

## **PROPRIEDADES DE MANUFATURA NOS AÇOS VP20ISO E VP50IM, APLICADOS EM MOLDES DE PLÁSTICO**

Rafael Agnelli Mesquita <sup>(2)</sup>

Celso Antonio Barbosa <sup>(3)</sup>

<sup>(2)</sup> Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Pesquisador da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: rafael.mesquita@villaresmetals.com.br.

<sup>(3)</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerente de Tecnologia da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br.

**Resumo:** As etapas de manufatura constituem a maior parte do custo total do moldes de plástico. Assim, para o aço ferramenta utilizado, são fundamentais as propriedades relativas à sua manufatura, em destaque a usinabilidade e a polibilidade. O presente trabalho mostra, portanto, resultados comparativos entre aços convencionais e aços desenvolvidos visando a melhoria de usinagem, entre outras propriedades. Primeiramente, são avaliadas as propriedades do aço VP20ISO, similar ao AISI P20, porém produzido com técnicas especiais de aciaria, de modo à melhorar a usinabilidade sem perda de polibilidade. Também, são comparadas as propriedades de usinabilidade, tratamento térmico, polibilidade e resposta à nitretação dos aços VP50IM e DIN 1.2711. O primeiro constitui um novo material, com usinabilidade melhorada por uma fina distribuição de sulfetos e capacidade de endurecimento por precipitação. Assim, o material pode ser usinado em condições de baixa dureza, inclusive em termos de furação, e sofrer um tratamento térmico facilitado, pois o endurecimento por precipitação é promovido sem necessidade de têmpera. Para o aço DIN 1.2711, endurecido por têmpera e revenimento, a redução dos efeitos de distorção é objetivada com a manufatura do material na condição já endurecida, para 40 HRC. Contudo, tal condição piora a usinabilidade, especialmente em termos de furação. Os resultados do presente trabalho mostram expressiva melhoria de usinabilidade do aço VP20 ISO em relação ao P20 convencional e, também, melhoria de várias propriedades no VP50Im em relação ao DIN 1.2711.

**Palavras-chave:** aços para moldes de plástico, usinabilidade, polibilidade, propriedades de manufatura..

## 1. Introdução

Os moldes utilizados na conformação de plásticos possuem importância essencial nesta área industrial, sendo que tais moldes podem ser bastante complexos, para proporcionar adequadas características do produto e elevada velocidade de produção. Os aços geralmente utilizados em moldes de plástico, apesar de muitas vezes pouco ligados, possuem propriedades de limpeza microestrutural e de processamento que os diferenciam dos outros aços convencionais e ao carbono [1].

A usinagem e o acabamento da superfície são etapas críticas na fabricação dos moldes e normalmente correspondem à maior fração do custo total. Pelo fato dos moldes de plástico possuírem vida útil elevada (em alguns casos superior a 10 anos), as propriedades mais importantes desses materiais relacionam-se às características de processamento, como polibilidade, usinabilidade e resposta ao tratamento térmico.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de aços diferenciados, com melhoria das propriedades de manufatura. Primeiramente, é apresentado o desenvolvimento do aço VP20 ISO, similar ao aço AISI P20, mas com usinabilidade melhorada e alta polibilidade. Após, é apresentado um estudo comparativo entre os aços VP50 IM e o DIN 1.2711, os quais são destinados à produção de moldes para plásticos. O aço DIN 1.2711 é um aço médio carbono e baixa liga, normalmente fornecido no estado pré-beneficiado, com dureza de 40HRC. O aço VP50 IM, por outro lado, é fornecido menor dureza, conduzindo a algumas vantagens nas etapas de fabricação do molde, principalmente usinabilidade e polibilidade.

A comparação de tais propriedades é importante para fornecer subsídios à escolha do aço utilizado no molde. O custo de um molde depende do aço empregado, mas depende essencialmente das condições de manufatura. Em geral, de 10 a 20% do custo do molde refere-se ao aço empregado, sendo o restante relativo aos processos de manufatura e tratamento térmico. Assim, a escolha deve considerar conjuntamente o valor do aço, mas também a sua relação com as operações de manufatura subsequentes.

## 2. Propriedades Importantes nos Aços para Moldes de Plástico

Visto que o presente trabalho compara dois aços para moldes, um breve descritivo das propriedades importantes nos materiais é apresentado a seguir.

### 2.1 Usinabilidade

O elevado volume de material removido na confecção dos moldes torna a *usinabilidade* do aço empregado muito importante para os moldes de plástico. A usinabilidade de um material depende de fatores metalúrgicos e das condições de usinagem como ferramenta e velocidade de corte, sendo um resultado de interação do metal com a operação de usinagem. O termo é geralmente usado para expressar o estado da superfície usinada, a taxa de remoção de material, a facilidade de saída do cavaco ou a vida da ferramenta [3-4]. Do ponto de vista das características básicas do aço, a sua usinabilidade deve ser melhorada para reduzir não só o consumo de ferramentas mas principalmente o tempo de usinagem.

A usinabilidade de um aço para moldes depende das propriedades mecânicas e físicas do aço, relacionadas à sua composição química, mas também dos processos utilizados para sua produção. Por exemplo, blocos para fabricação de moldes de grandes dimensões exigem a produção na aciaria a partir de grandes lingotes, os quais por sua vez exigem adequado refino secundário para eliminação de inclusões grosseiras. A subsequente deformação em prensa com alta potência é importante para refinar a microestrutura e eliminar defeitos do fundido.

A melhoria da usinabilidade dos aços pode ser obtida por diversas formas [5], sendo uma delas a utilização de teores residuais de enxofre ligeiramente elevados [6]. Este elemento forma inclusões com o manganês (MnS), as quais possuem baixo ponto de fusão e alta deformabilidade, melhorando a usinabilidade. Tais inclusões causam um efeito lubrificante nas arestas de corte e facilitam a quebra do cavaco na zona de cisalhamento. Em aços produzidos pela rota convencional, as inclusões tipo MnS tornam-se alongadas após a deformação no processo de forjamento, sendo

tanto mais grosseiras quanto maior a bloco produzido. Assim, podem comprometer a polibilidade e, conseqüentemente, aços fabricados pela rota convencional normalmente empregam reduzidos teores de S.

