



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

TÊMPERA DE AÇO AISI 4140 UTILIZANDO SOLUÇÃO POLIMÉRICA AQUOSA DE PAG COMO FLUIDO DE ARREFECIMENTO

SUÁREZ, L.O.; VIEIRA, E.R.; DA SILVA, A.B.; BIEHL, L.V.

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Avenida Itália, Km 8, s/n - Carreiros, Rio Grande - RS, 96203-900

lauraoliveirasuarez@gmail.com

RESUMO: O tratamento térmico de têmpera tem como objetivo transformar a microestrutura do aço, visando um aumento de dureza e resistência mecânica. Isso ocorre a partir do aquecimento do material até a temperatura de austenitização seguido de imersão rápida em um fluido de arrefecimento. Tradicionalmente, são utilizados para realização do arrefecimento óleos minerais, água e soluções salinas. Atualmente, houve o desenvolvimento de novos fluidos de têmpera, entre eles estão as soluções poliméricas aquosas, as quais apresentam algumas vantagens em relação aos fluidos tradicionais. Um polímero bastante utilizado para esse fim é o Polialquileno glicol (PAG), o qual é normalmente diluído em água. Assim, cada concentração do polímero confere diferentes características ao metal temperado. Muitos estudos são realizados para revelar os efeitos dessas concentrações, no entanto, poucos deles procuram elucidar os efeitos do polímero sem nenhuma diluição (concentração 100%). O trabalho tem a finalidade de averiguar efeitos da têmpera utilizando PAG 100% como fluido de arrefecimento em aço AISI 4140. Os aspectos analisados são a microdureza, a microestrutura resultante e a distribuição de elementos após a realização da têmpera.

Palavras-Chave: Têmpera, Soluções Poliméricas Aquosas, PAG.

ABSTRACT: The heat treatment of quenching has the purpose to transform the microstructure of the steel, aiming at an increase of hardness and mechanical resistance. This occurs from the heating of the material to the austenitization temperature followed by rapid immersion in a cooling fluid. Traditionally, mineral oils, water and saline solutions are used for cooling. Currently, new tempering fluids have been developed, among them are aqueous polymer solutions, which have some advantages over traditional fluids. A widely used polymer for this purpose is Polyalkyleneglycol (PAG), which is usually diluted in water. Thus, each concentration of the polymer gives different characteristics to the quenched metal. Many studies are conducted to reveal the effects of these concentrations, however, few of them seek to elucidate the effects of the polymer without any dilution (100% concentration). The work has the purpose of investigating the effects of quenching using PAG 100% as cooling fluid in AISI 4140 steel. The aspects analyzed are the microhardness, the resulting microstructure and the distribution of elements after quenching.

Keywords: Quenching, Aqueous Polymer Solutions, PAG.

INTRODUÇÃO

O tratamento térmico de têmpera implica no aquecimento do material até uma temperatura em que o a microestrutura do material se transforme em austenita, seguido de uma imersão em fluido refrigerante rápido o suficiente para evitar o início da difusão de carbono (Thelning, 1984). O tratamento é composto dos estágios de filme de vapor, ebulição e convecção. O primeiro estágio, filme de vapor, se caracteriza pelo contato da superfície aquecida com o fluido, que forma uma película de vapor em torno do corpo. Esse filme de vapor impede a troca de calor por meio de convecção e condução, o que resulta em baixas taxas de troca térmica. O colapso desse filme inicia nas extremidades da peça, que acabam esfriando mais rapidamente (Sedighi e McMahon, 2000). A segunda etapa do processo é a ebulição, que se caracteriza pelas maiores taxas de resfriamento de todo o tratamento. Por fim, quando a temperatura da superfície se torna mais baixa que a temperatura de ebulição do fluido se inicia a terceira etapa do processo, chamada de convecção, na qual novamente as taxas de arrefecimento são minimizadas (Totten et al., 1999). Após realizada a têmpera, normalmente é realizado o processo de revenimento, que é um aquecimento a temperaturas em menores que as de austenitização, visando a diminuição das tensões residuais provenientes da têmpera. No entanto, além das tensões residuais, o revenimento também reduz a resistência mecânica e a dureza do material (Ghosh et al, 1994).

Diferentemente do óleo, as soluções poliméricas aquosas apresentam um colapso do filme de vapor de forma uniforme, não ocorrendo o gradiente de mudança de fases do processo. Assim, não existe desigualdade na troca térmica

gerada ao longo da superfície da peça, possibilitando uma formação microestrutural e de propriedades mais uniforme (Ikken et al., 2014). A transformação da austenita em martensita acompanha uma expansão volumétrica entre 3 e 5%, dependendo da composição do material e da temperatura do banho (Moyer e Ansell, 1974). Esse aumento causa tensões residuais, as quais quando são mais elevadas que o limite de escoamento e ruptura do material causam distorções e fissuras na peça (Totten, 2007). A quebra uniforme do filme de vapor proporcionada pelas soluções poliméricas aquosas, minimiza as tensões residuais procedentes da transformação desigual de fases, logo, a possibilidade do surgimento de distorções e de trincas passa a ser consideravelmente menor (ASM International, 1990a).

