

METALURGIA DO PÓ EMPREGADA NA FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO

Lourival Boehs

Delmonte Friedrich

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Cx. Postal 476, CEP: 88049 - 900 - Florianópolis - SC – BRASIL. Fone: (048) 331.9387 r.201; Fax: (048) 234.1519

e-mail: lb@grucon.ufsc.br

delmonte@mbox1.ufsc.br

Francisco Ambrózio Filho

Luis Filipe C. P. de Lima

Maurício David M. das Neves

Odília C.S. Ribeiro

Rejane Aparecida

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/SP. Travessa R nº 400, Cx. Postal 11049, CEP: 05422-970 - São Paulo - SP – BRASIL. Fax: (011) 816.9370

Resumo

A metalurgia do pó é uma técnica alternativa de processamento de materiais na forma semi-acabada e está presente na fabricação de diversas ferramentas utilizadas nos mais variados processos de usinagem, tais como torneamento, fresamento, furação e mandrilamento. Através desta tecnologia obtêm-se ferramentas com significativas vantagens técnicas e econômicas decorrentes das melhores propriedades mecânicas, maior homogeneidade microestrutural do material e menor volume de material removido no processo de acabamento final. Após sinterizadas, as ferramentas são tratadas termicamente para que ocorram as devidas transformações microestruturais e, assim, obterem resistência mecânica e ao desgaste. Este trabalho tem como objetivo principal verificar a influência do processo de sinterização e tratamento térmico sobre a resistência ao desgaste do aço rápido T15 quando empregado como ferramenta de torneamento. Para isso foram confeccionadas bits a partir de uma barra comercial de aço rápido CPM T15, prensado isostaticamente à quente, e insertos produzidos a partir da mesma liga T15, porém sinterizadas com fase líquida diretamente em uma matriz com a geometria do inserto. Serão apresentados os resultados que mostram a existência de uma combinação de temperaturas de têmpera e revenimento adequada para cada um desses materiais, através da qual se obtém os melhores rendimentos das ferramentas.

Palavras-chave: Aços rápidos; Sinterização; Propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de processos alternativos de metalurgia do pó, empregados na fabricação de componentes de aços rápidos, foi estimulado pela exigência de fabricantes de

ferramentas e usuários das mesmas por melhorias microestruturais e, conseqüentemente, propriedades mecânicas superiores desse material (SANDEROW, 1990). Como exemplo típico da atual importância dos aços rápidos na fabricação de ferramentas com as mais variadas formas e aplicadas nos mais variados processos de produção tem-se a empresa Erasteel (ERASTEEL, 1999). Em 1969 essa empresa iniciou a produção de uma liga de aço rápido visando a produção de um aço de alta performance para a produção de ferramentas de alto desempenho. Após 30 anos de existência, a Erasteel já desenvolveu diversas outras ligas e novos processos de produção do aço rápido, atingindo uma produção superior a 50.000 toneladas no decorrer desses anos (ERASTEEL, 1999). Além desta, a CRUCIBLE é outra fabricante de aços rápidos que também tem projeção em várias partes do mundo. Portanto, o aço rápido continua sendo um material de grande importância para o setor metal mecânico mundial.

Dentre os processos de metalurgia do pó empregados na produção de aços rápidos, dois dos mais difundidos são: a prensagem isostática a quente e a sinterização com fase líquida (AMBRÓZIO et al, 1996).

Após sinterizados, os aços rápidos são tratados termicamente, ou seja, temperados e revenidos. De acordo com as temperaturas de têmpera e revenimento obtêm-se propriedades mecânicas características. Por exemplo, o aço rápido T-15 prensado isostaticamente a quente quando temperado a 1210 °C e revenido a 540 °C apresenta maior dureza, porém menor tenacidade, do que quando temperado a 1210 °C e revenido a 560 °C. Essa diferença de 20 °C na temperatura de revenimento é suficiente para mudar consideravelmente o comportamento desse material quando empregado como ferramenta de usinagem (SANTOS, 1999).

