

2011-12-15

■ O papel dos materiais na competitividade global
■ Novas tecnologias em tratamentos de metais

TRATAMENTO TÉRMICO

Características de resfriamento de soluções de polímero para têmpera

C 2 1 2 C

Lauralice de Campos F. Canale 414158
Ovidio Richard Crnkovic 179876
Antonio Carlos Canale 552348
Jony Benno Groessler

A escolha do meio de resfriamento, no processo de têmpera, é de fundamental importância. Essa escolha é baseada nas características de resfriamento do meio líquido, mediante conhecimento do comportamento desses meios, durante o processo de extração de calor.

O tratamento térmico de têmpera nos aços é obtido através do resfriamento rápido da peça, a partir de temperaturas de austenização. O resfriamento rápido é efetuado a fim de prevenir a formação de microestruturas mais moles (ferrita, perlita) e promover a transformação do microconstituente MARTENSITA, que, após o revenido, apresentará propriedades características de resistência e ductilidade.

A têmpera é, usualmente, uma das últimas etapas da linha de produção. Por esta razão, uma falha neste processo, devida por exemplo ao resfriamento incorreto, pode trazer prejuízos, aumentando o custo do produto final e tornando-o menos competitivo.

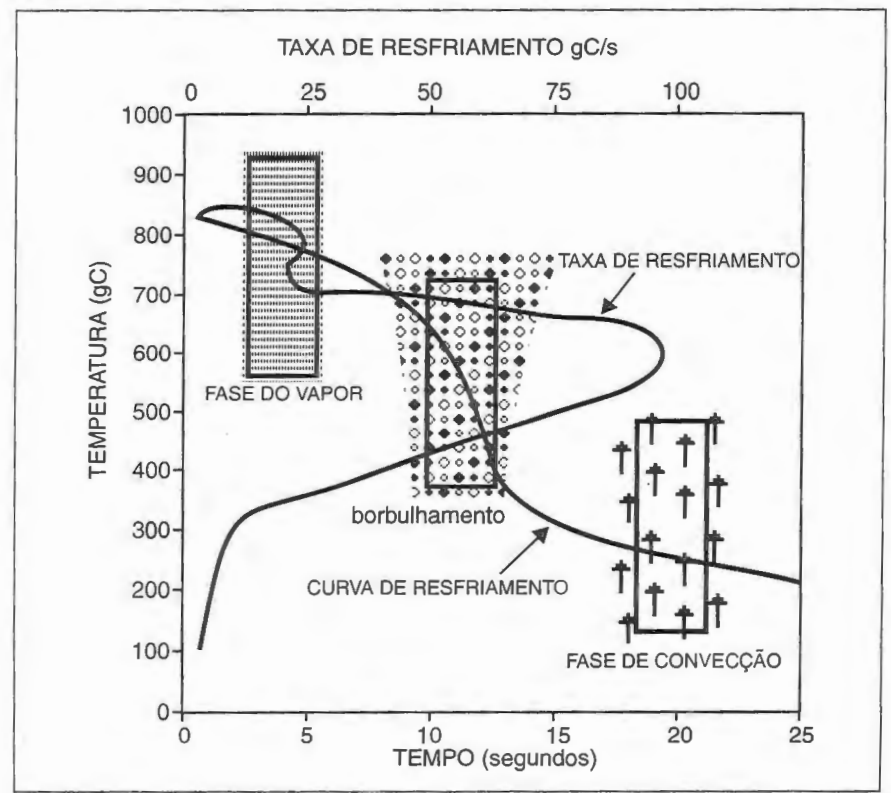
O êxito desse tratamento é obtido na medida em que a dureza e a resis-

tência mecânica pretendidas são alcançadas com um mínimo de tensões residuais, distorção, ou possibilidade de formação de trincas [1]. Este objetivo é muito dependente da escolha do meio de resfriamento (fluido de têmpera) adequado.

