

# DESENVOLVIMENTO DE AÇO COM USINABILIDADE MELHORADA E AÇOS ENDURECÍVEIS POR PRECIPITAÇÃO PARA MOLDES DE PLÁSTICO

Rafael Agnelli Mesquita <sup>1)</sup>  
Celso Antonio Barbosa <sup>2)</sup>

Os moldes para plástico possuem longos tempos de utilização, que normalmente excedem anos. Associando isto a alta complexidade de um molde, a manufatura torna-se o principal fator a ser considerado na sua fabricação. Neste sentido, o presente trabalho visa apresentar o desenvolvimento de três aços, associados à melhoria de usinabilidade ou à facilidade de tratamento térmico, visando otimizar as condições de manufatura dos moldes. A adição de enxofre é o principal modo adotado para se melhorar a usinabilidade de aços para moldes. Contudo, em moldes de grandes dimensões, pode comprometer a polibilidade. Assim, o presente trabalho mostra o desenvolvimento de um aço similar ao ABNT P20, a partir de tratamento com Ca. Com isto, promove-se considerável melhoria na usinabilidade sem a redução da polibilidade. As curvas de desgaste de flanco em função do comprimento usinado mostram sensível redução no desgaste das ferramentas, do aço tratado com Ca (VP20 ISO) para o aço convencional (P20 convencional). Visando também reduzir a complexidade dos tratamentos térmicos dos aços convencionais (por têmpera), são apresentados os desenvolvimentos de dois aços endurecíveis por precipitação. Dentre os aços endurecíveis por precipitação, o aço não inoxidável VP50 IM, atinge níveis dureza de 40 HRC, por um tratamento por 3 h a 500 °C. Com o mesmo tratamento, o aço inoxidável VP80 atinge dureza da ordem de 48 HRC, próxima da obtida nos aços inoxidáveis martensíticos. Dentre as vantagens do endurecimento por precipitação destacam-se a redução nas distorções e a facilidade de manutenção do molde.

*Palavras-chave: aços para molde, usinabilidade, endurecimento por precipitação.*

Contribuição técnica a ser apresentada no 1º Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, Outubro de 2003.

<sup>1)</sup> Engenheiro de Materiais, Membro da ABM, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Pesquisador da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: agnelli@villares.com.br.

<sup>2)</sup> Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Gerente de Tecnologia da Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brasil, e-mail: celsoa@villares.com.br.

## 1. Introdução

A conformação de plásticos constitui um importante ramo industrial, no qual os moldes utilizados tem papel essencial. Os moldes de plásticos podem ser muito complexos, a fim de proporcionar adequada qualidade do produto produzido e elevada velocidade de produção. A usinagem e o acabamento da superfície são etapas críticas na produção dos moldes e normalmente correspondem à maior fração do custo total do molde. É interessante ressaltar que este custo é acrescentado sobre o aço, ou seja, o aço é a base para a agregação de valor que ocorre na usinagem e em todos os processos subsequentes. Portanto, a utilização de aços de elevada qualidade e desempenho é fundamental.

Os aços utilizados em moldes de plástico correspondem, principalmente, aos aços da série AISI P. Apesar de muitas vezes pouco ligados, possuem propriedades de limpeza microestrutural e de processamento que os diferenciam dos outros aços convencionais e ao carbono.

Os moldes de plástico possuem vida útil muito superior aos outros aços ferramenta utilizados em matrizes de trabalho a quente e trabalho a frio. Não raro encontram-se casos de vida superior a 10 anos e, normalmente, o molde deixa de ser utilizado apenas quando o projeto da peça é substituído. Portanto, as propriedades mais importantes desses materiais relacionam-se às características de processamento, como polibilidade, usinabilidade e resposta ao tratamento térmico.

### 1.1 Polibilidade e Usinabilidade

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.

Dado o elevado volume de material removido na confecção dos moldes, a *usinabilidade* é também muito importante para 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 <sup>(1-2)</sup>.

