

PROCESSAMENTO DE METAL DURO WC-10CO VIA MOLDAGEM DE PÓS POR INJEÇÃO

Jairo Arturo Escobar Gutiérrez
Paulo Antônio Pereira Wendhausen
Aloisio Nelmo Klein.

Universidade Federal de Santa Catarina. –UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica - EMC
Laboratório de Materiais-LabMat, 88040-900-CP.476, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail:
jescobar@pg.materiais.ufsc.br

Resumo

No processamento de metal duro a moldagem de pós por injeção (MPI) tem aparecido nos últimos anos como uma alternativa interessante. Neste trabalho é estudada a produção de metal duro a base de carbetos de tungstênio (WC) e cobalto (Co). Para isto, foram caracterizados os pós elementares, misturados os pós, adicionado o ligante, injetada a mistura, retirado o ligante e finalmente sinterizado. Com o sistema ligante (parafina 55%; polipropileno 35%; ácido esteárico 10%) e a quantidade de pó (55% vol. de pó) escolhidos foram obtidas características reológicas suficientes para injeção, além de um comportamento ótimo na extração dos ligantes. Densidades maiores que 99% da densidade teórica, e um valor médio de durezas de 1310 HV foram resultantes do processo.

Palavras chave: Metal Duro, Moldagem de Pós por Injeção, Sinterização.

1. INTRODUÇÃO

Os metais duros são materiais compósitos sinterizados que associam fases duras com uma fase ligante. Como fase dura são utilizados carbetos de metais de transição dos grupos IV e VI da tabela periódica, sendo o mais relevante o carbetos de tungstênio (WC); como fase ligante são utilizados os metais de transição intermediários, sendo o cobalto (Co) o mais importante. Estes materiais são amplamente utilizados em aplicações onde são requeridas elevada dureza e resistência ao desgaste aliadas a boa tenacidade, estabilidade térmica e dimensional, bem como, boa resistência à corrosão. Isto possibilita a aplicação do metal duro em: ferramentas de corte para usinagem de metais; brocas de mineração; matrizes para conformação de metais e componentes de elevada resistência ao desgaste, entre outras. Tradicionalmente, o metal duro é produzido pelas técnicas de compactação da metalurgia do pó, porém nos últimos anos a Moldagem de Pós por Injeção (MPI) tem sido considerada como uma alternativa interessante para o processamento deste tipo de material, devido à sua grande vantagem sobre a metalurgia do pó convencional de produzir componentes de formas complexas.

A MPI inclui variáveis de processamento tais como características do pó e do ligante, parâmetros da mistura, comportamento reológico, projeto do molde, parâmetros da moldagem, retirada de ligante e sinterização. Todas estas variáveis estão interrelacionadas, e uma alteração em uma delas causa modificação nas propriedades finais do material.

As propriedades finais dos metais duros são diretamente influenciadas pelas características dos pós utilizados, tais como forma e tamanho de partícula, distribuição de tamanho de partícula, densidade batida, características superficiais e estrutura cristalina característica das fases. Particularmente no caso dos metais duros, os pós são muito finos com um risco inerente de aglomeração (Nyborg et al, 1998)

Com respeito ao ligante, o principal requerimento é fornecer ao sistema uma baixa viscosidade, permitindo o fluxo e o empacotamento das partículas dentro da cavidade do molde, junto a um bom controle das dimensões finais do componente. Além disso, é muito importante evitar a separação do pó-ligante que causaria problemas como deterioro nas propriedades reológicas do sistema, aglomeração e heterogeneidade na densidade do componente (Yang et al, 1995; Ebenhöch et al, 1994). Desta maneira, a seleção do ligante depende do ponto de fusão e de ebulição, solubilidade, reologia, moldabilidade e características da extração do seus componentes.

A mistura ótima é conseguida quando todas as partículas do pó são uniformemente cobertas com uma camada do ligante. Com respeito ao comportamento reológico, este é muito importante para prever o comportamento na moldagem. A propriedade mais relevante é a viscosidade e sua variação com a taxa de cisalhamento e a temperatura. O processo de moldagem por injeção é caracterizado pelas viscosidades moderadas a medias e altas taxas de cisalhamento.