A capacidade do fluido de extrair calor de um meio é característica deste e das suas condições de concentração, temperatura e agitação. Desta maneira, é possível caracterizar um meio de têmpera, através desta sua capacidade de extrair calor do metal. Este assunto já motivou muitos trabalhos [1-10].

Dentro desta tendência, a caracterização do fluido de têmpera, através da curva de resfriamento, acompanhada da sua respectiva taxa de resfri-

Fig. 1 - Curvas de resfriamento típicas mostrando as três fases (8).



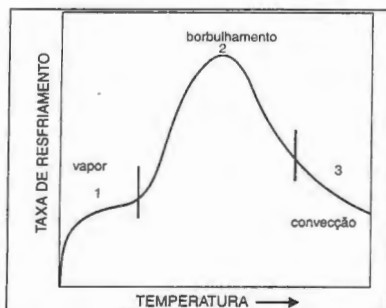
Adaptado para "M&M". Texto completo nos Anais de 50º Congresso Anual da ABM, São Pedro, SP, agosto 1995.

090 6045
1010.96

3.06.03.10-0

SYSNO 0906045
PROD 0001385
ACERVO EESC

Fig. 2 - Curva da velocidade de resfriamento x temperatura apresentando os três estágios.



amento, tem-se mostrado um bom método.

Dentre os meios de resfriamento mais usados, podem ser citados a água, as soluções salinas, os óleos minerais e as soluções de polímeros como as mais importantes. Estas últimas foram recentemente introduzidas no mercado brasileiro e podem ser usadas no tratamento térmico de muitos tipos de aços, através da escolha adequada do tipo de polímero, da sua concentração, da temperatura do banho e das condições de agitação [11-14].

MECANISMO DE RESFRIAMENTO

O resfriamento em meio líquido geralmente ocorre em três estágios distintos. A figura 1 apresenta um esquema da curva de resfriamento indicando esses estágios [8].

No primeiro, ocorre a formação do filme de vapor ao redor do componente, o qual é caracterizado por apresentar um resfriamento lento.

No segundo estágio, o filme de vapor se rompe e o fluido frio entra em contacto com a peça quente do metal, resultando em nucleação de bolhas e alta taxa de extração de calor. À medida que o borbulhamento cessa, o terceiro estágio se inicia.

Nesta fase, o calor é removido por convecção do líquido. Ela é caracterizada por taxas de resfriamento relativamente baixas. Esses estágios são evidenciados também na curva "taxa de resfriamento x temperatura" (figura 2).

Os polímeros PAG (poliaquileno glicol) apresentam um comportamento singular, denominado de "solubilidade inversa", modificando o mecanismo convencional de têmpera. Isso

acontece porque em temperaturas mais altas da solução, em torno de 60°C, o polímero se torna insolúvel em água. Este fenômeno modifica a taxa de extração de calor porque durante o resfriamento, ao redor da peça quente, forma-se uma camada rica em polímero [14].

A estabilidade e a duração deste filme de polímero depende, sobretudo, da temperatura, concentração e, principalmente, do grau de agitação da solução.

O filme de vapor rico em polímero eventualmente colapsa e a solução entra em contato com a superfície metálica quente e, como no caso anterior, resulta em formação de bolhas e alta taxa de extração de calor.

Quando a temperatura superficial da peça cai abaixo da temperatura em que o fenômeno da solução inversa ocorre, o polímero se redissolve, formando novamente uma solução homogênea.

Como nas demais soluções, e em particular neste tipo de polímero (PAG), a temperatura do banho, grau de agitação e concentração são os três principais fatores que afetam a severidade do resfriamento.

Desta maneira, é importante que se conheça o comportamento do meio de resfriamento e em que faixa de trabalho. Em termos dos três fatores citados, pode-se utilizar o polímero

sem que ocorra variação do processo de resfriamento.

Neste contexto, o que se propôs foi o estudo das características de resfriamento de um meio de têmpera utilizando diversas concentrações de polímeros em temperaturas de banho variadas, mantendo-se a agitação constante.

O estudo foi feito a partir de um sistema de aquisição de dados informatizado e de grande confiabilidade (FACQUENCH), através da análise das curvas e suas respectivas taxas de resfriamento.

