

# FERRAMENTAS DE USINAGEM EM AÇO RÁPIDO AISI M2 OBTIDO POR CONFORMAÇÃO POR “SPRAY”<sup>1</sup>

E. R. B. Jesus <sup>(2)</sup>  
E. S. Jesus Filho <sup>(3)</sup>  
J. L. Rossi <sup>(4)</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho foi a obtenção de aço rápido tipo AISI M2 pela técnica da conformação por “spray”, e a avaliação deste quanto ao seu desempenho quando aplicado como ferramenta de usinagem. O material obtido foi laminado a quente com razões de redução na espessura de 50 e 72%, resultando em placas a partir das quais foram confeccionadas pastilhas intercambiáveis para realização de testes de usinagem contínua. O desempenho destas pastilhas, foi confrontado com o de pastilhas confeccionadas a partir de material processado convencionalmente (lingotamento convencional) e de material processado pela técnica da metalurgia do pó (MP). Os materiais foram caracterizados mecânica e microestruturalmente após tratamento térmico de têmpera e revenimento. Adicionalmente, foram realizados testes de usinagem para avaliação de desempenho do material quando submetido a condições reais de trabalho. Os resultados da caracterização, evidenciaram o potencial da técnica de conformação por “spray” em possibilitar a obtenção de materiais com boas características e propriedades. Para as condições de processamento, conformação mecânica e de tratamentos térmicos aplicados neste trabalho, as análises dos resultados dos testes de usinagem revelaram um comportamento muito próximo entre todos os materiais de ferramenta utilizados. Procedendo uma análise mais refinada dos resultados dos testes de usinagem, foi verificado um desempenho ligeiramente superior para o material obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP), seguido pelo material obtido pela técnica da metalurgia convencional, o qual apresentou uma vantagem mínima em relação ao obtido pela técnica da conformação por “spray” e laminado com redução de 72%. Por fim, o desempenho inferior ficou por conta do material obtido pela técnica da conformação por “spray” e laminado com redução de 50%, o qual apresentou os maiores valores de desgaste.

**Palavras-chave:** Conformação por “spray”; Usinagem; Aço rápido.

<sup>1</sup> 60° CONGRESSO ANUAL DA ABM

<sup>2</sup> Eng. mecânico, Mestre e Doutor pelo IPEN/USP

<sup>3</sup> Eng. mecânico, Mestre e Doutorando pelo IPEN/USP

<sup>4</sup> Eng. de materiais, Mestre, Doutor e pesquisador do IPEN/CNEN-SP

## INTRODUÇÃO

Embora os processos de fabricação tenham evoluído significativamente, nos dias de hoje ainda que em menor proporção, a conversão de materiais de uma forma para outra implica em agregar valor ao produto final; de modo que os fatores que se inter-relacionam na manufatura (materiais, homens, métodos e equipamentos), precisam ser corretamente combinados para alcançar baixo custo, qualidade superior e prazo de entrega.

Normalmente o custo de manufatura representa cerca de 40% do preço de venda de um produto <sup>[1]</sup>; e cerca de 50% deste montante está relacionado com os recursos e materiais necessários ao andamento do processo. Incluem-se aí as ferramentas utilizadas no processo de usinagem.

No início da década de 1980, a estimativa era de que grande parte (cerca de 80%) de todas as peças e componentes manufaturados, necessitava passar por pelo menos um processo de usinagem antes de serem totalmente acabados <sup>[2]</sup>. Hoje, mesmo com métodos de manufatura mais avançados, a necessidade da utilização de operações de usinagem ainda não pode ser completamente eliminada.

A ferramenta foi um dos primeiros instrumentos a ser utilizado pelo homem desde a pré-história. Os materiais utilizados na fabricação desses instrumentos evoluíram até atingir a era dos metais, e permitiu a obtenção de materiais com melhor desempenho para aplicação na confecção de ferramentas de corte <sup>[3]</sup>. O aço ferramenta é um destes materiais, e apresenta-se como uma dentre as diversas opções existentes atualmente para a confecção de ferramentas de usinagem.

São basicamente 3, os processos a partir dos quais é possível a obtenção de aços ferramenta nos dias de hoje: fundição convencional, metalurgia do pó (MP) e conformação por “spray”. Este último tem-se apresentado técnica e economicamente viável para a obtenção de uma vasta gama de materiais, dentre os quais se encontram a categoria dos aços ferramenta.

A classificação proposta pela AISI (*American Iron and Steel Institute*), considera a grande variedade de aços ferramenta existente dividida em diversas categorias, dentre as quais encontra-se a dos aços rápidos, cujo tipo AISI M2 é o motivo do estudo a que se propõe o presente trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Foram consideradas para estudo basicamente quatro variações do material (aço rápido AISI M2) em termos de métodos de obtenção e tratamentos termomecânicos aplicados posteriormente, são eles:

- a) Material obtido por conformação por “spray”, recozido e laminado com 50% de redução na espessura (MCSR50).
- b) Material obtido por conformação por “spray”, recozido e laminado com 72% de redução na espessura (MCSR72).
- c) Material obtido por fundição convencional (adquirido comercialmente) (MConv)
- d) Material obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP).