A consequência dessa variação de quebra de filme de vapor entre os meios refrigerantes pode ser demonstrada por meio da microdureza. Enquanto amostras cilíndricas com uma polegada de diâmetro e alturas de 5mm e 15mm arrefecidas em 10% PAG e em óleo mineral não demonstram resultados significativos de microdureza no sentido axial das barras. No entanto, quando essas dimensões são elevadas para 25, 50, 75 e 100mm, a solução polimérica apresenta uma diferença máxima de 115 HV, quanto que amostras temperadas em óleo chegam a apresentar em torno de 320HV (Grum e Bozic, 2005). Em uma comparação com o óleo mineral, as soluções poliméricas aquosas apresentam outras vantagens adicionais, como os baixos índices de toxicidade e inflamabilidade e a biodegradabilidade (Canale et al., 2006).

As principais características do fluido de têmpera que influenciam no resultado final do trabalho são a temperatura de ebulição, a condutividade térmica e a viscosidade. Por sua vez, os parâmetros de processo também são bastante influentes, destacando-se para a têmpera por imersão a temperatura do banho e a agitação do agente de arrefecimento (Grum et al., 2001). Na utilização de soluções poliméricas, outro fator fundamental para o processo é a concentração de polímero na solução. De uma forma geral, o aumento da concentração causa um aumento de viscosidade do fluido e reduzindo a capacidade de troca térmica, portanto, minimizando a possibilidade da transformação martensítica (Ramesh e Prabhu, 2013). O estudo de várias concentrações de solução polimérica a base de polivinilpirolidona (PVP) demonstrou que o aumento do soluto influencia severamente o tempo necessário para o complemento das três etapas do processo, levando 44,27s para completar o processo quando executado em 100% PVP (Ramesh e Prabhu, 2015).

O aço AISI 4140 tem em sua composição percentual 0,38-0,45C; 0,90-1,20Cr; 0,15-0,30Mo; 0,50-0,80Mn; 0,15-0,40Si; máximo de 0,0035P e 0,0035S (ASM International, 1990b). Portanto, é considerado um aço baixa liga com teor médio de carbono, índices o que possibilitam o temperamento do material, visando elevação de sua dureza e resistência mecânica. Geralmente, esse material é empregado em estruturas carregadas dinamicamente, como rodas dentadas, eixos, virabrequins e outros componentes mecânicos (Grum et al., 2001). Comparativamente com aços-carbono com quantidade semelhantes de carbono, o aço AISI 4140 possui uma temperabilidade bem mais elevada. Enquanto barras cilíndricas com uma polegada de diâmetro do aço AISI 4140 apresenta uma diferença aproximada de 25 HV, barras com essas mesmas dimensões de aço AISI 1045 possuem uma discrepância de 180 HV (Patrocínio, 1999).

Amostras de AISI 4140 arrefecidas em concentrações de 15 e 25% de PAG e óleo mineral não apresentaram diferenças significativas de dureza, as quais quando transformadas para Vickers apresentaram respectivamente 641, 635 e 629 HV. Porém, essas mesmas amostras quando testados em tração, apresentaram 1020, 1026 e 884 MPa de limite de ruptura, evidenciando uma vantagem de aproximadamente 14% para as amostras temperadas em PAG (Knoll, 2009). Já a solução com 10% de concentração, apresentou uma microdureza superficial de 671 HV, evidenciando uma capacidade de transformação martensítica superior ao óleo (Grum e Bozic, 2005). Por sua vez, esse aço nas concentrações da solução polimérica de PAG em 15 e 25%, após o revenimento, são predominantemente martensíticas, com baixa presença de outras fases (Knoll, 2009).

O objetivo desse trabalho é estudar as consequências do tratamento térmico de têmpera com arrefecimento da peça austenitizada em PAG sem diluição. Essas consequências serão avaliadas por intermédio da microdureza resultante, da análise da microestrutura em microscópio eletrônico de varredura e da avaliação da distribuição dos elementos na estrutura.

METODOLOGIA

Antes da realização do tratamento térmico, o material foi analisado quimicamente por meio de espectrometria, com a finalidade de averiguar que se o aço utilizado estava dentro das especificações do AISI 4140. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi um Espectrômetro de Emissão Óptica, modelo Foundry-Master Pro.

Então, foram preparadas 3 amostras com geometria cilíndrica, com 10mm de altura e 25,4mm de diâmetro. A escolha de 3 amostras foi utilizada para garantir uma prova e uma contraprova, com o intuito de se certificar da veracidade dos dados obtidos.

Após a preparação das amostras, elas foram aquecidas até a temperatura de 880°C em um forno resistivo modelo durante o tempo de 60 minutos, com a ideia de austenitizar todo o material. Assim que os 60 minutos foram alcançados, o aço foi imerso em uma solução polimérica aquosa de PAG, a qual estava em concentração de 100%, a qual estava a temperatura ambiente, aproximadamente 25°C. Assim que as amostras foram arrefecidas, elas foram novamente inseridas em outro forno resistivo, previamente aquecido a 180°C durante mais 60 minutos, configurando o tratamento de revenimento, com o intuito de aliviar as tensões provenientes da têmpera.

