

OTIMIZAÇÃO DO CICLO DE TRATAMENTO TÉRMICO DE GRANDES BLOCOS DO AÇO VP20ISO[®] COM AUXÍLIO DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA¹

Roberto Tibúrcio Canito Frota Júnior²
José Britti Bacalhau³
Celso Antonio Barbosa⁴

Resumo

Aços para moldes plásticos são essencialmente produzidos via forjamento de grandes lingotes, os quais na maioria das vezes superam 30 toneladas de metal. Após o forjamento, as propriedades mecânicas e microestruturais do aço AISI P20 são obtidas através de seu beneficiamento, via tratamentos térmicos de têmpera e revenimento. Longos ciclos térmicos de austenitização, e posteriormente de revenimento são necessários para que toda a secção transversal desses blocos atinja a temperatura de patamar, e assim, propriedades homogêneas sejam atingidas. A maneira mais simples e tradicionalmente utilizada, na determinação dos tempos dos ciclos de têmpera e revenimento é a regra da polegada. Simulação por elementos finitos foi utilizada nesse trabalho, para otimizar o tempo de revenimento de blocos do aço VP20ISO e comparar com o obtido pela regra da polegada. Com isso, conseguiu-se reduzir o tempo de patamar excessivo calculado pelo método empírico.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Revenimento; VP20ISO; Simulação numérica.

HEAT TREATMENT OPTIMIZATION OF VP20ISO STEEL LARGE BLOCKS USING NUMERICAL SIMULATION

Abstract

Plastic mold steels are usually produced through forging of large ingots, which often have more than 30 tons of weight. After forging, the mechanical and microstructural properties of VP20ISO[®] steel are obtained through hardening by quenching and tempering heat treatment process. Long austenitizing and tempering thermal cycles are needed to the whole blocks cross section to reach the holding temperature, and thus homogeneous properties are achieved. The simplest and practical way utilized to calculate the holding time is the inch rule. Finite element simulation was performed, in order to optimize the tempering holding time of VP20ISO[®] steel blocks and compare with the time calculated by the inch rule. With this research work, it was possible to reduce the tempering cycle time calculated by the empirical method.

Key words: Heat treatment; Temper; VP20ISO[®]; Numerical simulation.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro. Mecânico, membro da ABM, Pesquisador da Villares Metals SA, Sumaré, SP, Brasil; roberto.frota@villaresmetals.com.br.

³ Engenheiro. de Materiais, membro da ABM, Pesquisador da Villares Metals SA, Sumaré, SP, Brasil; jose.bacalhau@villaresmetals.com.br.

⁴ Engenheiro Metalurgista, membro da ABM, Diretor de Tecnologia e P&D da Villares Metals SA, Sumaré, SP, Brasil; celso.barbosa@villaresmetals.com.br.

1 INTRODUÇÃO

O plástico quando comparado com outros materiais é relativamente moderno,⁽¹⁾ nas últimas décadas sua aplicação tem sido amplamente empregada em diversos produtos, está presente em quase todos os bens de consumo duráveis. A variedade de tipos de plásticos e a característica da facilidade do seu manuseio e fabricação foram essenciais para difusão de sua aplicação. Um dos principais processos de produção de componentes plásticos é a injeção desse material no estado fluido em moldes de aço.