A usinabilidade, contudo, piora com o aumento da quantidade de inclusões duras, como inclusões de  $Al_2O_3$ . Assim, no aço VP50IM, a produção via VAR (*vacumm arc remelting – processo ISOMAX<sup>®</sup>*) auxilia a usinabilidade por reduzir tais inclusões, as quais também são prejudiciais à polibilidade. Ainda, este processo acelera a velocidade de solidificação, proporcionando a possibilidade de se trabalhar com teores de S levemente elevados. As inclusões MnS formadas, benéficas à usinabilidade, tornam-se finas e não comprometem, assim, a polibilidade. No aço VP20 ISO, como será comentado adiante, as inclusões de  $Al_2O_3$  são modificadas com um tratamento com Ca, promovendo assim também melhoria da usinabilidade.

## 2.2 Polibilidade e Resposta à Texturização

A superfície do molde é fundamental para o acabamento da peça produzida, sendo o grau de polimento dependente da aplicação. Moldes perfeitamente polidos podem ser necessários para muitas aplicações, como injeção de óculos ou mesmo CDs. No caso de conformação de plásticos com textura, a superfície do molde necessita igualmente de adequado polimento. A *polibilidade* mede a facilidade de realização do polimento em um aço para moldes, sendo afetada por diversos fatores metalúrgicos. Inclusões não metálicas, como óxidos e sulfetos, podem diminuir a polibilidade, dependendo do tamanho e de como estão distribuídas. Além disso, a dureza deve ser uniforme e a presença de decarbonetação é indesejável.

A resposta à texturização mede a facilidade de se aplicar uma textura ao aço ferramenta utilizado no molde. O tratamento de texturização é normalmente realizado por ataque foto-químico (*photo-etching*).

## 2.3 Resposta ao Tratamento Térmico

Para que as propriedades finais dos moldes sejam obtidas, são normalmente necessários tratamentos térmicos. Os mais comuns são tratamentos por têmpera e revenimento, que propiciam dureza adequada para maioria das aplicações.

Variações dimensionais e de forma constituem uma importante questão sobre o tratamento térmico dos aços para molde. Para evitá-las, aços com alta estabilidade dimensional são preferidos. Proporcionam um tratamento térmico seguro e, também, a possibilidade de se utilizar menor sobremetal, reduzindo o volume de material a ser usinado em alta dureza. Aços endurecíveis por precipitação, como o caso do aço VP50IM, são adequados para esses fins, visto que possuem altíssima estabilidade dimensional. Neles ocorre apenas pequena contração, a qual é uniforme e totalmente previsível, contribuindo para a segurança do tratamento e a redução (ou eliminação) da usinagem final de acabamento.

## 2.4 Resistência Mecânica e ao Desgaste

O aço deve possuir resistência suficiente para a dada aplicação, evitando a ocorrência de deformação plástica sob pressão. A resistência mecânica dos aços para moldes é basicamente dada pela dureza após tratamento térmico. É também importante a relação entre a dureza e a facilidade de polimento do molde, sendo esta tanto maior quanto mais dura a superfície a ser polida. Muitos moldes possuem cavidades profundas e, nestes casos, a dureza deve ser também adequada nas regiões do núcleo da barra.

Plástico líquido em alta pressão, especialmente quando contém adições de carga, pode gerar desgaste da superfície do molde. As partículas de carga ou mesmo as fibras possuem normalmente dureza muito superior ao aço utilizado que, associada à alta velocidade de deslizamento e à pressão de contato, causam desgaste tipo abrasivo. Deste modo, a resistência ao desgaste do aço ferramenta utilizado é importante para algumas aplicações, incluindo moldes para plásticos de engenharia.

Além do aço utilizado, a resistência ao desgaste também depende de tratamentos superficiais, como por exemplo a nitretação. Estes tratamentos, além de aumentar a resistência ao desgaste também podem melhorar as condições de polimento, pela maior dureza superficial obtida,

e as condições de desmoldagem das peças, pela sua influência no coeficiente de atrito.

### 3. Procedimento Experimental

As composições químicas típicas dos aços analisados no presente trabalho, VP50 IM, VP20 ISO e DIN 1.2711, são mostradas na Tabela 1. O aço VP20 ISO tem a composição usual dos aços AISI P20 empregados em moldes. O sufixo *ISO* refere-se a tecnologia diferenciada de trabalho do metal líquido. Comparando os aços DIN 1.271 e VP50 IM, nota-se que o primeiro é tipicamente um aço médio teor de carbono e baixa liga, enquanto que o segundo trata-se de um aço com baixo teor de carbono. Os elementos Al e Cu do VP50 IM são os responsáveis, juntamente com o Ni, pelo endurecimento por precipitação do material.

**Tabela 1:** Composição química típica dos aços VP50IM e DIN 1.2711. Porcentagem em massa e balanço em Fe. Os valores não colocados são de elementos residuais.

Aço	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	Al	Cu	Dureza de utilização
VP20 ISO*	0,36	0,3	1,6	1,8	0,3	0,7	residual	-	-	30 a 32 HRC
VP50 IM	0,15	0,3	1,6	0,3	0,3	3,0	0,10	1,0	1,0	40 HRC
DIN 1.2711	0,56	0,3	0,7	0,7	0,3	1,7	residual	-	-	40 HRC

\* O AISI P20 convencional possui a mesma composição base do VP20 ISO.

A comparação do P20 convencional com o VP20 ISO baseou-se, principalmente, na análise da usinabilidade em fresamento, descrita em detalhe na referência [7]. O mecanismo de melhoria da usinabilidade, resultante das inclusões não metálicas, foi avaliado por microscopia eletrônica de varredura, com microanálise por WDS. O caso aqui apresentado trata de um bloco de grandes dimensões, sendo esta uma típica aplicação do aço VP20 ISO.

