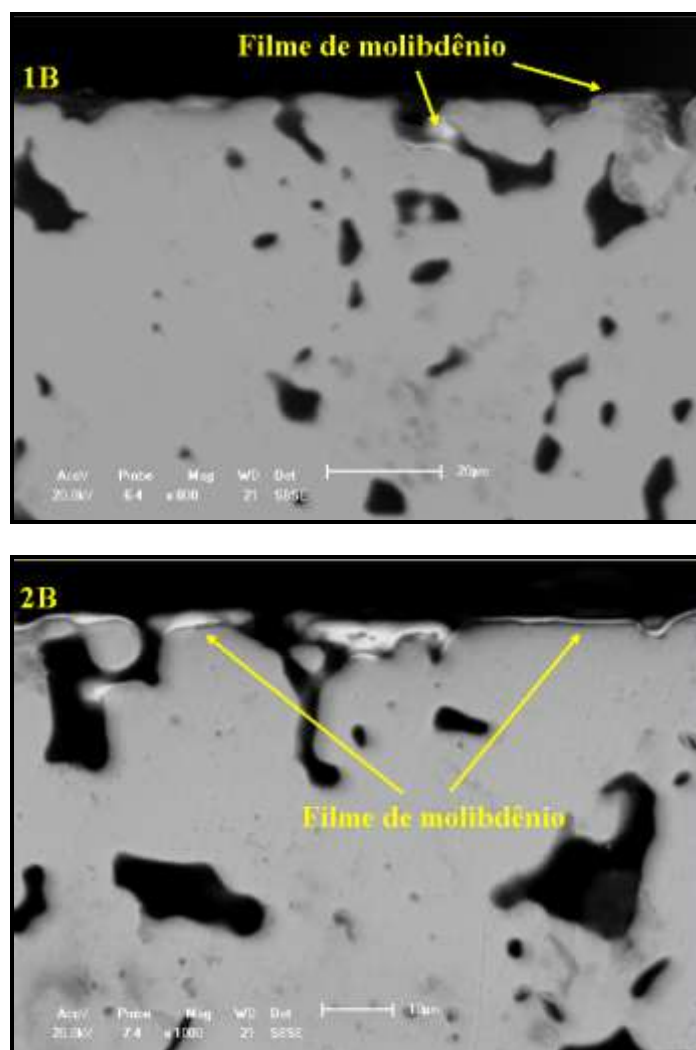
A temperatura é um fator importante, devido o seu efeito possuir um maior resultado quando comparado com o tempo de patamar de sinterização. Isto é explicado, pela existência da relação do coeficiente de difusão dos átomos, uma vez que, estes aumentam exponencialmente com a temperatura, dentro de uma mesma fase. Com maior difusividade, a velocidade de transporte individual de átomos é maior, assim como a velocidade com que ocorre a evolução dos contatos entre as partículas com um conseqüente arredondamento dos poros.

Segundo Callister (2002), a difusão é a migração em etapas de átomos de um sítio de rede para outro sítio da rede. Para que um átomo se mova, duas condições devem ser satisfeitas: deve existir um sítio adjacente vazio, e o átomo deve ter energia suficiente para quebrar as ligações com seus átomos vizinhos, e assim, causar uma distorção da rede cristalina durante o deslocamento; esta energia é de natureza vibracional. Numa temperatura específica, alguma pequena fração do número total de átomos é capaz de realizar o movimento difusivo, em virtude das magnitudes das energias de vibração; esta fração aumenta com o aumento da temperatura.

Explica-se a similaridade do sistema Fe-Mo pela Regra de Hume-Rothery em que, para que ocorra a total miscibilidade entre dois metais, é preciso que eles satisfaçam as seguintes condições: seus raios atômicos não difiram de 15%; tenham a mesma estrutura cristalina; tenham eletronegatividade similares; tenham a mesma valência. Seguindo essa perspectiva atomística, o ferro (na estrutura Cúbica de Corpo Centrado – CCC que corresponde à estrutura de deposição) possui raio atômico de 0,1241 nm, e o molibdênio possui raio atômico de 0,1363 nm e estrutura cristalina CCC, correspondendo apenas a 1,22% de diferença de raios atômicos entre os dois metais, satisfazendo as condições descritas acima.

### 3.1.2 Sinterizados de ferro puro com filme de molibdênio

A Figura (7) apresenta a microscopia eletrônica de varredura (MEV), da seção transversal da amostra sinterizada de ferro com filme de molibdênio.



