

## ASSENTOS DE VÁLVULA SINTERIZADOS – AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE E DESGASTE

E. S. de Jesus Filho<sup>(1)</sup>, E. R. B de Jesus<sup>(1)</sup>, J. L. Rossi<sup>(1)</sup>  
L. Salgado<sup>(2)</sup>, M. A. Colosio<sup>(3)</sup>, Santos<sup>(3)</sup>

1 - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - São Paulo CEP 05508-000

[esjfilho@usp.br](mailto:esjfilho@usp.br)

2 - BRATS – Filtros Sinterizados

3 - General Motors do Brasil

### RESUMO

*Este trabalho apresenta resultados de testes efetuados com uma liga sinterizada desenvolvida para aplicação em assentos de válvulas de motores de combustão interna de veículos a gasolina. O material foi produzido a partir da mistura de pós de aço rápido AISI M3/2 e pó de ferro. O material sinterizado após tratamento térmico, teve seu desempenho em usinagem e desgaste comparado ao de uma liga comercial à base de Fe-Co sinterizada. Os resultados mostraram desempenho superior da liga desenvolvida, indicando que a mesma possui excelente potencial para aplicação comercial.*

Palavras-chave: assento de válvula, aço rápido, metalurgia do pó, usinagem, desgaste.

### INTRODUÇÃO

Os insertos para assento de válvula utilizados para vedação das regiões de admissão e exaustão de gases nas câmaras de combustão de motores automotivos, operam sob severas condições de trabalho. Dentre os vários requisitos necessários para que um dado material suporte estas adversas condições de trabalho, citam-se: boa estabilidade térmica, resistência à corrosão, alta condutividade térmica e resistência ao desgaste. Outras características não diretamente ligadas à performance do material, mas também de grande importância, são: baixa massa específica, baixo custo e boa usinabilidade, pois estas características podem impactar diretamente nos custos de fabricação do componente bem como no desempenho do motor. Com relação às técnicas de obtenção destes materiais, observa-se que a metalurgia do pó tem sido cada vez mais empregada na indústria automotiva, principalmente em razão de suas características particulares, que permitem obter e otimizar muitas das propriedades dos materiais requeridos para as

diversas aplicações automotivas, dentre as quais se pode ainda destacar a possibilidade de produzir variações de ligas difíceis de serem obtidas por processos convencionais <sup>(1-3)</sup>.

Os principais aspectos que motivaram o desenvolvimento da nova liga foram a eliminação do elemento Co, com o intuito de reduzir custos, e do Pb, em razão de seus efeitos toxicológicos e prejudiciais ao meio ambiente, ambos presentes na liga comercial até então em uso <sup>(4-7)</sup>. O presente trabalho apresenta resultados de ensaios mecânicos, de desgaste simples (tipo pino sobre lixa) e de usinabilidade de uma liga produzida para ser aplicada como assento de válvula em motores de combustão interna. A produção da liga envolveu as etapas de mistura dos pós, compactação, sinterização sob atmosfera de hidrogênio e tratamentos térmicos de austenitização e revenimento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada a rota da metalurgia do pó para a obtenção do material para os insertos, a qual contemplou as etapas de mistura, compactação a frio, sinterização e tratamento térmico (têmpera e revenimento). A mistura dos pós cuja composição química é mostrada por meio da Tab. 1 juntamente com a da liga comercial, foi feita em um misturador tipo “V” e em seguida foi compactada na forma de anéis com uma carga de 4 t em uma prensa semi-automática uniaxial.

**TABELA 1** - Composição química das ligas desenvolvida e comercial (% massa).

Material	Elemento / pré liga							
	Fe	AISI M 3/2	C	Cu (infiltrado)	NbC	MnS		
Liga desenvolvida	Bal.	40,0-44,0	0,2-0,5	9,0-10,0	1,9-2,0	0,3-0,6		
Material	Mo	Mn	Fe	C	S	Pb	Ni	Co
Liga Comercial	2,0	0,6	Bal	0,6	0,5	1,5	2,0	10,0

Anéis de cobre foram prensados separadamente com espessuras em torno de 10% da espessura dos anéis de aço. Estes anéis foram posteriormente incorporados na liga por infiltração no momento da sinterização das peças. Algumas

características físicas dos pós empregados na produção da liga desenvolvida é apresentada na Tab. 2.

