

RECICLAGEM DE CAVACO DE LIGAS DE COBRE, VIA METALURGIA DO PÓ.

Daniel Yvan Martin Delforge

Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/FEI/UNESP.

Av. Brasil, 56 – 15385 000 Ilha Solteira SP – Brasil

delforge@dem.feis.unesp.br

Itamar Ferreira

Departamento de Materiais e Processos – DEMA/FEM/UNICAMP

13083 970 Campinas SP - Brasil

itamar@fem.unicamp.br

Resumo. Uma previsão para o futuro, é de que certamente a reutilização dos materiais recicláveis deverá ser ainda mais incentivada, com os principais objetivos de se minimizar os impactos ambientais e de se racionalizar a utilização das cadeias energéticas. Normalmente, na reciclagem, os cavacos dos metais de utilização convencional são coletados, fundidos e transformados em lingotes, seguidos de trabalho mecânico, para finalmente serem transformados em produtos acabados ou semi-acabados, por conformação plástica, usinagem ou por processos de fundição. No presente trabalho, procurou-se sinterizar, com fase líquida, algumas misturas de cavacos de latão, provenientes de torneamento, com pó de bronze 90Cu10Sn e com pó de ferro. As análises efetuadas pela Metalografia Quantitativa das amostras sinterizadas, demonstraram regiões de intensa difusão, portanto, regiões de sinterização bastante intensa, entre o pó de bronze e o cavaco de latão. Quanto ao pó de ferro, verificaram-se regiões de baixa sinterização.

Palavras-chave: Fase Líquida, Reciclagem do Cobre, Metalurgia do Pó, Sintetização

1. INTRODUÇÃO

Alguns autores (Lenel,1972; Kuczynski,1972; Kaisser,1991; Mehrabadi M.M., Xu K., 1998) definem a Metalurgia do Pó, comumente denominada Sinterização, como sendo um processo de manufatura de produtos metálicos ferrosos e não ferrosos e de materiais cerâmicos que consiste basicamente em se compactar pós metálicos dentro de cavidades denominadas matrizes. A compactação destes pós, cria um potencial eletroquímico que permite que ao se aquecer este compactado, em temperaturas na faixa de 70% e 80% do ponto de fusão do material, sob a ação de atmosfera protetora contra a oxidação, estabeleçam-se ligações metalúrgicas entre as partículas de pó. É inquestionável o fato de que se trata de um processo que vem se desenvolvendo através dos tempos e conquistando cada vez mais o mercado de fabricação de peças para setores da indústria tais como a automobilística, eletrodomésticos, metal-duro, freios, embreagens, indústria bélica e muitos outros.

A Metalurgia do Pó é um processo de fabricação que leva a economia de matéria prima ao extremo. Enquanto alguns processos convencionais podem gerar até 20% de sobras, ou mais, na forma de cavacos, carepas, rebarbas e outros, uma peça sinterizada leva consigo mais de 98% da matéria prima utilizada originalmente, sendo que na grande maior parte das vezes, as peças saem prontas, sem

que haja a necessidade de operações adicionais. Além disso, a sinterização é considerada um processo produtivo conservador de energia e de material e, por exceléncia, não poluente. Após a sinterização, as peças podem ser impregnadas com óleo lubrificante, podem também ter os seus poros selados com resinas, com ligas metálicas, o que lhes conferem um aumento da resistência mecânica, podem ser tratadas térmicamente, termoquimicamente, cromadas, ferroxidadas, niqueladas e outros.

Na fabricação de algumas peças, tais como eixos excêntricos, pinhões em pontas de eixos e outros, é possível conseguir-se reduções bastante significativas de custo, agregando-se peças sinterizadas com peças produzidas por outros processos. Neste caso, o processo de fabricação utiliza-se dos métodos convencionais para a "parte básica" e da Metalurgia do Pó para a "parte complexa" possibilitando assim uma redução nos custos de fabricação. Ainda, em alguns casos, é possível obter-se peças compactadas separadamente e sinterizadas acopladas umas às outras, formando um conjunto composto de duas ou mais peças.