Na comparação do VP50 IM com o DIN 1.2711, as propriedades avaliadas foram determinadas a partir de análises de laboratório. A usinabilidade foi avaliada pelo desgaste das ferramentas, em ensaio de torneamento. Medidas do perfil de dureza foram empregadas para avaliar a estabilidade de dureza no aço VP50IM. A resposta a nitretação é comparada pelas curvas de dureza, para amostras nitretadas pelo processo Nitreg<sup>®</sup> 1. O processo caracteriza-se por nitretação a gás controlada, envolvendo temperatura de aquecimento a 510 °C por cerca de 6h. A resistência ao desgaste foi avaliada pelo ensaio pino contra lixa, força de 15 N, velocidade 1,72 m/s, lixa de #120 mesh (abrasivos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) A polibilidade dos materiais não foi avaliada no presente trabalho. Contudo, informações das empresas especializadas nesta operação consideram os aços DIN 1.2711 e VP50IM equivalentes quanto a polibilidade.

Para facilitar, os resultados abaixo são divididos em dois itens. O primeiro, avalia o VP20 ISO e o P20 convencional, principalmente em termos de usinabilidade. O segundo, apresenta um estudo comparativo do DIN 1.2711 com o VP50 IM.

## 4. Desenvolvimento do Aço VP20 ISO

### 4.1 Usinabilidade no Aço VP20 ISO

A Figura 1 apresenta fotos do molde pré-esboçado, fornecido pela usina, e o molde após desbaste realizado pelo fabricante do molde. Entre essas etapas, elevado volume de material foi removido por usinagem, totalizando mais de 6.500 kg. Fica claro, portanto, a motivação para uma melhoria da usinabilidade neste material, que incorrerá em expressiva redução de custo na fabricação do molde.

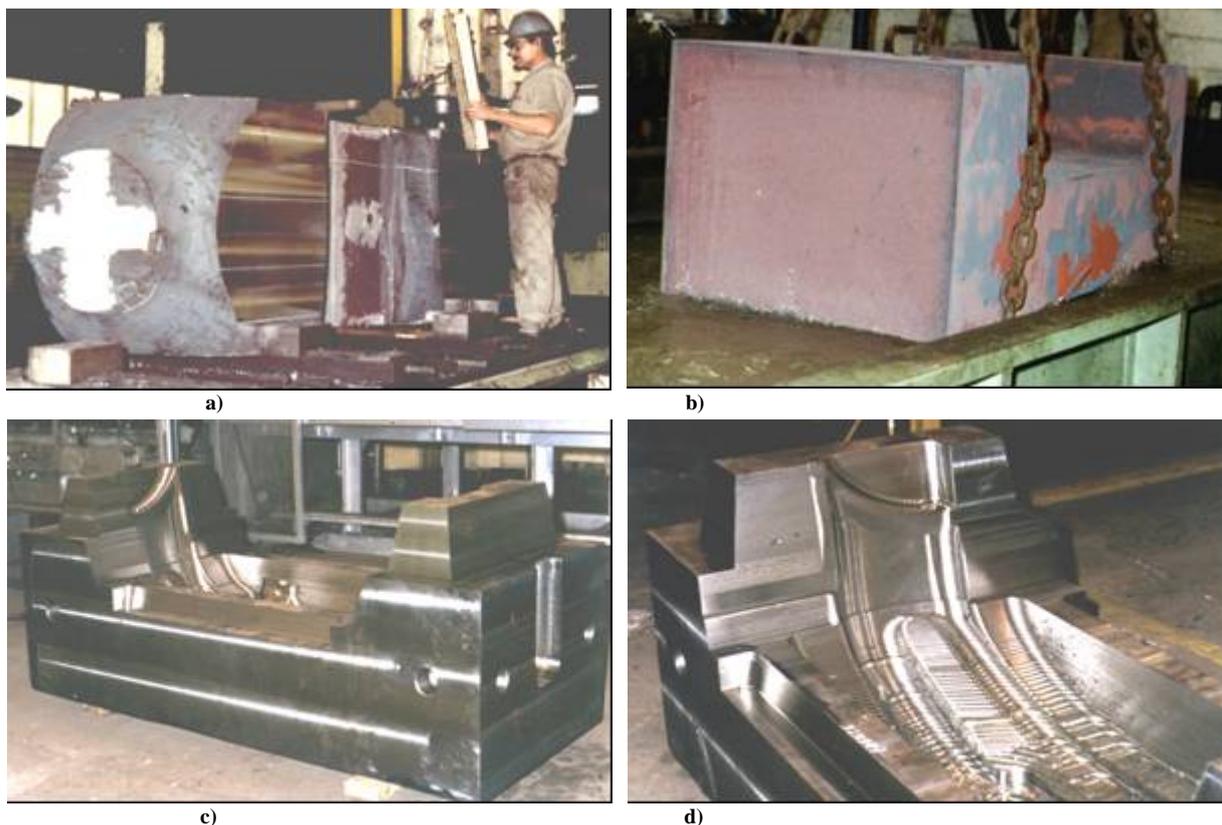
<sup>1</sup> Marca registrada para a empresa Nitrex, representada no Brasil pela Combustol.

Contudo, as elevadas dimensões do molde em questão também deixam clara a importância da polibilidade. Após o término de toda usinagem, não seria admitido que o molde apresentasse problemas de polimento. Estes poderiam comprometer a qualidade do produto e, por conseguinte, todos recursos gastos na produção do molde.