A alta demanda mundial por produtos plásticos fomenta a indústria siderúrgica produtora de aços para moldes de injeção de plástico que se torna bastante competitiva na conquista do mercado consumidor. A competitividade ficou mais acirrada com a abertura do mercado chinês que está inundando todo o mundo com produtos a preços mais baixos. No mercado de aço para moldes de injeção de plástico, esse cenário não é diferente, cabendo aos produtores tradicionais do mercado ocidental inovar fornecendo produtos e serviços diferenciados. Tendo em vista esses fatores, a Villares Metals busca não somente inovar em seus produtos e serviços, mas também no processamento de seus aços, visando de forma sustentável atender as necessidades dos clientes e disputar o mercado com produtos competitivos. Para isso, a Villares Metals possui a tecnologia de simulação numérica por meio de softwares comerciais para desenvolver em ambiente virtual as melhorias e a otimização dos processos de fabricação dos aços e ligas especiais.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar um exemplo de como o uso da tecnologia da simulação numérica de processos de fabricação pode auxiliar na redução de custos de processamento, mantendo o produto competitivo no mercado. Para isso, foi comparado, por meio de simulação numérica, o tratamento térmico de revenimento do aço VP20ISO®. Foram observados os tempos de patamar em temperatura de um ciclo utilizando a tradicional regra da polegada e outro ciclo se analisando o perfil de temperatura simulado. Neste último perfil de temperatura, foi observado o tempo necessário em que o material deve permanecer na temperatura de patamar para o atendimento das propriedades desejadas no revenimento.

2 FABRICAÇÃO DE AÇOS PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO

Aços para moldes de injeção de plástico estão classificados na categoria de aços ferramenta, no entanto não contém muitos elementos de liga, porém possuem características específicas como limpeza microestrutural e facilidade de processamento que os diferenciam dos outros aços convencionais.⁽²⁾ Com isso, as principais propriedades desejáveis nessa classe de aços são:⁽³⁾

- usinabilidade: geralmente é realizada a usinagem para a confecção da cavidade do molde com grande remoção de material, então essa propriedade é importante para reduzir o consumo de ferramenta e o tempo total dessa etapa de fabricação do molde;
- polibilidade: em vários produtos plásticos a superfície perfeitamente lisa é necessária, para isso a superfície da cavidade do molde deve ser polida e o aço em questão deve ter boa resposta ao polimento; e
- resistência Mecânica e ao Desgaste: A alta pressão do plástico injetado pode gerar deformações ou desgaste da superfície do molde, é necessário que o aço do molde seja selecionado de acordo com a solicitação do processo de injeção.

O aço objeto desse trabalho é o VP20ISO[®], marca registrada da Villares Metals S.A, equivalente ao DIN 1.2738, sendo fornecido beneficiado com dureza entre 285 HB a 321 HB. Esse aço é aplicado em moldes para injeção de plásticos não clorados de grandes dimensões, principalmente onde é necessária uma grande remoção de material por usinagem. Sua composição química típica está mostrada na Tabela 1. Atualmente, é fornecido em espessura de até 1.000 mm e apresenta usinabilidade melhorada em relação ao tradicional AISI P20 devido ao seu tratamento com cálcio.⁽⁴⁾

Tabela 1. Composição Química do Aço VP20ISO[®]. Porcentagem em massa e balanço em Fe

C	Mn	Cr	Mo	Ni
0,36	1,60	1,80	0,20	0,70

Fonte: Catálogo VP20ISO[®] da Villares Metals.

Uma aplicação comum desse aço é a manufatura de moldes para a fabricação pára-choques de automóveis (Figura 1).



Figura 1. Molde para injeção de plástico de pára-choque automotivo.⁽⁵⁾

A fabricação do bloco de aço que produzirá esse molde se inicia com a solidificação de um lingote com mais de 30 toneladas. Depois o lingote é forjado em uma prensa de 5.000 tf de capacidade com grau de deformação suficiente para eliminar porosidades e homogeneizar a microestrutura em toda secção transversal. Na sequência, é realizado um alívio de tensões e o bloco é fresado. Na etapa final de processamento desse material, para que o bloco obtenha as propriedades mecânicas necessárias a atender as especificações de venda, ele é submetido aos ciclos de tratamento térmico de têmpera e revenimento. Neste último ciclo de tratamento térmico citado, o aço é aquecido até uma temperatura que seja abaixo da temperatura de austenitização, permanecendo nesta temperatura tempo suficiente para o encharque do material e obtenção da dureza desejada. Segundo Silva e Mei,⁽⁶⁾ nos primeiros minutos de revenimento a queda da dureza é acentuada, porém a partir de duas horas em temperatura a perda não é expressiva. De posse dessa informação, conclui-se que manter o bloco em temperatura por mais de duas horas torna-se um desperdício, pois não haverá mudança significativa nas propriedades do material.