Se comparado a outros países, as peças sinterizadas são pouco utilizadas no mercado brasileiro. Para se ter uma idéia desse fato, basta citar que no Brasil produz-se cerca de 12.000 ton/ano, enquanto que nos Estados Unidos essa cifra atinge a espantosa cifra de 350.000 ton/ano.

Um estudo da Metal Powder Industries Federation avaliou que há um mercado potencial adicional de cerca de 450 mil toneladas/ano. No momento, este mercado está sendo suprido pelas técnicas convencionais de fundição sob pressão, fundição de precisão, estampagem, forjamento em matriz e usinagem e também, pelos materiais poliméricos.

Sendo assim, é inegável que há ainda um grande mercado para a expansão da Metalurgia do Pó que devidamente explorado poderá incrementar consideravelmente a atual produção, motivando os fabricantes de equipamentos, os fabricantes de produtos sinterizados e os pesquisadores, a um contínuo aperfeiçoamento e desenvolvimento da Metalurgia do Pó.

Dentro deste contexto, a reciclagem de cavaco de materiais metálicos via Metalurgia do Pó, de misturas de cavacos com pó metálicos, parece ser um procedimento possível de se implantar na fabricação de peças de utilização convencional. A fig. (1) exibe algumas dessas peças que possuem certos requisitos de qualidade. Tratam-se de pinos, pequenas engrenagens, buchas autolubrificantes, anéis de vedação e outros, que poderiam ser constituídos de uma mistura de metal em pó e cavaco proveniente dos processos de usinagem.

O presente trabalho é parte do desenvolvimento de um estudo científico-tecnológico centrado nos aspectos gerais da Metalurgia do Pó, com a finalidade de se conseguir uma fundamentação que possibilite estabelecer uma metodologia eficiente e vantajosa de reciclagem de cavacos de latão e demais ligas de cobre, via Metalurgia do Pó, objetivando não somente a reciclagem propriamente dito mas também uma substancial economia de pós metálicos, de energia e vantagens para o meio ambiente.



Figura 1 – Peças típicas obtidas através da Metalurgia do Pó. Tratam-se de buchas, pinos, juntas metálicas e outras, que exigem um certo padrão de qualidade, e que muitas vezes, poderiam ser fabricadas a partir da sinterização de misturas de pó metálico e uma certa quantidade de cavaco.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, é a realização de alguns ensaios metalográficos que possam demonstrar ser possível a sinterização de misturas de pó de bronze e cavaco de latão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, utilizou-se além de cavacos de latão, pó de ferro comercialmente puro com densidade aparente de $2,70\text{g}/\text{cm}^3$ e pó de bronze com densidade aparente de $3,30\text{g}/\text{cm}^3$, medidos com um funil de Hall. A variação granulométrica dos pós utilizados com a respectiva porcentagem em peso encontram-se nas tabelas 1 e 2. Como lubrificante sólido, utilizou-se o estearato de zinco.

Tabela 1 - Granulometria do pó de ferro, com as respectivas porcentagens em peso.

Granulometria (mesh)	80	100	150	200	325	-325
Porcentagem em peso	1,30	10,90	25,50	27,30	24,20	10,80

Tabela 2 – Granulometria do pó de bronze, com as respectivas porcentagens em peso.

Granulometria (mesh)	100	150	200	250	325	-325
Porcentagem em peso	1,00	6,98	12,07	9,74	19,85	50,36

As metalografia foi toda baseada nas técnicas de (Kamm J.L 1997). Inicialmente foram separadas várias amostras contendo cerca de 1,5 gramas de cavacos de latão cada uma. Estas amostras, foram previamente decapadas com uma solução contendo 25% de acetona, 25% de álcool etílico, 15% de

ácido oléico, 2,0% de ácido nítrico, dissolvidos em 33% de água destilada, com a finalidade de se retirar a camada oxidada e de se promover a remoção de restos de fluido de corte.

