

# INFLUÊNCIA DA OPERAÇÃO DE DESBASTE NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE AÇOS AISI P20 E P50 <sup>1</sup>

José Divo Bressan<sup>2</sup>  
Ricardo Kirchof Unfer<sup>3</sup>  
Jefferson de Oliveira Gomes<sup>4</sup>  
Alex Sandro de Araujo Silva<sup>4</sup>

## Resumo

O presente trabalho investiga a influência das condições de desbaste com ferramentas novas e com desgaste de flanco elevado sobre a resistência ao desgaste de aço para moldes de injeção de polímeros, AISI P20 e P50, uma vez que esses materiais não requerem têmpera após a usinagem. Os fresamentos de desbastes foram realizados num centro de usinagem com uma ferramenta de topo toroidal de diâmetro 25 mm, com velocidade de corte ( $v_c$ ) de 150 m/min, profundidade de corte axial ( $a_p$ ) de 0,3 mm, incremento radial ( $a_e$ ) de 12,5 mm e avanço por dente ( $f_z$ ) de 0,2 mm. Os testes realizados com ferramentas novas (duas replicações) geraram uma média de rugosidade ( $R_a$ ) de 0,95  $\mu\text{m}$ . Os testes realizados com ferramentas desgastadas ( $VB_{\text{max}} > 0,5$  mm) geraram uma média de rugosidade ( $R_a$ ) de 3,7  $\mu\text{m}$ . Os ensaios de desgaste por deslizamento e/ou abrasão foram realizados num tribômetro tipo pino-sobre-disco cujos pinos foram esferas de zirconia de diâmetro 10 mm e dureza Vickers 1500 HV. A contra face foram discos fresados de aço AISI P20 e P50 que são empregados na confecção de moldes para injeção de polímeros. A resistência ao desgaste dos discos com diferentes rugosidades foi avaliada, empregando-se uma velocidade de deslizamento de 0,6 m/s, carga normal de 30 N, distância total percorrida de 2400 m, temperatura ambiente 23°C e com umidade controlada de 50%. Os discos de aço tinham diâmetro de aproximadamente 60 mm e espessura de 7 mm. Da análise dos gráficos de volume perdido cumulativo do disco versus distância percorrida observam-se as diferentes taxas de desgaste em função do tipo de aço e da sua rugosidade superficial inicial. Como os discos tinham dureza e rugosidades diferentes, observaram-se diferentes taxas de desgaste. Investigaram-se também os mecanismos de desgaste através do microscópio eletrônico de varredura. Pode-se afirmar que o desbaste com ferramentas desgastadas produziu uma maior resistência inicial ao desgaste dos aços P20 e P50. Além disso, o aço P20 apresentou maior dureza e maior resistência ao desgaste que o P50.

**Palavras-chave:** Ensaio de desgaste; Aços para moldes; Rugosidade superficial.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica - CCT - Udesc Joinville – Campus Universitário, 89.223-100 – Joinville/SC – Brasil. email: dem2jdb@joinville.udesc.br

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Mecânica - CCT - Udesc Joinville - Campus Universitário, 89.223-100- Joinville/SC - Brasil. email:

<sup>4</sup> Laboratório de Usinagem Avançada – Departamento de Engenharia Mecânica-Aeronáutica – ITA – 12.200 São José dos Campos – S.P.

## 1 INTRODUÇÃO

O aço AISI P20 é o aço mais tradicional utilizado no segmento de injeção de polímeros. Este material é fornecido pelos distribuidores no estado temperado e revenido, beneficiado e com dureza Rockwell C entre 27 e 32 HRc, a partir do qual são confeccionados os moldes sem a necessidade de tratamentos térmicos posteriores. Por não requerer têmpera, as peças são desbastadas e acabadas sem tratamento térmico posterior.

O aço VP50, da mesma família do Maraging, é um aço endurecido por precipitação, por tratamento térmico de envelhecimento. Tem sido uma solução utilizada de forma crescente quando a combinação entre elevada dureza e estabilidade dimensional é fundamental. Este material é fornecido no estado solubilizado com dureza 30 HRc e apresenta excelente usinabilidade. Pode ser envelhecido posteriormente para ter dureza entre 40 e 42 HRc.

No fresamento de cavidades, uma dúvida que existe entre os usuários é saber se o processo de fabricação influirá significativamente na vida do molde. Ou seja, necessita-se saber se um processo de fresamento de qualidade ruim pode interferir no produto molde.

Desse modo, objetivou-se realizar o desbaste com ferramentas em excelentes e péssimas condições, observando-se assim o efeito sobre a resistência mecânica da superfície usinada. Num segundo trabalho, pretende-se verificar o grau de tensão residual deixado na superfície usinada e sua influência.

Sabe-se ainda que apesar da melhor usinabilidade do aço P50 frente ao P20, devido ao custo de matéria-prima elevado, a ampla difusão deste no aço no mercado é ainda pouco expressiva. Objetivou-se, portanto, investigar também a influência das condições de resistência ao desgaste de ambos os aços nas distintas condições, de maneira a contribuir com mais um parâmetro de comparação para tomada de decisão de escolha desses aços.