**TABELA 2** – Características dos pós utilizados na produção da liga desenvolvida.

Material (pós)	Tamanho mediano ( $\mu\text{m}$ )	Morfologia*
AISI M3/2	82	irregular
Fe	81	irregular
C	14	flocos
Cu	24	arredondada
NbC	2,3	aglomerado
MnS	4,3	aglomerado

\* Conforme a classificação de RANDALL <sup>(8)</sup>.

A sinterização foi feita em atmosfera de hidrogênio (99,9% de pureza) a 1150 °C por 45 min. Foi observado um tempo de patamar de 10 min a 600 °C para permitir a volatilização do estearato de zinco utilizado como lubrificante. Após a sinterização, o material, foi austenitizado a 1150 °C por 20 min em forno a vácuo e resfriado com nitrogênio à pressão de 6 bar. Em seguida sofreu dois ciclos de revenimento de 2 horas cada a 180 °C.

Após a sinterização e tratamento térmico da liga desenvolvida foram executados testes de resistência à ruptura radial, dureza aparente, densidade aparente e avaliação microestrutural, para conhecer algumas propriedades físicas e mecânicas da liga. As mesmas análises foram feitas no material comercial, para fins de comparação. Foi avaliado ainda, a usinabilidade e desgaste tanto da liga desenvolvida, quanto da liga comercial. O teste de usinabilidade foi executado em um torno CNC, com o auxílio de uma ferramenta instrumentada com medidores de deformação (*strain gauges*) e um sistema de captura e armazenamento de dados para possibilitar conhecer o esforço principal de corte atuante na ferramenta, a qual, segundo a literatura, é a mais importante e significativa em um sistema de torneamento cilíndrico com ferramenta de ponta única <sup>(9)</sup>. Os parâmetros de usinagem utilizados foram os seguintes: profundidade de corte (**p**) de 0,4 mm, avanço (**f**) igual a 0,1 mm/rot, velocidade de corte (**Vc**) igual a 100 m/min e raio de ponta da ferramenta (**r**) de 0,4 mm.

Os ensaios de desgaste foram do tipo pino sobre lixa. Os pinos utilizados nos testes de desgaste foram cortados por eletroerosão a fio para não sofrerem mudanças microestruturais significativas durante o processo de corte. O equipamento utilizado para os testes de desgaste em tribômetro. Embora o tipo de ensaio de desgaste utilizado (pino sobre lixa) não reflita a condição tribológica do par válvula e assento nas condições reais de utilização que é caracterizado principalmente pelo fenômeno de fadiga de contato <sup>(10)</sup>, tal ensaio serviu como um parâmetro de comparação para avaliar de forma direta o desempenho do material produzido com relação à liga comercial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas e mecânicas

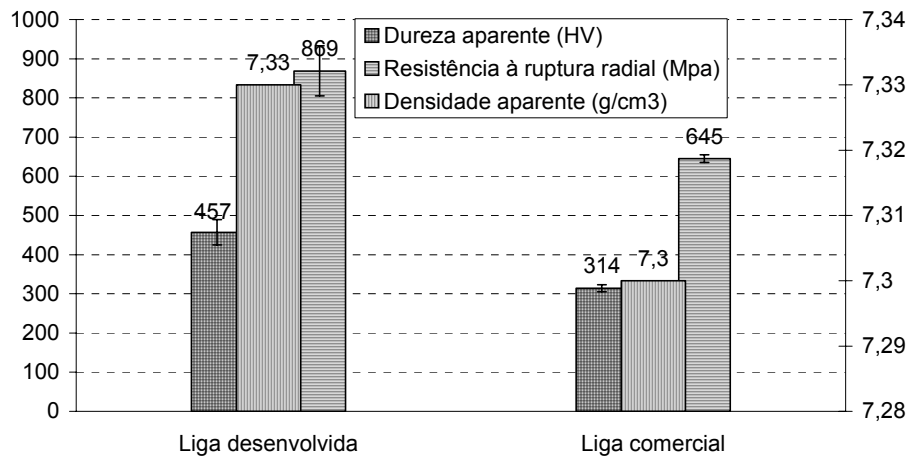
Os ensaios realizados nos materiais, mostraram que a liga desenvolvida apresentou resultados de dureza e resistência à ruptura radial superiores aos da liga comercial, indicando que a adição do NbC e do aço rápido na liga foram essenciais para alcançar tais resultados (Fig. 1). O NbC contribuiu com sua característica de alta dureza enquanto que o aço rápido, por possuir W e Mo, favoreceu a formação de carbonetos durante o processamento da liga (sinterização e tratamento térmico), proporcionando assim um conjunto de propriedades interessantes, sobretudo por estarem associadas com a ductilidade do Fe, também presente na liga.