O material conformado por “spray” (MCS) foi obtido na Planta de Conformação por “Spray” instalada no IPEN. Em virtude das características de temperabilidade do material obtido e da elevada taxa de resfriamento proporcionada pelo processo de conformação, o material apresentou dureza elevada (da ordem de 40 HRC) <sup>[4]</sup> após o término do resfriamento. Deste modo, foi necessário então submetê-lo a um tratamento térmico de recozimento para que o mesmo pudesse ser

posteriormente trabalhado (usinado).

Foram utilizados para o tratamento térmico de recozimento parâmetros encontrados na literatura [4,5,6-11], os quais se mostraram eficientes para proporcionar a redução de dureza suficiente, de modo a facilitar a trabalhabilidade do material. A partir do material recozido foi feita laminação a quente de placas retiradas do mesmo, obtendo-se assim duas variações em função das reduções de espessura aplicadas, que foram de 50% (MCSR50) e 72% (MCSR72).

O material obtido por fundição convencional (MConv), foi adquirido comercialmente. Detalhes de fabricação não são fornecidos. Entretanto, a literatura [12,13] aponta para uma redução da ordem de 94% ou mais para estes materiais, obtendo-se ao final uma microestrutura adequada para uso. Longos e onerosos tratamentos térmicos de esferoidização também fazem parte do processo de obtenção destes materiais.

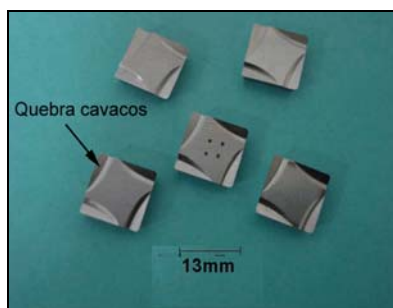
O material processado pela técnica da metalurgia do pó foi obtido em forma de pastilhas quadradas já sinterizadas, em formato próximo ao necessário para a confecção de pastilhas para os testes de usinagem. As pastilhas foram confeccionadas a partir de pó de aço atomizado em água, o qual foi compactado uniaxialmente a uma pressão de 800 MPa e em seguida sinterizado a vácuo a uma temperatura de  $1249 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  [14,15].

## Métodos

### Confecção das pastilhas para os testes de usinagem

A partir dos materiais citados, foram confeccionadas pastilhas intercambiáveis para realização de testes de usinagem e avaliação de desempenho. As pastilhas foram preparadas, tratadas termicamente com ciclo térmico conforme itens a-e a seguir [4], e por fim retificadas e afiadas resultando em pastilhas acabadas prontas para o uso (Figura 1).

- Pré aquecimento a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  por 2 h seguido de resfriamento ao ar.
- Pré aquecimento a  $880 \text{ }^\circ\text{C}$  por 9 min. em banho de sal
- Austenitização a  $1210 \text{ }^\circ\text{C}$  por 3 min. em banho de sal.
- Resfriamento a  $520 \text{ }^\circ\text{C}$  por 6 min. em banho de sal.
- Revenimento a  $560 \text{ }^\circ\text{C}$  por 2 h (três vezes) em banho de sal.



a)



b)

**Figura 1.** Detalhe das pastilhas após operação de retífica e afiação (prontas para o uso)<sup>[4]</sup>.

### Análises mecânicas e microestruturais

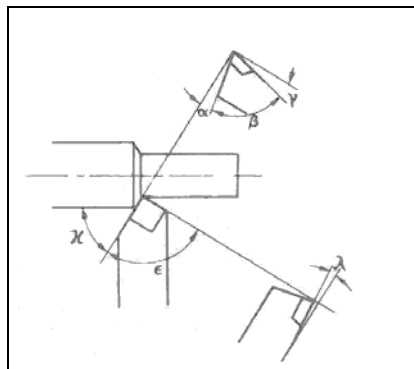
Foram preparadas amostras do MCSR50, MCSR72 e MConv para determinação da resistência a ruptura transversal (TRS) [16] através de ensaios de flexão, as quais foram tratadas conjuntamente com as pastilhas para garantia das mesmas condições de tratamento destas últimas.

Estas mesmas amostras após ensaiadas foram utilizadas para realização de testes de dureza nos casos da MCSR50, MCSR72 e MConv. No caso da MP, os valores de dureza foram feitos na própria pastilha.

Para verificação do tamanho e distribuição de carbonetos, foram preparadas amostras as quais após terem sido embutidas em baquelite, foram submetidas a processos de lixamento e polimento até pasta de diamante de 1  $\mu\text{m}$ , seguido de acabamento final em sílica coloidal de 0,25  $\mu\text{m}$ . Estas mesmas amostras, após terem sido analisadas em MEV, foram atacadas em uma solução de 10 mL de HCl, 5 mL de HNO<sub>3</sub>, e 85 mL de etanol / metanol (95%) [4] para revelação dos contornos de grão austenítico, após o que foram novamente analisadas em microscópio.