Todas estas variáveis e processos foram estudados e avaliados visando obter um metal duro (WC-Co) com boas características e propriedades.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Pós e sistema ligante

Realizou-se uma caracterização dos pós, identificando o tamanho médio e distribuição de tamanho, área superficial e densidade de batida da partícula. Estes pós foram misturados e moídos em um moinho de bolas por 72 horas. A moagem foi realizada via úmida utilizando-se álcool etílico, junto a esferas de aço inoxidável. Foi utilizada uma velocidade rotacional de 83rpm que assegura o movimento em cascata.

O ligante escolhido foi uma mistura de parafina, polipropileno e ácido esteárico em uma composição de 55%, 35% e 10% em volume respectivamente. A parafina (PF) é utilizada como maior componente devido ao fato que baixa a viscosidade da massa a injetar, fato muito importante para o metal duro WC-Co, pois sua abrasividade é alta. O polipropileno (PP) é usado para auxiliar a retenção de forma do injetado quando a parafina é retirada, e o ácido esteárico (AE) foi adicionado para atuar como surfactante, sendo este escolhido devido a suas boas características e compatibilidade com os pós utilizados, como foi demonstrado por Escobar et al (1999).

2.2 Mistura pó e ligante; Reologia e Moldagem

O pó WC-10Co foi misturado com o sistema ligante PF-PP-AE em uma proporção de 55% em volume de pó e o restante de ligante. A mistura foi realizada em um misturador tipo Sigma (Haake) a 160°C por 20 minutos e a uma velocidade rotacional de 35rpm. Este processo foi repetido duas vezes para garantir uma mistura homogênea. Medidas de densidade serviram como mecanismo de controle da homogeneidade da mistura.

Esta massa foi granulada manualmente e caracterizada reologicamente. Para isto foi utilizado um reômetro capilar tipo Haake PolyLab controlado por um microprocessador. Foram utilizados capilares com diâmetros de 1 e 1.2 mm e uma relação L/D de 40mm.

As amostras foram moldadas em uma injetora Arburg 320-S, sob uma pressão de 220MPa e um fluxo de 35cm³/min a 190°C. A cavidade de injeção utilizada é mostrada na figura 4 que serviu para avaliar a moldabilidade da massa. Para cada amostra foi medida a massa e a densidade. A integridade estrutural das amostras foi avaliada qualitativamente por secionamento.

2.3 Extração de ligantes e sinterização

A retirada do ligante foi realizada combinando métodos químicos e térmicos. A extração química foi realizada em um banho de hexano durante 5 horas a 52°C. Posteriormente, foi realizada a extração térmica usando um forno tubular sob fluxo de H₂, por 30 minutos a 500°C.

As amostras foram sinterizadas sob atmosfera controlada de H₂ a uma temperatura aproximada de 1420°C. As medições de densidade foram realizadas pelos métodos geométrico e de Arquimedes (MPIF 42). Para a caracterização microestrutural foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Philips XL-30 ao qual está acoplada uma microsonda eletrônica EDS-EDX (espectroscopia de raios-X por energia dispersiva). Foram realizadas medidas de dureza Vickers com uma carga de 50g por 10s como avaliação das propriedades do metal duro obtido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Características dos pós.

O pó utilizado está baseado em uma composição de 90% em peso de WC e 10% de Co. Algumas características dos pós elementares e da mistura WC-Co são apresentados na tabela 1, assim como alguns valores ideais segundo German e Hens [1992].

Tabela 1. Características dos pós utilizados e as ideais para uma ótima moldabilidade

Característica	Co	WC	WC-Co	Ideal
D ₅₀ , μm	1.51	2.70	1.2	2 a 8
Sw, μm	2.74	2.43	2.5	2 ou 7
σ, m ² /g	0.484	0.175	0.292	---
ρ _b , %	22.6	21.65	44.4	50 a 55
Morfologia	Irregular	Irregular	Irregular	Esférico

Onde

D₅₀ = Tamanho meio de partícula.

