

AÇOS RÁPIDOS SINTERIZADOS

ODÍLIA CORDEIRO DE SOUZA RIBEIRO (1)
EDVAL GONÇALVES DE ARAÚJO (2)
FRANCISCO AMBRÓZIO FILHO (3)

(1) Bacharel em Química.- IPEN/CNEN

(2) Engenheiro Metalurgista, Msc. - COPESP/SP

(3) Engenheiro Metalurgista, Dr. - IPEN/CNEN

RESUMO

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.

Seleciona-se as temperaturas ótimas para a sinterização à 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 foram variadas 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 maior tenacidade, enquanto o aço HAP-70 é empregado onde se deseja maior resistência ao desgaste.

I - INTRODUÇÃO

Os aços rápidos são bastante utilizados em ferramentas de corte, onde se necessita alta resistência ao desgaste abrasivo. A rota convencional de fabricação destes aços é por lingotamento e conformação a quente, o que resulta 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 a 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, pois a peça é obtida com a forma bem próxima a final (*near net shape*). Esta técnica utiliza a compactação a frio de pós em prensas convencionais ou isostáticas e sinterização à 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 compacta-se pós de aço rápido produzidos por atomização, sendo que a sinterização é feita com presença de fase líquida no sistema. A faixa de temperaturas para sinterização, para uma dada composição, é normalmente estreita, pois deseja-se obter a máxima densidade do sinterizado com uma microestrutura contendo carbonetos pequenos e uniformemente distribuídos.

Esta estrutura mais refinada e homogênea dos aços rápidos sinterizados faz com que diminua 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 onde é obtida uma alta densificação sem haver um crescimento excessivo de grãos e carbonetos (5).

Neste trabalho apresenta-se os resultados de compactação uniaxial a frio e sinterização à 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 a sua alta concentração de fases duras (carbonetos) tem sua utilização em aplicações onde é fundamental uma maior resistência ao desgaste, com desempenho se aproximando ao dos metais duros.

| | 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)

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

II - MATERIAIS E MÉTODOS

Os 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.

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

| Distribuição Granulométrica (μm) - HAP-70 | Porcentagem |
|--|-------------|
| -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 |

| Distribuição Granulométrica (μm) - M2 | Porcentagem |
|--|-------------|
| -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 |

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

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.

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 túbula por 1 hora.

As curvas de sinterização foram determinadas relacionando-se as densidades obtidas (método de Arquimédes) em função das temperaturas de sinterização, essas temperaturas 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 figura 2 apresentam os resultados das densidades encontradas para a sinterização em diferentes temperaturas dos aços M2 e HAP-70.

| 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)

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

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

Verifica-se que para cada teor de carbono adicionado existe uma temperatura mínima na qual se atinge os valores de densidade mais elevados. Esta temperatura é diferente para os dois aços, sendo uma função de sua composição química. A sinterização ocorre com formação de fase líquida, sendo que 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.

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 onde 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 com a variação da 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 a 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 independente 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 uma dos principais problemas na sinterização do aço rápido M2, haja vista que é muito difícil se conseguir fornos cuja zona quente tenha um 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 adição de 0.2%C: <1250°C

V - BIBLIOGRAFIA

- (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.