### Testes de usinagem

Para fixação das pastilhas foi utilizado um suporte porta pastilhas normalizado (designação ISO CSBPR2020K12), ligeiramente modificado para adequar-se à geometria adotada para realização dos ensaios (ângulo de saída = 0°). Resumidamente, após montada no suporte e já em posição de trabalho, a geometria de cada pastilha ficou conforme ilustrado na Figura 2, onde o raio de ponta = 0,8 mm.



- ângulo de saída  $\gamma = 0^\circ$  (\*)
- ângulo de folga  $\alpha = 12^\circ$
- ângulo de posição  $\chi = 75^\circ$
- ângulo de cunha  $\beta = 78^\circ$
- ângulo de ponta  $\epsilon = 90^\circ$
- ângulo de inclinação  $\lambda = 0^\circ$

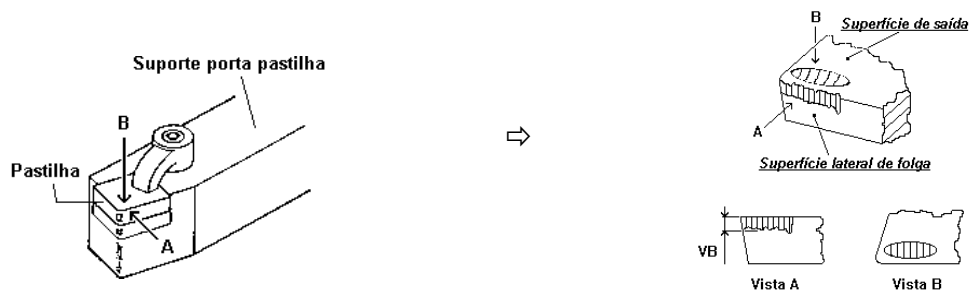
(\*) Na prática o ângulo de saída acaba por não ser 0°, pois, o desenho do quebra cavaco proporciona uma geometria de corte positiva na aresta de corte da ferramenta.

**Figura 2.** Representação simplificada da geometria das ferramentas (pastilha + suporte) utilizadas nos experimentos [4].

As usinagens foram feitas em corpos de prova de diâmetro 49 mm e comprimento 260 mm, preparados a partir de uma barra de aço AISI / SAE 1045 (recomendado pela ISO 3685 [17]) trefilado de diâmetro igual a 50,80 mm (2"). O equipamento utilizado foi um torno mecânico a comando numérico computadorizado (CNC), o qual destaca-se principalmente por possibilitar boa reprodutibilidade e variação infinita de rotações (dentro de dois valores limites), viabilizada pela existência de um variador de frequência no sistema de transmissão do mesmo.

Os ensaios consistiram basicamente na usinagem dos corpos de prova a profundidade de corte **p** e avanço **f** constantes iguais a 1,5 mm e 0,2 mm/rot respectivamente; e um raio de ponta **r** também de mesmo valor para todas as ferramentas iguais a 0,8 mm, de acordo com indicações da norma ISO 3685 [17]. Além do material da ferramenta, a velocidade de corte também foi um parâmetro variável, tendo sido aplicadas, quatro velocidades de corte (30, 32, 34 e 36 m/min) na usinagem com cada uma das 4 variações de material de ferramenta.

Foram consideradas paradas ao longo da usinagem de cada corpo de prova para medição do desgaste de flanco e de cratera (Figura 3). A cada parada a pastilha era retirada do suporte e levada até o microscópio óptico para registro fotográfico da evolução do desgaste; em seguida, a mesma era recolocada no suporte para continuidade do ensaio.

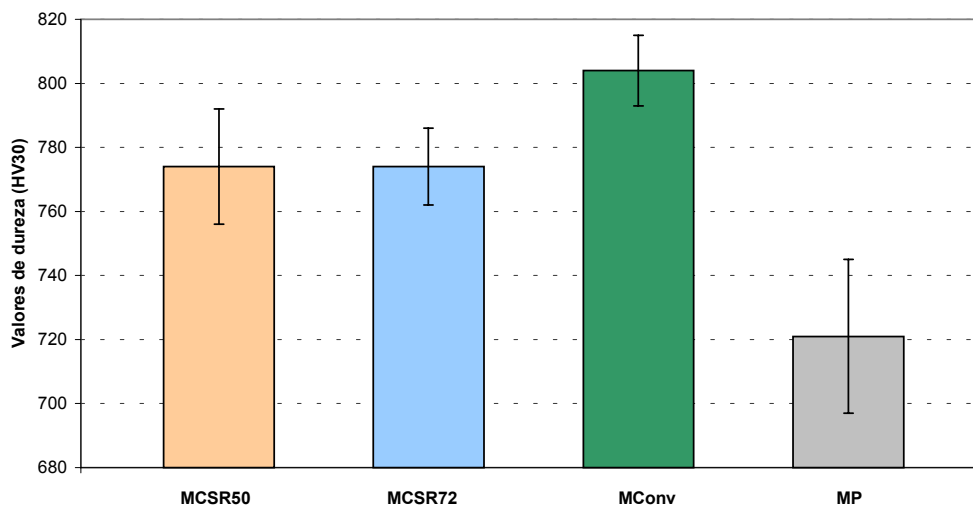


**Figura 3.** Esquema ilustrativo dos locais de desgaste na pastilha. A (vista A) - Desgaste de flanco (superfície lateral de folga); B (vista B) - Desgaste de cratera (superfície de saída) <sup>[4]</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

