



## DESENVOLVIMENTO DE AÇO COM USINABILIDADE MELHORADA PARA MOLDES PARA PLÁSTICO DE GRANDES DIMENSÕES

### **Celso A. Barbosa**

Villares Metals S. A., Gerente de Tecnologia, [celsoa@villares.com.br](mailto:celsoa@villares.com.br), Sumaré, SP, Brasil.

### **Almir Murari**

Villares Metals S. A., Supervisor de Processo de Aciaria, [amurari@villares.com.br](mailto:amurari@villares.com.br), Sumaré, SP, Brasil.

### **Gerson Graciano**

Villares Metals S. A., Supervisor Técnico da Forjaria, [graciano@villares.com.br](mailto:graciano@villares.com.br), Sumaré, SP, Brasil.

### **Dionísio Q. Abreu**

Villares Metals S. A., Supervisor de Engenharia de Produtos Forjados, [dionisio@villares.com.br](mailto:dionisio@villares.com.br), Sumaré, SP, Brasil.

### **Paulo T. R. Haddad**

Villares Metals S. A., Assistente Técnico Comercial, [haddad@villares.com.br](mailto:haddad@villares.com.br), Sumaré, SP, Brasil.

***Resumo.** A fabricação de moldes de grande porte exige a produção na aciaria de lingotes de dimensões acima do usual. De forma a garantir a polibibilidade do produto acabado, o material não pode apresentar forte segregação, nível elevado de inclusões não metálicas ou porosidades. Para tanto, é necessária a obtenção de reduzidos teores de enxofre e a execução de elevada deformação mecânica no processo de conformação, principalmente em se tratando de grandes lingotes. Contudo, a redução do teor de enxofre prejudica a usinabilidade o que, sem outras alterações, encarece a fabricação do molde. Neste trabalho, é apresentada a tecnologia de fabricação do bloco para o maior molde já produzido com aço manufaturado no Brasil no qual o teor de enxofre foi reduzido abaixo de 50 ppm e a usinabilidade foi mantida através da modificação da morfologia das inclusões através da desoxidação por cálcio.*

***Palavras-chave:** Usinabilidade, Aço para molde, Desoxidação por cálcio.*

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade da cadeia produtiva do plástico depende de todos os participantes dessa cadeia, começando pelas centrais petroquímicas de matéria prima, que produzem o eteno, indo até as microempresas injetoras de peças plásticas. Nessa cadeia encontra-se inserida a produção dos

moldes de injeção. A demanda de mercado por uma maior velocidade no lançamentos de novos produtos e o encurtamento do ciclo de desenvolvimento, utilizando-se técnicas avançadas como prototipagem rápida, tem exigido dos fabricantes de moldes uma resposta rápida. Essa resposta tem sido buscada através de soluções como a utilização de modernas técnicas de usinagem e a transferência eletrônica de dados. A disponibilidade de aços para moldes também é muito importante nessa resposta rápida ao mercado. A existência de aços com alta qualidade que reduzam o risco de fabricação do molde e garantam um desempenho superior é decisiva para a competitividade dos produtores locais frente a concorrência de produtores externos. A disponibilidade envolve não só oferta de tipos de aços diferentes para as diversas aplicações e solicitações como também as dimensões.