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento de ferramentas de aço rápido produzidas pelos dois processos de metalurgia do pó anteriormente citados quando empregadas em processo de torneamento longitudinal externo e de longa duração.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE METALURGIA DO PÓ

A prensagem isostática a quente (HIP) é uma técnica de metalurgia do pó que utiliza pós de aço rápido atomizado com gás inerte e prensados isostaticamente a quente, em temperatura e pressão da ordem de 1100 °C e 100 Mpa, respectivamente (AMBRÓZIO et al, 1996). Na sinterização com fase líquida os pós são atomizados a água e compactados em prensas uniaxiais ou isostáticas e, posteriormente, sinterizados sob vácuo ou em atmosfera protetora, nas temperaturas da ordem de (1210 ± 15) °C, onde ocorre a formação da fase líquida (AMBRÓZIO et al, 1996). A microestrutura do aço prensado isostaticamente é mais refinada, apresentando carbonetos pequenos ($\leq 3 \mu\text{m}$) e arredondados. Na sinterização em fase líquida os carbonetos são maiores ($\leq 10 \mu\text{m}$) e irregulares. Sendo assim, ocorrem diferenças entre suas propriedades (AMBRÓZIO et al, 1996).

3. PROJETO DO EXPERIMENTO

O aço rápido T15 prensado isostaticamente a quente não é produzido no Brasil. As empresas brasileiras fabricantes de ferramentas importam esse aço rápido sinterizado de outros países. O mesmo procedimento ocorreu para a realização da presente pesquisa. Em uma primeira etapa, aproveitando o perfil das barras desse material importado, foram produzidas ferramentas na forma de bits.

Em uma segunda etapa, o pó desse mesmo aço rápido foi sinterizado com fase líquida aqui no Brasil, nas dependências do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo). Justamente porque o objetivo é desenvolver um processo de sinterização com tecnologia nacional e que ao mesmo tempo seja viável economicamente. No caso, a

sinterização com fase líquida, ou sinterização a vácuo, tem se mostrado uma boa alternativa, porém, há necessidade de se verificar o sucesso desse material quando empregado como ferramenta de corte, o que é mostrado na apresentação dos resultados deste trabalho. Para esse material optou-se por produzir ferramentas na forma de insertos porque as dimensões são menores, facilitando a sinterização e também porque a produção de ferramentas intercambiáveis é uma tendência mundial.

Os tratamentos térmicos foram realizados pela empresa HURTH-Infer, de Sorocaba, São Paulo. As afiações, caracterização e os ensaios de usinagem foram realizadas no USICON - Laboratório de Usinagem da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. As composições nominais das ligas utilizadas são mostradas na tabela 1.

Tabela 1. Composição das ligas de aço rápido T15 utilizadas

Material das Pastilhas	Designação	Composição Química (%)							
		C	Cr	V	W	Mn	Mo	Co	Si
T15 comercial	TC	1,55	4,0	5,0	12,25	0,3	-	5,0	0,3
T15 sinterizado a vácuo (IPEN)	TSV	1,55	4,0	5,0	12,25	0,3	-	5,0	0,3

Os insertos foram produzidos com uma geometria semelhante às pastilhas de metal duro para torneamento, conforme a especificação SPGN 09 03 08 (SANDVIK, 1995), ilustrada na figura 1.