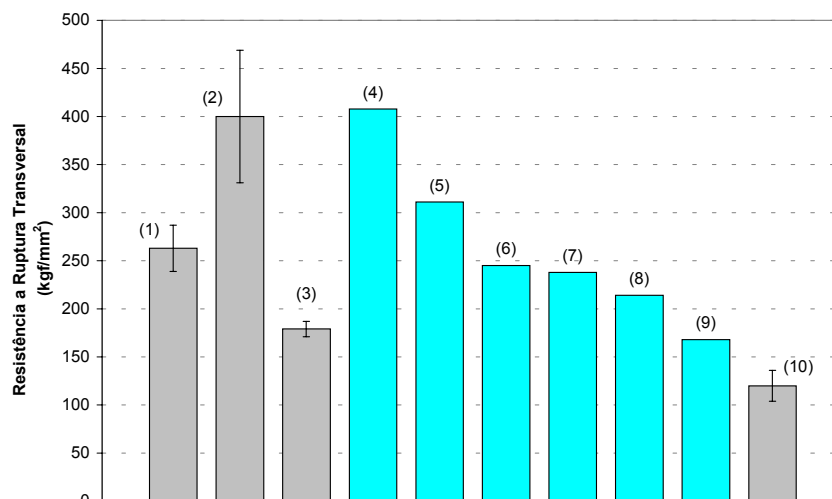
### Propriedades Mecânicas e Microestruturais dos Materiais

Os resultados das medições de dureza após o tratamento térmico de têmpera e revenimento das pastilhas, são apresentados na Figura 4. É possível verificar, que o maior valor de dureza foi encontrado no MConv, entretanto, vale salientar que nem sempre um maior valor de dureza está relacionado a um desempenho melhor da ferramenta, conforme foi verificado por Jesus <sup>[4]</sup> e Santos <sup>[18]</sup> em trabalhos com aço rápido convencional, sinterizado e conformado por “spray”.



**Figura 4.** Dureza dos materiais após tratamento térmico (têmpera e revenimento) <sup>[4]</sup>.

Os resultados dos ensaios de flexão para a determinação da resistência a ruptura transversal (TRS) <sup>[16]</sup>, mostraram que o material obtido por conformação por “spray” quando submetido a redução da ordem de 50%; resulta em valores de resistência que chegam em alguns casos a serem superiores aos do material obtido convencionalmente, e, quando a redução é aumentada para 72% os resultados são comparáveis aos do material obtido por metalurgia do pó. A Figura 5 apresenta os resultados dos testes de flexão efetuados nos materiais avaliados no presente trabalho, em comparação com os resultados publicados por outros pesquisadores para o aço rápido tipo AISI M2.



- (1) MCSR50 (presente trabalho) [4,19,20]  
 (2) MCSR72 (presente trabalho) [4,19,20]  
 (3) MConv – (transversal) – (presente trabalho) [4]  
 (4) Metalurgia do pó (MP) – Haberling e Weigand [21]  
 (5) Convencional – Haberling e Weigand [21]  
 (6) Conf. "spray" + forjamento – Igharo e Wood [22]  
 (7) Convencional - Igharo e Wood [22]  
 (8) Convencional – Mesquita e Barbosa [23]  
 (9) Convencional – (transversal) – Mesquita e Barbosa [23]  
 (10) Metalurgia do pó (MP - sinterizado) (equivalente ao utilizado no presente trabalho) [4].

**Figura 5.** Resultados dos ensaios de flexão para a determinação da resistência a ruptura transversal (TRS) dos materiais em estudo, em comparação com dados obtidos por outros pesquisadores (após têmpera e revenimento) [4].

Microestruturalmente, se as micrografias das Figuras 6 forem avaliadas com o objetivo de identificar o melhor material em termos de refinamento microestrutural (melhor distribuição e menores tamanhos de carbonetos), o que geralmente culmina com melhores propriedades mecânicas; o MCSR72 com certeza será o escolhido. Entretanto, quando se trata de materiais para aplicações em ferramentas de usinagem, uma outra característica muito importante do material deve ser levada em conta: a resistência ao desgaste abrasivo. Segundo Schruff *et al.* [24,25], a melhor condição microestrutural para que o material possa ter um bom desempenho em termos de resistência ao desgaste, é aquela em que os carbonetos se apresentam com uma distribuição homogênea e tamanhos maiores. Nesta condição, em qualquer região e direção têm-se pontos de ancoragem os quais oferecem resistência suficiente à passagem do elemento abrasivo; tanto maior será esta resistência, quanto maior for o tamanho do carboneto (ver Figura 7).