Sw = Largura da distribuição do tamanho de partícula. $Sw = 2.56 / \log_{10}(D_{90}/D_{10})$

σ = Área de superfície específica.

ρ_b = Densidade de batida como percentagem da densidade teórica.

Na mistura dos pós, o tamanho médio de partícula foi reduzido a 1.2 μm , implicando um risco de aglomeração das partículas. Este problema foi solucionado com a adição do surfactante no ligante. A figura 1 mostra uma micrografia dos pós de WC e Co após a mistura. Utilizando o analisador EDS observa-se que as partículas de Co estão “molhando” as partículas de WC. Este fato é particularmente importante porque assim aparecerão novas características superficiais das partículas, pois o Co tem camadas de óxidos, que ao contato com uma atmosfera úmida forma oxihidróxidos de forma complexa (Warren et al, 1996). Consequentemente, as novas pontes de hidrogênio formadas proporcionam novas condições de aderência, que vão atuar diretamente com o surfactante para formar as ligações entre o pó e o ligante, melhorando seu comportamento na moldagem.

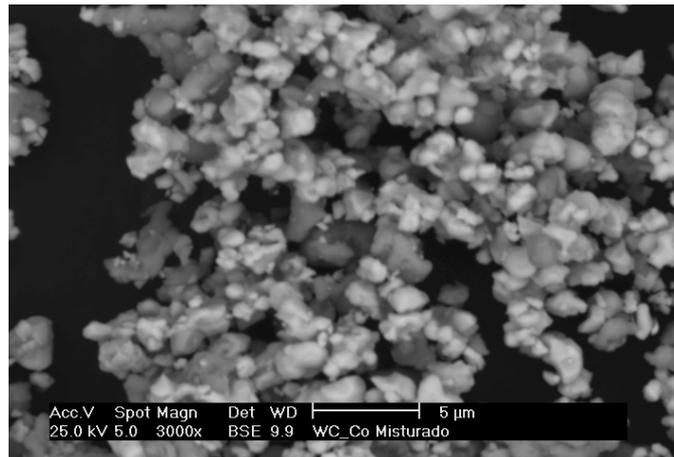


Figura 1. Micrografia dos pós WC-Co misturados

3.2 Mistura do ligante

Como é mostrado na figura 2, no início da mistura o torque aumenta rapidamente e não é estável. O torque aumenta porque ainda a viscosidade da mistura é alta, e não é estável porque o ligante não está distribuído uniformemente. Quando melhora a distribuição do ligante, a viscosidade baixa e consequentemente o torque tem uma tendência a baixar e depois a estabilizar. Por esta razão a homogeneidade na mistura pó-ligante foi avaliada através da estabilização do torque no misturador sigma. Nota-se que após 7 minutos de mistura o torque permanece invariável.

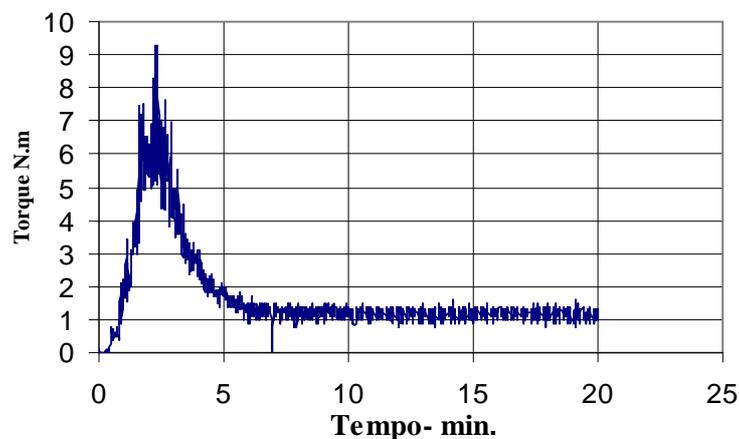


Figura 2. Evolução da mistura do pó com o ligante.

3.3 Propriedades Reológicas

A figura 3 mostra a evolução da viscosidade e do esforço de cisalhamento com a taxa de cisalhamento.

