

Aços rápidos sinterizados

Odília Cordeiro de Souza Ribeiro
Edval Gonçalves de Araújo
Francisco Ambrózio Filho

Este trabalho apresenta dados sobre o processamento de dois aços rápidos, o M2, um aço de larga utilização, e o HAP-70, um aço especial com maior quantidade de carbonetos.

Selecionaram-se as temperaturas ótimas para a sinterização a vácuo destes aços, com base na determinação da densidade e na observação de suas microestruturas. A pressão de compactação foi fixada em 800 MPa, as temperaturas de sinterização variaram de 1220 a 1260°C para o aço M2 e de 1180 a 1260°C para o aço HAP-70, além de se adicionar diferentes teores de carbono na forma de grafita (0.1 e 0.2% em peso) aos pós de aço rápido. Os aços rápidos sinterizados são utilizados após tratamentos térmicos, normalmente efetuados da mesma maneira que nos aços convencionais. Pode-se para cada composição variar, dentro de certos limites, a dureza e a tenacidade pela modificação das temperaturas de tratamento térmico. Em termos de aplicação, o aço rápido M2 é usado onde se necessita de maior tenacidade, enquanto o aço HAP-70 é empregado onde se deseja maior resistência ao desgaste.

CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA Nº 2.430

III Seminário Brasileiro de Materiais Resistentes ao Desgaste/ABM, 17-18 de outubro de 1994, Fortaleza.

I - INTRODUÇÃO

Os aços rápidos são bastante utilizados em ferramentas de corte, onde se necessita de alta resistência ao desgaste abrasivo. A rota convencional de fabricação destes aços é por lingotamento e conformação a quente, o que resulta em grandes perdas durante o processamento (cerca de 50%). A preparação dos aços rápidos por metalurgia do pó traz menores perdas de material e melhora a qualidade do produto, devido à maior homogeneidade da microestrutura. Além disso, a metalurgia do pó permite a utilização de composições com quantidades de carbonetos muito maiores que o método convencional.

Dentre os métodos de fabricação por metalurgia do pó, o que utiliza a compactação e sinterização resulta em menor perda de matéria-prima em menor perda de matéria-prima, pois a peça é obtida com a forma bem próxima à final (*near net shape*). Esta técnica utiliza a compactação a frio de pós em prensas convencionais ou isostáticas e sinterização a vácuo (10^{-4} a 10^{-6} mmHg), ou atmosfera redutora contendo hidrogênio [1,2]. De acordo com a composição química do aço, a temperatura varia de 1230 a 1340°C [3], sendo o tempo de sinterização maior que dez minutos [4], obtendo-se densidades acima de 98% da densidade teórica.

De uma forma geral, compactam-se pós de aço rápido produzidos por atomização, sendo que a sinterização é feita em presença de fase líquida no sistema. A faixa de temperatu-

ras para sinterização, para uma dada composição, é normalmente estreita, pois deseja-se obter a máxima densidade do sinterizado com uma estrutura contendo carbonetos pequenos e uniformemente distribuídos.

Esta estrutura mais refinada e homogênea dos aços rápidos sinterizados faz com que diminuam as distorções que ocorrem durante os tratamentos térmicos, facilita as operações de usinagem na obtenção das ferramentas e melhora, de maneira geral, as propriedades de corte e desgaste.

A grande questão deste processamento é a determinação da temperatura de sinterização, em que é obtida uma alta densificação sem haver um crescimento excessivo de grãos e carbonetos [5].

Neste trabalho, apresentam-se os resultados de compactação uniaxial a frio e sinterização a vácuo para dois aços rápidos; um deles é o aço rápido normalizado AISI-M2 que, normalmente, é fabricado pelo processo convencional, e o outro, não normalizado, HAP-70, com maior teor de elementos de liga e carbono, cuja fabricação só é possível pela técnica de metalurgia do pó.