## 2 ENSAIOS DE DESGASTE EM LABORATÓRIO

A resistência ao desgaste é um dos parâmetros de projeto na seleção de materiais para moldes para injeção de polímeros e, conseqüentemente, testes de laboratório foram desenvolvidos com o objetivo de se medir a resistência ao desgaste sob condições controladas semelhantes às condições em serviço. A correlação entre os ensaios de simulação de laboratório e sua aplicação no projeto de moldes, matrizes e componentes mecânicos é de grande importância para a tribologia prática. Entretanto, a resistência ao desgaste e o coeficiente de atrito não são propriedades características de um material, mas depende tanto das propriedades do material e da topografia da superfície quanto dos parâmetros de processo como pressão de contato, presença de partículas duras, temperatura, velocidade de deslizamento e meio ambiente.

Comumente, os resultados experimentais do ensaio de desgaste realizados em laboratório são analisados através da equação de Archad<sup>(1)</sup> ou de Rabinowicz<sup>(2)</sup> que avalia a razão de desgaste e o coeficiente de desgaste, relacionando o volume perdido acumulado por unidade de deslizamento com a resistência ao desgaste através da equação linear (1),

$$Q = \frac{V}{S} = K \frac{F_N}{H} \quad (\text{mm}^3/\text{m}) \quad (1)$$

onde  $Q$  é o parâmetro que mede a razão de desgaste ou “taxa de desgaste” ( volume perdido acumulado  $V$  ou massa perdida por unidade de deslizamento  $S$ ),  $F_N$  é a carga normal aplicada,  $H$  é a dureza do material mais mole e  $K$  é o coeficiente de desgaste: é adimensional e menor que 1. Em geral, a *resistência ao desgaste* é definida como sendo  $1/K$  . Portanto, o *coeficiente de desgaste* é dado por,

$$K = \frac{Q \cdot H}{F_N} = K_S \cdot H \quad (2)$$

onde  $K_S$  é o *coeficiente específico de desgaste* ( $K_S = Q/F_N$ ) cuja unidade é  $\text{mm}^3/\text{m.N}$ . Nota-se que ambos os coeficientes referem-se ao material mais mole. No ensaio de pino-sobre-disco o material mais mole geralmente é o disco. O volume perdido acumulado é calculado por,

$$V = m/\rho \quad (m = \text{massa} ; \rho = \text{densidade} ) \quad (3)$$

O coeficiente de desgaste  $K$  é de importância fundamental e provê um valioso meio de comparação do rigor dos processos de desgaste em diferentes sistemas tribológicos.<sup>(3)</sup> Portanto, a equação de desgaste de Archard fornece os principais parâmetros que descrevem o rigor do desgaste através do coeficiente  $K$  , mas a sua validade não pode ser usada para afirmar a existência ou não de um determinado mecanismo de remoção de material. É necessário o uso do microscópio ótico ou eletrônico para identificar os principais mecanismos de desgaste atuantes.

Os resultados de resistência ao desgaste são usualmente obtidos através da realização de ensaios de desgaste em equipamento do tipo Pino-sobre-disco cuja distância total de deslizamento é selecionada constante, o valor da carga normal é constante sobre o pino e a velocidade de deslizamento também é constante.

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E MATERIAIS

Os resultados de resistência ao desgaste dos aços P20 e P50 foram obtidos através da realização de ensaios num tribômetro tipo pino-sobre-disco conforme norma ASTM G99.<sup>(4,5)</sup> Em cada ensaio, a distância total foi selecionada constante, um determinado valor constante de carga normal sobre o pino e uma velocidade de deslizamento também constante.<sup>(6,7)</sup> A Tabela 1 mostra os parâmetros empregados durante a execução dos ensaios de desgaste. Para cada condição de desbaste do disco foram usinados 3 discos, ou seja, um total de 6 discos de aço P20 com dois tipos de condições de corte: um com ferramenta de corte nova e outra com ferramenta desgastada. Idem para o aço P50.

**Tabela 1.** Parâmetros empregados na realização dos ensaios de desgaste.

Velocidade deslizamento (m/s)	Carga 30 N (Kgf)	Distância total Percorrida (m)	Raio da pista (mm)
0,6	2,953	2400	14,5

Na Tabela 2 estão os parâmetros de corte utilizados no fresamento dos discos tanto dos aços P20 como do P50.

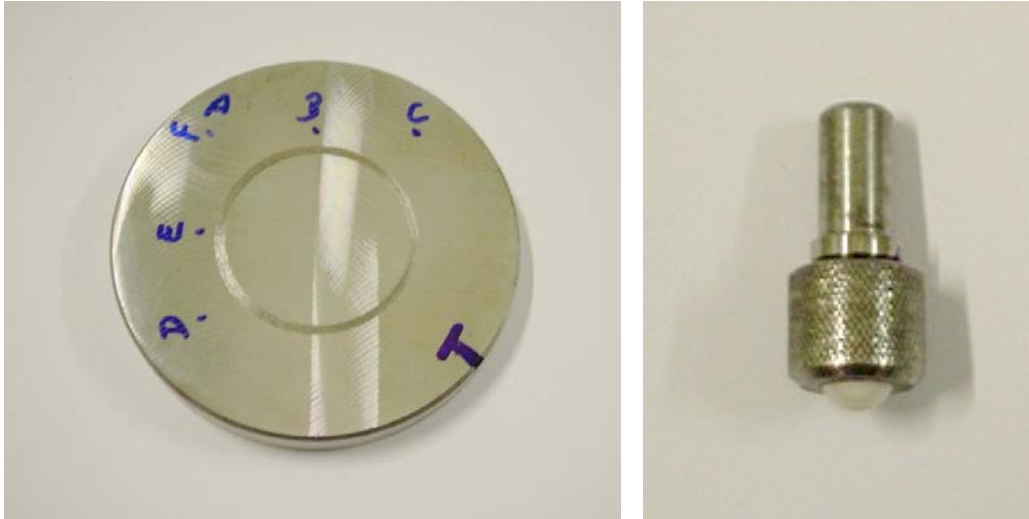


Figura 1. Disco ou contra face de aço P50 e pino com esfera de zircônia.