Na indústria automobilística, a produção de grandes moldes como painéis e pára-choques, demandam muitas vezes moldes que alcançam algumas toneladas de peso. Nesses moldes o volume de material a ser removido é muito grande e a produtividade da usinagem é muito importante. Do ponto de vista das características básicas do aço, a sua usinabilidade deve ser sempre otimizada para reduzir não só o consumo de ferramentas como também o tempo de usinagem. Por outro lado, a fabricação de moldes de grandes dimensões exige a produção na aciaria a partir de grandes lingotes. Para garantir um bom polimento nos moldes acabados, o aço não pode apresentar forte segregação ou nível elevado de inclusões não metálicas, o que em grandes lingotes pode ser alcançado através do controle de residuais e a aplicação de metalurgia secundária, incluindo a degaseificação a vácuo. Para grandes lingotes é necessário entre outros requisitos, prensa com potência suficiente para proporcionar deformação em toda a seção do bloco, eliminando eventuais porosidades, e reduzido teor de enxofre, caso contrário ocorrerá uma forte segregação de sulfetos de manganês que prejudicará o polimento final do molde. Contudo, a redução do enxofre irá prejudicar a usinabilidade, o que por sua vez irá dificultar e encarecer a fabricação do molde. No presente trabalho, será apresentada a tecnologia de fabricação do bloco para o maior molde já produzido com aço fabricado no Brasil onde o teor de enxofre foi reduzido abaixo de 50 ppm e a usinabilidade foi mantida através da modificação da morfologia das inclusões utilizando-se a técnica de desoxidação por cálcio.

## **2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO**

Com a finalidade de atender à uma grande montadora do setor automobilístico, foi produzido um bloco de aço AISI P20 modificado, com maiores teores de manganês e níquel – VP 20, com pré-esboço da cavidade, conforme o esquema mostrado na Fig. 1. A composição química do material está apresentada na Tabela 1. O aço foi designado com o sufixo *ISO* devido a sua tecnologia diferenciada de fabricação do metal líquido, como será visto adiante.

O interesse deste caso não se restringe apenas aos aspectos ligados ao serviço de pré-esboçar e às dimensões e massa do bloco, mas se concentra principalmente na importância da usinabilidade do aço VP20 ISO.

A Fig. 2 mostra a seqüência das etapas de produção do bloco até a expedição. Após a usinagem de desbaste da cavidade, realizada pelo cliente, o bloco retornou para a usina para etapa de alívio de tensões, referente ao serviço de pós-venda.

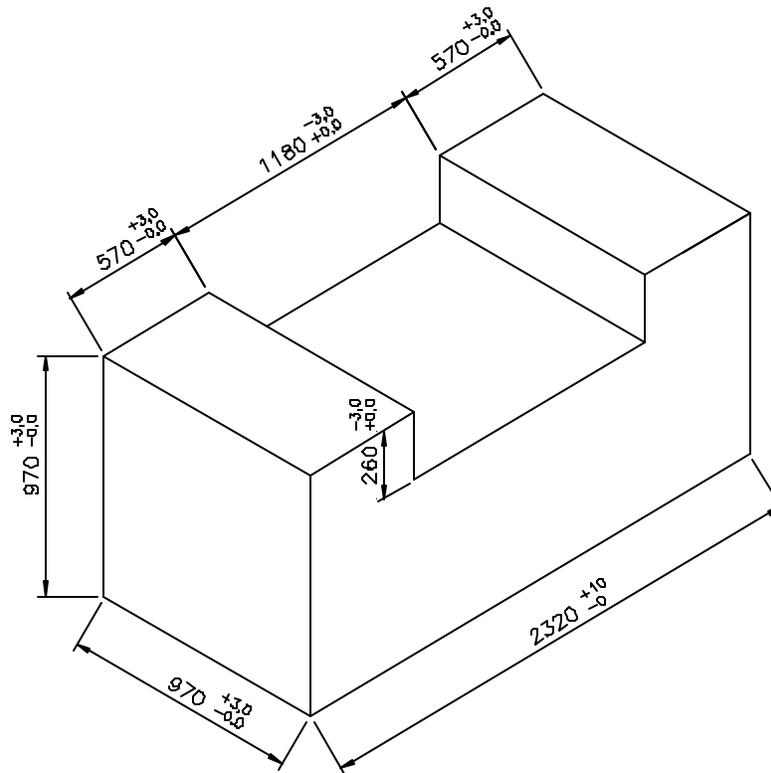


Figura 1 - Dimensões desbastadas do bloco de VP20 ISO pré-esboçado (mm).

