

ABM

SM7
280596

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
METALURGIA E MATERIAIS - ABM**

**50^o CONGRESSO
ANUAL**

*São Pedro - São Paulo
01 a 04 de agosto de 1995*

(25)

VOLUME 2

*Metalurgia Física e
Físico-Química Metalúrgica*

ESTE VOLUME FOI PUBLICADO COM O AUXÍLIO FINANCEIRO DE:



FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Congresso Anual da ABM (50.: 1995 : São Pedro, SP)
Congresso Anual da ABM : anais. — São Paulo :
Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais,
1996.

Obra em 6 vol.

1. Metalurgia — Congressos I. Título.

96-0071

CDD-669.06

Índices para catálogo sistemático:

1. Congressos : Metalurgia : Tecnologia 669.06
2. Metalurgia : Tecnologia : Congressos 669.06

COMISSÃO DE ORIENTAÇÃO

André Musetti - Presidente

Alain Irosé - *Eletrometal*

Cláudio Kiminami - *UFSCar*

Ettore Bresciani Filho - *Unicamp*

Hans - Jürgen Kestenbach - *UFSCar*

Jarbas Nascimento - *ABM*

Jorge A. Gouvêa - *Fupresa*

Luiz Antônio M. Ferreira - *Engemasa*

Orlando Sanches Filho - *Nardini*

Oscar Quilodrán Alarcón - *Bosch*

Paulo Roberto Mei - *Unicamp*

Rezende G. dos Santos - *Unicamp*

Rodnei Bertazzoli - *Unicamp*

Vicente Chiaverini - *ABM*

COMISSÃO EXECUTIVA

Rodnei Bertazzoli - Coordenador

Carlos Kenichi Suzuki

Cecília Amélia Carvalho Zavaglia

Célia Marina de Alvarenga Freire

Maria Clara Filipini Ierardi

Paulo Roberto Zampieri

Rubens Caram Júnior

Sérgio Tonini Button

- *Faculdade de Engenharia Mecânica / Departamento de Engenharia de Materiais - Unicamp* .

ORGANIZAÇÃO

Departamento de Eventos da ABM

ASSESSORIA

Andréa Manzoni

Lie R. D'Ottaviano

Marcos R. Pereira

Maria Cecília Rodini

Silvia Motta

"CARACTERÍSTICAS DE RESFRIAMENTO DE SOLUÇÕES DE POLÍMERO PARA TÊMPERA" (01)

C 212 C

414158

Lauralice de Campos Franceschini Canale (02)

179876 Ovidio Richard Crnkovic (03)

552348 Antonio Carlos Canale (04)

Jony Benno Groessler (05)

RESUMO

A escolha do meio de resfriamento no processo de têmpera,   de fundamental importância. Essa escolha se faz baseado nas características de resfriamento do meio líquido. Desta maneira   vital o conhecimento do comportamento dos meios de resfriamento durante o processo de extra o de calor.

A afirma o acima   verdadeira para todos os meios de resfriamento, em particular as solu es de polímeros, que têm as suas características de resfriamento influenciadas pela concentra o do polímero em soluço e também pela temperatura do banho. Esta última característica   mais marcante nos polímeros que possuem o fenômeno de "solubilidade inversa".

Neste contexto, o que se propôs foi o estudo das características de resfriamento de um meio de resfriamento utilizando diversas concentra es de polímeros (5%, 15% e 25%) em temperaturas também variadas (30 C, 45 C, 60 C).

As curvas de resfriamento dessas solu es acompanhadas de suas respectivas taxas de resfriamento foram obtidas a partir de um sistema de aquisi o de dados informatizados e de grande confiabilidade.

Palavras Chaves: Têmpera, Curva de resfriamento, Polímero

SYSNO	0900845
PROD	0001386
ACERVO EESC	

INTRODU O

O tratamento térmico de têmpera nos a os   obtido através do resfriamento rápido da peça a partir de temperaturas de austeniza o. O resfriamento rápido   efetuado a fim de prevenir a forma o de microestruturas mais

(01) - Contribui o técnica a ser apresentada no 50  Congresso Anual da ABM, São Pedro, SP, 01/08/95   04/08/95.