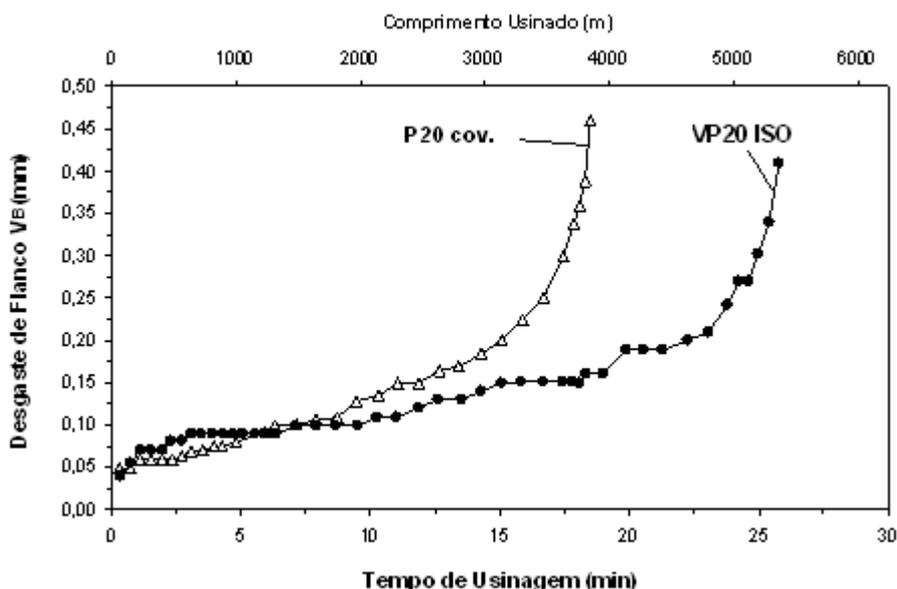
A melhoria da usinabilidade pelo tratamento com Ca pode ser avaliada na Figura 2. Comparando o aço VP20 ISO e o aço P20 convencional, é verificado expressivo aumento em usinabilidade. Por exemplo, para um dado tempo de usinagem, o desgaste da ferramenta é menor na usinagem do aço VP20 ISO que no P20 convencional.

Outra maneira interessante de se observar este ganho é a análise do volume usinado, em  $\text{cm}^3$ , até o fim de vida da ferramenta ( $V_B=0,4 \text{ mm}$ ). Fazendo esta comparação (Figura 3), observa-se um ganho de 77 % do aço VP20 ISO em relação ao P20 convencional. Tal ganho é importante principalmente para o aumento da produtividade na operação de usinagem do molde. Considerando o molde da Figura 1, em que existe remoção de mais de 6.500 kg de material por usinagem, um ganho de usinabilidade dessa ordem é interessante para a redução do custo total de sua fabricação.

Outros aços para molde com alto teor de enxofre, como o DIN 1.2312, podem trazer ganhos de usinabilidade equivalentes ou mesmo superiores ao observado no aço VP20 ISO. Contudo, eles sempre incorrem em expressiva perda de polibilidade, o que inviabiliza o uso em muitas aplicações, principalmente em moldes de grandes dimensões. O aço VP20 ISO, por outro lado, possui a vantagem de promover o expressivo ganho de usinabilidade mostrado nas Figuras 2 e 3, sem perda de polibilidade.



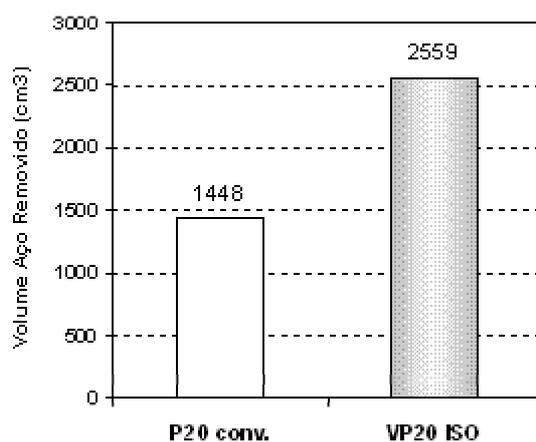
**Figura 1:** Exemplo de molde produzido com aço VP20 ISO. **a)** bloco pré-esboçado durante sua fabricação e **b)** após tratamento térmico, pesando 14.800 kg; **c)** e **d)** molde após usinagem de desbaste realizada pelo fabricante, agora pesando 8.400 kg.



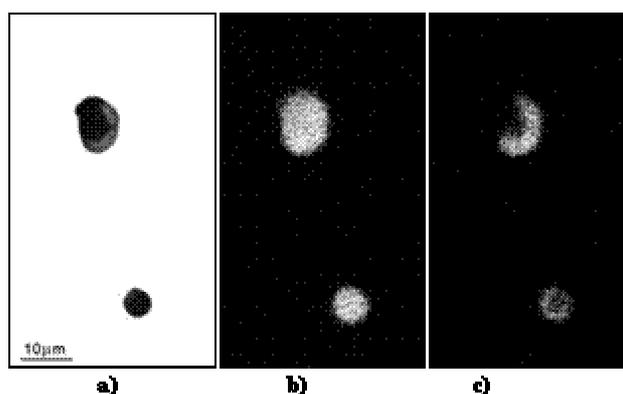
**Figura 2:** Desgaste da ferramenta em função do tempo e comprimento usinado para o aço VP20 ISO e P20 convencional. Ensaio em fresamento, velocidade de corte 208 m/min, profundidade de corte 2,05 mm e avanço 0,09 mm/dente, sem refrigeração [7].

#### 4.2 Efeito do Ca no VP20 ISO

O tratamento com Ca é o grande responsável por este fato. O Ca reduz o efeito danoso das inclusões duras, como inclusões de alumina e silicatos, pois forma inclusões ternárias do tipo  $Al_2O_3-SiO_2-CaO$ . Ocorre ainda a formação de sulfeto de Ca na superfície das inclusões, como mostra a Figura 4. Esse “envelope” de sulfeto de Ca minimiza o efeito deletério das inclusões abrasivas sobre a aresta da ferramenta de corte. O resultado conjunto desses fatores gera a melhoria de usinabilidade observada. Como tais inclusões não possuem fração demasiadamente elevada e não tornam-se alongadas durante a conformação, não existe perda de polibilidade do material.



**Figura 3:** Volume de aço removido até o fim de vida da ferramenta (desgaste de flanco  $V_B=0,4mm$ ). Fresamento de canais com fresa  $\varnothing 20 mm$  e 3 arestas cortantes.