Tabela 1 - Composição química do aço VP20 ISO. Porcentagem em massa.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,38	0,29	1,41	0,015	0,0022	1,90	0,27	0,96

O lingote utilizado tinha diâmetro da seção transversal média igual a 1.256 mm, pesando 26,5 t. O bloco fornecido pesava 14,8 t, tendo retornado posteriormente para alívio de tensões, após usinagem de desbaste da cavidade, com massa de 8,4 t. Com estes números pode-se entender a importância da usinabilidade do aço na fabricação do molde.

A seguir são descritas resumidamente as etapas de aciaria, forjamento, tratamentos térmicos e usinagem realizadas.

## 2.1 Fabricação do lingote

Para a produção de aços destinados à fabricação de moldes, cuidados adicionais são estabelecidos desde a aquisição da matéria prima até a expedição do lingote para a etapa de forjamento.

A confecção da carga metálica com matéria prima homogênea tanto na forma física como em composição química (previamente analisada), garante os valores iniciais estabelecidos para os residuais que influenciam diretamente nas propriedades solicitadas. O acerto final de composição química é realizado posteriormente nas etapas de refino.

O tratamento do aço visando a obtenção de reduzidos níveis de inclusão e morfologia das mesmas adequada, inicia-se já no refino primário ou no forno elétrico a arco, através do tratamento da escória a ser transferida para o forno panela onde se processará o refino secundário.