PROCEDIMENTO

A partir do polímero poliaquileno glicol (PAG)* foram preparadas as soluções com as seguintes concentrações, em porcentagem de peso: 5%, 15% e 25%. Essas soluções foram preparadas com água destilada e ensaiadas nas temperaturas de 30°, 45° e 60°C. Para cada concentração e temperatura, foram feitas quatro curvas em média.

Foi utilizado um sistema de agitação com o intuito de uniformizar a temperatura do banho e, deste modo, a influência da agitação não foi considerada.

O sistema montado está esquematizado na figura 3.

O agitador foi mantido em 500 rpm para todos os ensaios realizados.

* Produto Castrol: Iloquench Aqua 500.

Figura 3 - Esquema do dispositivo de ensaio.

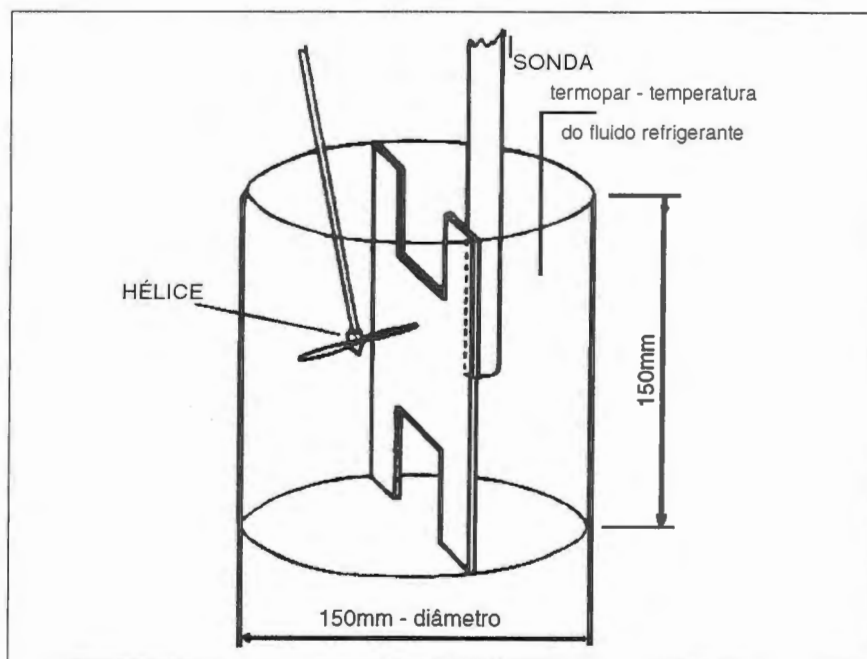


Fig. 4 - Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 30°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.

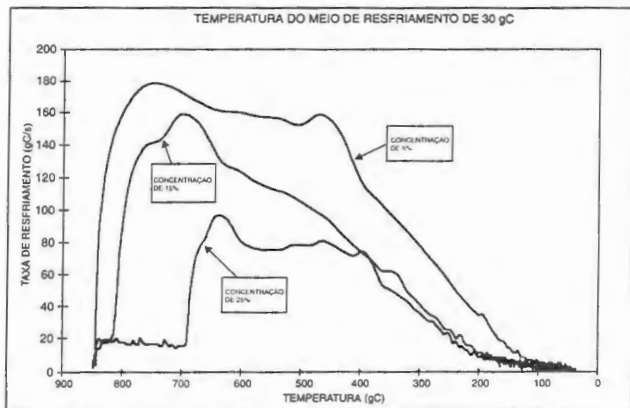
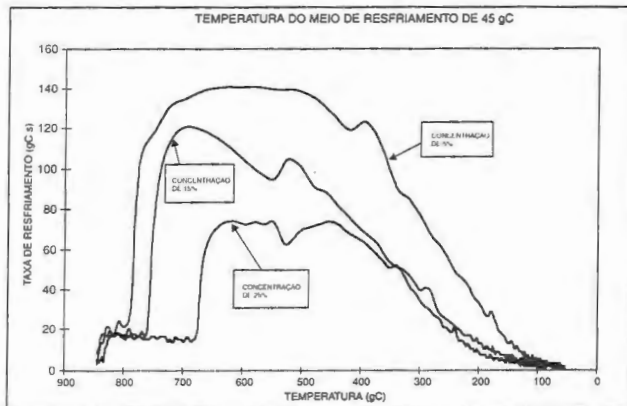


Fig. 5 - Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 45°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.