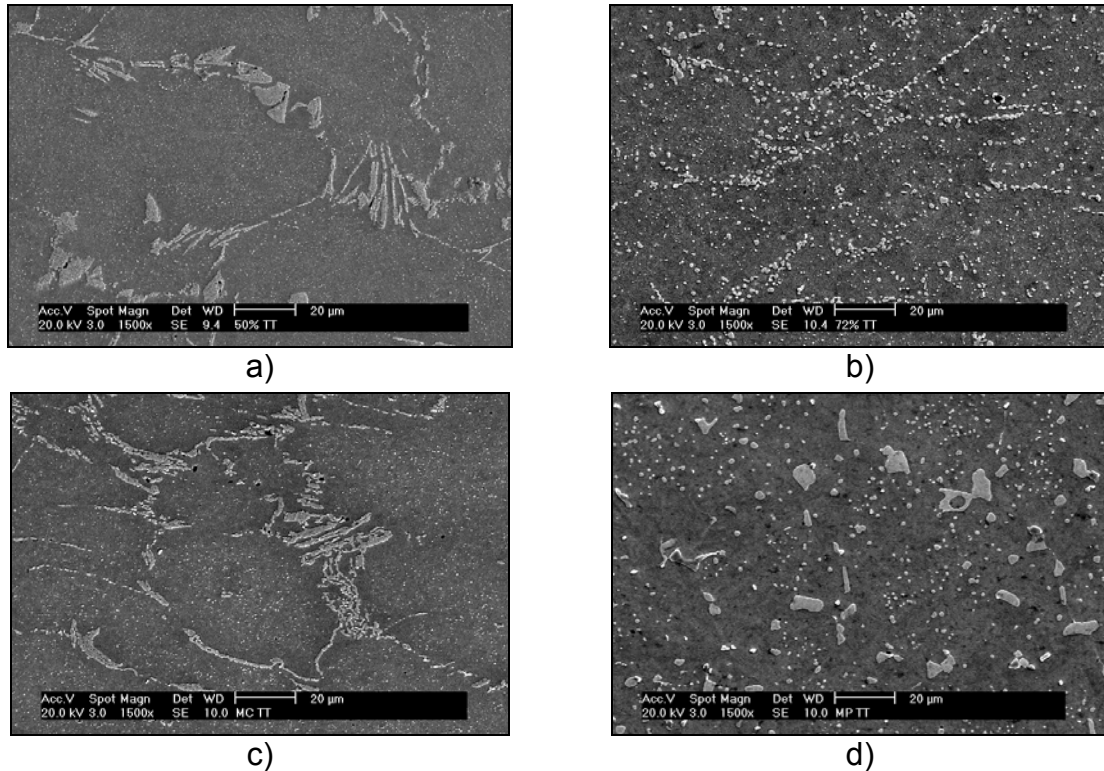
Efetuada-se uma análise comparativa entre as micrografias da Figura 6, e estabelecendo um paralelo com os resultados dos ensaios de usinagem, os quais serão mostrados mais adiante, tem-se que:

-a) A microestrutura do MCSR50 é bastante similar a do MConv. Entretanto, o MCSR50 apresentou resultados inferiores aos do MConv em termos de resistência ao desgaste durante os ensaios de usinagem.

-b) O MCSR72 apresenta-se com uma distribuição homogênea e com tamanhos menores de carbonetos em relação ao MConv, portanto, com uma microestrutura muito mais refinada. Entretanto, os resultados dos testes de usinagem colocaram os dois materiais em patamares de desempenho muito próximos, com ligeira vantagem para o MConv.

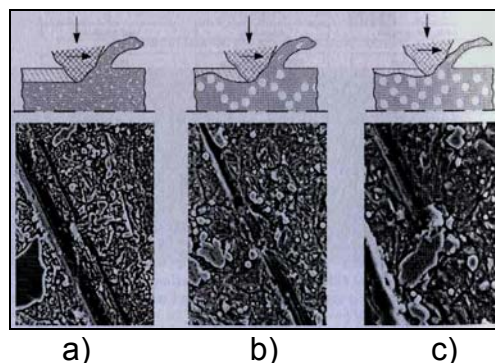


-c) O MCSR72 apresenta uma microestrutura tão refinada quanto o MP, inclusive com tamanhos menores de carbonetos. Entretanto, este último (MP), foi o que analiticamente apresentou os melhores resultados durante os testes de usinagem dentre todos os materiais de ferramenta avaliados.



**Figura 6.** Micrografia eletrônica de varredura do material após tratamento térmico de têmpera e revenimento – sem ataque. a) MCSR50. b) MCSR72. c) MConv. d) MP.

Embora a afirmação de Schruff *et al.* [24,25] talvez não seja a única e nem a justificativa mais adequada para todos os casos (itens a, b, c) mencionados anteriormente, é com certeza a que pode explicar melhor o desempenho superior da ferramenta cujo material foi obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP), em relação aos outros materiais.



**Figura 7.** Influência do tamanho e distribuição dos carbonetos na resistência ao desgaste dos aços ferramenta. a) Carbonetos muito finos; b) Carbonetos grosseiros orientados com formação em rede; c) Carbonetos grosseiros homogeneamente distribuídos [24,25].