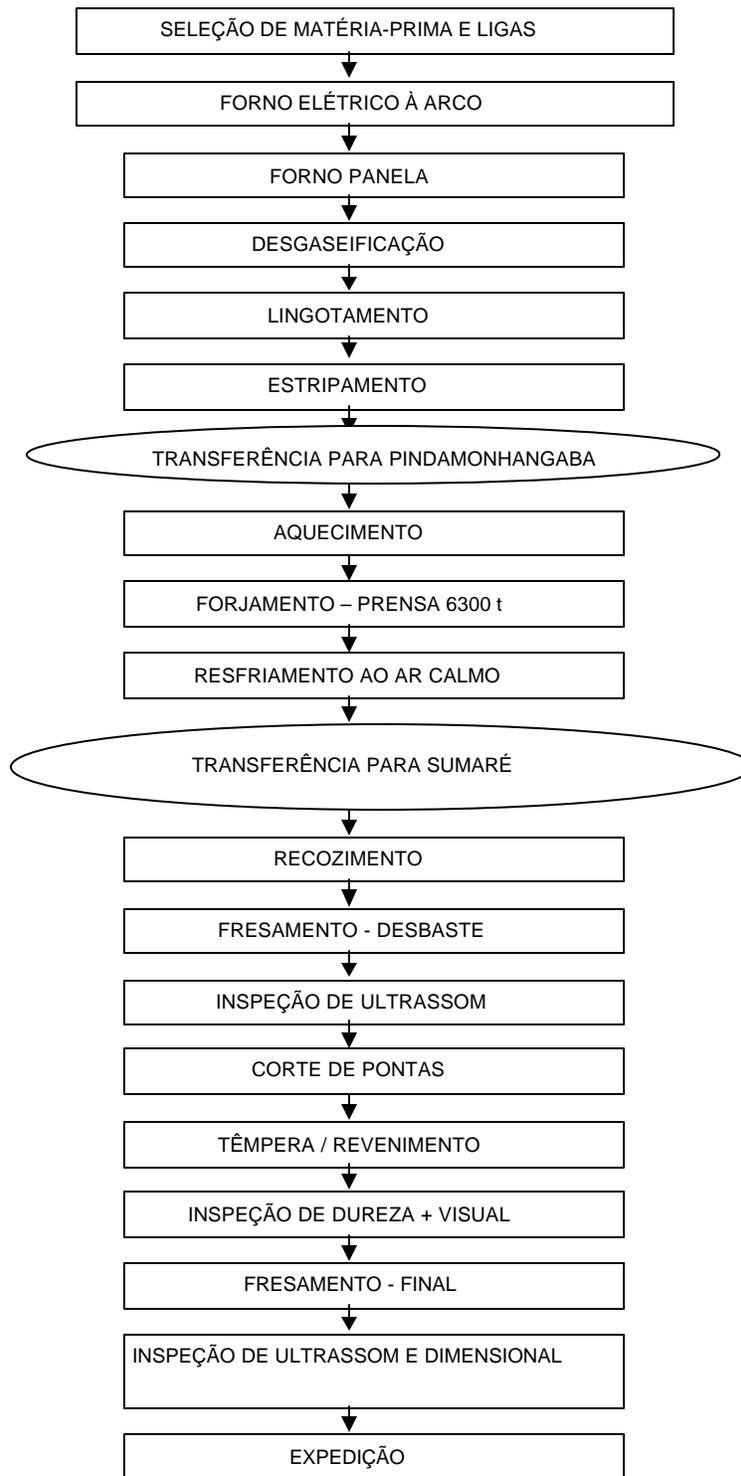


Figura 2 - Seqüência de fabricação.

O revestimento refratário da panela de aço também tem importante participação no processo de desoxidação e conseqüente dessulfuração (visa-se um teor enxofre abaixo de 50 ppm), sendo assim, predomina o uso de refratários básicos de MgO – C (Magnésia Carbono).

Os ajustes de temperatura e composição química do metal e da escória, garantem que na etapa seguinte de processamento que é a degaseificação, o aço seja submetido apenas à eliminação de gases e a manutenção do nível e tipo da inclusão, através do controle do residual de cálcio que

anteriormente fora adicionado na forma de arame recheado de cálcio e silício (33% Ca) e/ou ferro e cálcio (35% Ca).

Outra fase muito importante no processo da aciaria é a fundição do aço nos moldes (lingoteiras), conhecida como lingotagem, na qual há um controle rigoroso com relação a: temperatura do aço, velocidade de subida no molde e refratários utilizados. Isto visa a obtenção de reduzidos níveis de segregação e inclusões não metálicas provenientes do refratário de contato.

O lingote fundido, com dimensões e massa acima descritas, foi transferido para a usina de Pindamonhangaba, que possui uma prensa hidráulica adequada às suas dimensões.

## 2.2 Forjamento

O processo de forjamento foi realizado na prensa de 6.300 t da usina de Pindamonhangaba, utilizando bigornas com largura de 1.200 mm para desbaste e de 800 mm para acabamento. O lingote foi aquecido à 1230 °C e mantido nesta temperatura por 25 horas. A seguir, foi duplamente recalcado para Ø 1.800 mm, garantindo suficiente redução em área ao final do forjamento.

As deformações por passe na etapa de desbaste, atingiram 300 mm com extensões de até 1.000 mm. Com este processo, foi objetivado o caldeamento de eventuais porosidades existentes no lingote, inerentes ao processo de solidificação.

Para o forjamento do rebaixo no centro do bloco, foram utilizadas ferramentas e equipamentos auxiliares, tais como bigornas de 2500 mm para apoio, facas e estranguladores mecanizados. Esta operação, além de aumentar a compactação do núcleo do bloco, proporcionou redução do custo de usinagem e aumento do rendimento metalúrgico.

A Fig. 3 apresenta um croquis com as dimensões do bloco forjado bruto, na qual pode-se ver o rebaixo central visando reduzir o volume a ser usinado na confecção do molde.

O bloco forjado foi resfriado sob campânula até 50 °C e em seguida ao ar calmo, sendo posteriormente transferido para a usina de Sumaré.