### 3.1 Obtenção dos Corpos de Prova (cdp's)

**Pinos.** Foram utilizados esferas de zircônia de 10 mm de diâmetro como ponta do pino conforme mostrado na Figura 1. A dureza média da zirconia foi de 1500 mHV.

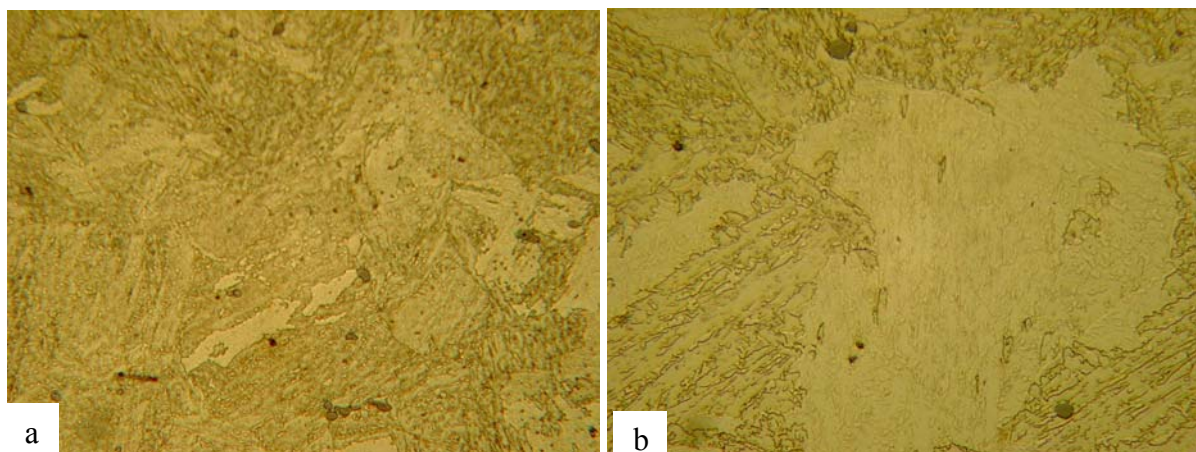
**Discos.** A contra-face ou disco, Figura 1, foi obtido pelo corte de barra de aço P20 e P50 na condição de como recebido e com o diâmetro médio de 56 mm e 60 mm, respectivamente, e espessura de 4 mm. Estes discos foram usinados e fresados numa das faces nas dimensões estabelecidas com dois tipos distintos de condições de corte de desbaste: um tipo com ferramenta de corte nova e outra condição com ferramenta desgastada, gerando rugosidades médias  $R_a$  de 0,95  $\mu\text{m}$  e 3,7  $\mu\text{m}$  respectivamente. Nas Tabelas 3 e 4 apresentam-se as microdurezas Vickers (mHV) e as rugosidades médias  $R_a$  e  $R_q$  de seis pontos de cada disco de aço P20 e P50. Os valores apresentados (setor 1 e 2) referem-se a média de três pontos medidos em paralelo aos riscos de usinagem e três pontos medidos perpendicularmente.

Tabela 2. Parâmetros de corte empregados na realização da operação de desbaste.

Condição de corte	Vel. Corte $V_c$ (m/min)	Profundidade de corte $a_p$ (mm)	Avanço por dente $f_z$ (mm)	Increm. radial $a_e$ (mm)	Rugosidade $R_a$ média ( $\mu\text{m}$ )
Ferramenta nova	150	0,3	0,2	12,5	0,95
Ferramenta desgastada	150	0,3	0,2	12,5	4,4

Tabela 3. Valores experimentais da dureza superficial, rugosidade média  $R_a$  e desvio padrão  $R_q$  da superfície usinada de cada disco de aço P20.

Discos de P20	1	2	3	4	5	6
Microdureza Vickers HV (0.500)	367	365	363	433	432	422
Rugosidade (setor1) $R_a$ e $R_q$ ( $\mu\text{m}$ )	1,03 - 1,18	0,91 - 1,1	0,89 - 1,09	3,55 - 4,89	3,19 - 4,0	4,32 - 5,2
Rugosidade (setor2) $R_a$ e $R_q$ ( $\mu\text{m}$ )	0.42 - 0,64	0.43 - 0,56	0.54 - 0,66	1,86 - 2,46	3,23 - 3,61	3,58 - 3,66



**Figura 2.** Micrografias do aço P20. Aumentos a) 200x ; b) 500x .

**Tabela 4.** Valores experimentais da dureza superficial, rugosidade média  $R_a$  e desvio padrão  $R_q$  da superfície usinada de cada disco de aço P50.