**Figura 7. Microscopia eletrônica de varredura (MEV), da seção transversal da amostra sinterizada de ferro com filme de molibdênio com aumento de 800x e 1000x.**

A amostra de ferro sinterizada recebe o filme fino de Mo pelo processo “sputtering”, em que por adsorção superficial os átomos depositados aglomeram-se por nucleação, causando a concentração de pequenas “ilhas de átomos” de molibdênio, e por fim, ocorre o coalescimento do núcleo desses átomos formando um filme contínuo. Analisando os resultados obtidos no processo de deposição por magnetron sputtering nas amostras sinterizadas de ferro, observa-se que houve a formação de contatos do filme de molibdênio no substrato de ferro; a presença de tonalidades mais claras na superfície indica uma maior concentração de molibdênio confirmada com a análise química por EDS.

É perceptível a inexistência de uma continuidade e homogeneidade permanente do filme de molibdênio ao longo da superfície, isto se explica pela irregularidade da superfície porosa, característica principal do processo de fabricação – Metalurgia do Pó. Sendo assim, para que ocorra a uniformidade dos filmes finos de molibdênio na superfície porosa de ferro é necessário um ajuste nos parâmetros de deposição com a finalidade de obterem-se camadas homogêneas ao longo do substrato.

A análise química com microsonda EDX na superfície das amostras de ferro sinterizadas com posterior deposição de molibdênio apresenta os percentuais da composição química das amostras de ferro na Tab. 3.

**Tabela 3 – Dados percentuais da análise química - EDX das amostras de ferro sinterizada com filme de molibdênio.**

Elemento	Ponto de análise	% Peso	% Atômico
Ferro	Superfície	63,18	51,00
	Filme depositado	32,55	24,92
Molibdênio	Superfície	23,31	10,95
	Filme depositado	47,22	21,04
Oxigênio	Superfície	13,51	38,05
	Filme depositado	20,23	54,04

É possível observar percentual atômico de 51% ferro e 10,95% molibdênio na superfície da amostra, conforme apresentado na Tabela 3. Nota-se a presença de 24,92% ferro e 21,04% molibdênio em peso atômico no filme formado no substrato da amostra. É importante ressaltar que o tempo de deposição foi correspondente a 60 minutos, desta forma seria de se esperar um percentual baixo de molibdênio.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O conhecimento e controle das características dos pós, como: tamanho de partículas, forma das partículas, área superficial e a distribuição do tamanho de partículas, entre outras, são fatores fundamentais na eficiência de um processamento baseado na tecnologia dos pós. Pois, influencia de maneira significativa nas etapas do processo, (preparação dos pós, compactação, sinterização, etc.) e na microestrutura final do compactado, afetando a resistência mecânica, a densidade, assim como outras propriedades.
- O estudo de filmes finos em materiais porosos é um desafio quanto à análise das propriedades de aderência, determinação de espessura da camada depositada e a microestrutura final. O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios na deposição em material poroso quanto na caracterização microestrutural.
- A microestrutura das amostras compactada de ferro com filme de molibdênio, pelo processo de deposição a plasma com magnetron sputtering não apresentou uma camada superficial, característica do filme fino, após a sinterização. Explica-se isto pela miscibilidade do molibdênio no ferro, aonde a ativação térmica (sinterização após a deposição) promoveu a difusão dos átomos de Mo para o núcleo das amostras.
- A miscibilidade do sistema Fe-Mo é justificada pela Regra de Hume-Rothery; em que para a total miscibilidade entre o ferro e o molibdênio é devido à proximidade dos raios atômicos, diferem menos de 15%, além de possuir a mesma estrutura cristalina Cúbica de Corpo Centrado (CCC).
- Nota-se a presença de um filme fino de molibdênio na microestrutura das amostras sinterizadas de ferro, em que a presença de tonalidades mais claras na superfície indica uma maior concentração de molibdênio, confirmada com a análise química. Foi constatado um percentual atômico de 21,04% molibdênio, no entanto, é perceptível a inexistência de uma continuidade e homogeneidade permanente do filme de molibdênio ao longo da superfície porosa.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a FAPERN/CNPq pelo apoio financeiro; e à Höganäs, pelo fornecimento do pó de ferro puro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Brunatto, S. F. Estudo e desenvolvimento do processo de sinterização de compactados de ferro com enriquecimento superficial simultâneo de elementos de liga em descarga elétrica de cátodo oco. 2000. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- Callister Jr., W. D. The structure of crystalline solids. In: \_\_\_\_\_. Materials science and engineering: and introduction. Rio Janeiro: ed. LTC, 2002. Cap. 5.
- Cardoso, R. P. Estudo numérico e experimental do processo de deposição e difusão de níquel via plasma em amostras de ferro na configuração ânodo-cátodo confinado. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- German, R. M. Brief history. In: \_\_\_\_\_. Powder metallurgy science. 2. ed, Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1989. p. 3 -16.
- \_\_\_\_\_. Sintering. In: \_\_\_\_\_. Powder metallurgy science. 2. ed, Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1989. p. 145 -195.
- \_\_\_\_\_. Powder injection molding. Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1990. p. 466 - 470
- \_\_\_\_\_. Powder injection molding. Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1990. p. 521.
- Hammes, G., et al. “Estudo da cementação de ferro puro sinterizado e enriquecido superficialmente com molibdênio em plasma DC”. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências de Materiais, 2006. p. 6304 - 6313.
- Lourenço, J. M. Evolução microestrutural do ferro puro e ligas ferrosas sinterizadas por plasma. 2004.149 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- Ohring, M. A review of materials science. In: \_\_\_\_\_. The materials science of thin films. 1. ed., San Diego, California: Academic Press., 1991. Cap. 1
- \_\_\_\_\_. Physical Vapor Deposition. In: \_\_\_\_\_. The materials science of thin films. 1. ed., San Diego, California: Academic Press., 1991. Cap. 3.
- \_\_\_\_\_. Film formation and structure . In: \_\_\_\_\_. The materials science of thin films. 1. ed., San Diego, California: Academic Press., 1991. Cap. 5.