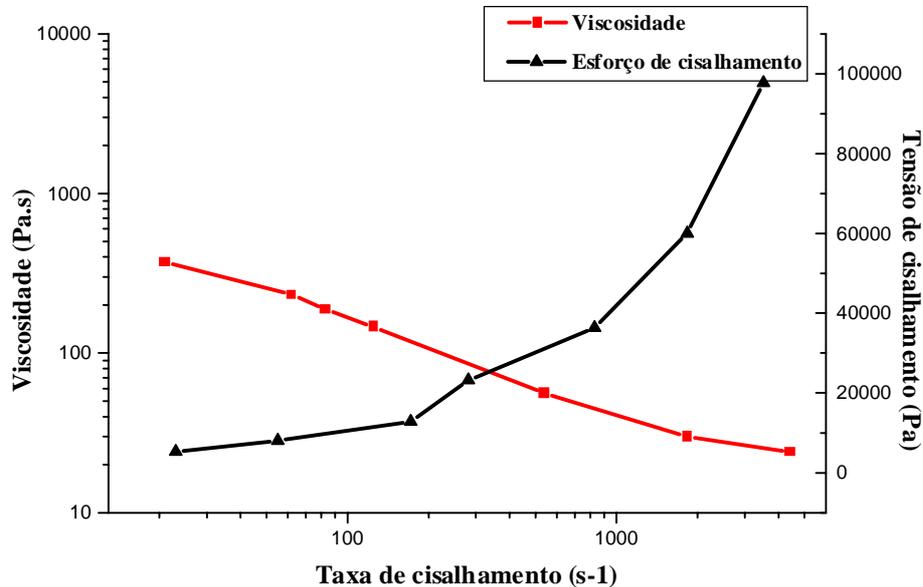


Figura 3. Características reológicas da massa injetável, com ligante PF-PP-AE

Segundo estas curvas, o fluxo mostra essencialmente um comportamento pseudoplástico, no qual a viscosidade decresce quando a taxa de cisalhamento é incrementada. Este comportamento é descrito pela relação $v=a\dot{\gamma}^b$ (sendo a e b constantes do material). Os resultados experimentais mostram um ajuste à função de potência com um coeficiente de correlação (R^2) de 0.99, confirmando que este modelo matemático é adequado para descrever o comportamento reológico da mistura estudada.

3.4 Injeção das amostras

As amostras injetadas não apresentaram problemas de rigidez, nem na extração do molde e tampouco no manuseio da mesma. A figura 4 mostra uma fotografia das peças injetadas.

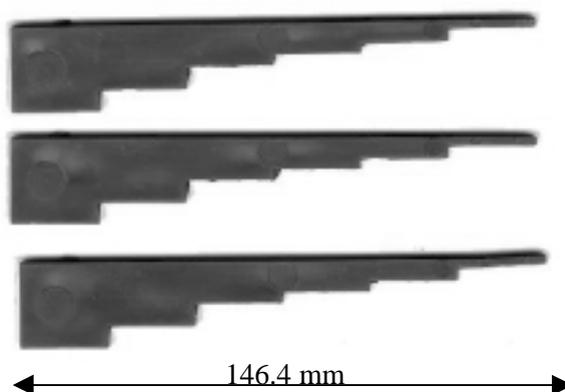


Figura 4. Amostras injetadas

3.5 Extração de ligantes

Como foi especificado antes, a extração dos ligantes foi realizada em duas etapas uma química e outra térmica. Na extração química, para o caso de amostras menores foi retirada a parafina e o ácido esteárico em sua totalidade (100%); mas no caso de amostras maiores foi encontrado que não perdia toda a massa adicionada, que no pior dos casos faltou 2.5% por extrair. Assim, na extração térmica foi retirado o polipropileno e o ácido esteárico remanescente.

3.6 Sinterização e caracterização

Na sinterização as densidades medidas pelo método de Arquimedes (MPIF 42) foram superiores a 99% da densidade teórica. A contração linear foi de 21% e a contração volumétrica de 48%. A dureza Vickers medida foi de 1310 HV com um desvio padrão de 18,3 HV. A figura 5 mostra uma micrografia da microestrutura resultante do processo. Esta microestrutura se encontra livre de defeitos como macroporos ou trincas. Além disso, não se evidenciou a presença da fase eta (η), resultante da descarbonetação.