Discos de P50	1	2	3	4	5	6
Microdureza Vickers HV (0.500)	334	314	342	361	366	385
Rugosidade (setor1) $R_a$ e $R_q$ ( $\mu\text{m}$ )	0,94 - 1,32	1,02 - 1,36	0,95 - 1,28	4,26 - 5,46	4,56 - 5,75	4,59 - 5,64
Rugosidade (setor2) $R_a$ e $R_q$ ( $\mu\text{m}$ )	0,53 - 0,66	0,30 - 0,39	0,35 - 0,44	2,5 - 3,30	2,37 - 3,03	2,42 - 3,22

### 3.2 Microestrutura dos Aços P20 e P50

Na Figura 2 observam-se as micrografias do aço P20 tiradas na superfície dos discos. Notam-se duas fases distintas da bainita e a formação de carbonetos. Ou seja, microestrutura de bainita com precipitação de carbonetos dentro dos grãos de ferrita. Verifica-se também a presença de inclusões esféricas dentro do grão. Inclusões modificadas de cálcio. O aço P20 foi tratado termicamente com tempera, sendo a temperatura de austenitização  $850^\circ\text{C}$  e resfriado em óleo. Em seguida, foi realizado revenimento a  $600^\circ\text{C}$  e resfriamento ao ar, com dureza entre 30 e 34 HRC.

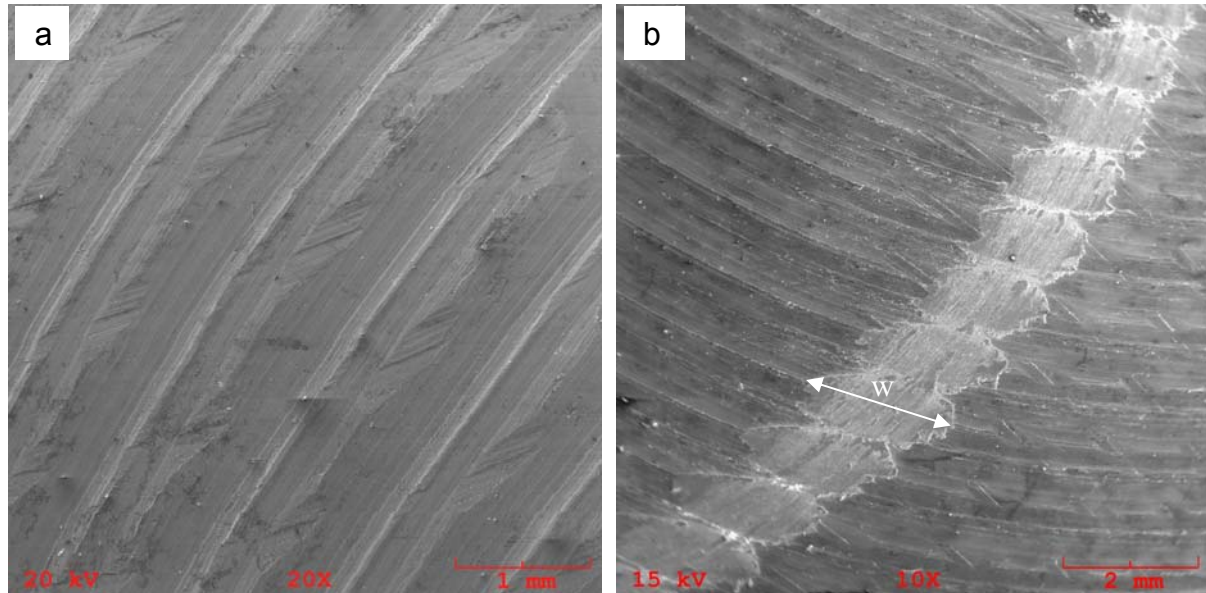
### 3.3 Procedimentos do Ensaio de Pino-sobre-disco

Os corpos de prova seguiram um rigoroso procedimento de preparação a fim de eliminar quaisquer vestígios de sujeira ou oxidação. Em seguida, pino e disco foram pesados numa balança analítica com resolução de 0,1 mg para determinação de sua massa inicial antes do ensaio.

Foram ajustados o raio da pista de deslizamento, a velocidade de rotação do porta amostra (disco) e o contador do número de voltas que foi programado para interromper o ensaio a cada 200 m percorridos para um total de 2400 m, de modo a permitir as tomadas de medida intermediárias da perda de massa do pino e do disco. Estas medições foram precedidas sempre de uma completa limpeza dos corpos de prova, passando um pano seco e depois usando jato de ar comprimido. Antes de cada pesagem os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa a  $100^\circ\text{C}$  para evitar que a umidade influenciasse nos resultados, podendo desta forma ser avaliada a perda de massa real dos CDPs.

Os discos de aço P20 e P50 foram ensaiados na face fresada com as condições de corte apresentadas na Tabela 4. Os discos foram ensaiados como recebidos, ou

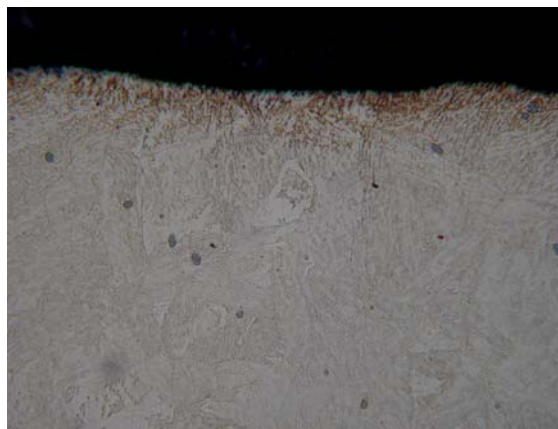
seja, sem tratamento térmico. A largura da pista de desgaste  $w$  foi medida em dois pontos distantes e na maior largura por meio de microscópio óptico com mesa e micrômetro de precisão 0,01 mm. A cada novo disco, utilizava-se uma nova área de contato da esfera, girando-se a esfera de zircônia para uma nova posição.