A maior dificuldade em determinar quanto tempo o bloco deve ficar no patamar de temperatura no revenimento evitando-se o desperdício, é saber exatamente quando o núcleo desse bloco atinge a temperatura. A prática tradicional para determinação do tempo de patamar de revenimento de grandes blocos é a regra da polegada, na qual indica que o material deve ficar no forno em patamar tantas horas quantas forem as polegadas de espessura do bloco. Por exemplo, se o bloco possuir 10 polegadas de espessura deverá ficar 10 horas com o forno na temperatura de patamar.

Em 1994, Aladinskii et al.⁽⁷⁾ utilizaram simulação numérica para determinar o tempo de patamar exato que grandes peças de aço soldadas deveriam permanecer em temperatura de revenimento. Na conclusão, o tempo do ciclo de revenimento foi reduzido de 43 horas para 30 horas.

A proposta desse trabalho é também utilizar a simulação numérica para determinar o tempo exato que os blocos de aço VP20ISO devem ficar em patamar no revenimento. Com isso, eliminar desperdícios na fabricação desse material e, principalmente, manter esse produto da Villares Metals competitivo no mercado de aços para moldes de injeção de plástico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A principal ferramenta utilizada neste trabalho foi o software comercial baseado em elementos finitos DEFORMTM3D, que inicialmente foi desenvolvido para simulação dos processos de conformação mecânica, porém atualmente possui vários módulos de processamento de materiais incluindo o tratamento térmico.⁽⁸⁾

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram selecionados três tamanhos de blocos de aço VP20ISO:

- 600 mm x 1.000 mm x 3.200 mm;
- 850 mm x 1.200 mm x 3.200 mm; e
- 1.000 mm x 1.150 mm x 3.000 mm.

O ciclo de revenimento seguiu as seguintes etapas:

- forno com temperatura inicial de 120°C, permanecendo nessa temperatura por 1 hora;
- subida da temperatura do forno com uma rampa de aquecimento de 60°C por hora até o patamar intermediário de 500°C;
- permanência da temperatura a 500°C por uma hora;
- subida da temperatura do forno até 600°C seguindo a rampa de aquecimento de 60°C por hora; e
- permanência na temperatura de patamar de revenimento por tantas horas quantas forem as polegadas da espessura do bloco, arredondando-se esse valor para cima.

Para os dados de entrada da simulação, utilizaram-se as propriedades térmicas resumidas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de entrada para as simulações

Entrada	Valor
Condutividade Térmica (W/mK)	30 a 31
Calor Específico [100°C a 600°C] (J/kg°C)	490 a 705
Coef. Transferência Calor [20°C a 600°C] (W/m²K)	30 a 210

O coeficiente de transferência de calor dentro do forno foi determinado pelo método inverso. Nesse método o coeficiente de transferência de calor é ajustado, de forma que o perfil de temperatura simulado e experimental estejam próximos. A Figura 2 ilustra o ajuste de curvas realizado durante o aquecimento para a têmpera.