Na indústria automobilística, a produção de grandes peças, como painéis e pára-choques, demanda moldes que alcançam algumas toneladas de peso. Nesses moldes, remove-se elevado volume de material e a produtividade da usinagem é muito importante. 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. Além disso, a fabricação de moldes de grandes dimensões exige a produção na aciaria a partir de grandes lingotes, após adequado refino secundário. A subsequente deformação em prensa com alta potência é importante para refinar a microestrutura e eliminar defeitos e porosidades.

Em geral, existe um compromisso entre a usinabilidade e polibilidade do aço para moldes, relacionado principalmente ao teor de enxofre <sup>(3-4)</sup>. Este elemento forma inclusões com o manganês, tipo MnS, que possuem baixo ponto de fusão e alta deformabilidade, melhorando usinabilidade. Causam um efeito lubrificante na aresta de corte e facilitam a quebra do cavaco na zona de cisalhamento. Contudo, também

diminuem a polibibilidade. Quando deformadas pelo processo de forjamento, as inclusões de enxofre tornam-se alongadas, sendo tanto mais grosseiras quanto maior a dimensão do bloco. Assim, a redução do teor de enxofre, visando melhorar a polibibilidade, é especialmente importante para moldes de grandes dimensões,

Nesse contexto, o primeiro objetivo do presente trabalho é apresentar o desenvolvimento de um aço para moldes, VP20 ISO, que possui elevada usinabilidade sem perda de polibibilidade. Para tanto, o aço VP20 ISO é produzido com baixo teor de enxofre e submetido a um tratamento com Ca, durante o refino secundário na aciaria. Os testes apresentados estão focados para aplicação em moldes de grandes dimensões, sendo avaliado como exemplo um bloco de 15 t, utilizado para produção de um molde de 8 t. Porém, os resultados também se aplicam a moldes de dimensões menores, pois o mesmo mecanismo é válido.

### 1.2 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 são muito adequados para esses fins, visto que possuem altíssima estabilidade dimensional. Neles ocorre apenas pequena contração, a qual é uniforme e totalmente previsível, contribuindo muito para a segurança do tratamento e a redução (ou eliminação) da usinagem final de acabamento.

Assim, o presente trabalho também avalia dois novos aços, VP50 IM e VP80, desenvolvidos para aplicação em moldes de plástico e capazes de serem endurecidos por precipitação. Além desta propriedade, o aço VP50 IM possui alta usinabilidade devido à adição de enxofre. O VP80, por outro lado, é inoxidável e pode ser utilizado em moldes para processos corrosivos.

## 2. Materiais e Métodos

O aço VP20 ISO é similar ao aço ABNT P20, porém com modificação nos teores de manganês e níquel. Sua composição é apresentada na Tabela 1. O sufixo ISO refere-se a tecnologia diferenciada de trabalho do metal líquido. Durante a fabricação do material, visa-se a obtenção de reduzidos níveis de inclusões e que elas possuam uma morfologia adequada. Este tratamento inicia-se no forno elétrico a arco, através do tratamento com escória. Posteriormente, durante o refino secundário no forno panela, ocorre a desoxidação e eliminação de gases. Adições de Ca são empregadas e o teor residual deste elemento será o responsável pela modificação do tipo e morfologia das inclusões, proporcionando aumento da usinabilidade.

**Tabela 1:** Composição química dos aços VP20 ISO, VP50 IM e VP80. Valores em 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
VP20 ISO	0,36	0,3	1,6	1,8	0,2	0,8	<0,003	-	-
VP50 IM	0,15	0,3	1,6	0,3	0,3	3,0	0,080	0,8	0,9
VP80	0,04	0,3	0,3	12,0	1,5	7,8	<0,005	1,2	-

Nos aços VP50 IM e VP80, além da fusão e refino, são empregados processos de refusão por VAR (*vacuum arc remelting*). Neste processo o lingote produzido é

refundido sob vácuo. Isso traz vantagens como a redução do teor de elementos como O, N e H, a eliminação de inclusões grosseiras e o refino da microestrutura, por uma solidificação mais rápida. Um exemplo de vantagem da estrutura mais refinada é a possibilidade de se trabalhar com níveis de enxofre ligeiramente mais altos no VP50 IM, visando a melhoria da usinabilidade. As inclusões de MnS ficam mais distribuídas, garantindo que a polibibilidade não será demasiadamente prejudicada.