A densidade aparente medida mostrou que a liga desenvolvida apresentou densidade comparável à da liga comercial, indicando que o procedimento de infiltração do Cu para preenchimento das porosidades abertas do material durante a sinterização foi satisfatório.

### Microestruturas

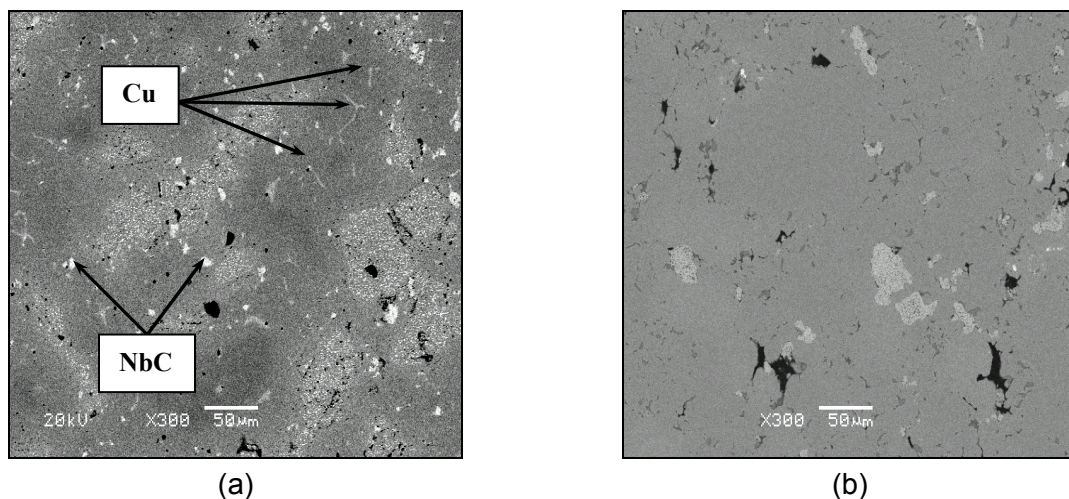
Com relação à microestrutura da liga desenvolvida, observa-se uma distribuição de partículas de aço rápido (fase cinza clara), ferro (fase cinza escuro) e carbonetos finamente dispersos (Fig. 2). Os carbonetos de nióbio destacam-se pelos tamanhos relativamente maiores com relação aos carbonetos presentes no aço rápido. Visualizam-se também ilhas de cobre, referentes aos poros que foram preenchidos por este elemento pelo método da infiltração durante a sinterização, como mostrado na Fig. 2a. O enxofre que foi detectado geralmente alojado no

interior de poros é produto da decomposição do sulfeto de manganês introduzido na liga com o objetivo de melhorar as propriedades de usinabilidade.



**FIGURA 1** – Propriedades físicas e mecânicas da liga desenvolvida e da liga comercial.

A microestrutura do material comercial (Fig. 2b) mostrou-se homogênea, com fases cinza claras distribuídas ao longo da matriz constituídas principalmente pelos elementos Mo, Fe e Co. O elemento Pb foi detectado em precipitados menores em tons cinza mais escuros.