(02) e (03) - Membros da ABM; Profs. Drs. do Depto. de Eng. de Materiais - EESC/USP

(04) Prof. Dr. do Depto. de Eng. Mecânica - EESC/USP

(05) Consultor técnico da Castrol Brasil Ltda.

3.06.03.12.6

-517-

10900845

030676

moles (ferrita, perlita) e promover a transformação do microconstituente MARTENSITA, que após o revenido apresentará propriedades características de resistência e ductilidade.

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

O sucesso deste tratamento é obtido na medida em que a dureza e resistência 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 extrair calor de um meio é uma 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 tem motivado muitos trabalhos (1 - 10).

Dentro desta tendência, a caracterização do fluido de têmpera através da curva de resfriamento acompanhada da sua respectiva taxa de resfriamento, tem se mostrado um bom método.

Dentre os meios de resfriamento mais usados, poder-se-iam citar a água, as soluções salinas, os óleos minerais e as soluções de polímeros como as mais importantes. Estas últimas são as mais 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).

A escolha adequada do meio de resfriamento no processo de têmpera é de fundamental importância e é feita baseada nas características de resfriamento do meio líquido. Desta maneira é vital o conhecimento do comportamento dos meios de resfriamento durante o processo de extração de calor.

MECANISMOS DE RESFRIAMENTO

O resfriamento em meio líquido geralmente ocorre em 3 estágios distintos. A figura 1 apresenta um esquema da curva de resfriamento indicando esses estágios (8).

No primeiro estágio de resfriamento 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 contato com a peça quente do metal, resultando em nucleação de bolhas e alta taxa de extração de calor.

A medida que o borbulhamento cessa, o terceiro estágio se inicia.

Nesta fase o calor é removido por convecção do líquido e é caracterizado por taxas de resfriamento relativamente baixas. Esses estágios são evidenciados também na curva Taxa de resfriamento x temperatura, figura 2.

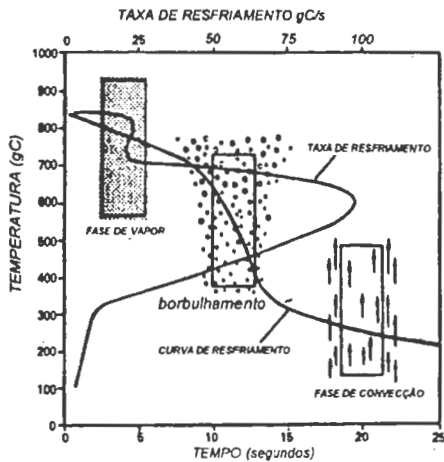


Fig. 1- Curvas de resfriamento típicas mostrando as três fases (8)

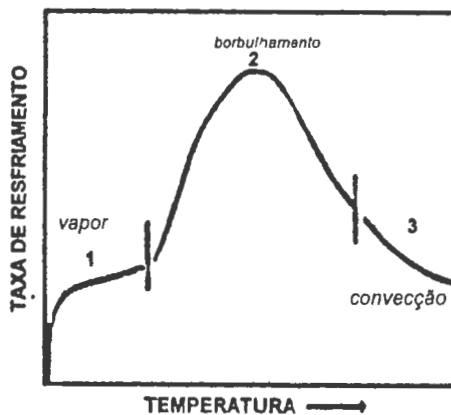


Fig. 2- Curva da velocidade de resfriamento x temperatura apresentando os três estágios

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 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 3 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 3 fatores citados se pode 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.

Este 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 EXPERIMENTAL

A partir do polímero poliaquileno glicol (PAG)* foram preparadas as soluções com as seguintes concentrações, em porcentagem em 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 4 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 abaixo.