Os aços VP50 IM e VP80 são fornecidos na condição solubilizada, com dureza aproximada de 32 e 35 HRC respectivamente. Após usinagem pelo cliente, o envelhecimento deve ser aplicado para que a dureza final seja obtida. A resposta ao tratamento térmico dos aços VP50 IM e VP80 foi avaliada pela curva de envelhecimento, que apresenta a dureza em função da temperatura de envelhecimento.

Para o aço VP20 ISO, a usinabilidade foi avaliada em fresamento, pela medida do desgaste da ferramenta de corte (desgaste de flanco) em função do tempo e comprimento usinado. Para comparação, utilizou-se um aço P20 convencional, ou seja, produzido sem tratamento com Ca no refino secundário. O efeito do Ca na microestrutura foi avaliado por microanálise por WDS, associada à microscopia eletrônica de varredura. O tratamento térmico deste material não foi avaliado, visto que ele já é fornecido ao fabricante de molde na condição beneficiada, para uma dureza entre 30 e 34 HRC. Como esta dureza não é muito elevada, a usinagem é feita já no material temperado e revenido, sendo apenas recomendável um alívio de tensões após usinagem de desbaste.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Usinabilidade no Aço VP20 ISO**

A Figura 1 apresenta fotos do molde pré-esboçado, fornecido pela usina, e o moldê 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.

Contudo, as elevadas dimensões do molde em questão também deixam clara a importância da polibibilidade. 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 ( $V_B=0,4$  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 muito 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 polibibilidade, 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 usabilidade mostrado nas Figuras 2 e 3, sem perda de polibilidade.

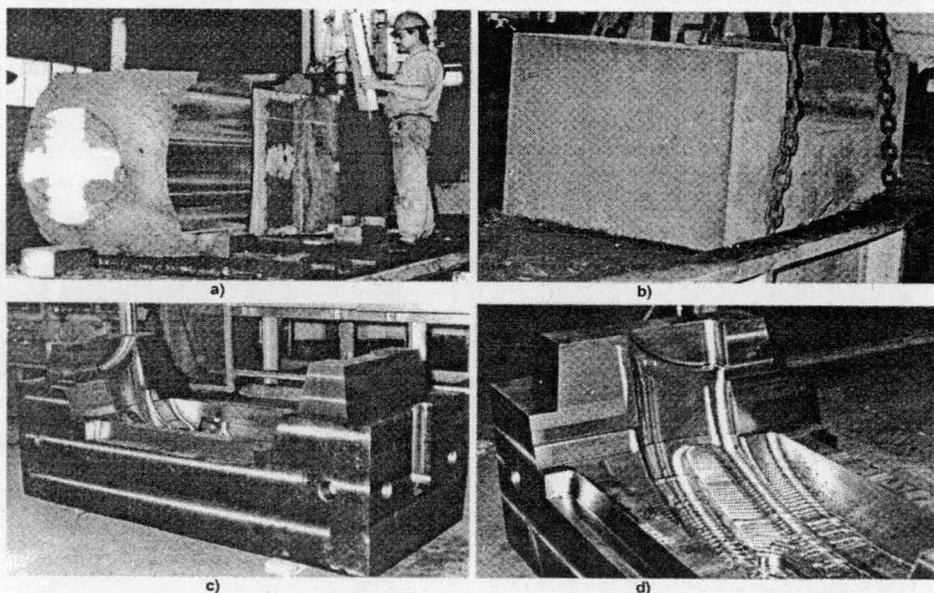


Figura 1: Exemplo de molde produzido com aço VP20 ISO. a) bloco pré-esboçado durante sua fabricação e b) após tratamento térmico, pesando 14.800 kg; c) e d) molde após usinagem de desbaste realizada pelo fabricante, agora pesando 8.400 kg.