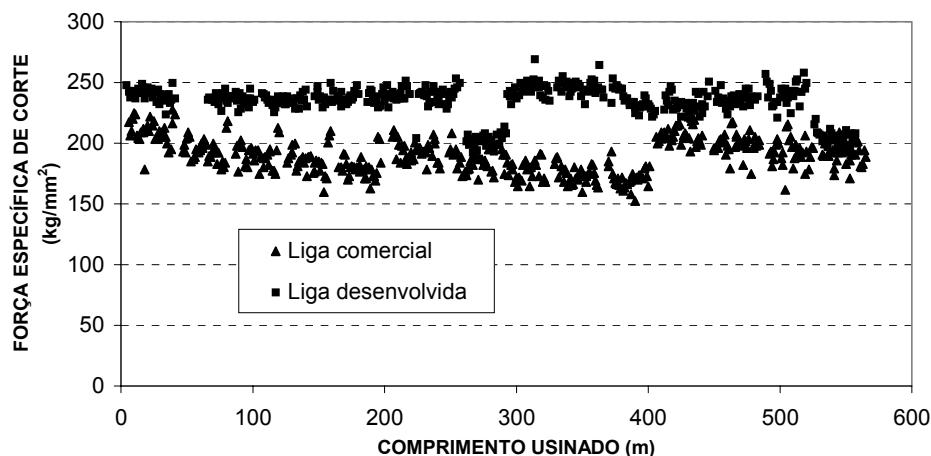


**FIGURA 2** – Micrografias eletrônicas de varredura da microestrutura da liga desenvolvida (a) e da liga comercial (b).

### Usinabilidade

Os resultados dos testes de usinagem, indicaram de modo geral um menor esforço específico de corte obtido durante a usinagem da liga comercial, em relação à liga desenvolvida. Conclui-se desta forma, que o sulfeto de manganês adicionado

na liga desenvolvida com o objetivo de melhorar a lubrificação da ferramenta e reduzir os esforços de corte durante a usinagem não foi capaz de superar os efeitos do aumento da resistência e das propriedades mecânicas proporcionados principalmente pela adição do NbC à liga e pelo aparecimento de carbonetos durante o processamento da liga, devido à presença da pré liga de aço rápido. A Fig. 3 mostra os resultados obtidos para os dois materiais durante aproximadamente 600 m de comprimento usinado.

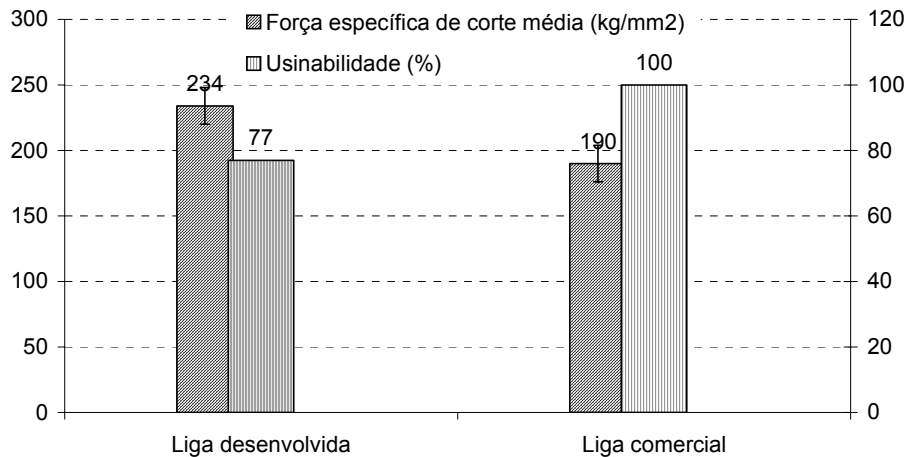


**FIGURA 3** – Resultados das forças específicas de corte obtidas durante a usinagem da liga desenvolvida e da liga comercial.

Desta forma, tomando-se como referência o valor médio da força específica de corte do material comercial e ainda, considerando este material como tendo usinabilidade 100%, verifica-se por meio da Fig. 4 que a liga desenvolvida apresenta usinabilidade de cerca de 70%, ou seja, a liga desenvolvida é aproximadamente 30% mais difícil de usinar quando comparada com a liga comercial. Apesar de ser um parâmetro que ajuda a avaliar e comparar a capacidade que um determinado material tem de ser usinado com relação a outro tomado como referência, a usinabilidade não é uma propriedade intrínseca do material, mas sim, um resultado da interação do metal com a operação de usinagem <sup>(11,12)</sup>.