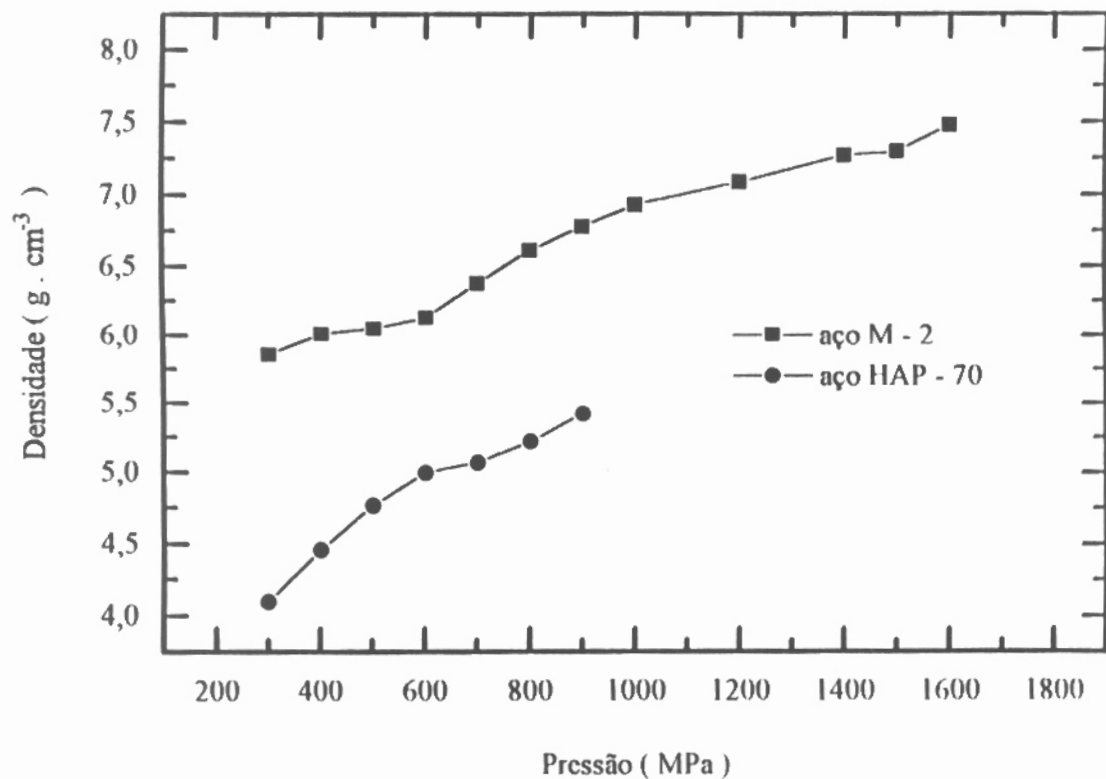


Figura 1 - Curvas de compressibilidade dos aços HPA - 70 e M - 2

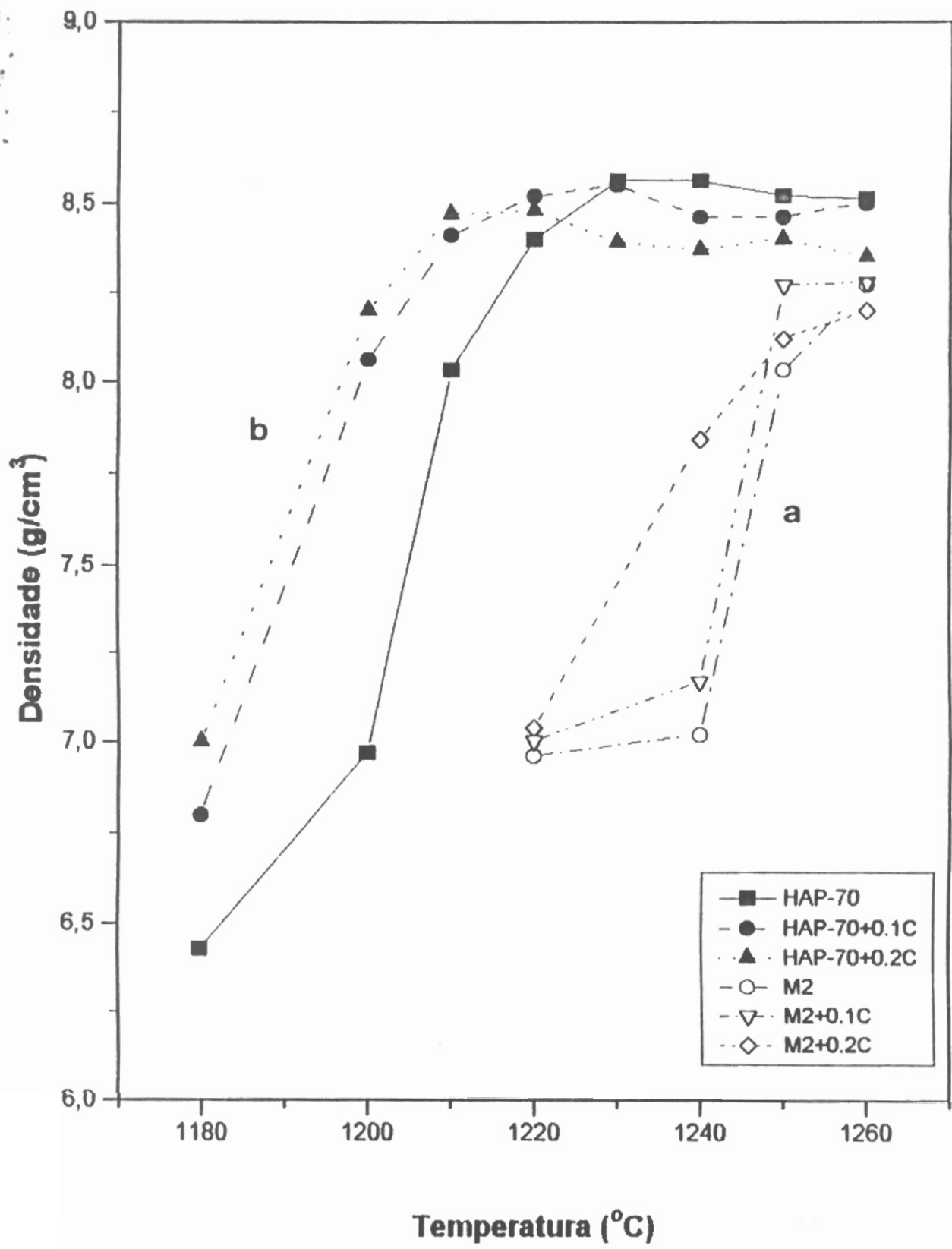


Figura 2 - Curvas de densidade em função da temperatura de sinterização
 (a) aço M-2 c (b) aço HAP-70