Em termos de tamanho de grão austenítico, análises em MEV de amostras de todos os materiais após tratamento térmico de têmpera e revenimento, revelaram um

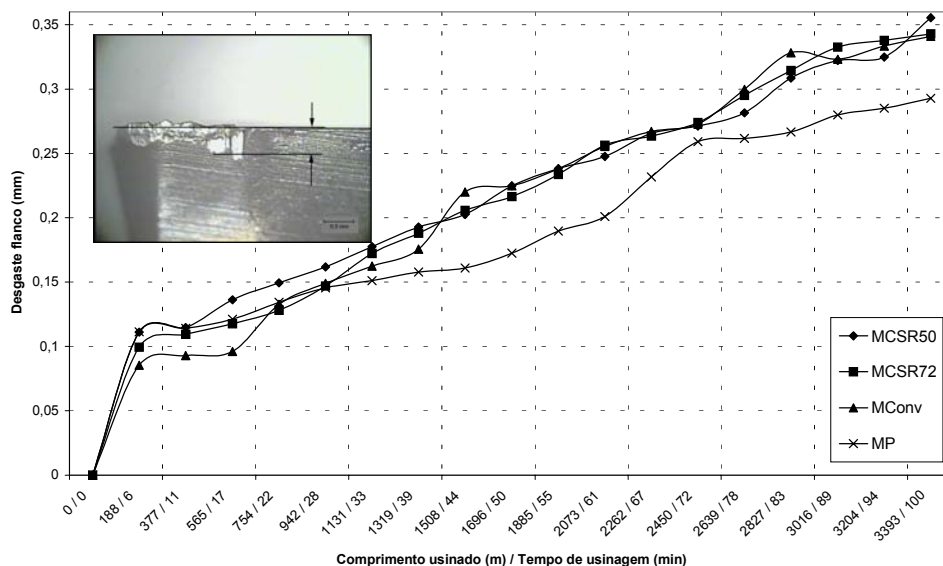
tamanho médio de grão maior (aproximadamente 22  $\mu\text{m}$ ) na amostra do material obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP), em relação as amostras dos outros materiais; o que pode explicar os menores valores de dureza e de resistência a ruptura transversal (TRS) encontrados neste material em relação aos demais casos.

No caso do MCSR50 e MCSR72, o tamanho de grão foi menor que no MP (15  $\mu\text{m}$  e 17  $\mu\text{m}$  respectivamente), o que pode em parte explicar os maiores valores de dureza e de resistência a ruptura transversal em relação a este último (MP). Já no MConv foi encontrado o menor tamanho de grão dentre todos os materiais (aproximadamente 13  $\mu\text{m}$ ), o que pode ter colaborado para que este material apresentasse o maior valor de dureza em relação aos demais casos.

### Testes de Usinagem

A primeira análise após o término dos testes de usinagem, foi feita sobre os resultados diretos das medições do desgaste de flanco em cada caso (material de ferramenta). Neste caso, a análise foi feita baseada principalmente nos dados obtidos com velocidades de corte de 34 m/min, tendo em vista que para esta velocidade foram usinados uma quantidade maior de corpos de prova em duas baterias completas as quais demonstraram entre si ótima reprodutibilidade.

A partir da curva de desgaste média entre as duas baterias de testes (Figura 8), é possível verificar que todos os materiais sob avaliação apresentaram comportamento bastante próximos em termos de valores finais de desgaste; ou seja, em nenhum caso houve uma dispersão tão absurda, que pudesse levar à condenação definitiva do material para a aplicação proposta no presente trabalho. Tal observação já é um forte indicativo do potencial de desempenho do material obtido pelo processo de conformação por “spray”, frente ao desempenho de outros materiais já consagrados.

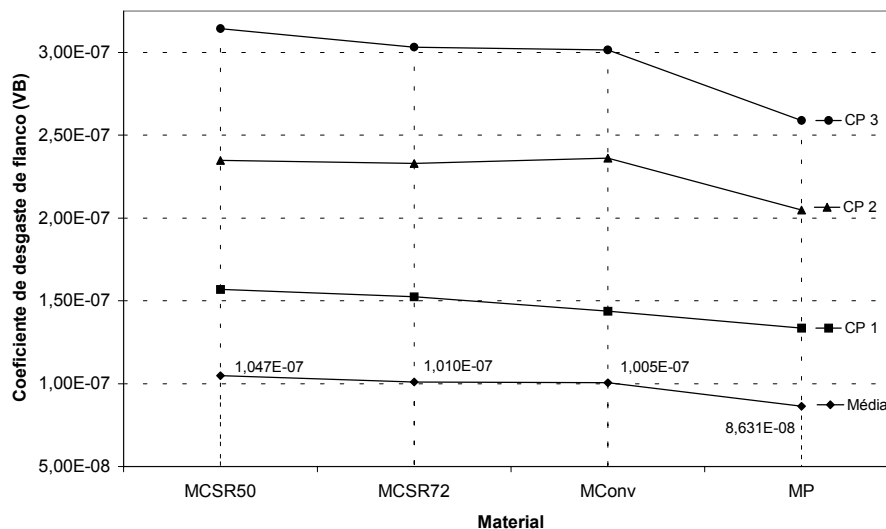


**Figura 8.** Curvas de desgaste para velocidade de corte de 34 m/min (valores médios referente a 1ª e 2ª baterias de testes) [4].