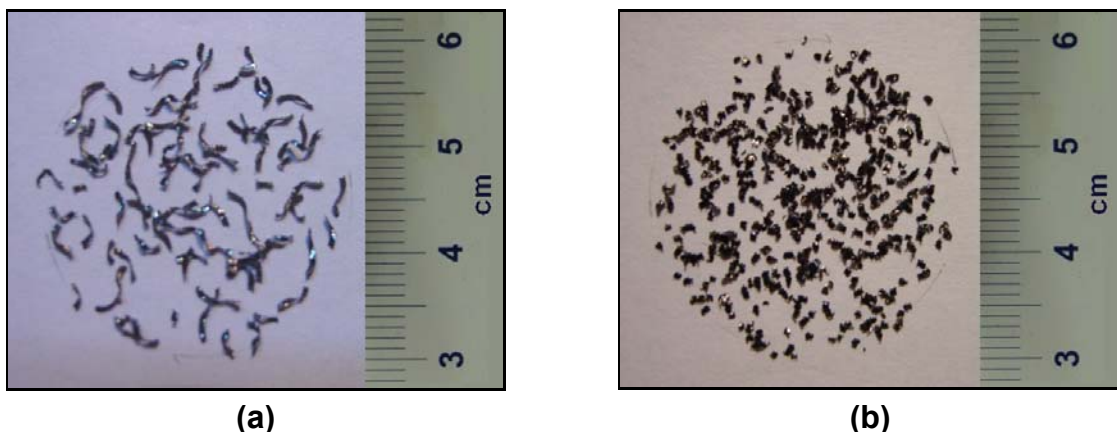
Assim, uma simples alteração dos parâmetros de usinagem ou da geometria da ferramenta pode configurar resultados completamente diferentes e até inversos; da mesma forma como a natureza microestrutural mais ou menos homogênea de um material ou suas propriedades mecânicas, físicas e químicas mais ou menos otimizadas, também o farão. A Fig. 5, pode exemplificar melhor tal observação. Se considerarem-se as propriedades físicas e mecânicas ilustradas na Fig. 1, esperava-

se obter na usinagem da liga desenvolvida cavacos de aspecto mais quebradiço típicos daqueles obtidos durante a usinagem de materiais mais duros e frágeis, mas em contrapartida, verificou-se a remoção de cavacos mais alongados, típicos daqueles removidos em materiais com características mais dúcteis.



**FIGURA 4** – Força específica de corte média e usinabilidade das ligas desenvolvida e comercial.

Cavacos típicos de materiais mais frágeis e duros foram observados durante a usinagem da liga comercial (Fig. 5 b), a qual, em termos de propriedades mecânicas mostrou-se inferior. Neste sentido, é provável que o MnS, através de sua característica lubrificante tenha proporcionado um melhor escorregamento dos cavacos sobre a superfície de saída da ferramenta produzindo assim cavacos mais alongados durante a usinagem da liga desenvolvida e promovendo uma melhor e mais suave condição de cisalhamento dos mesmos (Fig. 5a).