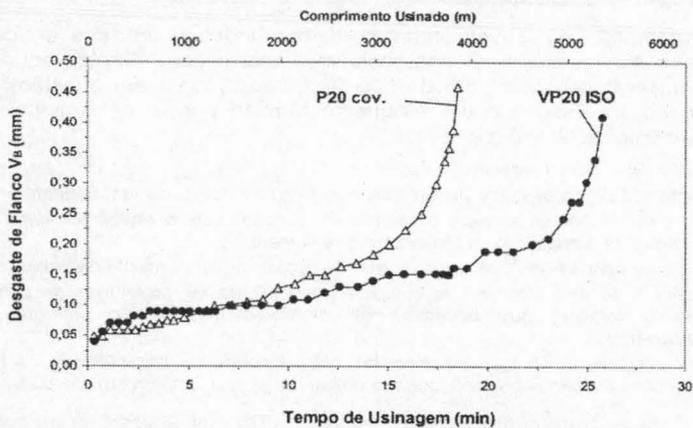
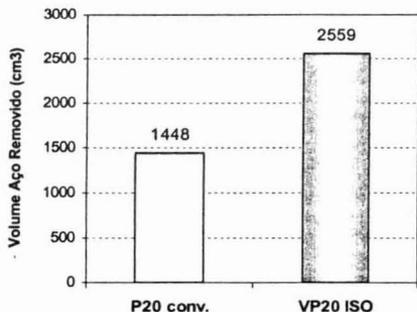


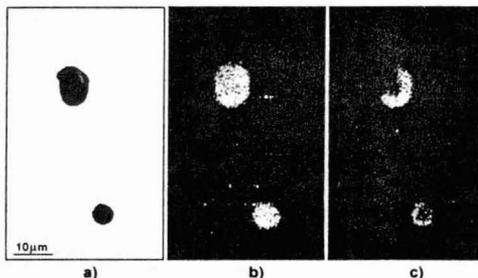
Figura 2: Desgaste da ferramenta em função do tempo e comprimento usinado para o aço VP20 ISO e P20 convencional. Ensaio em fresamento, velocidade de corte 208 m/min, profundidade de corte 2,05 mm e avanço 0,09 mm/dente<sup>(5)</sup>.

### 3.2 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  $\varnothing 20mm$  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<sup>(6)</sup>. Aumento 1000 x

### 3.3 Endurecimento por Precipitação nos Aços VP50 IM e VP80

O tratamento de envelhecimento corresponde a um dos mecanismos de endurecimento mais simples. O endurecimento ocorre com simples aquecimento em forno, em temperaturas da ordem de 500 °C (para os aços em questão), seguido de resfriamento ao ar. Esse tipo de tratamento térmico possui as seguintes vantagens sobre o tratamento de têmpera e revenimento:

- *Varição dimensional previsível e uniforme.*
- *Redução das distorções, que podem surgir na têmpera devido ao resfriamento brusco;*
- *Menor custo e do tempo para o tratamento térmico, pois o envelhecimento é muito mais simples que um tratamento de têmpera e revenimento.*
- *Redução de decarbonetação, que facilmente ocorre no aquecimento prévio à têmpera.*
- *A ausência de decarbonetação reduz a possibilidade de problemas de polimento, como "casca de laranja", que podem surgir devido à dureza não uniforme das regiões decarbonetadas.*
- *Dureza uniforme em função do diâmetro. Não depende da profundidade de têmpera. Esta característica é muito importante quando o material para usinagem em alta dureza (HSM).*

A reposta ao tratamento térmico dos aços VP50 IM e VP80 pode ser observada nas curvas de envelhecimento da Figura 5. No aço VP50 é obtida dureza máxima de 40 a 42 HRC, consideravelmente mais elevada que do aço VP20 ISO, que normalmente fica entre 30 e 34 HRC. Isso pode trazer vantagens em relação à resistência ao desgaste do molde e auxiliar no polimento. A dureza inicial é de aproximadamente 32 HRC. Assim, a usinagem do VP50 IM pode ser realizada em uma dureza baixa que, após o tratamento de envelhecimento, aumenta 8 pontos HRC.