A tabela 1 apresenta as composições nominais dos aços estudados. O aço M2 é um aço rápido usado como ferramenta de corte para aplicações gerais, enquanto o HAP-70, devido à sua alta concentração de fases duras (carbonetos) tem sua utilização em aplicações nas quais é fundamental maior resis-

Odília Cordeiro de Souza Ribeiro, Bacharel em Química - IPEN/CNEN.

Edval G. de Araújo, Engenheiro Metalurgista, Msc. - COPESP/SP.

Francisco Ambrózio Filho, Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Dr. - IPEN/CNEN.

Tabela 1 - Composições químicas nominais dos aços rápidos M2 e HAP-70

	C	Cr	W	Mo	V	Co
M2	0.9	4.0	6.0	5.0	2.0	-
HAP-70	2.0	4.0	12.0	10.0	4.5	12.0

(% em peso)

tência ao desgaste, com desempenho se aproximando ao dos metais duros.

II - MATERIAIS E MÉTODOS

O pós de aços rápidos M2 e HAP-70 atomizados a água e recozidos foram caracterizados química e fisicamente, sendo os resultados apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

A figura 1 apresenta as curvas de compressibilidade dos dois pós. Selecionou-se a pressão de 800 MPa, sendo a compactação efetuada em prensa hidráulica unidirecional.

Tabela 2 - Composições químicas dos pós de aços rápidos M2 e HAP-70

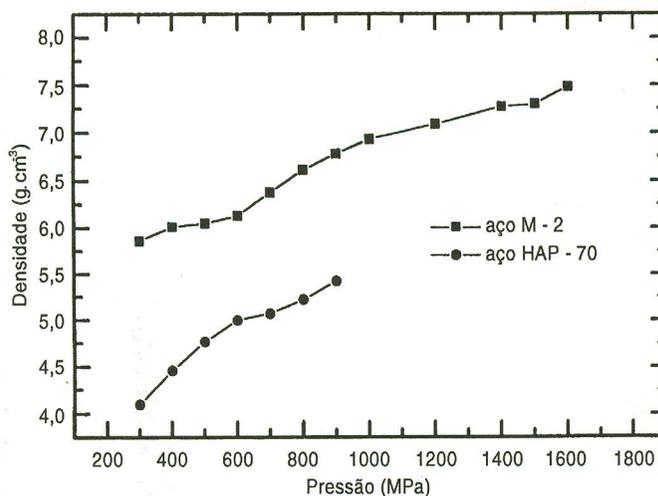
	W*	Mo*	V*	Co*	Cr*	Si*	C*	S*	Mn*	O**	N**
M2	6.50	5.09	1.92	0.17	3.95	0.04	0.85	0.02	0.31	757	127
HAP-70	11.4	11.5	4.4	11.8	4.1	0.30	2.01	0.04	0.16	170	230

* (% em peso) ** (ppm)

Tabela 3 - Características físicas dos pós de aços rápidos M2 e HAP-70

Distribuição Granulométrica (μm)	Porcentagem
HAP-70	
-125+90	47.0
-90+63	24.4
-63+45	16.3
-45+36	7.6
-36	4.7
Densidade Aparente (g/cm^3)	1.9
Densidade Batida (g/cm^3)	2.55
Escoabilidade (50g/seg)	53
M2	
-150	1.3
-150+106	13.9
-106+75	22.0
-75+45	29.2
-45	33.6
Densidade Aparente (g/cm^3)	2.34
Densidade Batida (g/cm^3)	3.30
Escoabilidade (50g/seg)	38

Figura 1 - Curvas de compressibilidade dos aços HPA-70 e M2.



A sinterabilidade com presença de fase líquida foi estudada na liga básica e com adições de 0.1 e 0.2% em peso de carbono na forma de grafite. A mistura foi realizada em misturador tipo turbula por 1 hora.