A monitoração constante do banho permitiu que a temperatura de início de ensaio se mantivesse dentro da especificada.

A sonda cilíndrica utilizada foi confeccionada em Inconel 600, com dimensões 12,5 mm x 60 mm de comprimento com um termopar tipo K (cromel-alumel), localizado no seu centro geométrico (figura 4).

A sonda foi homogeneizada a 850°C e então mergulhada no banho em estudo. Os sensores de temperatura estão ligados a um sistema informatizado que registra o fenômeno de resfriamento em tempo real e calcula a primeira derivada deste sinal, plotando num gráfico taxa de resfriamento (°C/seg) x temperatura (°C). Estes sinais podem ser apresentados com ou

sem filtro. Os dados são armazenados e permitem a mostragem simultânea de várias curvas.

RESULTADOS

Embora não tenha sido objetivo do trabalho verificar a influência da agitação neste meio de resfriamento, algumas curvas foram levantadas variando-se a rotação. Conforme já discutido em outro trabalho [14], este sistema de agitação é pouco eficiente. Os estudos para a verificação da influência da agitação devem ser feitos a partir de um sistema que utilize circulação por bomba e fluxo direcionado. O grau de agitação é um parâmetro importante, que deve ser avaliado, e será objeto de trabalhos futuros.

Assim, as curvas obtidas, mantem-

do-se constante a agitação e variando-se os parâmetros concentração e temperatura, podem ser vistas nas figuras 4 a 11.

Para uma mesma temperatura, o aumento na concentração da solução leva a uma redução nas taxas máximas de resfriamento. O estágio da fase de vapor se prolonga atrasando o resfriamento, devido à ação isolante da camada de polímero, que circunda a parte aquecida durante o resfriamento (fig. 4 a 6).

Com isso, ocorre também uma diminuição da taxa de resfriamento da fase de convecção (estágio 3).

Estes efeitos se tornam mais pronunciados à medida que a temperatura do banho aumenta, em função da maior estabilidade do filme de polímero, (fig. 6).

Fig. 6 - Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 60°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.

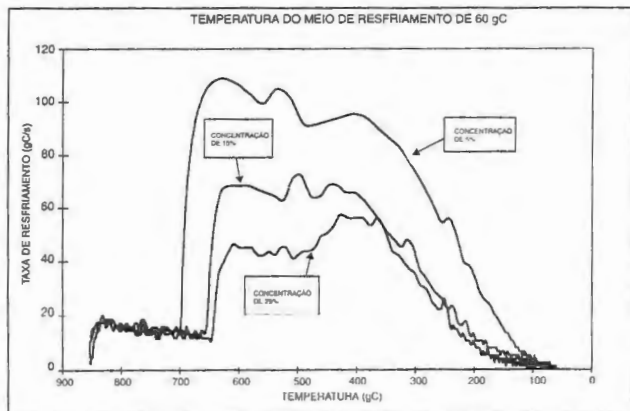


Fig. 7 - Curvas de resfriamento para a temperatura de 45°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.