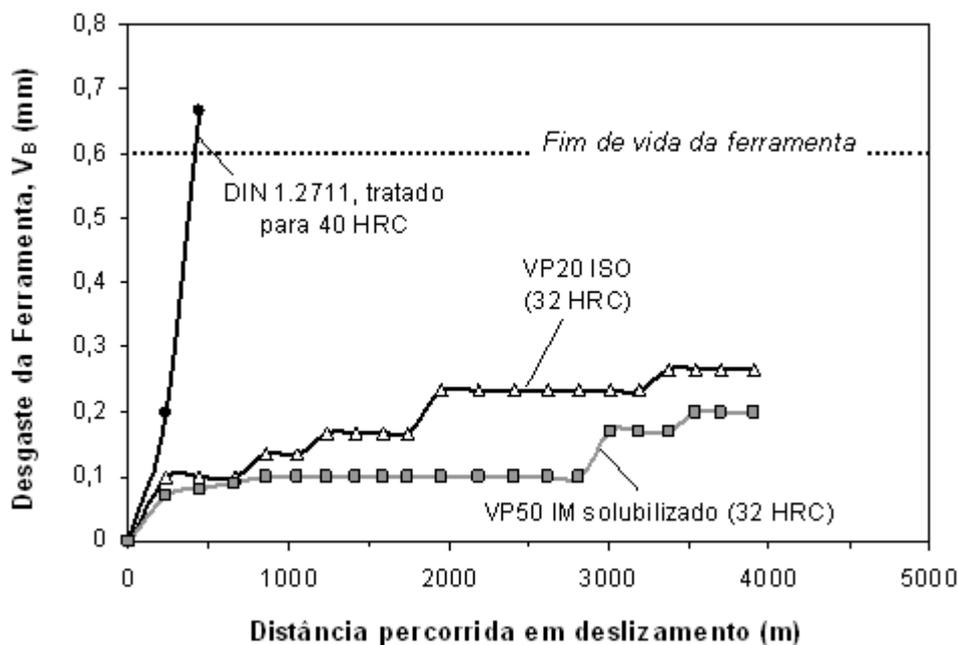
**Figura 4:** Inclusão complexa do aço VP20 ISO, mostrando o efeito do Ca. a) imagem (elétrons retroespalhados), b) raios-X para o elemento Ca e c) raios-X elemento S (área de não referência não encontrada). Aumento 1000 x

## 5. Estudo Comparativo dos aços VP50IM e DIN 1.2711

### 5.1 Usinabilidade VP50IM e DIN 1.2711

Como comentado anteriormente, o termo usinabilidade é bastante amplo. Nos resultados a seguir serão enfocados dois pontos considerados importantes para a indústria de fabricação de moldes. O primeiro refere-se ao consumo das ferramentas de corte para determinada quantidade usinada. O segundo, em termos da morfologia do cavaco formado. Por simplicidade, foram adotados os testes de torneamento, apesar deste processo não ser usual na fabricação de moldes. Contudo, os resultados não têm a finalidade precisar quantitativamente os ganhos num processo de manufatura, mas sim comparar as propriedades dos dois materiais. Mesmo porque, para dizer com exatidão o ganho em usinagem, a manufatura do molde em questão teria de ser analisada de maneira isolada. Isto porque, as diferenças de rotação, fresas utilizadas, estratégias de usinagem e todos outros parâmetros influenciam muito no resultado obtido na usinagem.

Colocado este contexto, a curva obtida para o desgaste da ferramenta, apresentada na Figura 5, e a morfologia dos cavacos, Figura 6, podem agora ser analisadas. Na curva da Figura 5 verifica-se expressiva redução no desgaste de ferramentas do aço DIN 1.2711 para o aço VP50IM. Comparou-se o VP50IM na condição solubilizada e o 2711 endurecido para 40 HRC, pois estas são as condições de fornecimento dos dois materiais, ou seja, a usinagem de desbaste é realizada com os materiais nessas condições. Por exemplo, para um desgaste de ferramenta equivalente a  $V_B=0,20$ , tem-se um comprimento usinado mais de oito vezes maior no aço VP50IM. A usinabilidade do VP50 é inclusive cerca de 50% superior à do aço VP20 ISO, muito utilizado em moldes, já discutido no item 4.

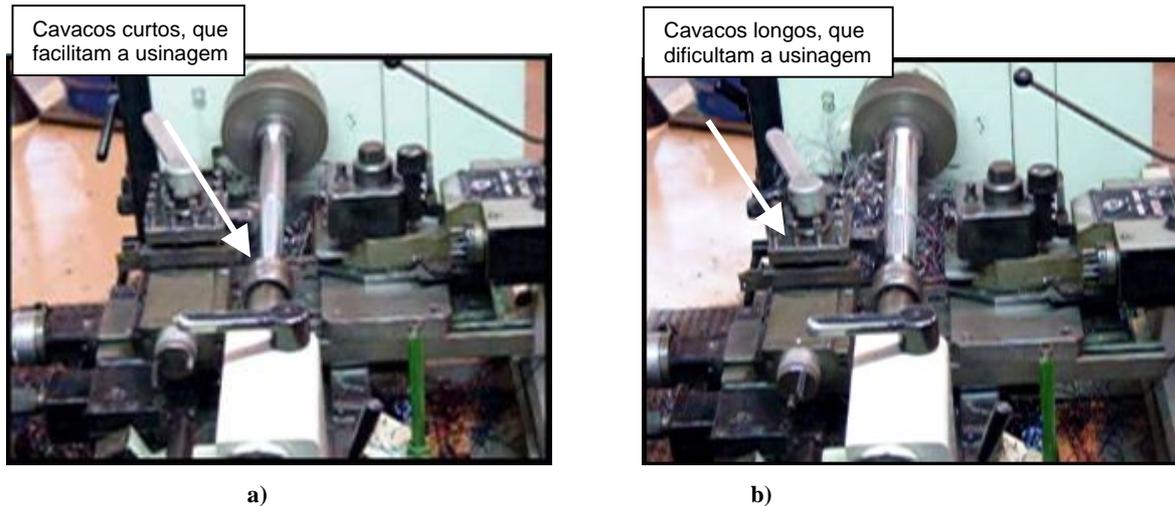


**Figura 5:** Desgaste de flanco da ferramenta de corte em função do comprimento usinado para os aços VP50IM e DIN 1.2711. Ensaio realizado em torneamento, com velocidade de corte de 130 m/min, profundidade de corte de 1 mm, avanço de 0,25 mm/volta.