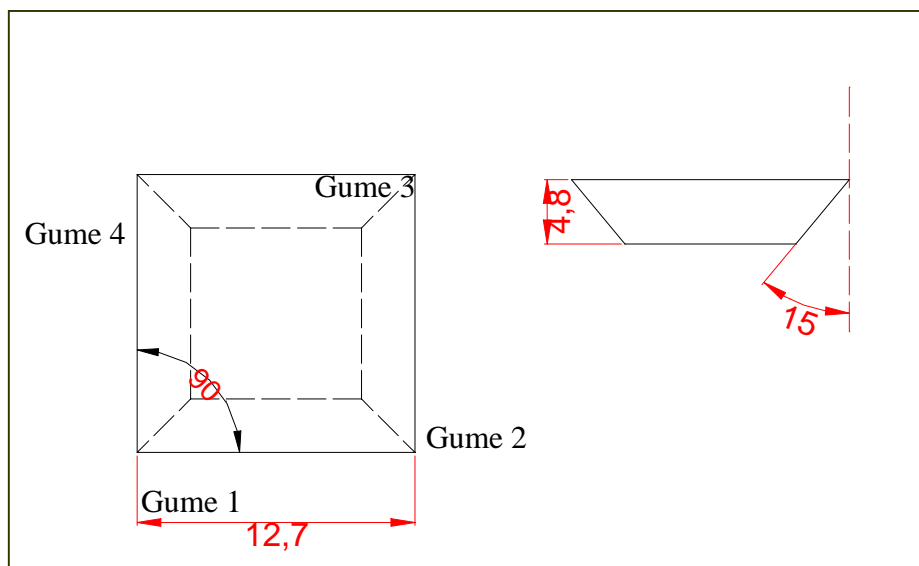


Figura 1. Geometria dos insertos produzidos

As ferramentas sofreram três tipos de tratamento térmico, quais sejam:

- Têmpera a 1160°C e revenimento a 540°C;
- Têmpera a 1210°C e revenimento a 540°C;
- Têmpera a 1210°C e revenimento a 560°C.

As designações e características das ferramentas são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Designação das ferramentas

Insero (designação)	Temp. Têmpera (°C)	Temp. Revenimento (°C)	v _C (m/min)	VB _N (mm)	tempo (min)	Dureza (HV 30)	
						média	σ
Insertos de aço rápido AISI T15 prensado isostaticamente a quente							
TC02	1160	540	33	0,49	85	780	49,4
TC04	1210	540	33	0,8	85	830	22,7
TC06	1210	560	33	0,59	125	802	28,2
Insertos, sinterizados com fase líquida, de aço rápido AISI T15							
TSV27	1160	540	40	0,33	60	803	13,3
TSV54	1210	540	40	0,73	60	836	17,5
TSV83	1210	560	40	0,54	60	833	16,4

Para comparar tanto os valores de dureza como as curvas de desgaste das ferramentas utilizou-se um instrumento estatístico denominado teste "t" para duas amostras, supondo igualdade entre as variâncias de suas médias, com uma confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 1996). No decorrer da apresentação dos resultados quando se fala que os valores de dureza das ferramentas diferiram significativamente estamos dizendo que o valor do módulo de "t" calculado é maior que o valor de "t" crítico. O mesmo ocorre com a comparação das curvas de desgaste, quando dizemos que uma ferramenta estatisticamente foi superior à outra.

4. EQUIPAMENTOS E TÉCNICA EXPERIMENTAL

4.1 Procedimento e Equipamento Utilizado nas Medições de Dureza dos Insertos

Foram realizadas 10 medições de dureza em cada ferramenta, sendo 5 na superfície de saída e 5 na superfície oposta a esta. Este número de medições foi escolhido tendo em vista uma recomendação da norma ASTM E 92 (ANSI/ASTM E 92 – 72, 1977). Como parâmetros de medição adotou-se a dureza Vickers, com carga de 30 kgf e tempo de aplicação da carga de 15s. O equipamento utilizado para essas foi um durômetro da marca Wesktoffprüfmaschinen, Modelo: HPO 250, dotado de dispositivo para a projeção das impressões com objetivas permutáveis para ampliações de 35, 70 e 140 vezes, e de um outro dispositivo para a medição de impressões com régua graduada e parafuso micrométrico. As durezas das ferramentas, bem como seus respectivos valores de desvio-padrão, são apresentados na tabela 2.

4.2 Procedimentos e Equipamentos Utilizados na Avaliação de Desgaste dos Insertos

Os insertos foram empregados na usinagem do aço AISI 1045 trefilado, dureza média de 268 HV30, através de ensaios de torneamento externo, longitudinal, de longa duração e à seco. Estes ensaios foram realizados em um torno CNC modelo Cosmos 10-U, ROMI-MAZAK, com potência instalada de 10KVA e dotado de um leitor óptico de ferramenta.

Os desgastes no flanco e na face das ferramentas (ISO 3685, 1977), figura 2, foram analisados e documentados com o auxílio de um microscópio de ferramentaria e com microscópio eletrônico de varredura da marca Philips, modelo XL 30. Para essas ferramentas o VB_{máx} foi denominado de VB_N.