* Produto Castrol: Iloquench Aqua 500

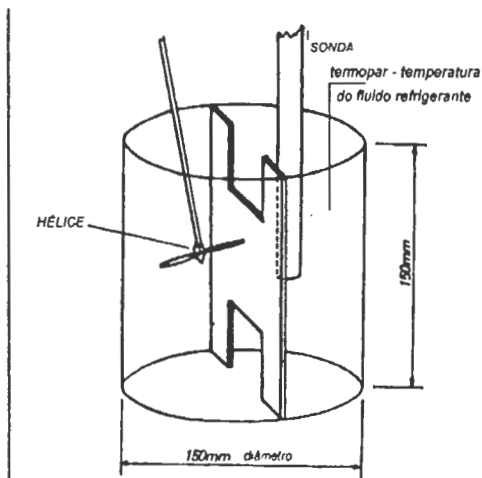


Figura 3- Esquema do dispositivo de ensaio

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

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 12,5mm de diâmetro x 60mm de comprimento com um termopar tipo K (cromo - alumel) localizado no seu centro geométrico, figura 4.

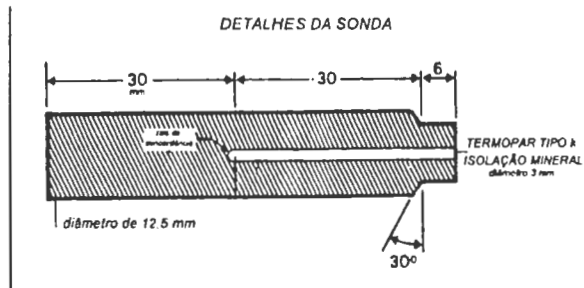


Figura 4- Esquema da sonda utilizada

Esta 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 1ª 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 E DISCUSSÕES

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 utiliza circulação por bomba e fluxo direcionado. O grau de agitação é um parâmetro importante que deve ser avaliado e será objetivo de trabalhos futuros.

Assim as curvas obtidas mantendo-se constante a agitação e variando-se os parâmetros concentração e temperatura podem ser apreciadas abaixo (fig. 5 - 12).

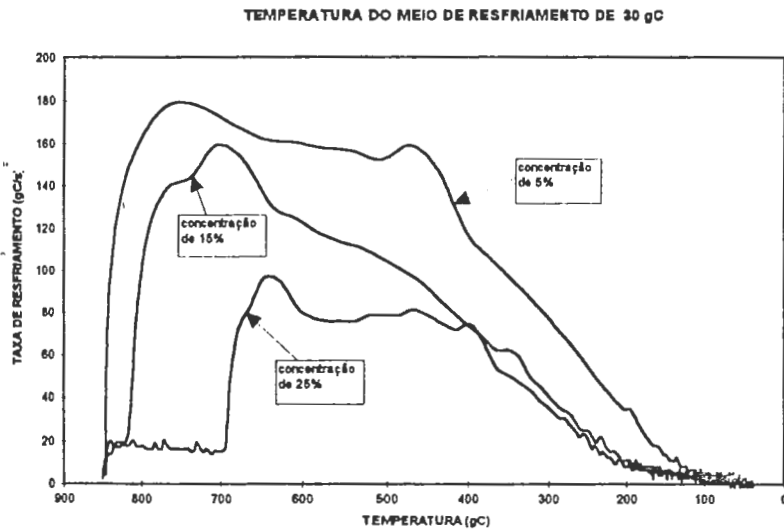


Fig. 5- Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 30°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