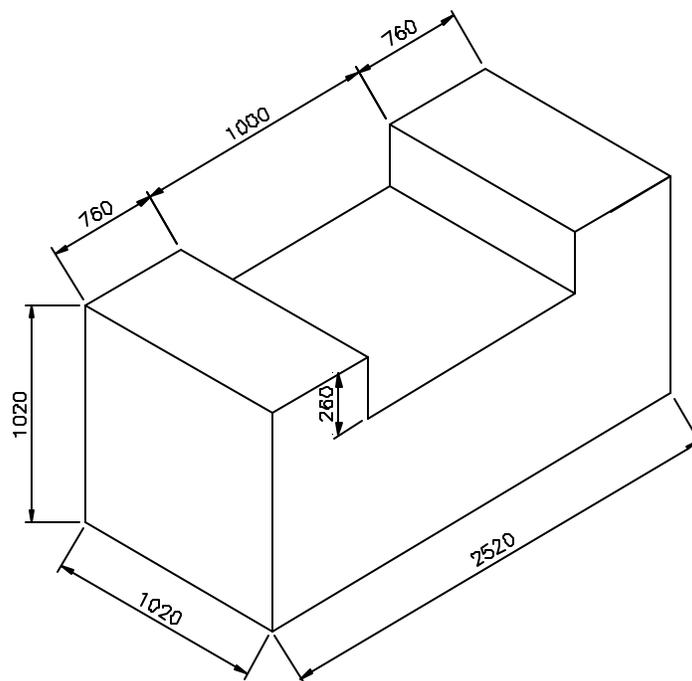


Figura 3 - Dimensões do forjado bruto (mm).

### 2.3 Tratamento térmico e usinagem

Após forjamento, a peça foi aquecida em forno a gás para a realização do ciclo de recozimento à 800 °C por 40 h. A usinagem de desbaste foi realizada com sobremetal de 10 mm por face em relação as medidas de fornecimento.

O ciclo de têmpera e revenimento foi conduzido visando uma dureza de 30 a 34 HRC. O material foi aquecido em forno elétrico até 870 °C e mantido nesta temperatura por 17 horas. O resfriamento para têmpera foi realizado em tanque de óleo com capacidade para 90.000 litros.

O revenimento foi também realizado em forno elétrico a uma temperatura de 580 °C por 34 h. O resfriamento foi ao ar calmo. A dureza obtida foi de 34 HRC.

Após o tratamento térmico o material seguiu para a etapa de usinagem final. Foi realizada a inspeção de ultrassom, com cabeçote de 4MHz, não tendo sido detectada qualquer descontinuidade.

## 3. A IMPORTÂNCIA DAS INCLUSÕES E O EFEITO DO CÁLCIO

Os requisitos de aços para moldes para transformação de plástico, que devem ser atingidos em maior ou menor grau dependendo da aplicação são: resistência mecânica, usinabilidade, polibilidade, resposta à texturização e resistência à corrosão.

Se privilegiarmos a usinabilidade, por exemplo, escolhendo aços resulfurados de usinabilidade fácil, comprometeremos os demais requisitos. A adição de enxofre promove a formação de inclusões de sulfeto de manganês, que por suas características de baixa dureza e alta plasticidade facilitam as operações de usinagem possibilitando a quebra de cavacos. O enxofre tem também a característica de segregar durante a fundição causando anisotropia, afetando a uniformidade microestrutural, além de deteriorar as propriedades mecânicas e de resistência à corrosão.

A tentativa de se conseguir uma diminuição nos custos de fabricação de peças usinadas levou ao desenvolvimento dos aços com usinabilidade melhorada pela desoxidação com cálcio, muitas vezes denominados aços tratados ao cálcio (Milan et. al., 2000). Esses aços permitem maiores taxas de remoção de material e aumento de vida de ferramenta de corte sem, contudo, acarretar prejuízo em outras importantes propriedades (Tessler e Barbosa, 1994).

A necessidade de um aço com baixo teor de enxofre e, conseqüentemente, menor nível de inclusões de sulfetos, leva a uma redução da usinabilidade. A técnica da desoxidação com cálcio, para a melhora da usinabilidade, resulta de um controle da morfologia das inclusões duras, dos tipos alumina e silicato. A formação de inclusões óxidas ternárias  $Al_2O_3 - SiO_2 - CaO$  permite o estabelecimento de uma camada protetora de óxido nas interfaces cavaco-ferramenta e peça-ferramenta, nas altas temperaturas características do processo de usinagem.