Em seguida, separaram-se amostras de pó de ferro puro e de bronze, também com cerca de 2,0g a 2,5g cada uma. Todas estas amostras, inclusive as de cavaco, passaram por um processo de secagem em estufa à temperatura de 343K por um período de 6 horas.

Após o resfriamento, esse material foi dividido em várias amostras contendo cavaco de latão adicionado a pó de ferro puro e a pó de bronze, totalizando cerca de 7,0g cada uma, para análise metalográfica.

Feito isto, misturou-se cada grupo, separadamente, com 0,8% em peso, de estearato de zinco, em misturador Y, a uma rotação de 60 rpm, por um período de 60 minutos, tempo suficiente para se garantir uma boa homogeneização das misturas. Para a lubrificação da cavidade da matriz e dos punções, utilizou-se uma solução contendo 10% de estearato de zinco em 90% de acetona e secagem com ar comprimido.

Realizou-se a compactação dos corpos-de-prova em forma de pastilhas cilíndricas utilizados na análise metalográfica, em matriz fechada acoplada a uma prensa hidráulica convencional com capacidade de até 150kN. A carga de compactação, foi de 80kN em um área de 1,0cm², portanto, a pressão de compactação foi de 800Mpa.

A sinterização das pastilhas, foi realizada em um forno tubular da marca Quimis, a uma temperatura fixada em 1043K durante 45 minutos. A atmosfera protetora para prevenir a oxidação, com base nos estudos conduzidos por (Dwyer J.; et al, 1997) foi o argônio.

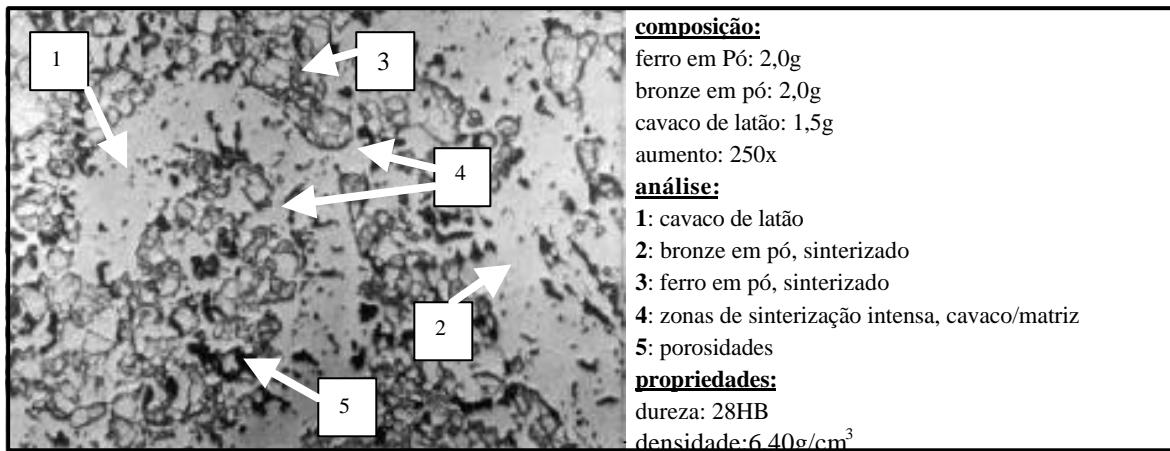
As medidas de dureza foram efetuadas num durômetro Heckert HPO 250. A escala de dureza utilizada foi a Brinell, com carga de 200N e penetrador esférico de ϕ 2,5mm, observando-se as recomendações da norma NBR 6672/81. Os valores de dureza foram obtidos a partir da média de três impressões em cada corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova sinterizados foram preparados de acordo com a técnica convencional e atacados com um reagente adequado à base de nitrato de amônia, que escurece o latão e portanto, revela os cavacos de latão. Posteriormente, as amostras foram analisadas em uma bancada metalográfica Neophot 21 – Carl Zeiss.