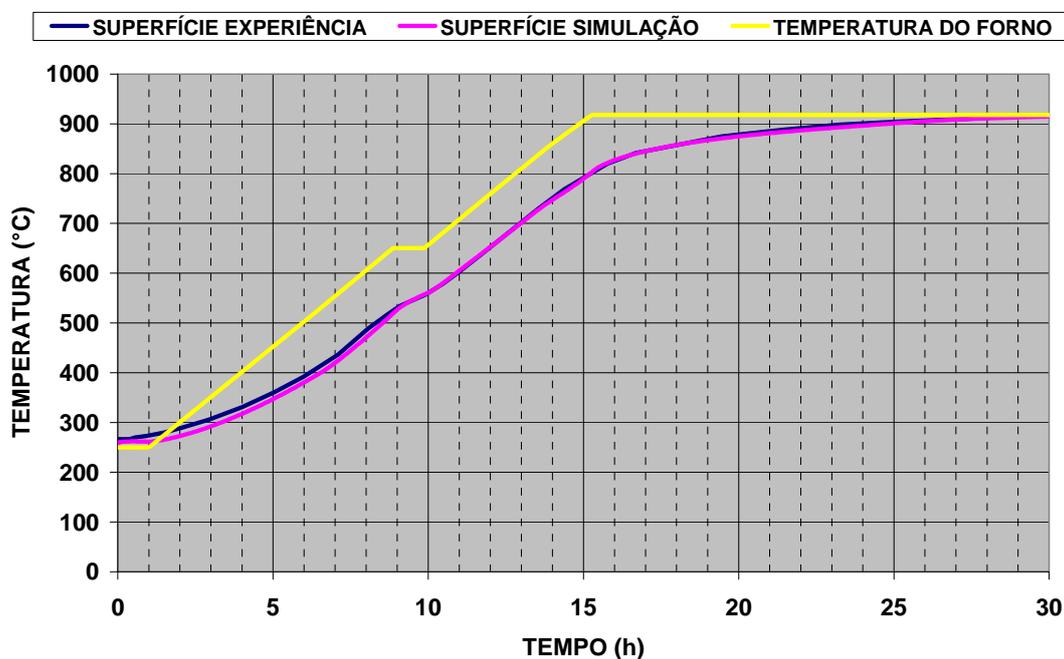


Figura 2. Comparação dos perfis de temperatura simulado e experimental ao final do ajuste do coeficiente de transferência de calor.

A geometria utilizada na simulação foi simplificada com os três planos de simetria do bloco. Para análise dos resultados, coletou-se o perfil de temperatura de dois pontos, sendo um ponto localizado na superfície do bloco e outro ponto exatamente no núcleo (Figura 3).

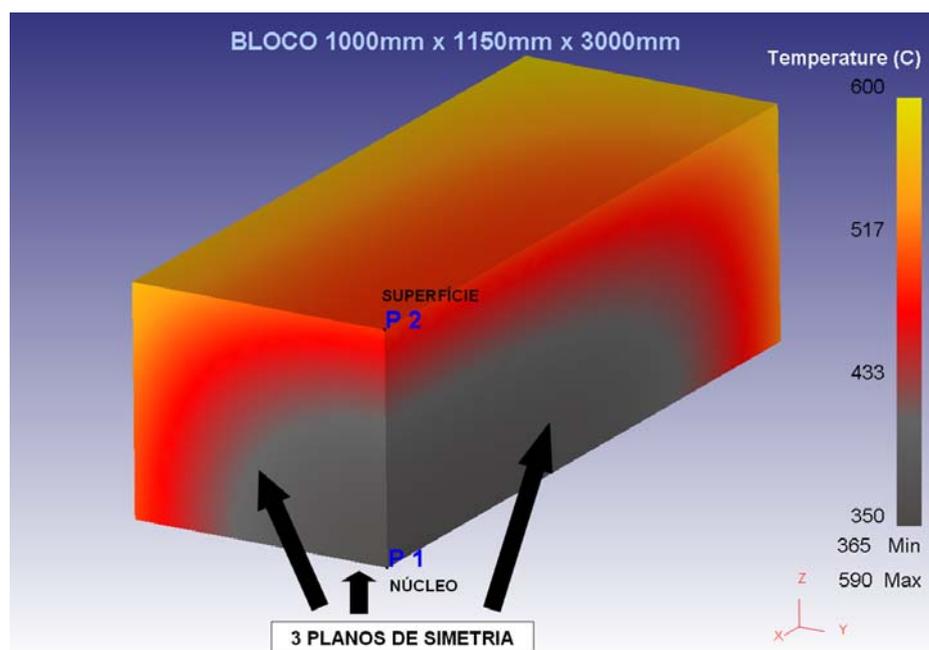


Figura 3. Geometria utilizada na simulação e os pontos de observação da temperatura. A perspectiva acima representa 1/8 do bloco.