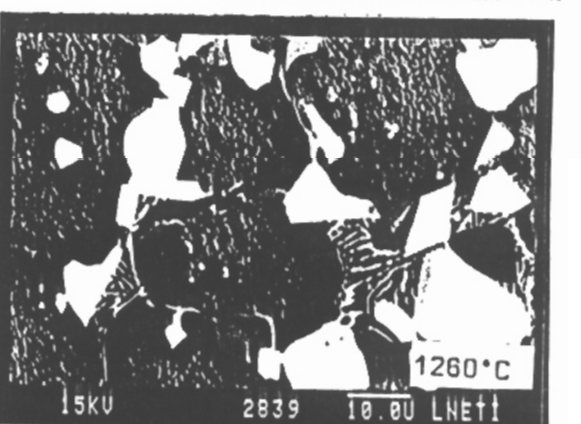
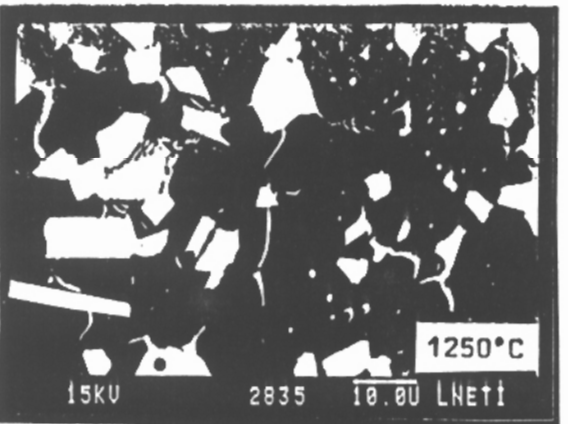
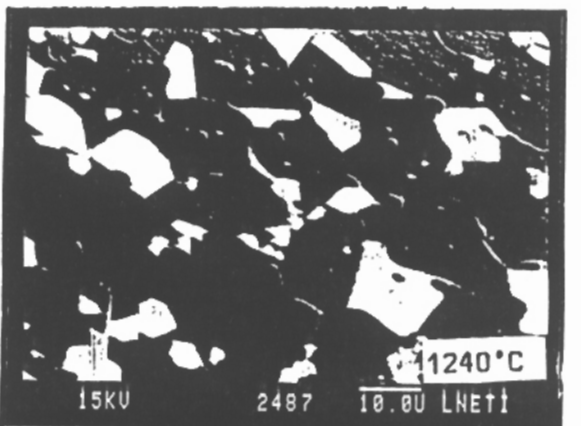
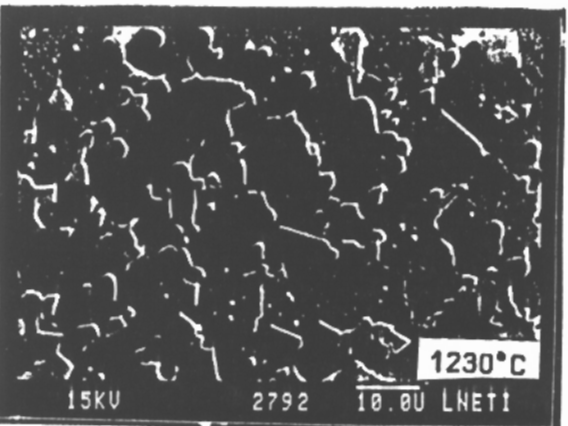
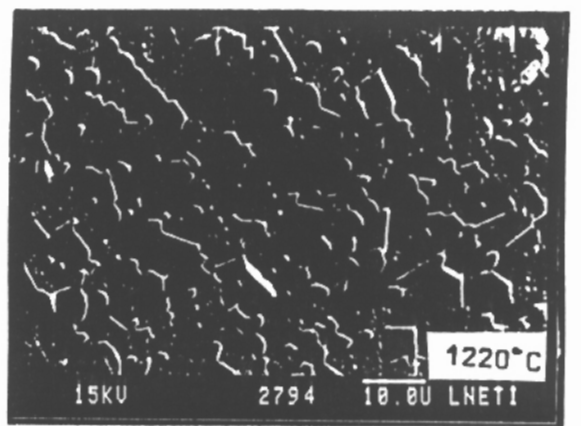
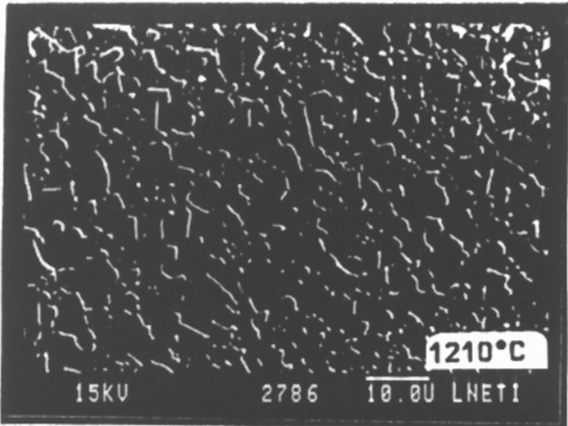
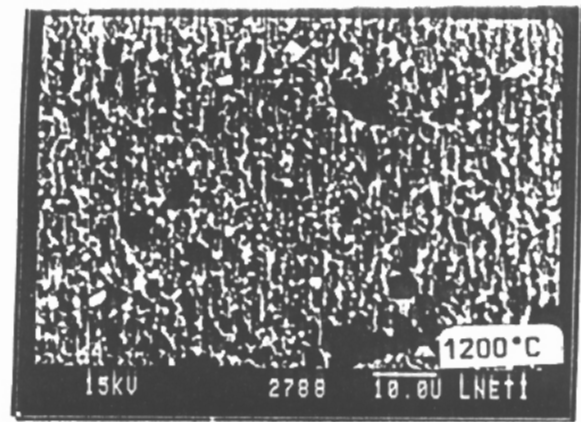
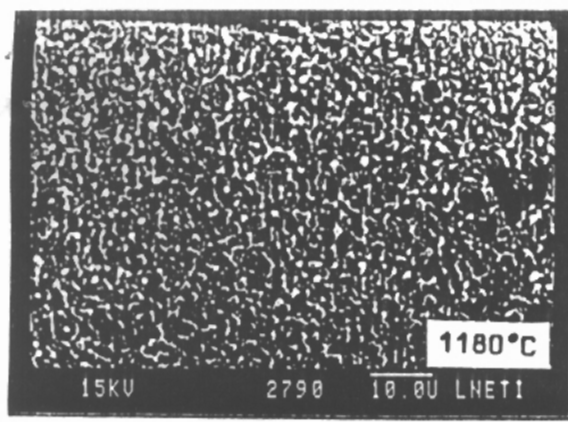