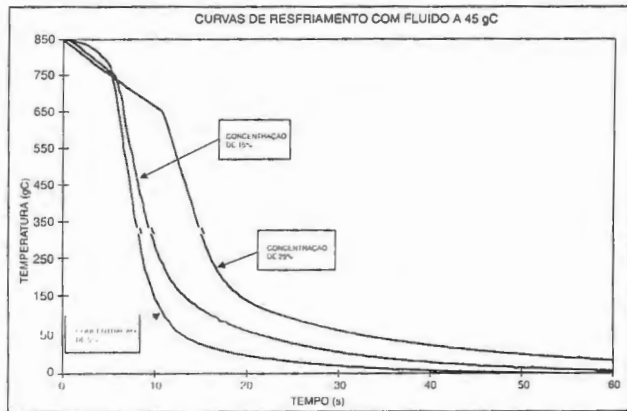
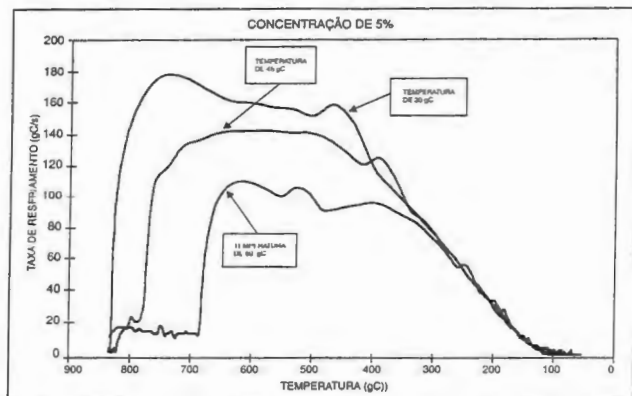


Fig. 8 - Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 5% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.



Observando-se a fig. 4, verifica-se que na temperatura de 30°C, para baixa concentração da solução (5%) o estágio 1 praticamente desaparece. Já na concentração de 15%, o estágio 1 é bastante curto, mas pode-se detectá-lo. O efeito da maior concentração do banho (25%), mesmo à baixa temperatura, é bastante marcante, apresentando um primeiro estágio bastante longo.

Na temperatura de 45°C (fig. 5), para todas as concentrações usadas, o primeiro estágio já aparece, sendo menor para a menor concentração.

A curva para a concentração de 15% a 60°C (fig. 6) mostra um comportamento no primeiro estágio e taxa máxima muito semelhante ao banho 25%, estando em 45°C (fig. 5).

Nesta temperatura de 60°C (fig. 6), mesmo o banho de baixa concentração (5%) apresenta primeiro estágio prolongado, o que provoca uma queda na taxa máxima de 180°C/s a 30°C para 110°C/seg. a 60°C (em valores aproximados).

As curvas de resfriamento (fig. 8) também refletem tal comportamento, mas as taxas de resfriamento são mais efetivas na observação desses fenômenos.

O efeito da temperatura na capacidade de resfriamento do banho pode ser avaliado nas figuras 8-11.

Assim como a água exibe uma diminuição na capacidade de resfriamento com o aumento da temperatura do banho, as soluções aquosas de PAG também a apresentam.

Fig. 9 - Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 15% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.

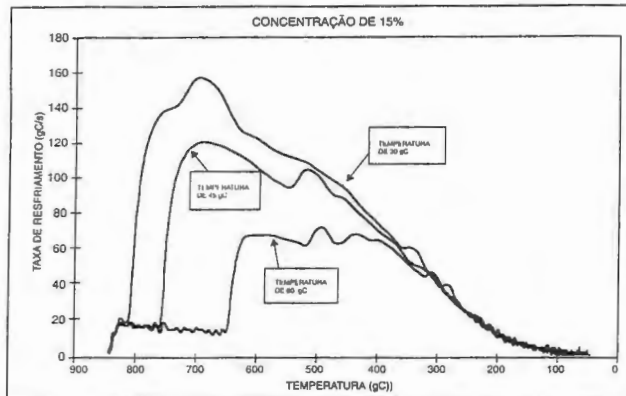


Tabela 1 - Taxas máximas de resfriamento para cada condição de ensaio

	30°C	45°C	60°C
5%	197,8°C/s	142,5°C/s	110,2°C/s
15%	159,4°C/s	122,2°C/s	73,3°C/s
25%	96,3°C/s	74,7°C/s	58,1°C/s

Neste caso, devido ao fenômeno da solubilidade inversa, apresentado por este tipo de polímero, o aumento da temperatura, como já comentado, atua no sentido de estabilizar a fase vapor rica em polímero.