As curvas de sinterização foram determinadas relacionando-se as densidades obtidas (método de Arquimedes), em função das temperaturas de sinterização. Essas temperaturas

Figura 2 - Curvas de densidade em função da temperatura de sinterização (a) aço M2 e (b) aço HAP-70.

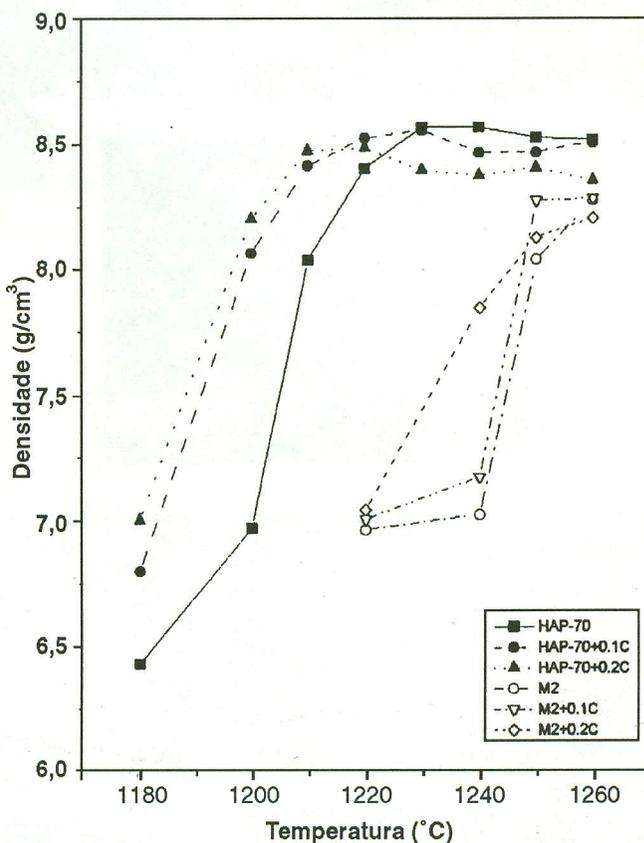


Tabela 4 - Densidades obtidas após sinterização para os aços rápidos M2 (1220-1260°) e HAP-70 (1180-1260°C).

Temperatura de Sinterização (°C)	Sem adição de Carbono		Adição de 0.1%C		Adição de 0.2%C	
	HAP-70	M2	HAP-70	M2	HAP-70	M2
1180	6.43		6.80		7.00	
1200	6.97		8.06		8.20	
1210	8.03		8.41		8.47	
1220	8.40	6.96	8.52	7.00	8.48	7.04
1230	8.56		8.55		8.39	
1240	8.56	7.02	8.46	7.17	8.37	7.84
1250	8.52	8.03	8.46	8.27	8.40	8.12
1260	8.51	8.27	8.50	8.28	8.35	8.20

(g/cm³)

variaram de 1220 a 1260°C para o aço AISI M2, e entre 1180 e 1260°C para o aço HAP-70, para um tempo de sinterização fixado em 60 minutos.

Após preparação metalográfica, as amostras foram caracterizadas por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV PHILIPS XL-30), sendo que o ataque das amostras foi realizado com Nital 5%.

III - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 4 e a figura 2 apresentam os resultados das densidades encontradas para a sinterização em diferentes temperaturas dos aços M2 e HAP-70.

Estes resultados mostram que o aumento da temperatura de sinterização provoca um aumento na densidade para ambos os aços até se atingirem valores próximos à densidade teórica.

Verifica-se que para cada teor de carbono adicionado existe uma temperatura mínima na qual se atingem os valores de densidade mais elevados. Esta temperatura é diferente para os dois aços, sendo uma função de sua composição

Figura 3 - Evolução da microestrutura em função da temperatura de sinterização para a liga HAP-70 (sem adição de carbono), observada por microscopia eletrônica de varredura.