Para o aço VP80, a dureza inicial é ligeiramente mais elevada – 35 HRC. Após o envelhecimento, dureza em torno de 48 HRC pode ser obtida. Esta faixa de dureza é próxima da dureza de trabalhos dos aços inoxidáveis martensíticos, como o aço DIN 1.2083 (AISI 420). Estes são endurecidos por têmpera e revenimento e a vantagem do aço VP80, também inoxidável, reside principalmente no tratamento térmico de envelhecimento, cujas vantagens foram descritas anteriormente.

Em relação a outras propriedades mecânicas, a Figura 6 apresenta valores típicos das propriedades em tração e da tenacidade do aço VP80. Com tais valores, o material pode ser considerado um aço inoxidável PH de alta resistência.

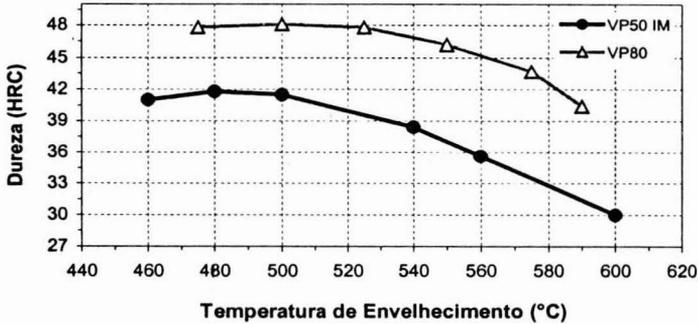


Figura 5: Curvas de envelhecimento dos aços VP50 IM e VP80. Valores obtidos para tempo de envelhecimento de 3h.

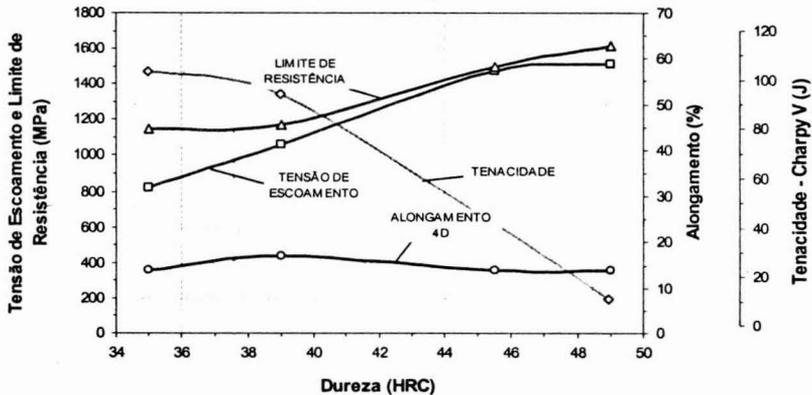


Figura 6: Propriedades mecânicas dos aço VP80, em função da dureza. Resultados obtidos em teste de tração a frio e impacto Charpy com entalhe em V, para corpos de prova usinados na direção longitudinal.