**Figura 3.** Micrografias no MEV da topografia da superfície usinada do disco de aço P20 com rugosidade média de  $3,7\mu\text{m}$ . a) antes do ensaio. b) após ensaio com a pista devido a esfera de zircônia para distância de deslizamento de 1800 m.

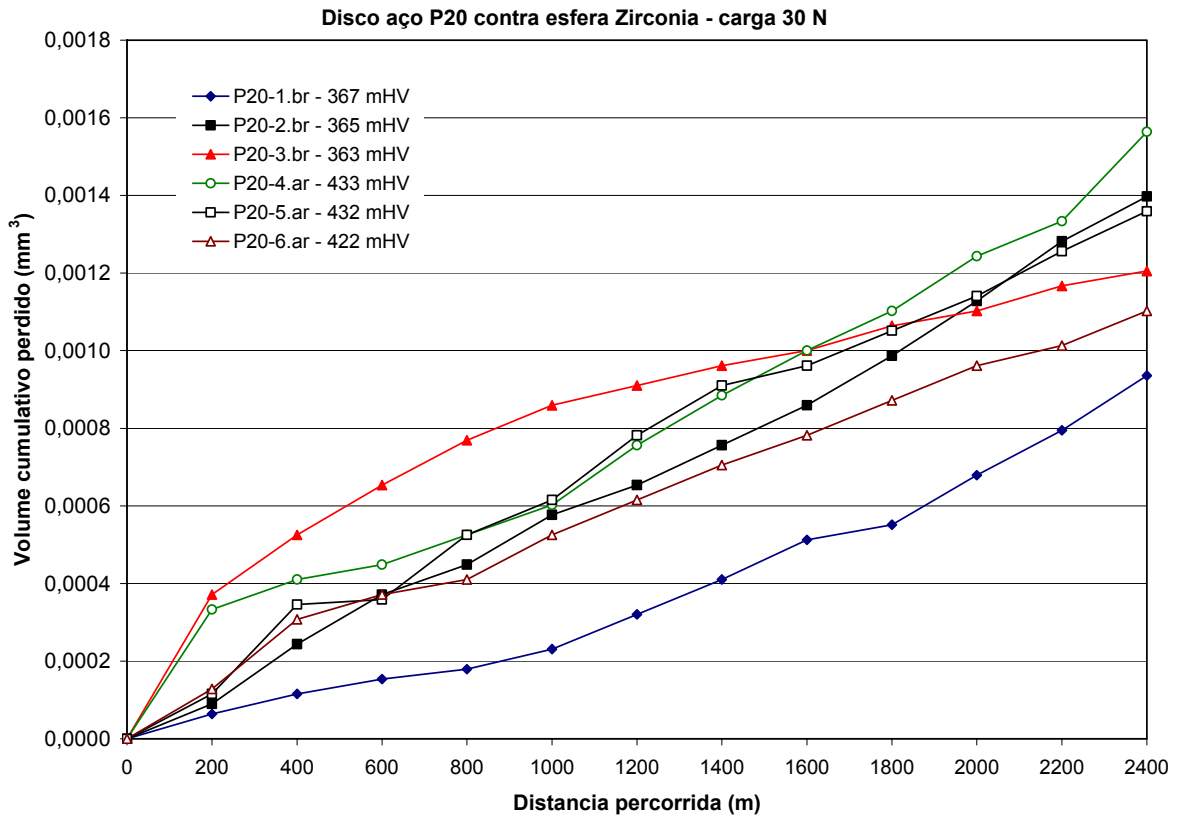
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 3a e 3b apresentam-se as micrografias da superfície do disco de aço P20 antes e após ensaio, mostrando o aspecto da rugosidade superficial e a formação da pista de desgaste, após 1800 m de distância de deslizamento da esfera de zircônia. Os valores medidos da largura da pista  $w$  correspondem a maior largura da faixa ou entre os pontos máximos do contorno. Na Figura 4 observa-se a microestrutura de grãos refinados devido a deformação plástica na superfície.