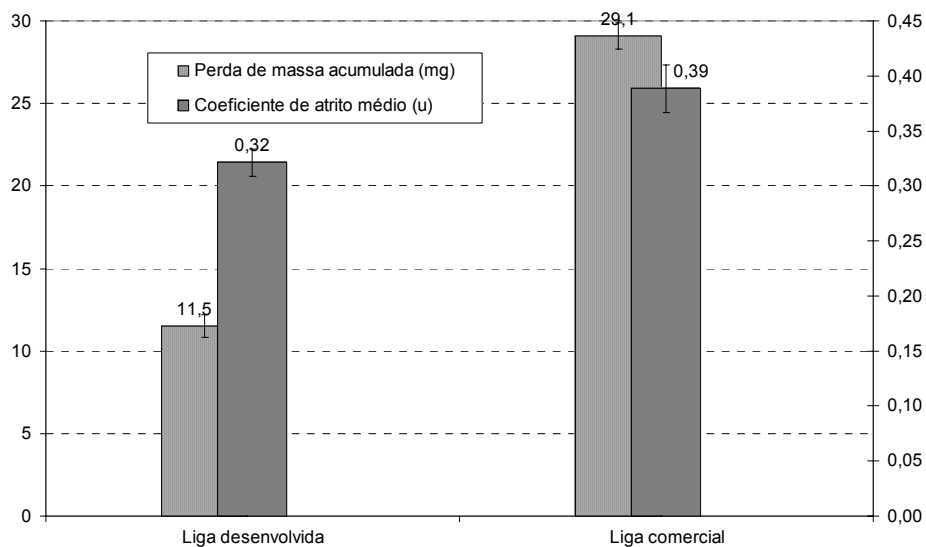


**FIGURA 5** – Aspecto geral dos cavacos obtidos durante a usinagem da liga desenvolvida (a) e liga comercial (b) <sup>(7)</sup>.

De maneira geral a morfologia final dos cavacos obtidos foi, de certo modo, favorecida pela natureza da obtenção dos materiais (metalurgia do pó), devido à presença inerente de poros nos materiais que funcionaram como quebra cavacos naturais durante o processo de usinagem. Assim, os cavacos obtidos apresentaram-se bastante segmentados e encurtados como é recomendado pela literatura<sup>(9,13)</sup>.

### Desgaste

Pela análise da Fig. 6 é possível verificar que a liga desenvolvida apresentou comportamento ao desgaste superior ao da liga comercial, bem como menor perda de massa. Este comportamento provavelmente foi motivado pelo tratamento térmico executado na liga, o qual promoveu o aparecimento de carbonetos na liga, elevando sua dureza a valores superiores ao da liga comercial e também devido à adição do NbC, conhecido por suas propriedades de alta dureza e resistência à abrasão.

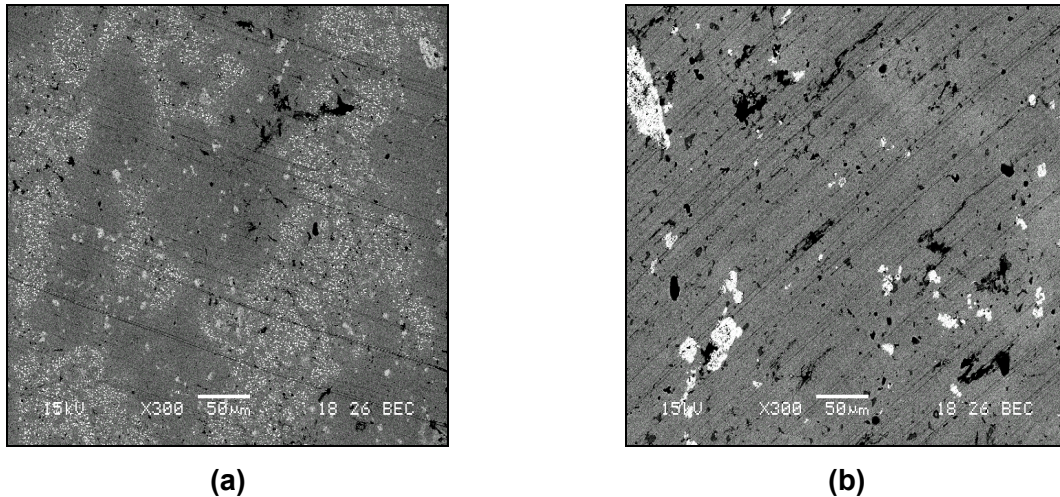


**FIGURA 6** – Perda de massa acumulada e coeficiente de atrito médio das ligas desenvolvida e comercial.

Nas Figs. 7a e 7b são mostradas as superfícies desgastadas dos corpos de prova da liga desenvolvida e da liga comercial respectivamente para fins de comparação. Por meio delas é possível notar danos muito mais severos ocorridos na superfície do corpo de prova da liga comercial em relação à superfície do corpo de prova da liga desenvolvida, a qual chegou a apresentar menos da metade da perda de massa detectada na liga comercial, conforme verificado na Fig. 6. Mais uma vez é possível perceber os benefícios inseridos pelo tratamento térmico executado, que



contribuiu para o aumento de dureza, bem como a influência dos carbonetos gerados e/ou adicionados nas ligas desenvolvidas, durante seu processamento, os quais ajudaram a suportar melhor o atrito entre as lixas e os corpos de prova ensaiados.