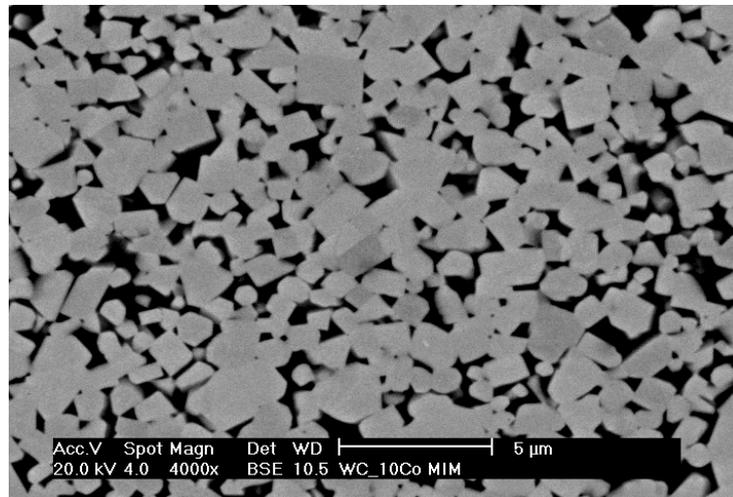


Figura 5. Microestrutura de WC-10Co produzido por MPI

4. CONCLUSÕES

O processo de moagem e mistura dos pós proporciona novas características superficiais, pois o Co “molha” o WC. Este fato é crítico na escolha do sistema ligante, pois estas características superficiais determinam a interação com o surfactante para formar a “ponte” entre o pó e os polímeros. Com a utilização do ácido esteárico como surfactante foi melhorada a dispersão do polímero fundido, pois ele reduz o ângulo de contato entre o pó e o polímero devido a três razões: redução da tensão superficial, diminuição da viscosidade do ligante e incremento da molhabilidade.

A mistura pó-ligante foi eficiente e homogênea. O comportamento reológico da massa injetada mostra uma tendência pseudoplástica, sendo descrito adequadamente pela relação $v = a\gamma^b$.

A composição do ligante (55% vol PF; 35% PP; 10% AE) junto à carga sólida (55% vol pó) tem características reológicas que permitem a moldagem por injeção e um ótimo comportamento na extração do ligante e na sinterização.

As densidades das amostras sinterizadas foram superiores a 99% da densidade teórica e um valor médio de dureza Vickers de 1310HV. A análise microestrutural evidenciou uma estrutura livre de defeitos e de fases não desejáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos - Projeto No: 4196085300) pelo suporte financeiro e ao Eng. Luis M. M. de Resende pelas medidas das propriedades reológicas.

6. REFERÊNCIAS

- Ebenhöch J. Werner N., 1994. "Injection Molding of Hard Metals Using a Polyacetal Based Binder System". *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, vol 4, p. 261-271.
- Escobar, J. A., Klein A.N., Wendhausen P.A., Fredel M.C, 1999. "Preparation of Hard Metals WC-10Co Components By Powder Injection Moulding", 2nd International Latin-American Conference on Powder Technology, Foz de Iguaçu, Brazil.
- German R.M. e Hens K.F., 1992. "Injection Molding of Various Metals and Ceramics Using an Acetal Binder", *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, vol 2, No 6, p. 1-16.
- Nyborg L., Carlström E., Warren A., Bertilsson H., 1998. "Guide to Injection Moulding of Ceramics and HardMetal Fine Powder". *Powder Metallurgy*, vol 41, No 1, p. 41-45.
- Yang M., German R., 1995. "The interaction Between the Cemented Carbide Powder and the Binder of PIM Feedstock", *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials* 2 (6), (1995), p.179-190.
- Warren A., Nylund A., Olefjord I., 1996. "The Processing of Hardmetals Components by Powder Injection Moulding", *International Journal of Refractory and Hard Materials*, vol 14, No 5-6, p. 345-353.