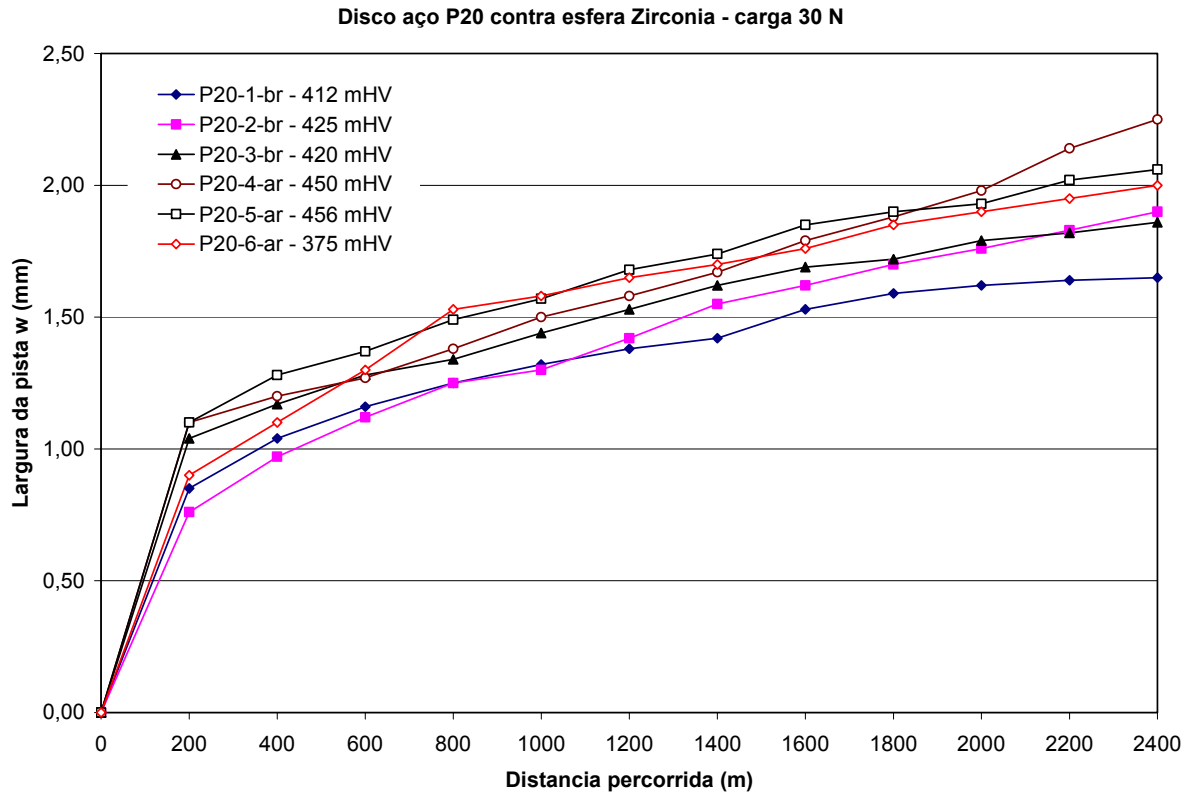


**Figura 4.** Micrografia na seção transversal abaixo da pista de desgaste. 200x.

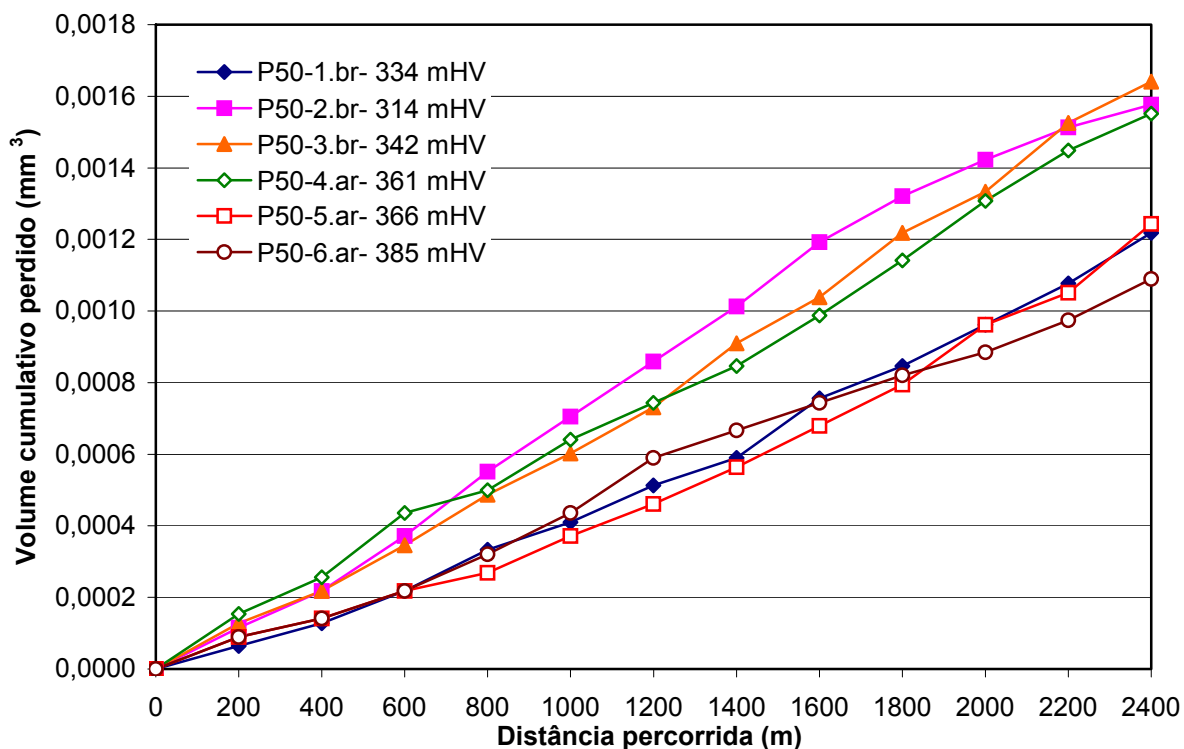




**Figura 5.** Evolução do volume acumulado perdido dos discos de aço P20 em função da distância de deslizamento percorrida. Microdureza HV do disco indicada.