A cada 5 min de usinagem o ensaio era interrompido para a realização da medição do desgaste no flanco e análise do estado da ferramenta como um todo. O fim-de-vida das

ferramentas foi determinado por uma das seguintes situações ou pela combinação de ambas: VB_N variando entre 0,6 a 0,8 mm (SANTOS, 1999); Destruição da quina da ferramenta. Esta última avaria, quando estava prestes a ocorrer, provocava ruído, piora do acabamento superficial do corpo-de-prova e aumento da potência consumida pelo torno CNC. Um resumo dos resultados obtidos com as ferramentas, tabela 2, permite compará-las.

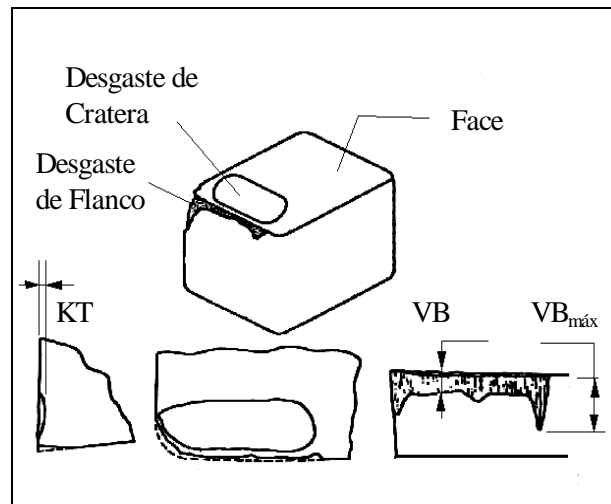


Fig. 2. Desgaste de flanco e de cratera, conforme norma ISO 3685

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 O Aço Rápido T15 Prensado Isostaticamente a Quente (HIP) - Para esse material, quando empregado na forma de bits, fato este que é o de praxe dentro das indústrias, a velocidade de corte mais adequada foi de 33 m/min, isto para uma profundidade de corte de 2,0 mm e um avanço de 0,2 mm, usinagem a seco.

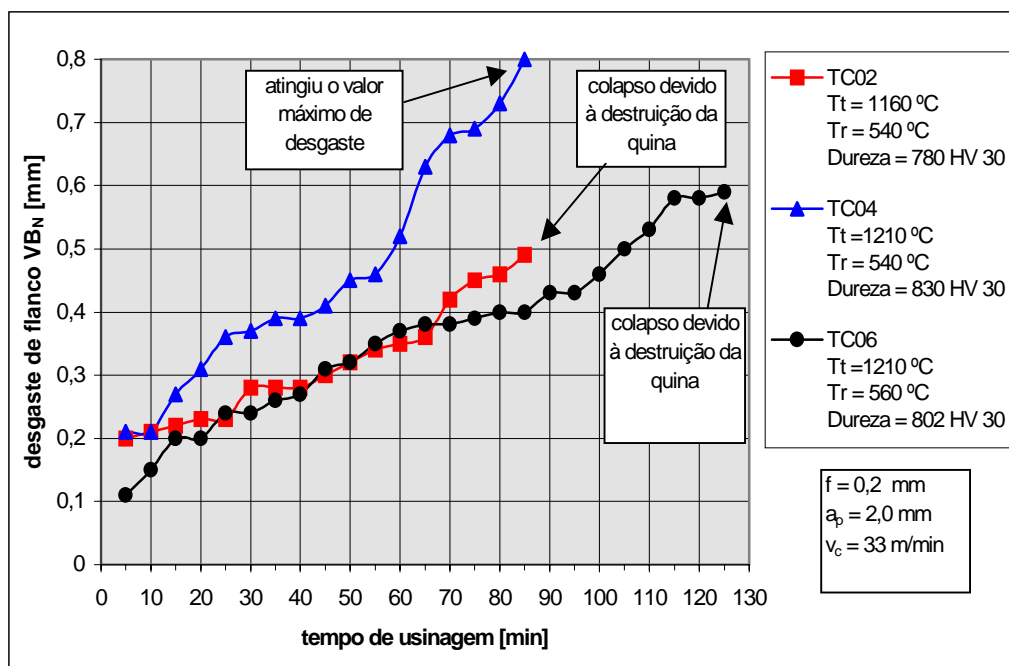


Figura 3. Curvas de desgastes das ferramentas de aço rápido T15 (HIP), v_c de 33 m/min