### Estabilidade Dimensional e de Forma

Como comentado, uma das principais vantagens do endurecimento por precipitação é a ausência de distorções, que facilmente podem ocorrer durante a têmpera. Mesmo em cavidades complexas, tais materiais apresentam variação dimensional uniforme e previsível, reduzindo muito o risco desses problemas. Valores típicos de variação dimensional (de contração) após o tratamento térmico, são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2:** *Varição dimensional após envelhecimento nos aços VP80 e VP50 IM. O sinal negativo indica que existe contração.*

Após envelhecimento a 500 °C	VP80	VP50 IM
Varição dimensional	-0,07%	-0,006%
Dureza	48,5 HRC	41 HRC

Sendo esses valores previsíveis, a usinagem pode ser feita considerando a contração indicada acima, contribuindo para redução do sobremetal. Visto que a variação dimensional do aço VP50 IM é muito pequena (praticamente 1 centésimo de milímetros em 200 mm), esse material é normalmente usinado na condição final de uso.

### 3.4 Nitretação no VP50 IM

Em muitos casos, deseja-se aplicar tratamentos superficiais ao molde, para melhorar a velocidade de produção das peças, aumentar a resistência ao desgaste e/ou facilitar o polimento. A nitretação é um exemplo de tratamento bastante empregado. Como a temperatura de nitretação normalmente coincide com a de envelhecimento dos aços endurecíveis por precipitação (~500 °C), ambos tratamentos são feitos simultaneamente. Ou seja, não é necessário envelhecer e aplicar a nitretação, porque o próprio aquecimento da nitretação já produz o endurecimento por precipitação. Isso é válido desde que o tempo de tratamento supere 4 horas em temperatura. Assim, comparados com aços temperados e revenidos, elimina-se uma operação durante a fabricação do molde, pois o tratamento prévio a nitretação não é mais necessário.

Para o aço VP80 tratamentos de nitretação geralmente não são empregados, pois esses resultam em expressiva perda de resistência a corrosão, propriedade essencial para suas aplicações. Assim, a discussão anterior aplica-se apenas ao aço VP50 IM, que frequentemente é nitretado.

### 3.5 Resistência à Corrosão do Aço VP80

O aço VP80 possui alta resistência à corrosão, 60% (ou mais) superior à dos aços inoxidáveis martensíticos normalmente aplicados em moldes de plásticos. A maior resistência à corrosão do VP80 é promovida por três fatores:

- 1) *Teor de Cr de 12%, garantindo inoxidabilidade.*
- 2) *O baixíssimo teor de C (ver Tabela 3), que reduz a taxa de corrosão, pela não formação de carbonetos com o Cr, e elimina qualquer risco de sensibilização.*
- 3) *O teor de 1,5% de Mo, que aumenta consideravelmente a resistência à corrosão por pites. Este mecanismo de corrosão é especialmente relevante em processos que envolvam ions cloro, como a conformação de polímeros clorados. O número PRE, que avalia a resistência à corrosão por pites, está apresentado comparativamente na Tabela 3.*

A resistência à corrosão é essencial para conformação de polímeros clorados, como o PVC, ou poliacetatos. Para outros plásticos é também desejável, pois evita danos por corrosão na superfície dos moldes, quando armazenados em locais úmidos por exemplo.

**Tabela 3:** *Teor de carbono e PRE para o VP80 e outros aços inoxidáveis aplicados em moldes.*

	VP80	DIN 1.2083 (~AISI 420)	DIN 1.4125 (~AISI 440)
Teor de C	0,04%	0,40%	1,0%
PRE	16,7	13,5	-*

\* Não adequado pois constitui-se um aço de alto C.

### 3.6 Soldagem dos Aços VP50 IM e VP80

Uma das vantagens dos aços endurecíveis por precipitação é a possibilidade de trabalharem com baixo teor de C. Isto pode ser observado na Tabela 1, para os aços VP80 e VP50 IM.

O primeiro resultado do menor teor de carbono é a formação de camada branca não frágil após usinagem por eletroerosão. A baixa dureza da camada branca reduz o risco de trinca e facilita sua remoção. Porém, a maior vantagem é facilidade de soldagem.