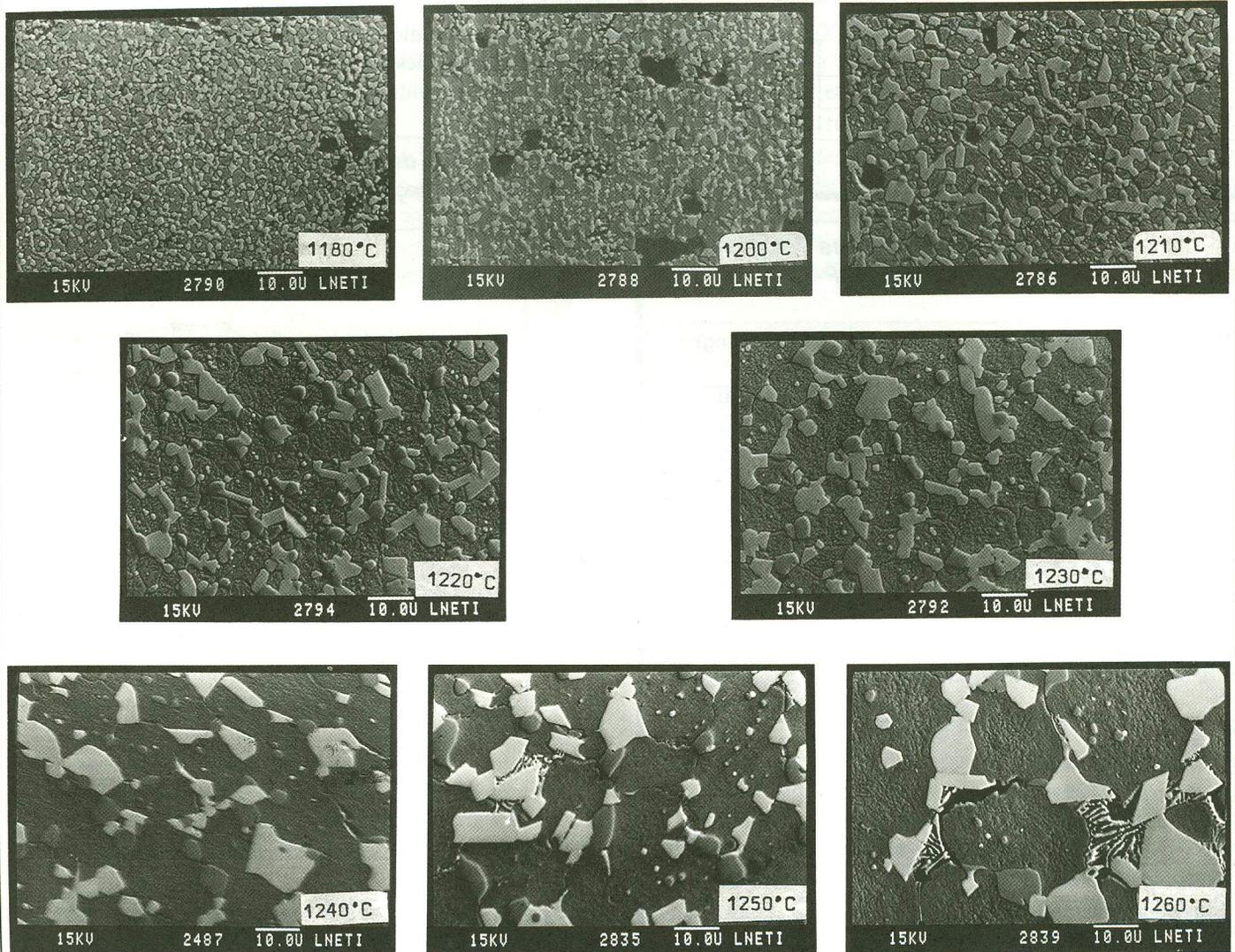
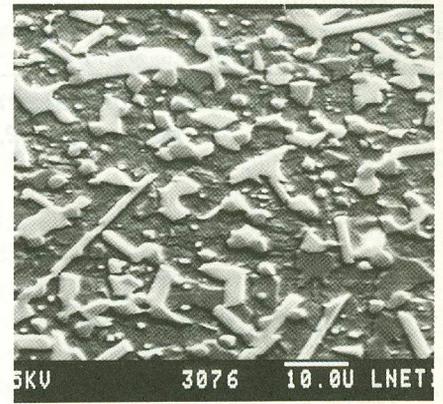
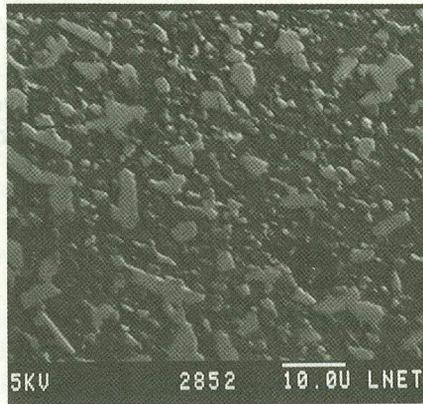
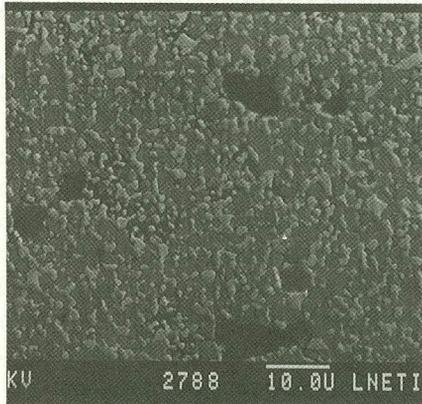