Dentre as três combinações de temperaturas de tratamento ficou evidenciada a superioridade da ferramenta temperada a 1210 °C e revenida a 560 °C, de dureza intermediária em relação às outras duas. A ferramenta TC04, de dureza significativamente superior, além de durar bem menos tempo, apresentou um desgaste bem mais acentuado em relação às ferramentas TC02 e TC06, conforme ilustra a figura 3. As ferramentas TC02 e TC06 tiveram um desempenho estatisticamente semelhante até o tempo de usinagem de 85 min. A partir desse momento a TC02 não apresentou mais condições de usinagem e a TC06 prosseguiu sendo utilizada até 125 min, momento em que atingiu um desgaste de flanco VB_N de 0,59 mm, comprovando sua superioridade em relação às outras duas. As durezas dessas duas últimas ferramentas são significativamente diferentes.

5.2 O Aço Rápido T15 Sinterizado com Fase Líquida (SV) - As combinações de temperaturas de tratamento foram as mesmas empregadas nos bits. Quanto à velocidade de corte, após testes preliminares, constatou-se que a velocidade de corte mais adequada foi de 40 m/min, para um avanço de 0,2 mm e uma profundidade de corte de 2,0 mm.

Para este material verificou-se que a combinação de temperaturas de têmpera de 1210 °C e revenimento de 540 °C, apesar de proporcionar maior dureza à ferramenta, não é adequada para que a ferramenta tenha o melhor desempenho. As demais combinações de tratamento proporcionaram desempenhos estatisticamente semelhantes às ferramentas, conforme será descrito a seguir. De acordo com a figura 4, as três ferramentas tiveram o mesmo tempo de duração. Porém, a ferramenta TSV54 apresentou um desgaste maior, principalmente em relação à ferramenta TSV27, a qual possui dureza inferior à primeira. Com relação à TSV83 verificou-se que ela apresentou um comportamento intermediário, sendo sua dureza muito semelhante à TSV54.

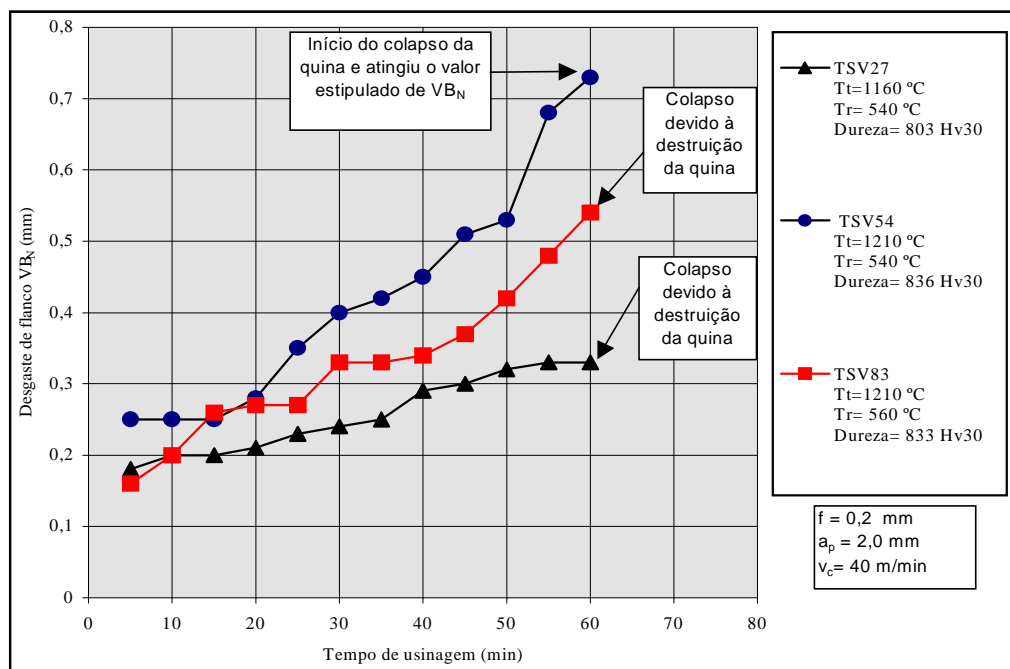


Figura 4. Curvas de desgastes das ferramentas de aço rápido T15 (SV), v_c de 40 m/min