Para a determinação do tempo otimizado de patamar em temperatura, observou-se o tempo em que a temperatura do núcleo atingiu 599°C, e a partir desse instante somou-se mais duas horas, arredondando-se as horas para cima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados nos gráficos das Figuras 4 a 6.

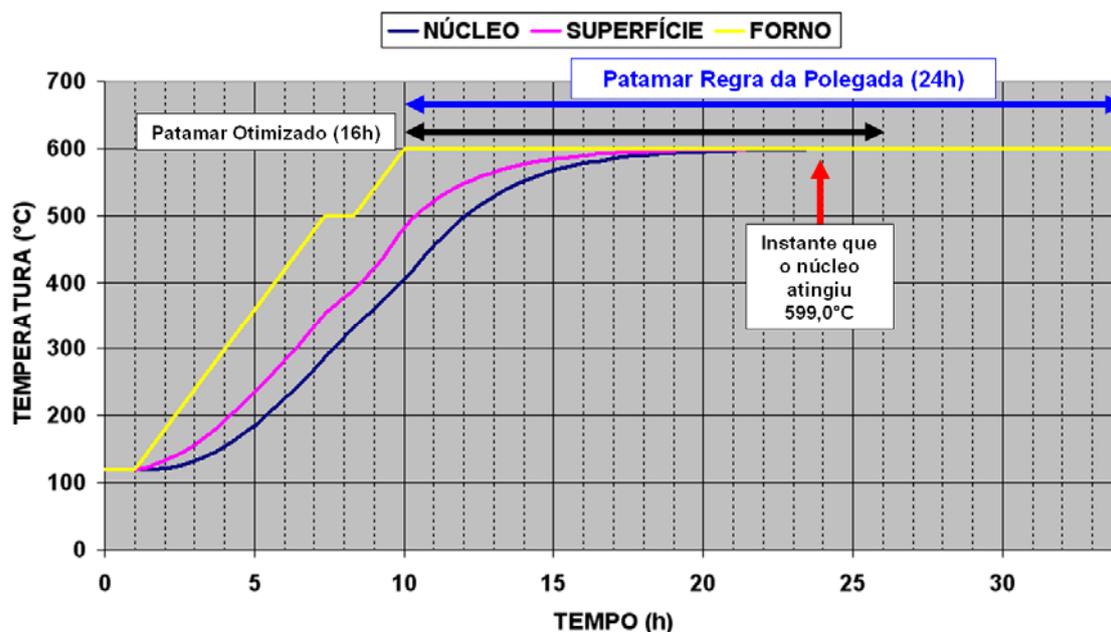


Figura 4. Perfil de temperatura do bloco de 600 mm x 1.000 mm x 3.200 mm durante o revenimento.