Figura 4 - Evolução da microestrutura em função da adição de carbono e da temperatura de sinterização para o aço HAP-70, observada por microscopia eletrônica de varredura.

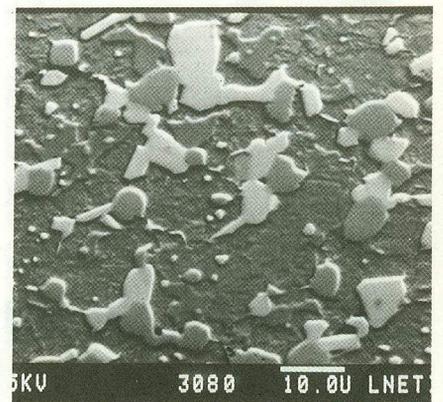
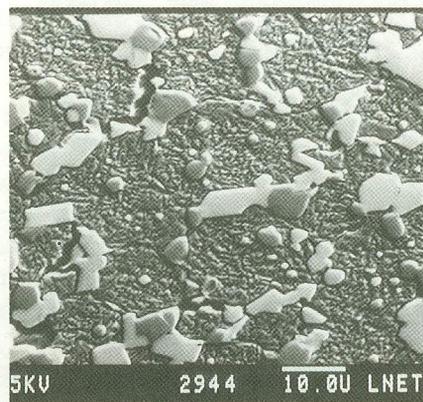
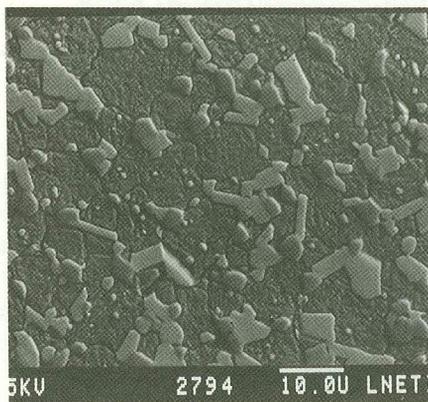
SEM ADIÇÃO DE C