TEMPERATURA DO MEIO DE RESFRIAMENTO DE 46 gC

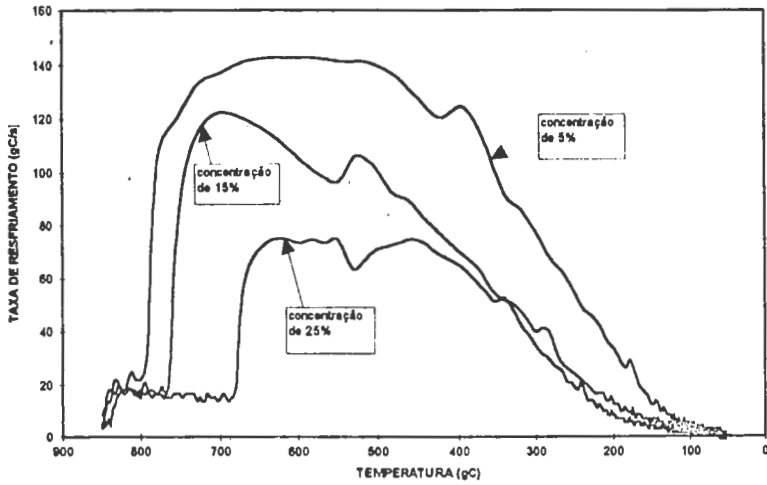


Fig. 6- Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 45°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

TEMPERATURA DO MEIO DE RESFRIAMENTO DE 60 gC

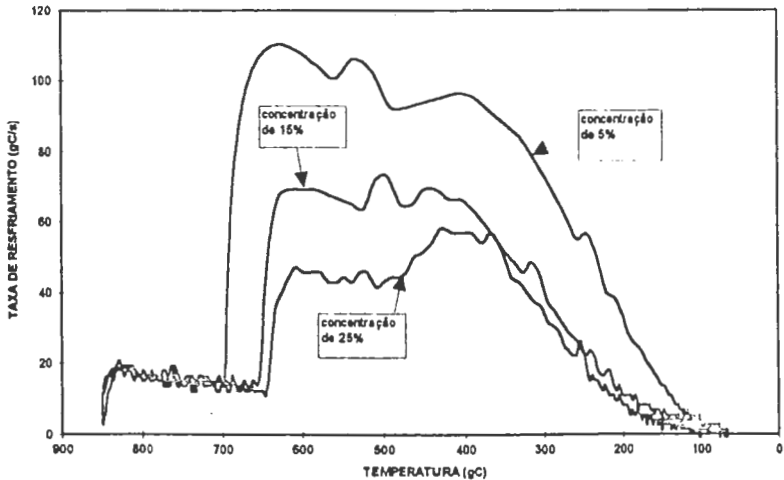


Fig. 7- Curvas da taxa de resfriamento para a temperatura de 60°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

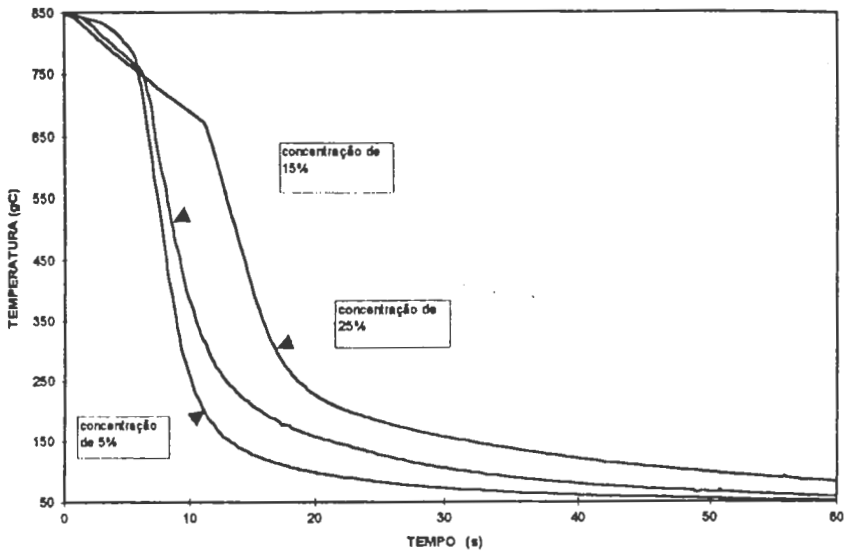


Fig. 8- Curvas de resfriamento para a temperatura de 45°C e concentrações variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