6. FUNDAMENTAÇÃO DE HIPÓTESE

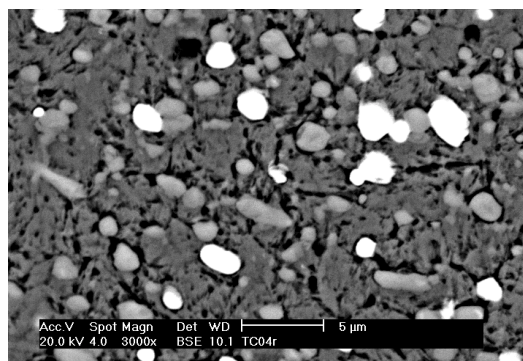
As considerações feitas a seguir são hipóteses e, por isso, devem ser muito bem exploradas posteriormente, servindo como ponto de partida para um estudo bem mais

aprofundado sobre esse assunto. Tais hipóteses estão fundamentadas nas análises metalográficas, químicas e na literatura especializada.

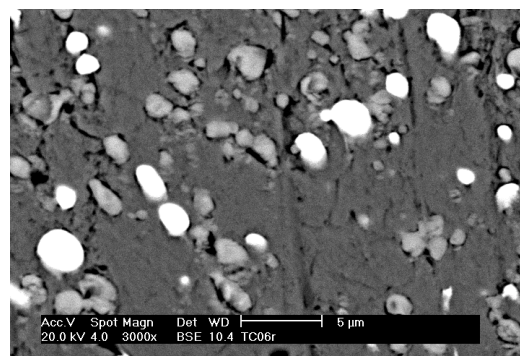
Na temperatura de têmpera de 1210 °C ocorreu maior dissolução dos carbonetos e elementos de liga na matriz, deixando-a num estado tensão maior e tornando-a mais frágil, no estado temperado. Ao contrário, na temperatura de têmpera de 1160 °C a dissolução dos carbonetos e dos elementos de liga foi menor, o que proporcionou a obtenção de uma matriz mais macia e com menor concentração de tensões.

Para um alívio de tensões da matriz frágil, obtida na temperatura de têmpera de 1210 °C, é necessário um revenimento adequado, ou seja, a temperatura de revenimento tem que proporcionar a transformação da martensita frágil em martensita revenida e austenita residual retida em martensita. Com um novo revenimento, essa martensita frágil, formada a partir da austenita, torna-se martensita revenida e, assim, sucessivamente. Daí a importância do triplo revenimento. Além disso, esse revenimento tem que proporcionar a precipitação dos carbonetos responsáveis pela dureza secundária e um certo coalescimento dos mesmos, proporcionando um tamanho adequado, ou seja, nem demasiadamente pequenos e nem exageradamente grandes, para que não sejam arrancados facilmente da matriz.

Com a temperatura de revenimento de 540 °C, após a têmpera de 1210 °C, por ser uma temperatura de revenimento mais baixa, a precipitação de carbonetos foi menor, portanto, a matriz ainda permaneceu num certo estado de tensão maior. Além disso, não ocorreu uma junção dos carbonetos que se precipitaram e, com isso, permaneceu uma maior quantidade de pequenos carbonetos do tipo MC e M₆C menos coesos com a matriz martensítica frágil [FERRARESI, 1977]. Ocorre que essa falta de coesão entre os carbonetos e a matriz, juntamente com a camada de óxido que se forma durante a usinagem e que, quando se desprende, carrega os carbonetos que são menores do que a espessura dessa camada, aceleraram o desgaste por abrasão no flanco da ferramenta [AMBROZIO; BOEHS; FUNARO; LIMA; NEVES; NOGUEIRA; RIBEIRO, 1998]. A figura 5 ilustra a diferença microestrutural proveniente da diferença de tratamento térmico.