COM 0,1% DE C

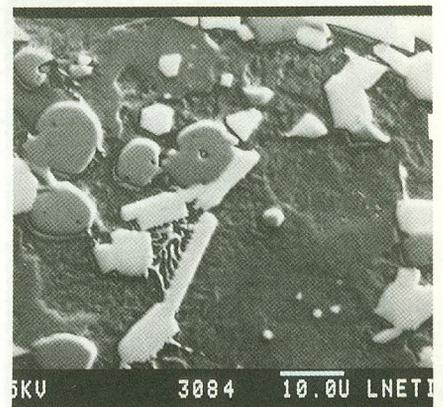
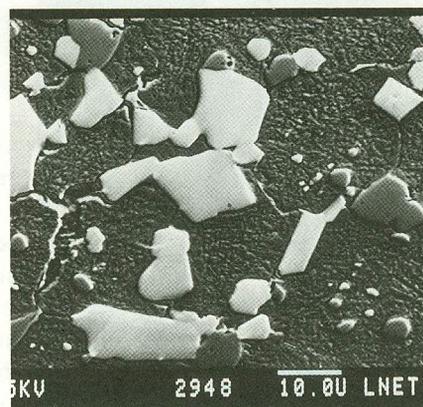
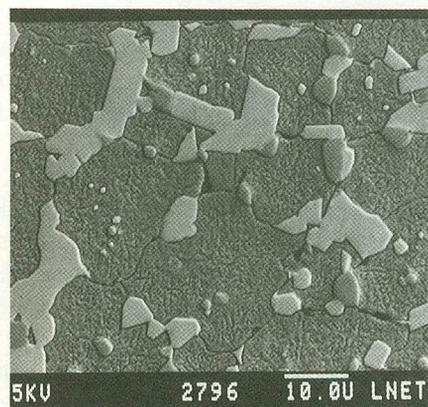
COM 0,2% DE C