Do trabalho metalográfico, resultaram a determinação da fração volumétrica de vazios, a análise das regiões de sintetização efetiva entre os pós metálicos e os cavacos e a obtenção das fotomicrografias.

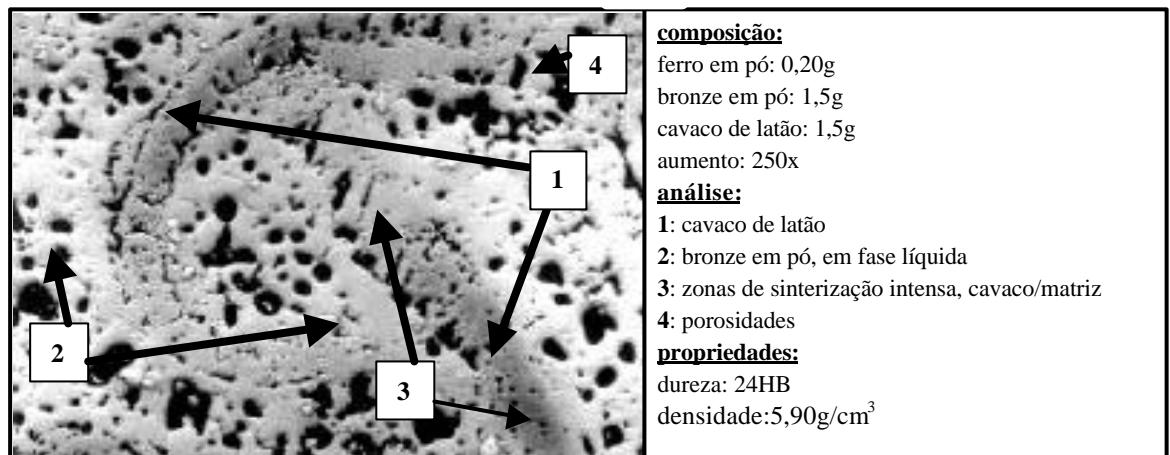
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentadas uma série de figuras que ilustram alguns dos resultados obtidos, da sinterização, das ligas de cobre utilizadas neste trabalho.



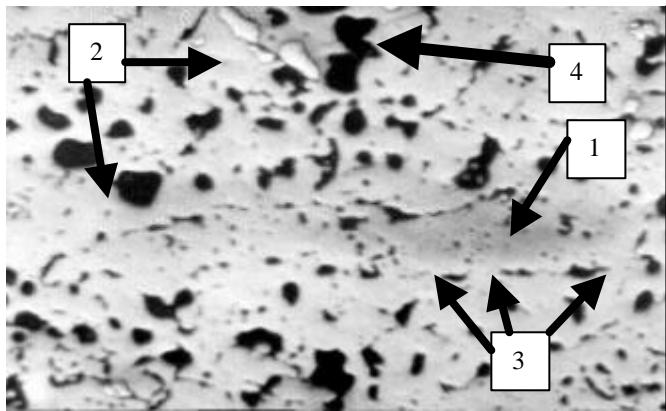
LAB.TECNOLOGIA DO PÓ DEM/FEIS/UNESP

Figura 2 – Cavaco de latão, misturado ao pó de bronze e ao pó de ferro. Notam-se zonas de sinterização muito intensa, entre o cavaco de latão e o bronze, nas quais o bronze constituiu uma fase líquida.



LAB.TECNOLOGIA D PÓ DEM/FEIS/UNESP

Figura 3 – Cavaco de latão, misturado ao pó de bronze ao pó de ferro. Notam-se zonas de sinterização muito intensas entre os cavacos de latão e o bronze, nas quais o bronze constitui a fase líquida. Muitas porosidades apresentam-se com geometria bastante circular, o que sugere que pode ter ocorrido difusão de estanho, para o interior do latão.



composição:

bronze em pó: 1,5g

cavaco de latão: 1,5g

aumento: 250x

análise:

1: cavaco de latão

2: bronze em pó sinterizado

3: zonas de sinterização intensa, cavaco/matrix

4: porosidades

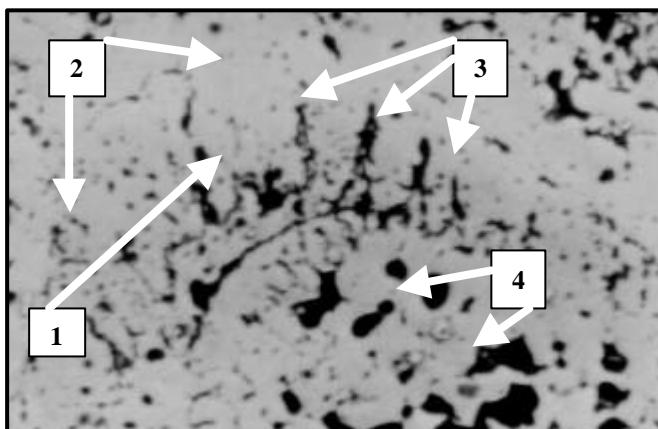
propriedades:

dureza: 24HB

densidade: 6,10g/cm³

LAB.TECNOLOGIA DO PÓ DEM/FEISUNESP

Figura 4 – Cavaco de latão misturado ao pó de bronze. Neste caso, observam-se regiões de sinterização bastante intensa.



composição:

ferro em pó: 0,20g

bronze em pó: 1,5g

cavaco de latão: 1,5g

aumento: 250x

análise:

1: cavaco de latão

2: bronze em pó sinterizado

3: zonas de sinterização intensa, cavaco/matrix

4: porosidades

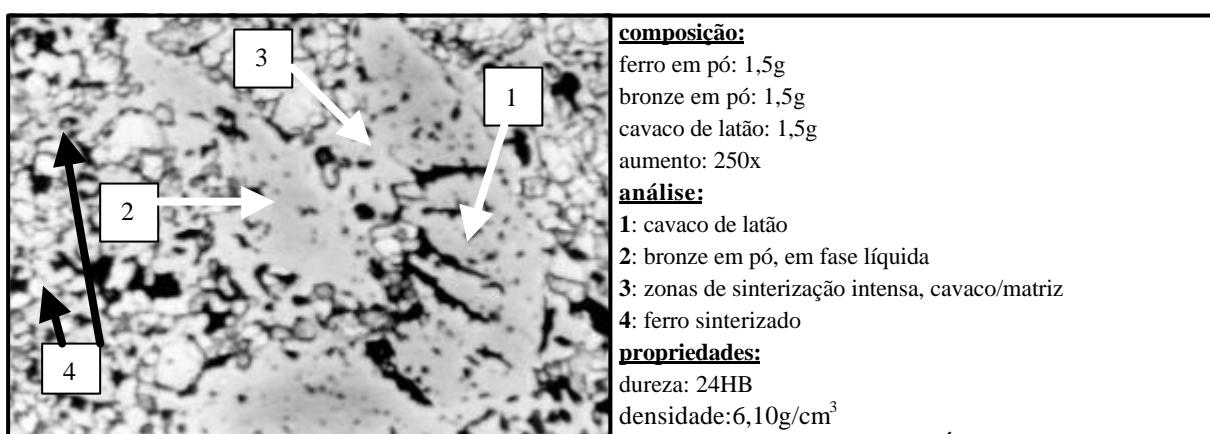
propriedades:

dureza: 24HB

densidade: 6,10g/cm³

LAB.TECNOLOGIA DO PÓ DEM/FEIS/UNESP

Figura 5 – Cavaco de latão misturado ao bronze em pó e ao ferro em pó. Notam-se zonas de sinterização muito intensa entre o cavaco de latão e o bronze, nas quais o bronze constituiu a fase líquida. Neste caso, a microscopia óptica não revelou a presença do ferro.



composição:

ferro em pó: 1,5g

bronze em pó: 1,5g

cavaco de latão: 1,5g

aumento: 250x

análise:

1: cavaco de latão

2: bronze em pó, em fase líquida

3: zonas de sinterização intensa, cavaco/matrix

4: ferro sinterizado

propriedades:

dureza: 24HB

densidade: 6,10g/cm³

LAB.TECNOLOGIA DO PÓ DEM/FEISUNESP

Figura 6 - Cavaco de latão, misturado ao pó de bronze e ao pó de ferro. Notam-se zonas de sinterização muito intensa entre o cavaco de latão e o bronze nas quais o bronze constituiu uma a fase líquida. Neste caso, a microscopia óptica revelou a presença do ferro, nas regiões mais claras.