A alteração da morfologia das inclusões duras se dá pelo revestimento das mesmas por uma camada, ou envelope, de sulfeto de cálcio, conforme se verifica nas Figuras 4 e 5, minimizando o efeito deletério das inclusões abrasivas sobre as ferramentas de corte.

A Fig. 4a apresenta inclusões típicas de MnS, encontradas no aço VP20 não desoxidado com cálcio, como pode ser visto nos mapeamentos de raios-X (Fig. 4b e 4c). As fotos foram obtidas em microsonda eletrônica, com análise de raio-X pelo sistema WDS.

A Fig. 5a apresenta uma inclusão modificada pela desoxidação por cálcio, como pode ser visto na Fig. 5b, corresponde à imagem do raio-X para o elemento Ca. A Fig. 5c corresponde à imagem do raio-X para o elemento S.

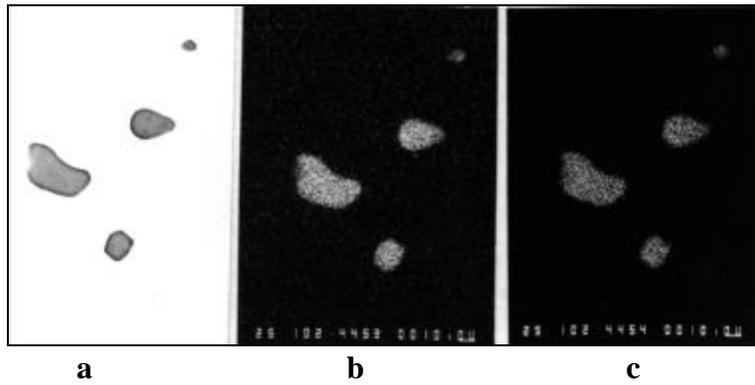


Figura 4 - Inclusão de sulfeto de manganês. Aumento 560x. a) Imagem composicional; b) Raio-X – elemento Mn; c) Raio-X elemento S.

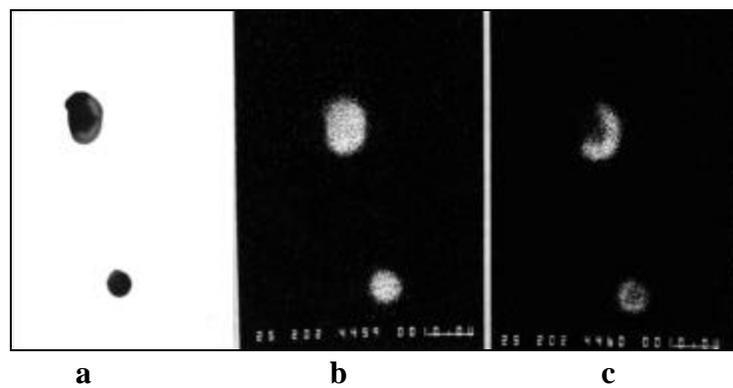


Figura 5 - Inclusões complexas envelopadas por sulfeto de cálcio. Aumento 1120x. a) Imagem composicional; b) Raio-X – elemento Ca; c) Raio-X elemento S.