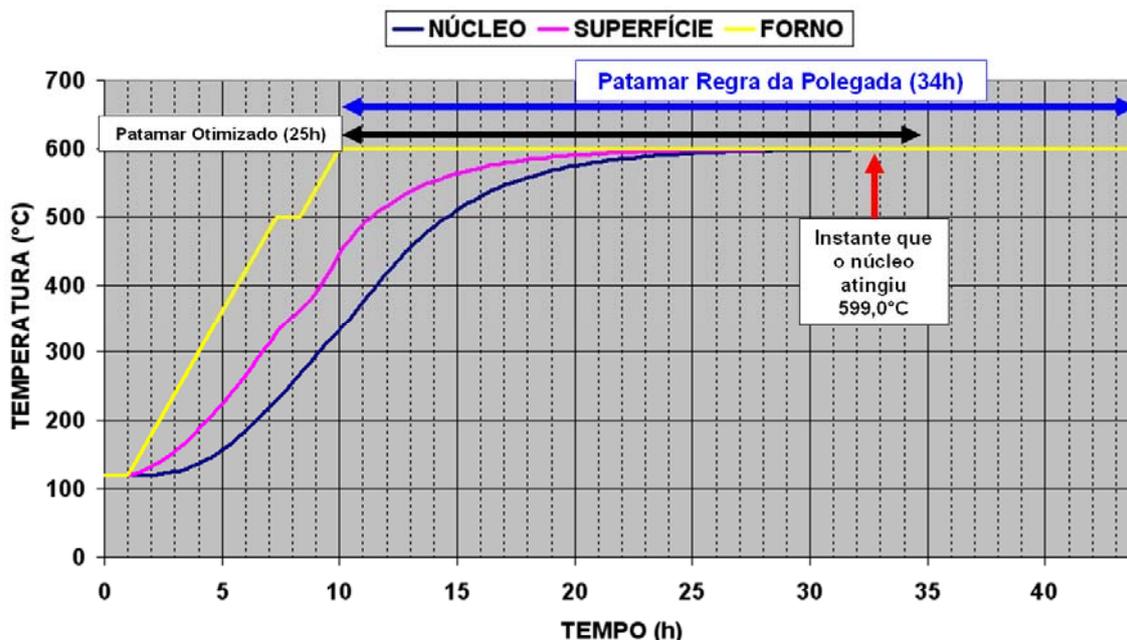


Figura 5. Perfil de temperatura do bloco de 850 mm x 1.200 mm x 3.200 mm durante o revenimento.

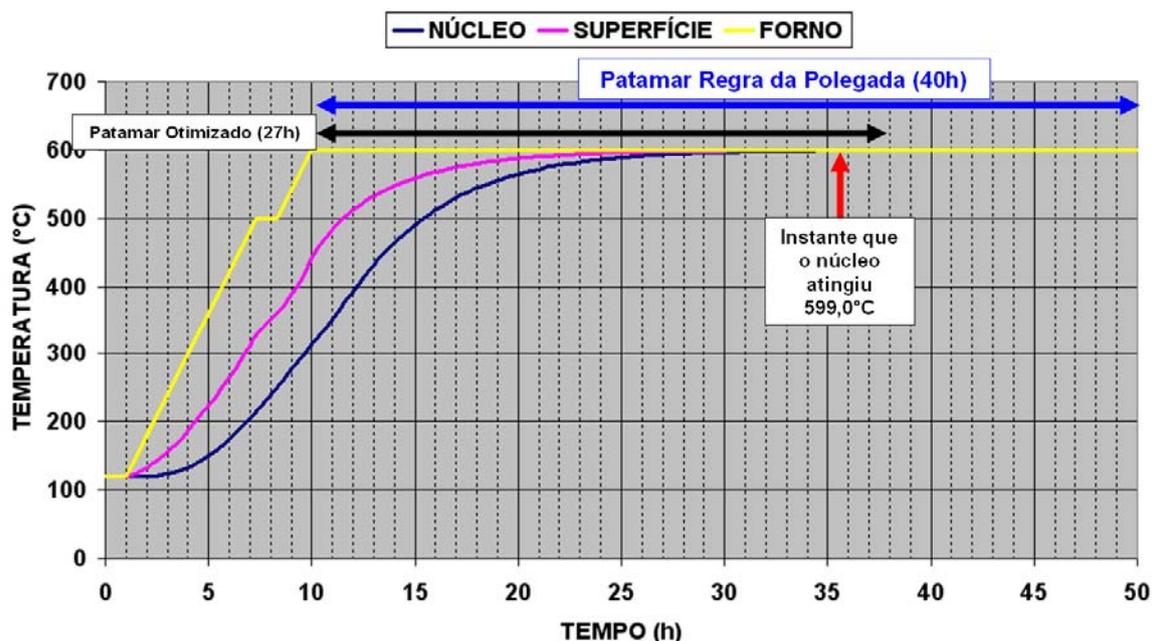


Figura 6. Perfil de temperatura do bloco de 1.000 mm x 1.150 mm x 3.000 mm durante o revenimento.