O ganho em usinabilidade observado na Figura 5 está relacionado à microestrutura dos dois materiais. No VP50IM existe uma fina distribuição de sulfetos de Mn, mostrados em detalhe na Figura 7a, que estão em quantidade menor no aço DIN 1.2711 (Fig. 7b). Tais inclusões possuem baixa dureza e baixo ponto de fusão. Assim, lubrificam a ferramenta de corte durante a usinagem e facilitam a remoção dos cavacos. Por isso, apesar da mesma dureza, o VP50IM possui usinabilidade superior ao VP20 ISO. Outro fator importante é a menor dureza do VP50IM, 32 HRC contra 40 HRC para o DIN 1.2711. Ainda, o processo VAR reduz sensivelmente a quantidade de inclusões

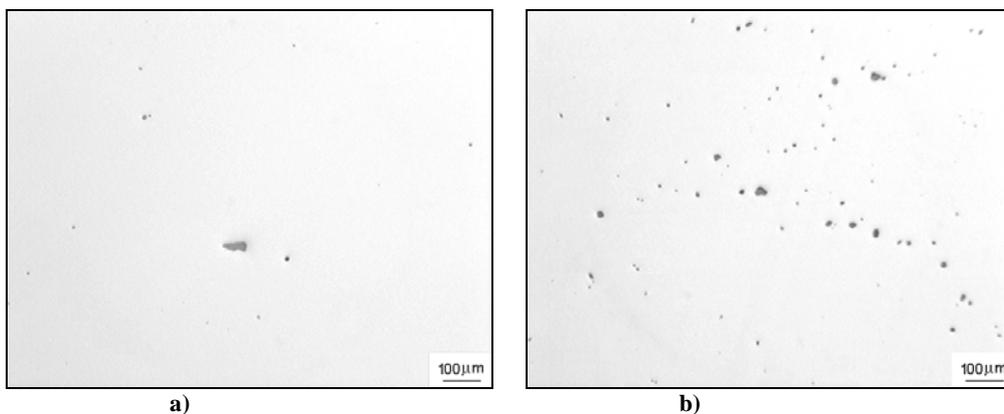
grosseiras duras de  $Al_2O_3$ , o que novamente contribui para a melhor usinabilidade do aço VP50IM, além de refinar os sulfetos de Mn para não comprometer a polibidade.

Os cavacos obtidos após o ensaio, Figura 6, também mostram um resultado interessante: são muito menores para o caso do VP50IM. A causa de tal diferença são, novamente, os sulfetos de Mn, pois tais fases auxiliam a quebra do cavaco formado. Este resultado é também importante para a operação de furação, fundamental na manufatura de moldes de injeção. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 8, sendo novamente obtida usinabilidade muito superior para o VP50IM. Os furos de tais moldes são normalmente longos e em grande quantidade, para refrigeração do molde durante a injeção do plástico. A elevada quantidade de canais e a profundidade dos furos tornam a operação de furação extremamente crítica para os moldes de plástico. Assim, a melhor usinabilidade do aço VP50IM é muito importante neste aspecto.

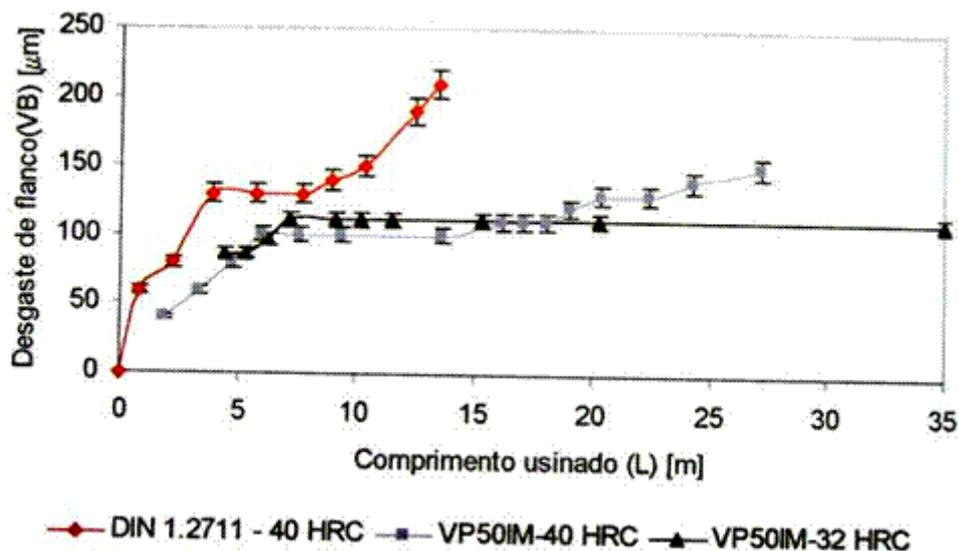


**Figura 6:** Cavacos formados no ensaio de usinabilidade em torneamento, dos aços a) VP50IM e b) DIN 1.2711. Ambos para as condições quando  $V_B = 0,15$  mm.

Na etapa de furação, também se deve considerar a menor dureza do material. Como será discutido no próximo item, a baixa variação dimensional e a eliminação da têmpera permitem que, no aço VP50IM, os furos sejam realizados no estado solubilizado. O mesmo seria arriscado em materiais endurecidos por têmpera, pelo risco de trincas em tais regiões. E, no caso do DIN 1.2711, não é possível pois o material é normalmente fornecido com a dureza final de uso, em torno de 40 HRC.