Procedendo uma análise mais detalhada e criteriosa, os valores da figura 8 foram trabalhados a fim de que o desempenho de cada material fosse expresso em termos de um número adimensional, denominado então de “coeficiente de desgaste de flanco” (Figura 9). Basicamente, o desgaste final em metros verificado na



ferramenta de usinagem após a usinagem de um dado corpo de prova, foi dividido pelo respectivo comprimento total de cavaco removido também em metros.



**Figura 9.** Valores de “coeficiente de desgaste” relativos aos testes com velocidade de corte de 34 m/min (dados cumulativos) <sup>[4]</sup>.

Analicamente, os resultados apresentados na Figura 9 apontam para um melhor desempenho do material obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP), seguido pelo material comercial (MConv), o qual apresentou uma vantagem bastante estreita em relação ao material obtido por conformação por “spray” e laminado com 72% de redução (MCSR72). Por fim, o pior desempenho foi demonstrado pelo material obtido por conformação por “spray” e laminado com 50% de redução (MCSR50), que apresentou os maiores valores de desgaste.

Resultados similares a estes, foram encontrados efetuando-se o mesmo tipo de análise, com base nos valores de desgaste de cratera encontrados durante as usinagens; e também, quando da construção das equações de “Taylor” específicas para cada caso, onde, se efetuada uma simulação por exemplo para uma vida de ferramenta igual a 15 minutos, tem-se as seguintes velocidades de corte associadas a cada caso:

Material da ferramenta			
MCSR50	MCSR72	MConv	MP
Vc = 34 m/min	Vc = 38 m/min	Vc = 39 m/min	Vc = 51 m/min

## CONCLUSÕES

A redução de 50% no tratamento termomecânico posterior do material obtido por conformação por “spray”, não foi suficiente para permitir uma boa distribuição, quebra e descaracterização da rede de carbonetos oriunda do processo de conformação por “spray”.

A redução de 72% no tratamento termomecânico posterior do material obtido por conformação por “spray”, pode ter sido demasiado para os propósitos de aplicação do material, pois apresentou evidências de redução da resistência ao desgaste deste material frente ao MConv e o MP.

Nas condições de processamento utilizadas no presente trabalho, as análises dos resultados dos testes de usinagem, revelaram um desempenho ligeiramente superior da ferramenta cujo material foi obtido pela técnica da metalurgia do pó (MP), seguido pela ferramenta cujo material foi obtido pela técnica da metalurgia convencional (MConv), a qual apresentou mínima vantagem em relação à ferramenta confeccionada a partir do material conformado por “spray” e laminado com redução de 72%. Por fim, o desempenho inferior ficou por conta da ferramenta cujo material foi obtido pela técnica da conformação por “spray” e laminado com redução de 50%, que apresentou os maiores valores de desgaste.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de uma bolsa a E.R.B.J., à empresa Hurth Infer pela realização de tratamentos térmicos, à empresa Petroleum Precisa pela afiação de pastilhas e ao Laboratório de Metalurgia do Pó do IPEN pelo fornecimento das pastilhas sinterizadas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1 DeGarmo EP, Black JT, Kohser RA. Materials and processes in manufacturing. 8. ed., Prentice Hall, 1997, p. 3-5.
- 2 Dieter GE. Mechanical metallurgy. 3. ed., McGraw-Hill, 1986, p. 679-708.
- 3 Ferraresi D. Fundamentos da usinagem dos metais. Vol.1., Ed. Edgard Blücher, 1970.
- 4 Jesus ERB. Ferramentas de usinagem em aço rápido AISI M2 obtido por conformação por “spray”. 2004. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares / Universidade de São Paulo.
- 5 Bayer, AM, Walton, LR. Wrought tool steels. Metals Handbook, 10th ed., ASM, vol. 1, p. 757-79, 1990.
- 6 Ambrozio Filho F, Gentile EF, Rossi, JL, Vatauvuk J. Tecnologia de pós metálicos e cerâmicos aplicada ao setor automotivo. SAE Technical Paper Series N. 962336, p. 1-11, 1996.
- 7 Jesus ERB, Jesus Filho ES, Gomes EG, Santos WS, ROSSI JL. Properties and microstructure characterisation of spray formed M2 and D2 tool steels. Apud: SDMA, 2000, Proceedings..., Bremen: 2000, p. 869-78.
- 8 Lima RM, Jesus, ERB, Rossi J L. Effect of heat treatment on the microstructure of spray formed AISI M2 high speed steel. Mat. Science Forum, v. 416-418, n°1, p. 95-100, 2003.
- 9 Jesus ERB, Lima RM, Jesus Filho ES, Gomes EG, Rossi J L. Microstructural characterisation of spray formed M2 tool steel. Acta Microscopica, vol. 9, Supplement A, p. 179-80, December 2000.
- 10 Jesus ERB, Jesus Filho ES, Rossi J.L. Avaliação de um aço rápido AISI M2 conformado por "spray" para aplicação como ferramenta de usinagem, após tratamentos térmicos de recozimento e têmpera, Apud: 1ª Conf. Bras. Sobre Temas de Trat. Tér., 25-27 junho, Indaiatuba, SP, Brasil, 2003. Anais... , 1 cd-rom.
- 11 Jesus ERB, Jesus Filho ES, Rossi JL. Avaliação física, mecânica e microestrutural de aço rápido AISI M2 conformado por “spray”. Apud: 1º Encontro dos Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 28-30