A observação mais curiosa é que no terceiro estágio a taxa de resfriamento se comporta praticamente da mesma maneira, independentemente da temperatura. Na fig. 8, por exem-

Fig. 10 - Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 25% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.

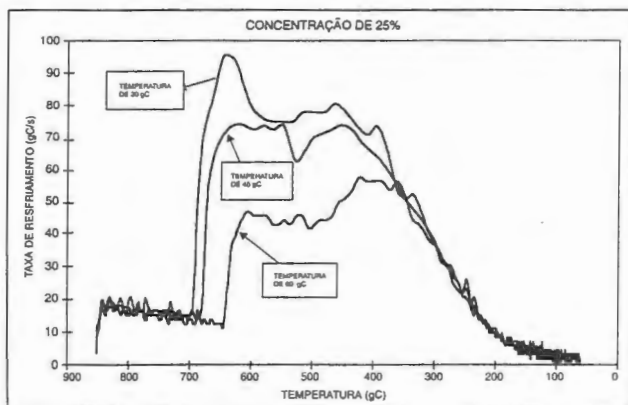
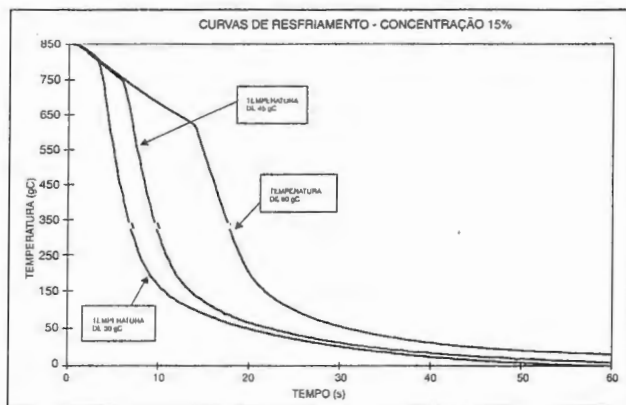


Fig. 11 - Curvas de resfriamento para a concentração de 15% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm.



plo, embora as taxas máximas variem em função da temperatura, as curvas (30°C, 45°C e 60°C) se encontram no terceiro estágio, indicando que neste último estágio a velocidade de resfriamento é a mesma.

O mesmo pode ser observado nas figuras 9 e 10.

A fig. 11 revela o comportamento das curvas de resfriamento para banho em concentração de 15%.

As figuras 4-11 foram obtidas a partir de um registro fiel do comportamento da sonda, durante o resfriamento, passando por períodos bastante turbulentos. O equipamento utilizado permite que se faça uma filtragem dos sinais, o quê, obviamente, traz uma certa perda da sensibilidade do fenômeno.

A tabela 1 mostra as taxas máximas de resfriamento para cada condição, refletindo as tendências comentadas e em acordo com os achados da literatura [15].

A utilização de uma agitação efetiva poderá ter um efeito significativo nesses valores das taxas de resfriamento. Isto porque através da agitação é possível acelerar os estágios, proporcionando um aumento nas taxas de resfriamento.

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que existe uma grande influência dos parâmetros temperatura e concentração nas características de resfriamento dessas soluções, diminuindo-se a taxa com o aumento da temperatura e/ou concentração do banho.

Com isso, as soluções de polímeros apresentam uma grande flexibilidade na velocidade de resfriamento, característica esta obtida pela variação dos parâmetros: concentração, temperatura e agitação. Isto torna possível a seleção da taxa de resfriamento mais adequada para atingir requisitos específicos na peça a ser tratada.

Ao lado desta flexibilidade na utilização, existe a necessidade de, uma vez escolhidas as condições de res-

friamento ótimas (concentração, temperatura e agitação), mantê-las para que as peças tratadas obtenham sempre as propriedades desejadas.