T = 1200°C



T = 1220°C



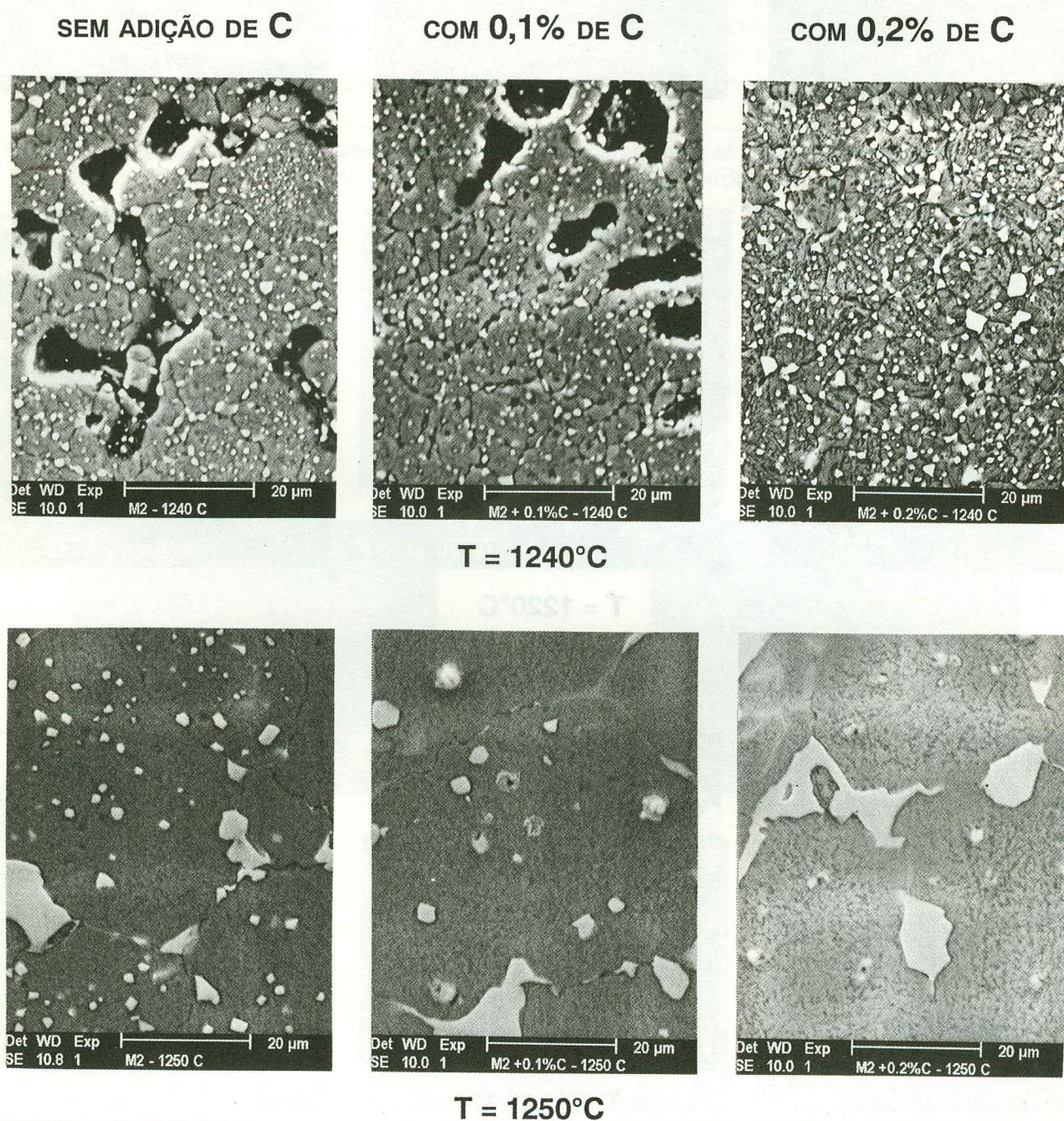
T = 1240°C

química. A sinterização ocorre com formação de fase líquida; e a quantidade de fase líquida necessária para acelerar a sinterização também depende da composição do aço. As temperaturas necessárias para se atingir altos níveis de densificação são maiores para o aço rápido M2 que para o aço HAP-70.

As temperaturas acima das quais se obtém alta densificação para estes aços são: HAP-70, sem adição de carbono: 1230°C,

com adição de 0.1% de carbono: 1220°C e com adição de 0.2% de carbono: 1210°C. No caso do aço rápido M2 não há uma definição tão nítida da temperatura em que se obtém alta densificação, tendo sido verificado que, sem adição de carbono e com 0.1%C, praticamente não ocorre densificação a 1240°C; já com a adição de 0.2% de carbono a 1240°C há uma certa densificação e, a partir de 1250°C, a densificação atinge o nível máximo.

Figura 5 - Evolução da microestrutura em função da adição de carbono e da temperatura de sinterização para o aço M2, observada por microscopia eletrônica de varredura.



Apesar de não se ter um efeito acentuado do aumento do teor de carbono para o aço M2, os resultados mostram uma diminuição na temperatura em que se obtém alta densificação com a adição de carbono. Este resultado já era esperado, pois o aumento do teor do carbono diminui a temperatura de formação de fase líquida.

Por outro lado, existem alterações microestruturais quando se varia a temperatura de sinterização. A figura 3 apresenta a evolução de microestrutura para a liga HAP-70, sem adição de carbono, em função da temperatura de sinterização. Nota-se que em baixas temperaturas há a ocorrência de porosidades enquanto que em temperaturas maiores é visível a formação de eutéticos, devido à grande quantidade de líquido formado. Esta evolução de microestrutura confirma os resultados das medidas de densidade. Esta sequência mostra, ainda, o crescimento do tamanho do carboneto com o aumento da temperatura. Nestas microestruturas tem-se uma matriz, carbonetos tipo MC (fase mais escura e arredondada) e tipo M_6C (fase clara e mais alongada). Na sinterização com a adição de carbono tem-se uma evolução semelhante, sendo que a densificação e o aumento do tamanho de carbonetos ocorre em temperaturas menores.