\_\_\_\_\_. Characterization of thin film. In: \_\_\_\_\_. The materials science of thin films. 1. ed., San Diego, California: Academic Press., 1991. Cap. 6.

Pavanati, H. C. Sinterização de ferro puro com enriquecimento superficial simultâneo de cromo em descarga elétrica em regime anormal. 2005. 190 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

Tabela FEM x Temperatura, disponível em <http://www.equipe-termopar.com.br>. Acessado em 25/01/2010.

## **7. DIREITOS AUTORAIS**

The author(s) are the only responsible for the printed material included in this paper.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **DEPOSITION OF THIN FILMS BY MAGNETRON SPUTTERING MOLYBDENUM IN SAMPLES OF PURE IRON**

**Narayanna Marques Ferreira, narayanna\_marques@yahoo.com.br<sup>1</sup>.**

**Clodomiro Alves Júnior, clodomiro.jr@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Edalmy Oliveira de Almeida, edalmy@gmail.com<sup>1</sup>**

**Raquel Guilherme de Carvalho, raquellgcarvalho@gmail.com<sup>1</sup>**

**Jorge Magner Lourenço, magner@cefetrn.br<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP 59072-970, Programa de Pós Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais - PPGCEM - Natal/RN – Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN – Diretoria Educacional de Tecnologia Industrial – DIETIN, Av. Sn. Salgado Filho, 1159, Tirol, CEP 59015-000. Natal/RN.

**Abstract:** *The coating by deposition is a process of thermo chemistry treatment, which involves the deposition of a thin film usually about 1 to 2 micros on a metallic substrate and which is one of the most important techniques of surface engineering. The deposition process for magnetron sputtering it is the removal of material from the surface of a solid through the impact energy particle. This work presents a study of the deposition of thin films of molybdenum the plasma with configuration magnetron sputtering in samples of pure iron. With the purpose to evaluate the effect of diffusivity from of system Fe-Mo were Mo of films deposited in two different conditions: compacted and sintered samples, in the compacted samples were sintered in tubular resistive oven after the deposition process by magnetron sputtering. Analysis were performed on the surface and the microstructural changes produced by deposition, for microstructural characterization by optical microscopy and scanning electron microscopy. The results reported that there was formation of thin film of Mo in the samples sintered iron. For samples compacted iron with subsequent sintering was the perception of the diffusion effect, since for the conditions under which the film was developed on the surface diffusivity has not occurred. This paper raises the possibility of the deposition surface in porous components using glow discharge in magnetron sputtering configuration*

**Keywords:** *Powder metallurgy. Plasma deposition. Magnetron sputtering. Pure iron.*