**FIGURA 7** – Micrografia eletrônica de varredura mostrando o aspecto geral das superfícies dos corpos de prova da liga desenvolvida (a) e comercial (b) após os testes de desgaste.

## CONCLUSÕES

A forma dos cavacos obtidos durante a usinagem da liga desenvolvida sugere que este material apresenta características mais dúcteis em relação à liga comercial.

Os resultados dos testes de desgaste apontaram para uma melhor performance e menor perda de massa da liga desenvolvida em relação à liga comercial; tal comportamento é atribuído à adição de elementos na forma de carbonetos e ao tratamento térmico efetuado no material.

Os testes de usinagem da liga desenvolvida indicaram um pequeno aumento dos esforços de corte em relação aos da liga comercial para as condições e parâmetros de corte adotados; entretanto os aspectos dos cavacos removidos da liga desenvolvida denotaram uma melhor e mais suave condição de cisalhamento durante os ensaios.

Os resultados obtidos nos ensaios efetuados indicam que a liga desenvolvida tem um grande potencial para aplicação comercial.

## REFERÊNCIAS

- [1] MYERS, K. Hardwearing iron-base alloy is soft on the pocket. **Materials World**, p. 755-756, 1999.
- [2] The PM structural parts industry - past growth and future prospects, **Metal Powder Report**, December (1999), p.14 -2.
- [3] WHITTAKER, D. **The International Journal of Powder Metallurgy**, v. 34, n. 34, p. 53-62, 1998.
- [4] SALGADO, L.; AMBROZIO FILHO, F.; LEAL NETO, R. M.; ROSSI, J. L. **SAE Special Publication SP-1610** (2001) 33-6.
- [5] SAKAI, M. Self-lubrication type P/M materials for the lead free valve seat. In: SAE 2000 World Congress, Mar. 06-09, 2000, Detroit. **Proceedings...** Detroit: SAE, 2000. (SAE Technical Paper Series 2000-01-0395).
- [6] JOHNSON, F. M. The genetic effects of environmental lead. **Mutation Research**, v. 410, p. 123-140, 1998.
- [7] JESUS FILHO, E. S. **Processamento, usinagem e desgaste de ligas sinterizadas para aplicações automotivas**. 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/USP, São Paulo.
- [8] GERMAN, R. M. **Powder metallurgy science**, Princeton, NJ: MPIF, 2<sup>nd</sup> edition, 1984.
- [9] SCHNEIDER Jr., G. Machinability of Metals. In SCHNEIDER Jr., G. **Cutting Tool Applications**, Nelson Publishing, chap. 3, 2006. p. 4-10. Disponível em: [http://www.manufacturingcenter.com/online\\_book/](http://www.manufacturingcenter.com/online_book/), acesso em 05/10/2006.
- [10] HUCHINGS, I. M. Tribology, friction and wear of engineering materials. **Metall. Mat. Sci. Series**, p. 1-3, 1992.
- [11] FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Vol. 1, Edgard Blucher, 1970.
- [12] BAPTISTA, A. L. B. Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. **Rev. Esc. Minas**, vol. 55, n. 2, p. 103-109, 2002.
- [13] CHANG, C.; SMITH, G.; LITTLEFAIR, G. Machinability of sintered distalloy HP-1 components. **SAE TRANSACTIONS: Journal of Materials and Manufacturing**, v. 110, p. 269-274, 2001.

## **SINTERED VALVE SEAT INSERTS – MACHINING AND WEAR EVALUATION**

### **ABSTRACT**

*This work present the test results made with new sintered based high-speed steel for valve seat inserts application. The results were compared with tests made in a commercial material used at the present time. The developed material was made from pre-alloyed high-speed steel (AISI M3/2) powder mixed with iron powder and carbides. The machining and wear properties of the developed material, compared to sintered iron-cobalt alloy (commercial material) are presented. The results indicate that the developed material has a large potential for commercial application.*

Key words: valve seat insert, high-speed-steel, powder metallurgy, machining, wear.