**Figura 7:** Inclusões de sulfeto de Mn nos aços a) VP50IM e b) DIN 1.2711.

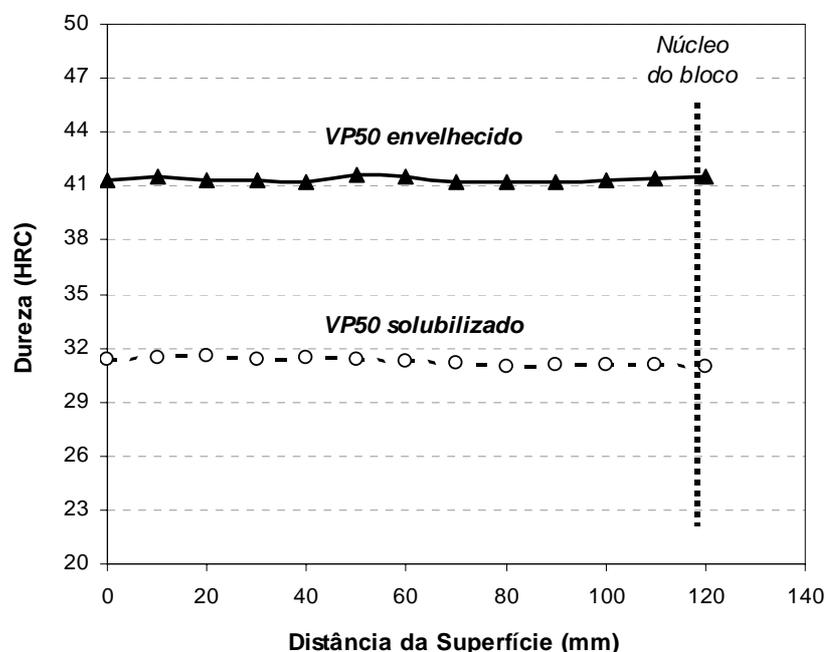


**Figura 8:** Resultados obtidos no ensaio de furação: ndesgaste de flanco x comprimento usinado, para os aços VP50IM e DIN 1.2711. Velocidade de corte igual a 50 m/min, avanço por volta 0,1 mm/rot., profundidade do furo de 25 mm, refrigeração extrema (emulsão Vasco 1000, 9%), ferramenta  $\varnothing$ 8 mm, metal duro microgrão K03.

### 5.2 Resposta ao Tratamento Térmico VP50 IM e DIN 1.2711

Existe uma diferença fundamental entre o tratamento térmico dos aços DIN 1.2711 e VP50IM. No primeiro, a dureza é necessariamente obtida via têmpera e revenimento. Tal tratamento proporciona elevada dureza, contudo pode trazer problemas, como por exemplo distorções ou trincas se o desbaste do molde é realizado antes do tratamento. Como comentado, o aço DIN 1.2711 é normalmente fornecido pré-beneficiado, ou seja, já temperado e revenido. Isto evita o problema do risco e do custo da realização da têmpera, contudo impede que a usinagem seja realizada com o bloco em baixa dureza.

O aço VP50 IM, por outro lado, é normalmente fornecido com baixa dureza, e a usinagem do molde é realizada previamente ao tratamento térmico de envelhecimento. Tal tratamento, ao contrário da têmpera, não envolve resfriamentos bruscos e, assim, não incorre em riscos de trincas ou distorções excessivas. Ainda, a variação dimensional (desconsiderando as variações quanto a tensões residuais de usinagem) é muito baixa no VP50 IM – com uma contração da ordem de 0,0006 mm/cm. Para moldes com cavidades usuais, esta contração é de milésimos a centésimos de milímetros. Assim, nos casos em que a variação dimensional



**Figura 9:** Perfil de dureza para um bloco de VP50IM antes e após envelhecimento.

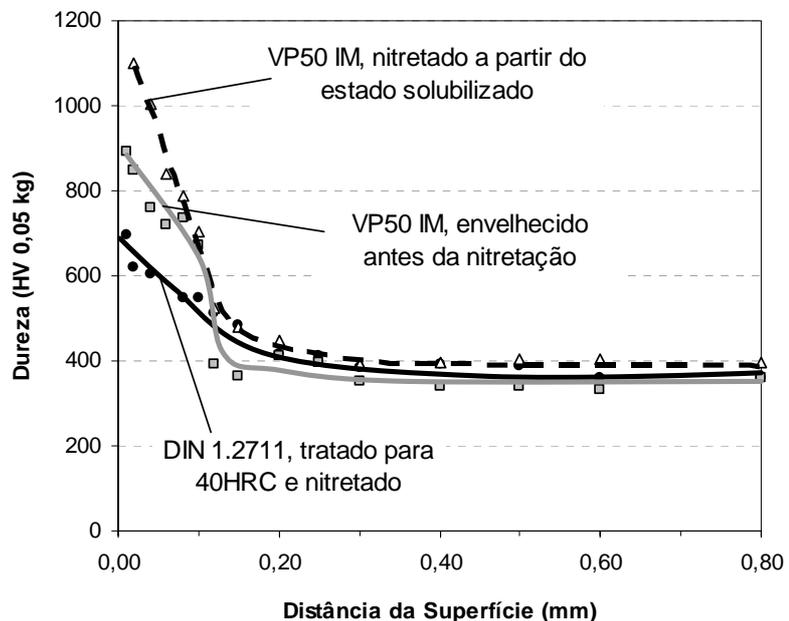
relativa à usinagem é pequena, a variação dimensional do tratamento de envelhecimento pode ser desprezível e o molde pode ser usinado na dimensão final. Isto, portanto, proporciona elevada remoção de material em baixa dureza, significando menor consumo de ferramentas, tanto no

desbaste como na furação. E, o fator principal, pode significar aumento de produtividade na usinagem dos moldes.

O tratamento térmico de envelhecimento recomendado para o VP50 IM envolve um aquecimento na temperatura de 510 °C, por um tempo mínimo de 6 horas em temperatura. Após este tratamento, a dureza obtida é da ordem de 40 HRC, e uniforme, como mostra a Figura 9. O mesmo pode não ocorrer em aços temperados e revenidos, pois tais materiais possuem a temperabilidade limitada e, conseqüentemente, terão uma tendência a menores valores de dureza no núcleo dos blocos.

### 5.3 Resposta à Nitretação VP50 IM e DIN 1.2711

Como comentado no item 2.4, a nitretação pode ser importante em moldes. Assim, a curva da Figura 10 apresenta o perfil de dureza em função da camada nitretada, para o aço VP50IM e para um o aço médio teor de carbono, com composição próxima ao aço DIN 1.2711. Observa-se nesta figura a maior dureza obtida no aço VP50IM. Para o envelhecido e após nitretado, chega-se em torno de



**Figura 10:** Dureza em função da camada nitretada para os dois materiais. O DIN 1.2711 foi temperado e revenido para 40 HRC antes da nitretação. O VP50IM foi nitretado, partindo da condição solubilizada ou após envelhecimento.

900 HV na região superficial, que equiivale a 67 HRC. Para o material nitretado a partir da condição solubilizada a dureza é ainda maior. A maior dureza é obtida pela formação de nitretos de Al no VP50IM, dado o teor de 1% de Al deste material. Nos aços baixa liga, tais nitretos são principalmente nitretos de Fe, que possuem dureza menor que os nitretos de elemento de liga, como os nitretos de Al e Cr.