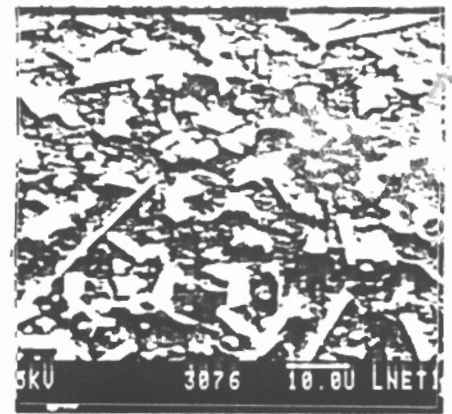
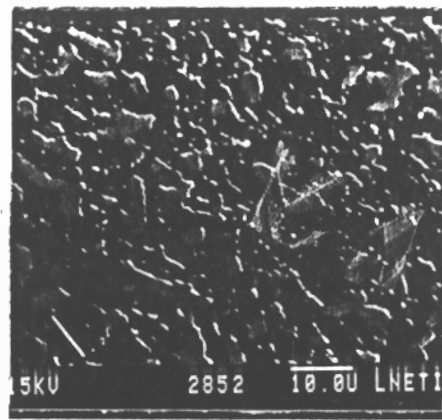
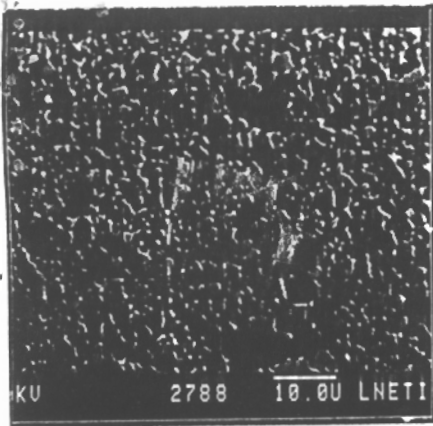


Figura 3 - Evolução da microestrutura em função da temperatura de sinterização para a liga HAP - 70 (sem adição de carbono) observada por microscopia eletrônica de varredura.