Uma análise das fotomicrografias apresentadas nas figs. (2) a (6), revela que a sinterização de misturas de pós de bronze a cavacos de latão, é possível. E que em alguns casos, conseguem-se regiões de sinterização muito intensa, entre o cavaco e a matriz, formada. Os primeiros resultados, revelam que tanto a densidade quanto a dureza, alcançaram valores próximos daqueles esperados, quando se trata da sinterização de peças contendo apenas pós. A fração volumétrica de vazio se manteve em torno de 15%, o que é um valor aceitável em materiais metálicos sinterizados. Atualmente estão sendo realizados uma série de experimentos envolvendo a sinterização misturas de pó de aço inoxidável de série 300, com cavaco do mesmo material.

5 – CONCLUSÃO

Do exposto, a reciclagem de cavacos de latão, misturado ao pó de bronze, pode ser um procedimento viável, com um menor aporte energético, pois neste caso, o cavaco de latão é reaproveitado sem que se tenha o envolvimento de processos de fundição, que poderá possibilitar a economia de pó metálico e com benefício ao meio ambiente, pois trata-se de um processo essencialmente não poluente. Posto isto, estudos futuros deverão revelar dados mais elaborados, portanto, mais conclusivos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à Fundação para o Desenvolvimento da UNESP, pela dotação de recursos que viabilizaram este trabalho e o seu futuro desdobramento. A METALPÓ Ind. e Com. Ltda – São Paulo SP, pela doação de pós metálicos e outros insumos.

7. REFERÊNCIAS

- Lenel F.V., 1972, "The Early Stage of the Mechanism of Sintering", in Powder Metallurgy for High-Performance Application", Syracuse University Press, p.p.119-137, Binghamton, N.Y.
- Kuczynski G.C., 1972, "Fundamentals of Sintering Theory", in Powder Metallurgy for High-Performance Application", Syracuse University Press, p.p.101-117,Binghamton, N.Y.
- Kaysser W.A., 1991, "Solid State Sintering", The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy - An Overview, p.p.45-53, London.
- Mehrabadi M.M., Xu K., 1998, "Mechanics of Powder in the initial Rearrangemnt Stage of Liquid-phase Sintering", Mechanics of Materials,28 237-245.
- Kamm J.L 1997, "Quantitative Metallography of Powder Metallurgy Materials", Laboratory Service & Materials Analysis. Metal Powder Industries Federation, Princeton, N.J.,08540, 16-3/16-12.
- Dwyer J., Nayar H.S., Saxena, N., 1997, "Argon employing sintering process for prevention of nitriding", Metal Powder Industries Federation, Princeton, N.J.,08540, 14-47/14-54, USA.

SWARF COPPER ALLOY RECICLING BY POWDER METALLURGY

Abstract

The recicled materials is to be used in the nearly future to minimize enviromental problems and to save energy. In the normal way, the swarfs are collected to be casted and pouring in the form of ingots. Afterwards, these ingots are rolling or forged to achieve the semi-finished and finished products. They also can be machined or casted to obtain the right piece shape. In the present work, both brass swarf and bronze powder (90Cu; 10Sn) were sintered with iron powder. The quantitative metallograph analysis carried out in this material as sintered, showed good diffusion welding between the brass swarf and the bronze powder. However, it was observed poor diffusion welding with these constituents with iron powders.

Keywords: Liquid Fase Sintering, Powder Metallurgy, Reciclyng Coppers Alloys