CONCENTRAÇÃO DE 5%

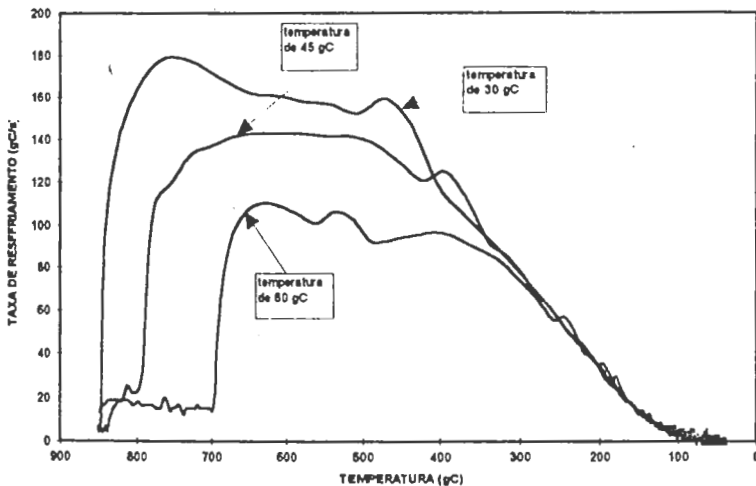


Fig. 9- Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 5% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

CONCENTRAÇÃO DE 15%

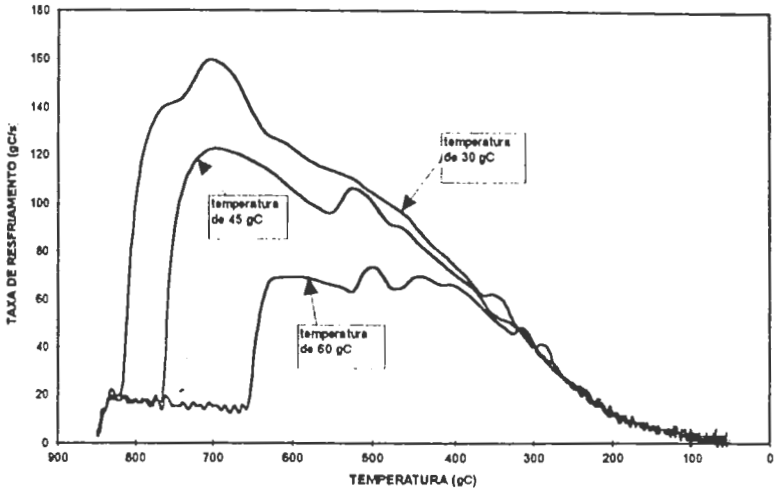


Fig. 10- Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 15% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

CONCENTRAÇÃO DE 25%

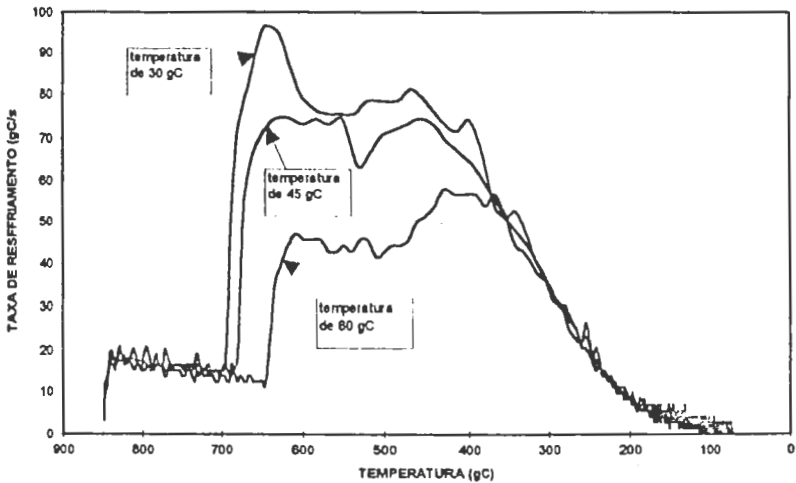


Fig. 11- Curvas da taxa de resfriamento para a concentração de 25% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