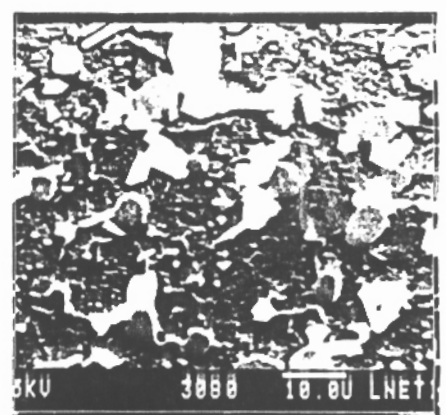
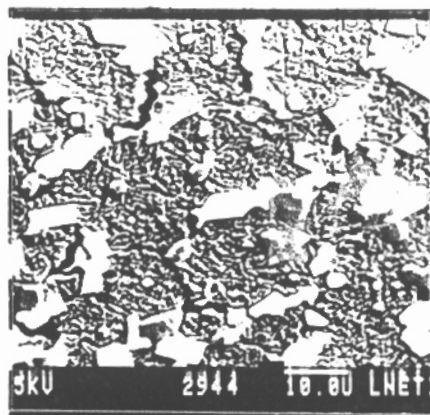
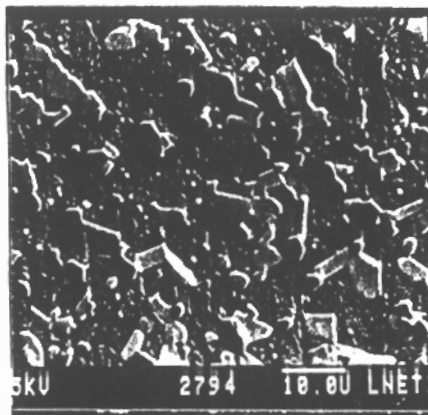
sem adição de C

com 0,1% de C

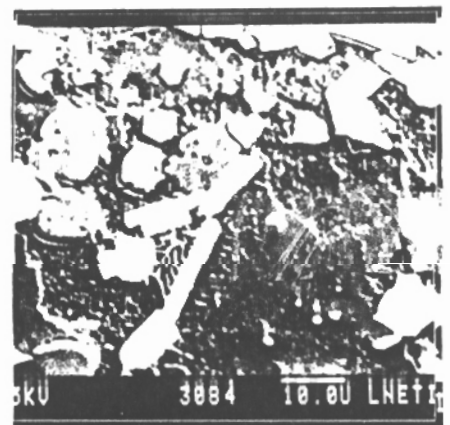
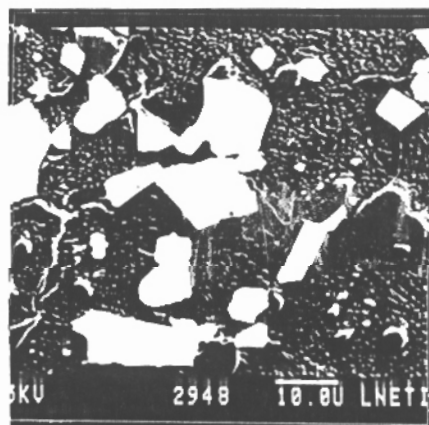
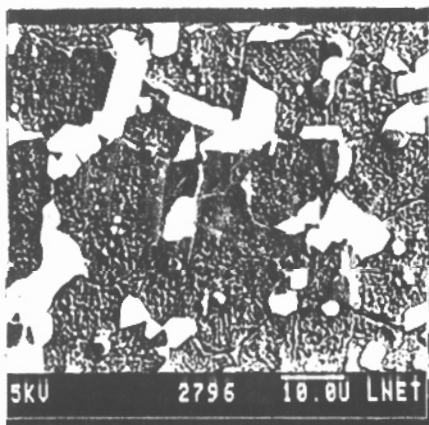
com 0,2% de C



$T = 1200^{\circ}\text{C}$



$T = 1220^{\circ}\text{C}$



$T = 1240^{\circ}\text{C}$

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.