**Figura 6.** Evolução da largura da pista  $w$  dos discos de aço P20 em função da distância de deslizamento percorrida. Microdureza HV da pista indicada.



**Figura 7.** Evolução do volume acumulado perdido dos discos de aço P50 em função da distância de deslizamento percorrida. Microdureza HV do disco indicada.

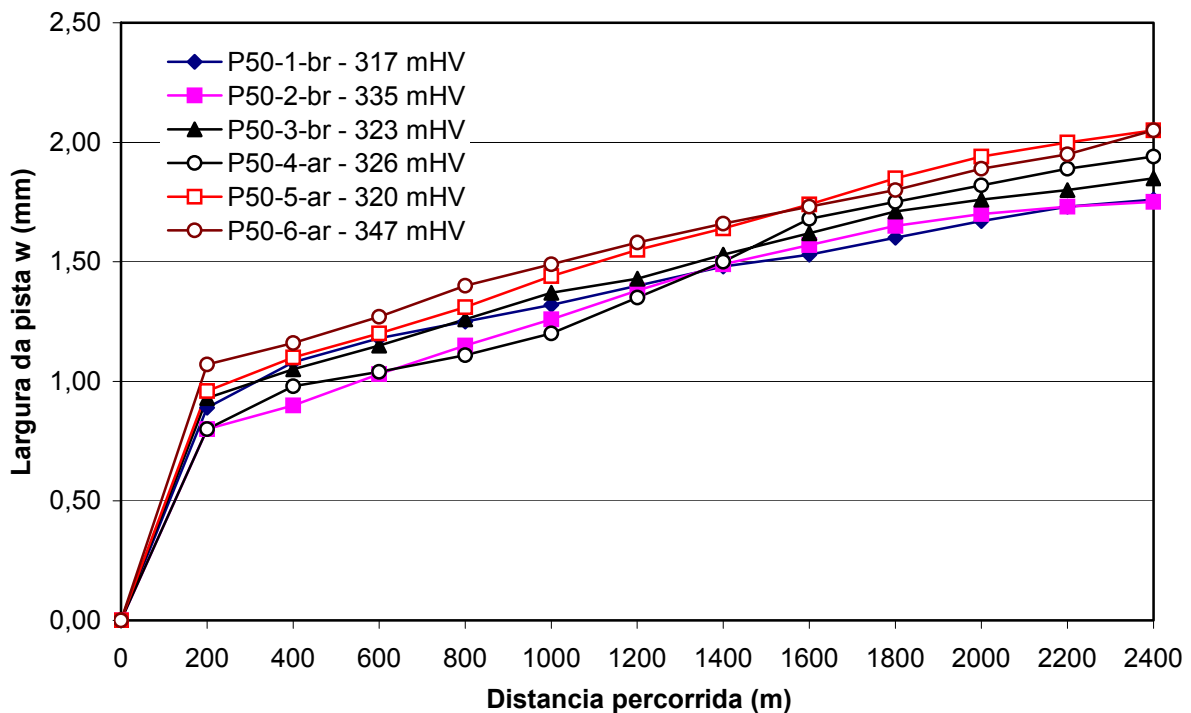
Na Figura 5 apresentam-se as curvas do volume acumulado perdido dos discos de aço P20 em função da distância de deslizamento percorrida pela esfera de zircônia no ensaio de desgaste pino-sobre-disco. As microdurezas Vickers (mHV) dentro da pista medidas no final do ensaio estão indicados na figura. Notam-se que a microdureza final dentro da pista aumentou razoavelmente. Isto deve ter influenciado a taxa de desgaste durante o ensaio de acordo com a equação (1). Mediu-se também o desgaste da esfera, mas não se verificou perda de massa.

As curvas da Figura 5 estão dispersas dentro de uma faixa de taxa de desgaste, não se observa uma distinção entre o disco usinado com ferramenta nova ( $R_a = 0,95 \mu\text{m}$ ) e com ferramenta desgastada ( $R_a = 3,7 \mu\text{m}$ ). Entretanto, no gráfico da Figura 6 da evolução da largura da pista  $w$  com a distância de deslizamento percorrida pela esfera, nota-se uma clara distinção entre os discos usinados com ferramenta nova e aqueles usinados com ferramenta desgastada. O gráfico indica que a superfície do disco de aço P20 usinado com a ferramenta nova teve a resistência ao desgaste levemente superior a do disco usinado com ferramenta desgastada. Isto provavelmente está relacionado com o dano superficial causado pelo processo de usinagem. Ferramenta de usinagem em final de vida tem a tendência de provocar maior dano superficial, diminuindo a resistência superficial ao desgaste.

Na Figura 7 observam-se os resultados do volume acumulado perdido dos discos de aço P50 versus distância de deslizamento percorrida pela esfera de zircônia. Neste caso, notam-se claramente que existem duas faixas de taxas de desgaste distintas. Em geral, a taxa de desgaste é maior para os discos usinados com ferramenta nova e a taxa é menor para os discos usinados com ferramenta desgastada. Estas duas faixas distintas de taxa de desgaste também se verificam no gráfico da largura da pista no disco versus distância percorrida da Figura 8.