No aço rápido M2 ocorre uma variação semelhante do tamanho de grãos e carbonetos com o aumento da temperatura e/ou porcentagem de carbono a partir da temperatura onde há a formação de fase líquida no sistema.

As figuras 4 e 5 apresentam micrografias, obtidas por microscópio eletrônico de varredura, de amostras sinterizadas nas mesmas temperaturas com diferentes adições de carbono para os aços HAP-70 e M2, respectivamente. Estas figuras confirmam que a adição de carbono facilita a densificação. Outro fato mostrado é que para uma mesma temperatura de sinterização, a adição de carbono aumenta o tamanho dos carbonetos e tamanho dos grãos.

Se, por um lado, a densificação estabelece a temperatura mínima de sinterização, o tamanho de carbonetos e a presença de eutéticos na microestrutura limita a temperatura máxima de sinterização. Tendo isto em vista, procura-se escolher como temperatura de sinterização a menor temperatura possível, desde que haja a garantia de se estar no patamar de alta densidade.

Desta forma, pode-se selecionar para o aço HAP-70 as seguintes temperaturas de sinterização: 1240°C para o aço sem adição de carbono, 1230°C para o aço com adição de 0.1%C e 1220°C para 0.2%C.

No caso do aço M2, tem-se a densificação total para 1250°C, independentemente do teor de carbono adicionado. Nota-se que para o aço M2, sem adição e com 0.1%C, a temperatura de 1250°C ou próxima é uma boa temperatura de sinterização, enquanto que para uma adição de 0.2%C a temperatura de sinterização deve estar entre 1240 e 1250°C.

Dados da literatura mostram que a variação da temperatura ótima de sinterização para o M2 é de $\pm 3^\circ\text{C}$ (4). Isto sugere que para definir precisamente a temperatura de sinterização, em função do teor de carbono para o M2, devem ser usados intervalos de temperatura inferiores a

10°C (por exemplo 5°C), sinterizando-se em torno de 1250°C. Esta imposição de uma pequena variação na temperatura de sinterização é um dos principais problemas na sinterização do aço rápido M2, haja vista que é muito difícil conseguir fornos cuja zona quente tenha perfil térmico tão homogêneo.

IV - CONCLUSÕES

(1) As temperaturas de sinterização dependem da composição química do aço a ser sinterizado e do teor de carbono adicionado.

(2) As temperaturas ótimas de sinterização para o aço HAP-70 e M2 foram:

HAP-70 - sem adição de carbono:	1240°C
HAP-70 - com adição de 0.1%C:	1230°C
HAP-70 - com adição de 0.2%C:	1220°C
M2 - sem adição de carbono:	1250°C
M2 - com adição de 0.1%C:	1250°C
M2 - com a adição de 0.2%C:	<1250°C

□

Referências Bibliográficas

- [1] PINOW, K. E., SLASKOW, W. - "P/M tool steels" in *Metals Handbook - ASM*, tenth edition, V.1, p. 780-792, 1990.
- [2] IGHARO, M., WOOD, J. V. - "Effects of consolidation parameter on properties of sintered high speed steels". *Powder Metallurgy*, V.34, n°4, p. 273-279, 1991.
- [3] GREETHAM, G. - "High density speed steels" in *PM/90 International Powder Metallurgy Conference*, p.206-216, London, 1990.
- [4] KAR, P. K., UPADHYAYA, G. S. - "Liquid Phase Sintering of P/M High Speed Steel" *Powder Metallurgy International*, V. 22, n°1, p.23-26, 1990.
- [5] ARNHOLD, V., WÄHLING, R. - "High Performance Components Produced via Vacuum Sintering". *MPIF*, V.21, p. 183-195, 1988.