A) Microestrutura próxima ao gume da ferramenta TC04 (reativo: Nital 2%)



B) Microestrutura próxima ao gume da ferramenta TC06 (reativo: Nital 2%)

Figura 5. Metalografia da seção transversal das ferramentas TC04 e TC06

7. CONCLUSÕES

O processo de sinterização com fase líquida proporcionou resultados significativos na produção de ferramentas de usinagem. Com os inserts produzidos por este processo foi possível empregar velocidade de corte superior à empregada nos bits produzidos a partir do aço rápido prensado isostaticamente a quente, mantendo-se constante tanto o avanço como a profundidade de corte em 0,2 mm e 2,0 mm, respectivamente. De 33 mm/min para 40 m/min

temos um incremento de aproximadamente 20 %. Além deste fato, deve-se salientar que a sinterização com fase líquida é um processo bem mais simples e barato do que o outro anteriormente citado, sendo, por isso, economicamente mais vantajoso.

Assim como o verificado com os bits, para os insertos sinterizados à vácuo a combinação de temperaturas de têmpera e revenimento de 1210 °C e 540 °C não proporcionou boa resistência ao desgaste quando comparada com as combinações de 1210/560 °C e 1160/540 °C. Ou seja, maior dureza não significa necessariamente maior resistência ao desgaste. Existe uma combinação adequada entre as temperaturas de têmpera e revenimento que proporciona melhores propriedades mecânicas e resistência ao desgaste ao material quando empregado como ferramenta de corte.

Deve-se estudar melhor a relação entre processo de sinterização, tratamento térmico, microestrutura e resistência ao desgaste de aços rápidos empregados na fabricação de ferramentas de usinagem. Este trabalho serviu para demonstrar que processos alternativos, mais baratos, são eficientes e que é possível desenvolver tecnologia nacional para a fabricação de matérias-primas até então importadas.

8. REFERÊNCIAS

- AMBROZIO, F.; BOEHS, L.; FUNARO, R.; LIMA, L. F. C. P.; NEVES, M. D. M.; NOGEIRA, R. A.; RIBEIRO, O. C. S. – **Avaliação da Resistência ao Desgaste dos Aços Rápidos AISI M2 e T15**. 13º CBECIMAT, 1998.
- ANSI/ASTM E 92 – 72; **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**, 1977.
- BOEHS, L.; BORGES, R. - **Metodologia do Ensaio de Usinagem para Torneamento**. Florianópolis: Publicação interna GRUCON, 25p, 1980.
- CHIAVERINI, V. - **Aços e Ferros Fundidos** - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 6ª Edição, São Paulo, 1977.
- ERASTEEL. Product - information ASP 2023 and ASP 2030. FEMAFE-SP, 1999.
- FERRARESI, D. - **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1977.
- ISO 3685 - INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **Tool-Life Testing with Single Point Turning Tools**. Switzerland, 1977.
- MONTGOMERY, D. C. – **Design and Analysis of Experiments**. 4th edition ISBN 0-471-15746-5, QA279.M66, p. 703, 1996.
- SANDEROW, Howard. **High temperature sintering**. New perspectives in powder metallurgy. vol. 9. Metal Powder Industries Federation Princeton. New Jersey, 1990.
- SANDVIK Coromant. **Catálogo Principal de Ferramentas para Torneamento**, 1995.
- SANTOS, R. S. **Ferramentas de torneamento de aço rápido sinterizado e aços rápidos convencionais: análise de propriedades**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. 142 p.
- STEVENSON, R. W. - **P/M Tool Steels** - Project Manager/Materials Group Energy Technology Division Midland - Ross Corp, Metals Handbook ninth edition volume7, p. 784 e 793, 1984.
- TARNEY, E. – **Heat Treatment of tool steels** – Crucible Materials corporation, www.crucibleservice.com/cruheat.htm, 1996.
- WESTIN, L.; WISSEL, H. S- **Power Metallurgical High-Speed Steels** - Scandinavian Journal Metallurgy, p. 41- 46, 1996.