A Tabela 3 resume os principais resultados e calcula a redução do tempo de ciclo para cada bloco.

Tabela 3. Resumo dos Resultados da otimização do tempo de patamar

Bloco	Tempo Total Revenimento (h)	Tempo de Patamar Regra da Polegada (h)	Tempo de Patamar Otimizado (h)	Redução Tempo de Ciclo (h)	Porcentagem Redução do Tempo de Ciclo
600 mm x 1.000 mm x 3.200 mm	34	24	16	8	23,5%
850 mm x 1.200 mm x 3.200 mm	44	34	25	9	20,5%
1.000 mm x 1.500 mm x 3.000 mm	50	40	27	13	26,0%

Os resultados mostraram que realmente os tempos de patamar de revenimento calculados pela regra da polegada estavam excessivos. Com o auxílio da simulação numérica foi possível saber a temperatura do núcleo dos blocos e observar quando a temperatura chega em patamar. Para os blocos estudados neste trabalho a redução do tempo total do ciclo de revenimento pode ser reduzido de 20,5% a 26%, gerando uma economia significativa no processamento desse produto. Além disso, existem ganhos com a redução do tempo de fabricação dos blocos, e principalmente, o ganho para a sustentabilidade do meio ambiente onde são reduzidas as emissões de gases do efeito estufa (GEE).

5 CONCLUSÃO

- A utilização de simulação numérica foi importante para comprovar que a utilização da tradicional regra da polegada para o cálculo do tempo de patamar em temperatura de revenimento superestima o tempo necessário para que o material atinja as propriedades mecânicas desejadas; e

- a ferramenta de simulação numérica foi utilizada para o cálculo do tempo de patamar do revenimento de três blocos de aço VP20ISO e concluiu-se que o tempo total do ciclo de revenimento pode ser reduzido de 20,5% a 26% dependendo da dimensão do bloco. Esta economia reduz o custo de processamento do material e mantém de forma sustentável o produto nacional competitivo.

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. Lifecycle of a Plastic Product. Disponível em: <<http://plastics.americanchemistry.com/Life-Cycle>> Acesso em: 10 jan. 2012.
- 2 ROBERTS, G. A.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R.; Tool steels. 5^a ed. Materials Park, OH: ASM International, 1998.
- 3 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A.; Aços para Moldes de Plástico com Melhores Propriedades de Manufatura. Usinagem 2004, Feira e Congresso, 2004. São Paulo. Anais..., São Paulo: Usinagem Brasil 2004, CD ROM.
- 4 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A.; Moldes de Plástico: Otimização da Usinabilidade do Aço P20. O Mundo da Usinagem. n. 4, pp. 28-30, 2003.
- 5 HADDAD, P. T. R.; VIMCOR: Aço Inoxidável de Alta Usinabilidade para Moldes Plásticos. Contribuições para a Competitividade da Ferramentaria Nacional. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/VIMCOR.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2012.
- 6 SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R.; Aços e Ligas Especiais. Edgar Blucher, São Paulo, 2006.
- 7 ALANDINKII, V.V.; MAKHANEV, V. O.; PAVLOVICH, A. A.; LEVENBERG, N. E.; Using computer modelling methods for selecting the rational holding time when tempering welded structures of 15KhM1FL steel. Welding International. V. 8, n. 10, pp. 13-14. 1994.
- 8 SFTC (Scientific Forming Technologies Corporation). DEFORM 3D User's Manual. Columbus, 2010.