É importante também ressaltar uma relação interessante entre o tratamento de nitretação e o envelhecimento no aço VP50IM. Como a temperatura de nitretação normalmente coincide com a de envelhecimento (cerca de 510 °C), ambos tratamentos podem ser feitos simultaneamente. Como mostra a Figura 10, isto realmente acontece no material nitretado na condição solubilizada, sendo obtida a dureza de núcleo de 40 HRC. Ou seja, não é necessário envelhecer e aplicar a nitretação, porque o próprio aquecimento da nitretação já produz o endurecimento por precipitação (desde que o tempo de tratamento supere 6 horas em temperatura). Uma das desvantagens do VP50IM em relação aos aços pré-beneficiados é a necessidade da realização do tratamento de envelhecimento. Assim, no caso em que o molde deve ser nitretado, tal necessidade não ocorre.

### 5.4 Resistência ao Desgaste VP50 IM e DIN 1.2711

A resistência ao desgaste abrasivo, importante principalmente nos casos de injeção de polímeros com carga, foi avaliada, como mostram os dados da Figura 11. Tais resultados são equivalentes para os aços VP50IM e DIN 1.2711, pois possuem a mesma dureza<sup>2</sup>. Contudo, no caso de desgaste de moldes nitretado, o VP50IM possuiria vantagem, dada a maior dureza obtida após sua nitretação.

<sup>2</sup> Como os aços para moldes em geral não possuem carbonetos primários em sua microestrutura, a resistência ao desgaste dependerá essencialmente da dureza.

## 6. Comentários Finais

Como mostrado anteriormente, a escolha do aço a ser utilizado na manufatura de um molde deve ser cuidadosa, levando em conta uma série de fatores. Especialmente porque o aço é apenas o ponto de partida, e uma das partes que envolvem o menor custo do molde. Contudo, o aço também está relacionado a todas as etapas de manufatura e tratamento térmico subsequentes. Por exemplo, o valor do aço empregado no molde deve ser observado de maneira conjunta ao valor das operações subsequentes.

Neste ponto são, portanto, úteis os dados e as discussões do presente trabalho. Como mostram os itens 4 e 5, as diferenças de propriedades como usinabilidade, incluindo a relativa as etapas de furação, bem como resposta à nitretação e o tratamento térmico (no caso do VP50IM) podem ser importantes.

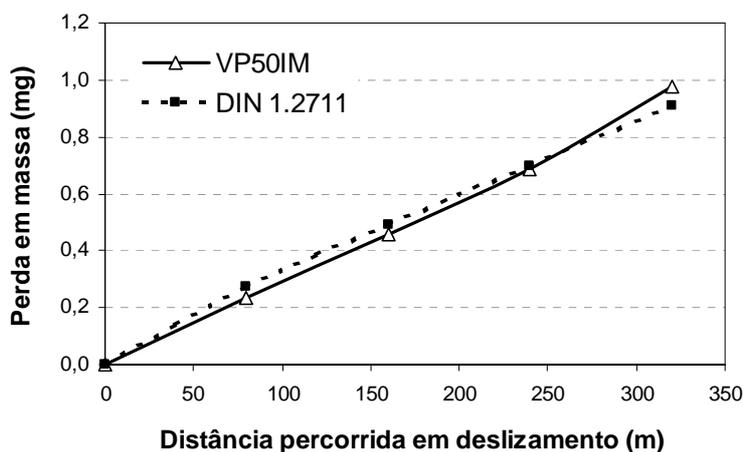


Figura 11: Perda em massa em função do comprimento percorrido, no ensaio de pino contra lixa. Quanto menor a perda em massa, maior a resistência ao desgaste do material

## 7. Conclusões

A avaliação dos aços VP20 ISO e VP50 IM podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- As propriedades de manufatura dos aços para moldes são fundamentais na escolha do material a ser empregado, pois o valor do aço é normalmente baixo quando comparado ao valor total do molde.
- O tratamento com Ca promove expressivo aumento na usinabilidade sem provocar diminuição da polibilidade do aço VP20 ISO. Este arranjo de propriedades é importante especialmente para moldes de grandes dimensões, mas também interessante para outros moldes.
- Em termos de usinabilidade, o aço VP50IM apresentou-se superior ao aço DIN 1.2711, especialmente quando comparados os materiais nas condições de fornecimento – VP50IM solubilizado e DIN 1.2711 tratado para 40 HRC.
- A dureza de camada nitretado do aço VP50IM é superior à do DIN 1.2711, sendo que para o VP50IM o envelhecimento pode ocorrer simultaneamente a nitretação.

## 8. Referências Bibliográficas

- [1] G. Roberts, G. Krauss, R. Kennedy, *Tool Steels*, 5º ed., **American Society for Metals**, Materials Park, OH-USA, 1998, p. 291-304.
- [2] C. E. Pinedo e C. A. Barbosa, *Desenvolvimento de Aços Ferramenta Endurecíveis por Precipitação*, **Anais do 50º Congresso da ABM**, São Pedro-SP, 1995.
- [3] V. Tipnis and R. Joseph, *Influence of Metallurgy on Machinability - Testing for Machinability*, **ASM**, p. 11, 1975.
- [4] N. Cook, *Influence of Metallurgy on Machinability – What is Machinability*, **ASM**, p. 1, 1975.
- [5] R. A. Mesquita, A. Sokolowski e C. A. Barbosa “Desenvolvimento de aços especiais com usinabilidade melhorada”. Artigo Publicado na **Revista Máquinas e Metais**, p. 86-112. Maio 2003.
- [6] Kovach, C. and Moskowitzm A. *Effects of Manganese and Sulfur on the Machinability of Martensitic Stainless Steels*. **Transactions AIME**, vol. 245, Oct. P. 2157, p. 1969.
- [7] J. C. G. Milan, A. R. Machado e C. A. Barbosa, *Usinabilidade de Aços para Moldes de Injeção de Plástico Tratados com Cálcio*, **Anais do 55º Congresso da ABM**, p. 3206, Julho de 2000.