As microdurezas Vickers (mHV) dentro da pista medidas no final do ensaio estão indicados na Figura 8. Notam-se que as microdurezas finais dentro da pista diminuíram, o contrário do resultado do aço P20. Isto deve ter influenciado a taxa de desgaste durante o ensaio. O disco 1 de aço P50 foi o que apresentou a maior resistência ao desgaste (menor taxa de desgaste), conforme gráfico da evolução do volume acumulado perdido, Figura 7. Isto também se verificou no gráfico da evolução da largura da pista  $w$  onde a curva do disco 1 apresenta a menor razão de desgaste. Entretanto, a microdureza superficial deste disco não é a maior delas. O disco 6 tem a maior microdureza superficial, tanto fora como dentro da pista.



**Figura 8.** Evolução da largura da pista  $w$  dos discos de aço P50 em função da distância de deslizamento percorrida. Microdureza HV da pista indicada.

## 5 CONCLUSÕES

Observou-se nesse trabalho a diferença de dureza nas superfícies usinadas com ferramentas novas e gastas dos aços AISI P20 e P50. Dentro deste contexto, pode-se afirmar que a eficiência da ferramenta de corte para a operação posterior de acabamento será fortemente influenciada pela operação anterior.

Considerando ainda que no desbaste de uma peça de forma complexas os volumes residuais são inconstantes, essa variação se torna significativa. Neste caso, percebe-se a vantagem de utilização do aço AISI P50 em relação ao P20.

Numa segunda etapa, pretende-se investigar se esta variação das propriedades mecânicas pode também gerar tensões residuais nas superfícies usinadas, de modo a influir na vida do molde. Neste caso, a tomada de decisão pela escolha de material seria significativa no produto.

Verificou-se que o aço AISI P20 fresado com ferramenta nova tem maior resistência ao desgaste que o aço P50. Conclui-se que a operação de usinagem produz danos superficiais que afetam a resistência ao desgaste. A ferramenta gasta aumentou tanto a rugosidade superficial como a dureza de ambos aços.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro recebido do CNPq, da FAPESC, da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, do ITA, a Sandvik pela doação das ferramentas e a Villares Metals pelo material dos discos.

## REFERÊNCIAS

- 1 HUTCHINGS, I.M. **Tribology**: friction and wear of engineering materials. London : Edward Arnold, 1995.
- 2 RABINOWICZ, E. **Friction and wear of materials**. New York : Wiley; 1965
- 3 ZUM GAHR, K.H. Wear by hard particles. **Tribology International**, v.31, n.10, p. 587-596, Oct. 1998.
- 4 ASTM. Designation: G99-95; Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, 1995. p. 336-390.
- 5 WILLIAMS, J.A. The laboratory simulation of abrasive wear. **Tribotest Journal**, v. 3, n.3, p. 267-306, 1997.
- 6 BRESSAN, J.D.; HESSE, R. Construction and validation tests of a pin-on-disc equipment. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA (COBEM 2001), 16., 2001, Uberlândia/MG. [S.n.t.]
- 7 BRESSAN, J.D. ; HESSE, R.; SILVA JR., E.M., Abrasive wear behaviour of high speed steel and hard metal coated with TiAl and TiCN. **Wear**, v. 250, n.1-12, p. 561-568, Oct. 2001.

# INFLUENCE OF ROUGH CUTTING OPERATION ON THE WEAR RESISTANCE OF AISI P20 AND P50 STEEL

*José Divo Bressan  
Ricardo Kirchhof Unfer  
Jefferson de Oliveira Gomes  
Alex Sandro de Araujo Silva*

## **Abstract**

Present work investigates the influence of rough cutting operation, using a new tool and a worn tool with flank wear, on the wear resistance of mould steels for polymer injection, AISI P20 and P50, since these steels are machined as received with heat treatment and does not require any further heat treatment after the cutting operation. The rough milling operation were performed in a machining center using a toroidal face tool with 25 mm diameter, cutting velocity of 150 m/min, depth of axial cut 0.3 mm, radial increment 12.5 mm and feed per teeth 0.2 mm. The tests performed with the new tool (two sets) generated a mean roughness ( $R_a$ ) of 0.95  $\mu\text{m}$ . The worn tool ( $VB_{\text{max}} > 0.5$  mm) tests produced a mean roughness ( $R_a$ ) of 3.7  $\mu\text{m}$ . The wear tests by sliding and/or abrasion were performed in a ball-on-disc apparatus which balls were sphere made from zirconia of 10 mm diameter and Vickers hardness 1500 HV. The counterface discs were milled from AISI P20 and P50 steels which are used in manufacturing polymer injection molds. Wear resistance of the discs with different roughness were evaluated using a sliding velocity of 0.6 m/s, normal load of 30 N, total sliding distance of 2400 m and controlled environment conditions of temperature 23°C and humidity 60%. The steel discs had approximately 60 mm diameter and 7 mm thickness. From the analysis of plotted graphs of cumulative lost volume versus sliding distance, it was observed the different wear rates as function of the steel type and the its initial surface roughness. Various wear rates were observed as the discs had different hardness and roughness. The wear mechanisms by the scanning electron microscope were also investigated. It can be asserted that rough milling with the worn tools has generated a greater initial wear resistance on the P20 and P50 steel surfaces. In addition, the P20 steel presented both greater hardness and wear resistance than P50 steel.

**Key words:** Wear test; Mould steels; Surface roughness; Wear resistance.