- Outubro, 2003. Anais..., São Paulo: 2003, p. 21-30.
- 12 Roberts GA, Cary RA. Tool steels - 4th ed., ASM, p. 628-791, 1980.
  - 13 Ohja SN, Singh SN. On spray deposition of high-speed steel. Journal of Materials Science Letters, 10, p. 893-95, 1991.
  - 14 Ambrozio Filho F, Nogueira RA, Ribeiro OS, Neves MDM, Lima LFCP. Influence of heat treatment on microstructures of conventional and sintered AISI-M2 high speed steel. Apud: 20<sup>TH</sup> ASM Heat Treating Society Conf., 9-12 October 2000, St. Louis, MO, ASM International, 2000. Proceedings..., p. 1006-1009.
  - 15 Nogueira RA, Ribeiro OCS, Neves MDM, Salgado L, Ambrozio Filho F. Effect of heat treatment on microstructure of commercial and vacuum sintered high speed steels AISI M2 and T15. Apud: PTECH 2003, Guarujá-SP, Brazil, 2003. Proceedings..., 2003, cd-rom.
  - 16 METAL POWDER INDUSTRIES FEDERATION. Determination of transverse strength of powder metallurgy materials, 1991. (Standard test method 41).
  - 17 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Tool-life testing with single-point turning tools. 2.ed., 1993. (ISO 3685)
  - 18 Santos RS. Ferramentas de aço rápido sinterizado e aços rápidos convencionais: análise de propriedades. 1998. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
  - 19 Jesus ERB, Jesus Filho ES, Gomes EG, Santos WS, Rossi JL. Properties and microstructure characterisation of spray formed M2 and D2 tool steels. Apud: SDMA 2000, Bremen, 2000. Proceedings..., p. 869-78.
  - 20 Lima RM, Jesus ERB, ROSSI JL. Effect of heat treatment on the microstructure of spray formed AISI M2 high speed steel. Mat. Science Forum, v. 416-418, n°1, p. 95-100, 2003.
  - 21 Haberling E, Weigand HH. Correlation between mechanical properties, microstructure and performance of high-speed tool steels. Apud: Int. Conf. Towards Improved Performance of Tool Material, Teddington, Middlesex, 28-29 April 1981. Proceedings..., p. 170-75.
  - 22 Igharo M, Wood JV. Investigation of M2 high speed steel produced by Osprey process. Powder Metallurgy, vol. 32, n° 2, p. 124-31, 1989.
  - 23 Mesquita RA, Barbosa CA. Evaluation of as-hipped PM high speed steel for production of large-diameter cutting tools. Materials Science Forum, vol. 416-418, p. 235-240, 2003.
  - 24 Schruoff I, Schüler V, Spiegelhauer C. Advanced tool steels produced via spray forming. Apud: 6<sup>th</sup> International Tooling Conference, Karlstad-Sweden, 10-13 September 2002. Proceedings..., vol. 2, p. 973-990.
  - 25 Schruoff I, Schüler V, Spiegelhauer C. Spray forming - The new technology for the production of high-grade tool steels. Apud: SDMA 2003 e ICSF V, Bremen-Germany, 22-25 June 2003. Proceedings..., vol. 1, p. 5-11 a 5-25.

# MACHINING TOOLS IN AISI M2 HIGH-SPEED STEEL OBTAINED BY SPRAY FORMING PROCESS<sup>1</sup>

E. R. B. Jesus<sup>(2)</sup>  
E. S. Jesus Filho<sup>(3)</sup>  
J. L. Rossi<sup>(4)</sup>

## Abstract

The aim of the present work was the obtention of AISI M2 high-speed steel by spray forming technique and to carry out performance evaluation as machining tool. The spray formed material was hot rolled at 50% and 72% reduction ratios. Inserts for machining tests were manufactured from this material. The performance of spray formed material inserts was compared to inserts obtained by conventional and powder metallurgy (MP) techniques. The spray formed material and the others were mechanical and microstructural characterised after quenching and tempering. For further characterisation, the materials were machining tested for performance evaluation under work condition. The results of material characterisation highlight the potential of the spray forming technique in the obtention of materials with good characteristics and properties. Under the current processing, hot rolling and heat treatments condition, the analysis of the results of the machining tests revealed a very similar behaviour among the tested materials. Proceeding a criterious analysis of the machining results tests, it was verified that the performance presented by the powder metallurgy material (MP) was slight superior, followed by conventional obtained material (MConv), which presented a insignificant advantage over the spray formed and hot rolled (72% reduction ratio) material. The worst result was encountered for the spray forming and hot rolled (50% reduction ratio) material, that presented the highest wear values.

**Key-words:** Spray forming; Machining; High-speed steel

<sup>1</sup> 60° CONGRESSO ANUAL DA ABM

<sup>2</sup> Mechanical engineer, MSc and Dr. IPEN/USP

<sup>3</sup> Mechanical engineer, MSc IPEN/USP

<sup>4</sup> Materials engineer, MSc and PhD, researcher IPEN/CNEN-SP