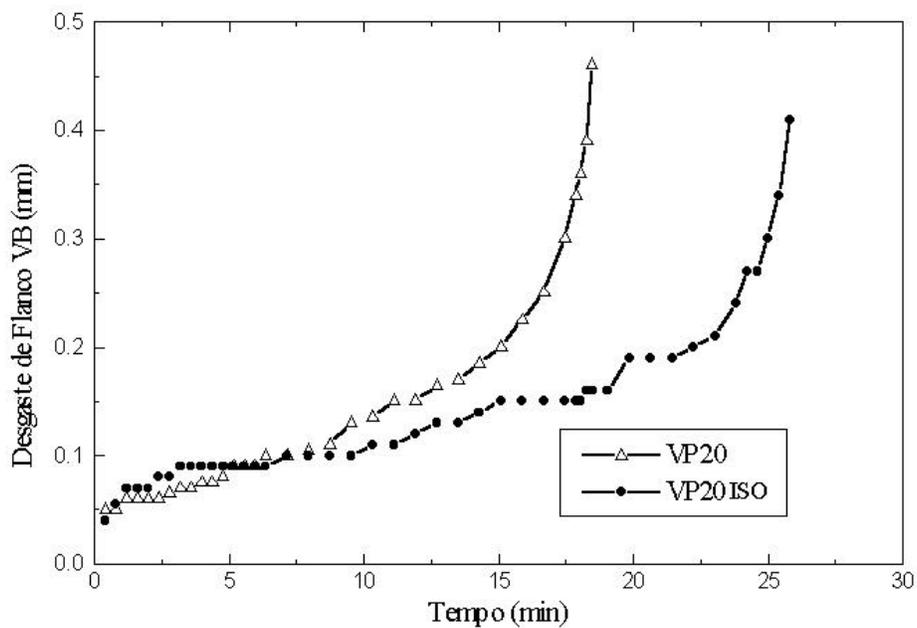


Figura 6 - Curva de desgaste da ferramenta para o aço VP20 e VP20 ISO. Ensaio em fresamento, velocidade de corte 208 m/min, profundidade de corte 2,05 mm e avanço 0,09 mm/dente, sem refrigeração (Milan et. al., 2000).

Ainda, no processo de desoxidação do aço com cálcio, ocorre a formação de inclusões complexas de aluminatos de cálcio que são mais facilmente removidas por flotação, resultando também em menor nível de inclusões duras após solidificação. Mesmo estando presentes, os aluminatos de cálcio são menos deletérios que a alumina, pois sua dureza e ponto de fusão são menores que os da alumina.

A Fig. 6 apresenta a melhoria verificada num estudo comparativo de usinabilidade em fresamento entre o aço VP 20 normal e o VP 20 ISO. Como pode ser observado nesta figura, o aço VP20 ISO mostrou-se superior ao VP20 na condições de corte utilizadas, possibilitando sempre uma vida maior. O volume de material removido foi de 40,8% superior quando usinando com o aço tratado ao cálcio em comparação com o aço não tratado.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização da tecnologia de desoxidação com cálcio permite a produção de blocos de grandes dimensões, mantidas as principais características exigidas na confecção de moldes para plástico, como, por exemplo, a polibilidade, mantendo boas características de usinabilidade. O mecanismo atuante para melhoria da usinabilidade é a modificação de inclusões duras e abrasivas para inclusões complexas que permitem a formação de uma camada protetora na superfície da ferramenta.

#### REFERÊNCIAS

- Milan, J. C. G., Machado, A. R.; Barbosa, C. A., 2000, Usinabilidade de Aços para Moldes de Injeção de Plástico Tratados com Cálcio, Anais do 55º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, Julho, Rio de Janeiro, Brasil, CD ROM.
- Tessler, M. B., Barbosa, C.A., 1994, USIFAC: Aços Inoxidáveis Austeníticos com Usinabilidade Melhorada, Anais do 49º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, Outubro, São Paulo, Brasil, vol. VIII, pp. 173-188.

#### DEVELOPMENT OF MOULD PLASTIC STEEL WITH IMPROVED MACHINABILITY FOR LARGE DIMENSIONS MOULDS

**Abstract.** *The production of large plastic moulds involves the utilization of heavy ingots in the steel melting shop. In order to have good polishability in the finished mould, the steel has to show low level of nonmetallic inclusions, porosities, as well as, sulphur segregation. These requirements impose to the steel producer the necessity to have low sulphur levels and high deformation degree during forging these large ingots. However, the sulphur level reduction itself impairs the machinability, increasing the mould production costs. This work presents the fabrication technology of the largest plastic mould ever produced using steel produced in Brazil with a sulphur level under 50 ppm, without affecting machinability to any remarkable extent. The machinability was maintained throughout the inclusions morphology control using liquid steel calcium deoxidation.*

**Keywords:** *Machinability, Mould steel, Calcium treated steel.*