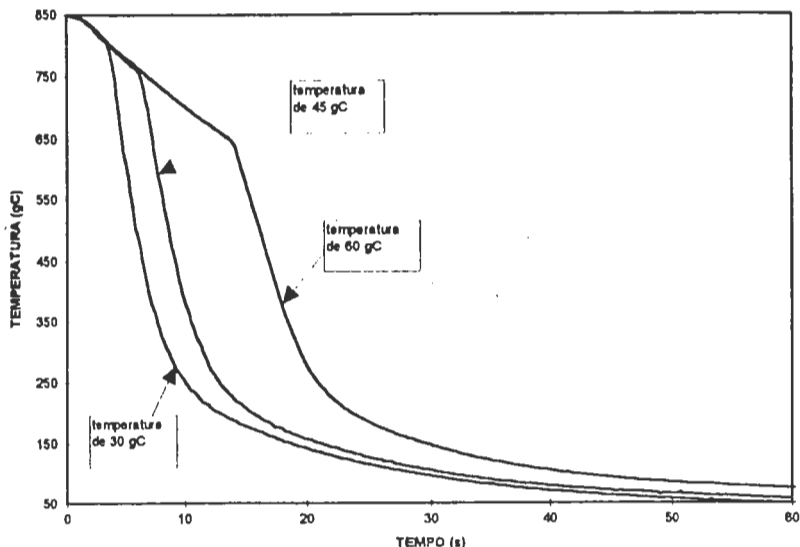


Fig. 12- Curvas de resfriamento para a concentração de 15% e temperaturas variadas - Curvas feitas mantendo-se rotação da hélice em 500 rpm

Para uma mesma temperatura, o aumento na concentração da solução leva a uma redução nas taxas máximas de resfriamento. O estágio da fase vapor se prolonga atrasando o resfriamento, devido a ação isolante da camada de polímero que circunda a parte aquecida durante o resfriamento (fig. 5, 6 e 7).

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, função da maior estabilidade do filme de polímero, fig 7.

Observando-se a fig. 5 verifica-se que na temperatura de 30°C, para baixa concentração da solução (5%) praticamente o estágio 1 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. 6), 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. 7), mostra um comportamento no 1º estágio e taxa máxima muito semelhante ao banho 25% estando em 45°C (fig 6). Nesta temperatura de 60°C (fig 7), mesmo o banho de baixa concentração (5%) apresenta 1º 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 avaliada nas figuras 9 - 12.

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

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 3º estágio a taxa de resfriamento se comporta praticamente da mesma maneira, independente da temperatura. Na fig. 9, por exemplo, embora as taxas máximas variem em função da temperatura, as curvas (30°C, 45°C e 60°C) se encontram no 3º estágio, indicando que neste último estágio, a velocidade de resfriamento é a mesma.

O mesmo pode ser observado nas figuras 10 e 11.

A fig. 12 revela o comportamento das curvas de resfriamento para banho em concentração de 15%.

As figuras 5 - 12 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 que, 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).

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

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.

Alado desta flexibilidade na utilização existe a necessidade de uma vez escolhida as condições de resfriamento 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 3 parâmetros dentro do qual as condições de resfriamento são reproduzidas. A monitoração periódica realizada com um sistema como este utilizado nos ensaios, garantirá a qualidade nos processos de têmpera.

AGRADECIMENTOS:

À Castrol do Brasil Ltda pelo Iloquench Aqua 500
À Indústria FAC Ltda pelo equipamento de medidas.

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 H. - 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 quenchant. Heat Treating, n.25, v.5, p.25-29, 1993.
- (6) DAKINS, M.E.; BATES, C.E. & 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 quenchant. 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, 289p., 1988.

ABSTRACT

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

Therefore it is very important the understanding of the quenching behaviour during the heat extraction.

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

Thus, the aim of this work was the analysis of the characteristics of a quenching medium 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 an computational system of acquisition data and great reliability.

Key-words: Hardening, Cooling Curves, Polymer.