Isto pode ser feito através da determinação de uma faixa de trabalho em termos desses três parâmetros, dentro dos quais as condições de resfriamento são reproduzidas. A monitoração periódica, realizada com um sistema como este utilizado nos ensaios, garantirá a qualidade nos processos de tempera.

ABSTRACT

COOLING CHARACTERISTICS OF POLYMER QUENCHING SOLUTIONS

The choice of the quenching media in the hardening process is very important. This choice is done by the quenching characteristics of the liquid.

Therefore it is very important to understand the quenching behaviour during the heat extraction.

This statement is true for all the quenching media mainly for the polymer solutions, which have their quenching characteristics influenced by the polymer concentration degree and media temperature. This last characteristic is very important for the polymers that have "inverse solubility".

Thus, the aim of this paper was to analyse the characteristics of a quenching media using several polymer concentrations (5%, 15%, 25%) in the temperatures of 30°, 45° and 60°C.

The cooling curves of these solution and their cooling rates were obtained by a computational data system of great reliability.

Referências Bibliográficas

- [1] BATES, C.E. & TOTTEN, G.E. Method for predicting quench severity effects on the properties of aluminium and steel alloys: I. *Industrial Heating*, p. 19-23, 1992.
- [2] RETI, T. et al. Quantitative characterization of quenching performances. *Heat Treating*, n.25, v.2, p.24-28, 1993.
- [3] TOTTEN, G.E.; DAKINS, M.E. & JARVIS, M. How factors can be used to characterize polymers. *Heat Treating*, p. 28-29, 1989.
- [4] DAKINS, M.E.; BATES, C.E. and TOTTEN, G.E. Estimating quench severity with cooling curves. *Heat Treating*, n.24, v.3.4, p.24-26, 1992.
- [5] TENSI, H.M. & STICH, A. Characterization of polymer quenchants. *Heat Treating*, n.25, v.5, p.25-29, 1993.
- [6] DAKINS, M.E.; BATES, C.E. and TOTTEN, G.E. Calculation of the grossman hardenability factor from quenchant cooling curves. *Metallurgia*, n.56, v.12, 1989.
- [7] TENSI, H.M.; STICH, A. & TOTTEN, G.E. Fundamentals of quenching. *Metal Heat Treating*, 1995.
- [8] BODIN J. & SEGERBERG, S. Measurement and evaluation of the power of quenching media for hardening. *Heat Treatment*, n.20, p.15-23, 1993.
- [9] SINYAVTSEV, G.D., KUZNETSOV, I.B. & LOPATIN, P.M. Cooling kinetics and features of structure formation during hardening in polymeric quenching media. *Metal Science and Heat Treatment*, n.31, v.9.10, p.687-689, 1989.
- [10] HILDER, N.A. A pump agitation system for assessing the cooling characteristics of quenchants. *Heat Treatment of Metals*, n.12, p.63-68, 1985.
- [11] TOTTEN, G.E. & LALLY, K.S. Proper agitation dictates quench success. *Heat Treating*, n.24, v.9, p.12-17, 1992.
- [12] LALLY, K.S. & TOTTEN, G.E. Proper agitation dictates quench success. *Heat Treating*, n.24, v.10, p.28-31, 1992.
- [13] MASON, K.J. & CAPEWELL, I. The effect of agitation on the quenching characteristics of oil and polymer quenchants. *Heat Treatment*, n.13, v.4, p.99-103, 1986.
- [14] HOWARD, R.D. & TOTTEN, G.E. Membrane separation of polymer quenchants. *Metal Heat Treating*, n.1, v.5, p.22-24, 1994.
- [15] BOYER, H.E. & CARY, P.R. *Quenching and control of distortion*. ASM International, Ohio, 289 p., 1988.

Lauralice de Campos Franceschini Canale e Ovidio Richard Crnkovic, Sócios da ABM; Professores Doutores do Depto. de Engenharia de Materiais - EESC/USP.

Antonio Carlos Canale, Professor Doutor do Depto. de Engenharia Mecânica - EESC/USP.

Jony Benno Groessler, Consultor técnico da Castrol Brasil Ltda.