A soldagem é muito aplicada no setor de moldes, para reparo ou mesmo mudança da peça a ser produzida. Especialmente em casos de pequenas alterações no projeto, uma prática usual é o preenchimento com solda da região a ser alterada e a re-usinagem. Assim, não é necessária nova fabricação de um molde. Os aços temperáveis tem certa dificuldade para soldagem, pois formam martensita de alta dureza durante o resfriamento após a solda. O mesmo não ocorre nos aços VP50 IM e VP80, tornando a operação de soldagem muito mais simples.

Existem consumíveis disponíveis dos aços de aço VP50 IM e, para o aço VP80, podem ser utilizados consumíveis normalmente empregados para o aço 17-4 PH. Após a soldagem, novo envelhecimento deve ser realizado. Como ambos aços alteram pouco a dureza depois do segundo envelhecimento, a dureza final será uniforme nas regiões da solda e nas regiões adjacentes.

## 4. Conclusões

A avaliação dos aços VP20 ISO, VP50 JM.e VP80 podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- 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.
- Para os aços endurecíveis por precipitação, VP50 IM e VP80, as vantagens estão relacionadas ao tratamento térmico de envelhecimento. Destacam-se a melhor uniformidade de dureza obtida, menor custo e tempo de tratamento e o mínimo risco de distorções.
- O tratamento de envelhecimento ainda promove melhoria na soldabilidade. Para os casos em que se utiliza o aço VP50 IM nitretado, o próprio tratamento de nitretação atua como envelhecimento do material, reduzindo uma etapa na fabricação do molde.
- O aço inoxidável VP80 é uma interessante alternativa em relação aos aços inoxidáveis martensíticos freqüentemente utilizados, pelo tratamento térmico facilitado e pela maior resistência à corrosão.

## 5. Referências Bibliográficas

- (1) Tipnis, V. and Joseph, R. Testing for Machinability. Influence of Metallurgy on Machinability, **ASM**, p. 11, 1975.
- (2) Cook, N. – What is Machinability? Influence of Metallurgy on Machinability, **ASM**, p.1, 1975.
- (3) 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
- (4) Kovach, C. – Sulfide Inclusions and the Machinability of Steel. **Materials Research Center, Crucible**.
- (5) 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.

# DEVELOPMENT OF IMPROVED MACHINABILITY STEEL AND PRECIPITATION HARDENING STEELS FOR PLASTIC MOULDS

Rafael Agnelli Mesquita <sup>1)</sup>  
Celso Antonio Barbosa <sup>2)</sup>

Plastic moulds have normally long operation life, which can exceed years. Associating this fact to the mould high complexity, the manufacturing becomes the main factor to be analyzed for its production. In this context, the present work aimed to present the development of three mould steels, related to improvement of machinability or heat treating, leading to optimization of moulds manufacturing conditions. Sulfur additions are commonly used to improve machinability in steels. However, in large moulds, it can impair the polishability. Therefore, the present work presents the development of a ABNT P20 similar steel, produced with Ca treating. As result, higher machinability can be promoted with no loss in polishability. The flank wear curves versus machined length show substantial reduction in wear of tools, from the Ca treated steel (VP20 ISO) to the conventional one (P20 conventional). Aiming to reduce the heat treating complexity of conventional steels (hardened through quenching), two new developed precipitation hardening steels are also presented. The not stainless steel VP50-IM has maximum hardness of 40 HRC, through one simple treatment at 500 °C for 3h. With the same treatment, the stainless steel VP80 lead to hardness around 48 HRC, close to the values of hardened and tempered martensitic steels. The reduction of distortion and the facility for mould repairing are the most important advantages of these precipitation hardening steels.

*Key words: mould steel, machinability, precipitation hardening.*

Technical contribution to be presented in the 1<sup>st</sup> Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, October 2003.

<sup>1)</sup> Materials Engineer, ABM member, MSc in Materials Science and Engineering, Researcher from Villares Metals S. A. Sumaré, SP, Brazil, e-mail: agnelli@villares.com.br.

<sup>2)</sup> Metallurgical Engineer, ABM member, Technology Manager, Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brazil, e-mail: celsoa@villares.com.br.