Depois de realizado o tratamento térmico, as amostras foram seccionadas transversalmente, com o intuito de avaliar a microdureza e a microestrutura de cada amostra.

A microdureza foi medida em um ponto próximo de 1mm da superfície e outro próximo do núcleo das amostras, aproximadamente 12,7mm distante da superfície. Foram realizadas 5 identações no núcleo e 5 na superfície, e o resultado adotado foi a média aritmética dos resultados medidos. O microdurômetro utilizado para esse fim foi um microdurômetro Vickers Shimadzu HMV 2T, executando a identificação com 1N de força.

Para avaliação da microestrutura e do mapeamento, as amostras foram preparadas para metalografia primeiramente com lixas de granulometria sequencias de 120, 240, 320, 400, 500, 600 e 1200. Depois, foram polidas utilizando alumina. Para visualização da microestrutura, as amostras foram atacadas com nital (ácido nítrico diluído em álcool etílico), em contração de 2%, durante 8 segundos.

Assim que as amostras foram preparadas elas foram levadas ao microscópio eletrônico de varredura, modelo Jeol JSM - 6610LV, no qual foram obtidas imagens com magnificação de 1500 vezes, utilizando a técnica de difração de elétrons retro espalhados com tensão de 20kV. Nesse mesmo equipamento, foi realizado o mapeamento, visando avaliar a distribuição dos elementos da composição química do material após o tratamento térmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O AISI 4140 é um aço baixa liga compostos por, além de Ferro e Carbono, que contém principais elementos de liga cromo e molibdênio, além do manganês, silício, enxofre e fósforo existem no material como elementos residuais. A Tab. 1 apresenta as composições medidas pela espectrometria e as medidas esperadas para o aço.

Tabela 1. Composição química das amostras de aço AISI 4140

	AISI 4140						
	Carbono	Cromo	Molibdênio	Silício	Manganês	Fósforo	Enxofre
Medido	0,443	0,991	0,163	0,362	0,753	0,0005	0,0004
Limites	0,38-0,45	0,90-1,20	0,15-0,30	0,15-0,40	0,50-0,80	0,0035 máx.	0,0035 máx.

Além dos elementos de liga esperados, o valor do ferro foi também medido, o qual é o elemento majoritário da composição, o qual compõe 96,78%. Ainda, o equipamento fornece o carbono equivalente do aço, que foi medido em 0,916%.

As microdurezas Vickers medidas no material resultaram dentro do esperado, baseado na referência bibliográfica. As medições da amostra 1 seguem na Tab. 2.

Tabela 2. Microdureza Vickers da amostra 1

Medição	Microdureza Vickers					Médias
	1	2	3	4	5	
Superfície	685	674	689	677	675	680
Núcleo	652	650	659	647	652	652

A microdureza das amostras apresentou uma diferença entre as médias da superfície e do núcleo de aproximadamente 28 HV, demonstrando que a superfície, por entrar em contato direto com o meio de arrefecimento e resfriar mais rápido, apresenta maior índice de martensita. Em relação à intensidade das identações, eles são coerentes com as amostras arrefecidas em 15 e 25% PAG, que apresentaram respectivamente 641 e 635 HV na superfície (Knoll, 2009). Dessa forma, percebemos que o polímero não diluído apresentou maiores durezas que o diluído, o que pode ter ocorrido em função das condições de processo diferenciados para os estudos. Os resultados da prova e contraprova foram coerentes com a amostra original, validando o procedimento.

A microestrutura do material avaliada em microscópio eletrônico de varredura, com magnificação de 1500 vezes, é mostrada na Fig. 1.

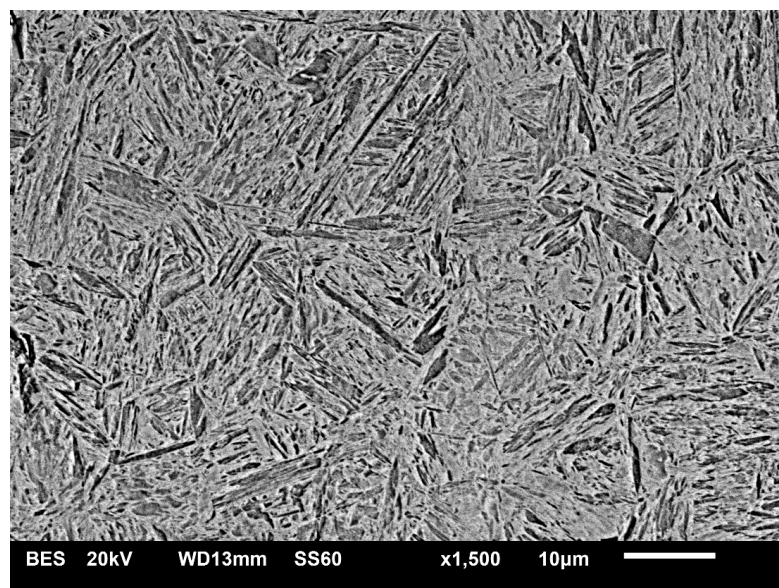
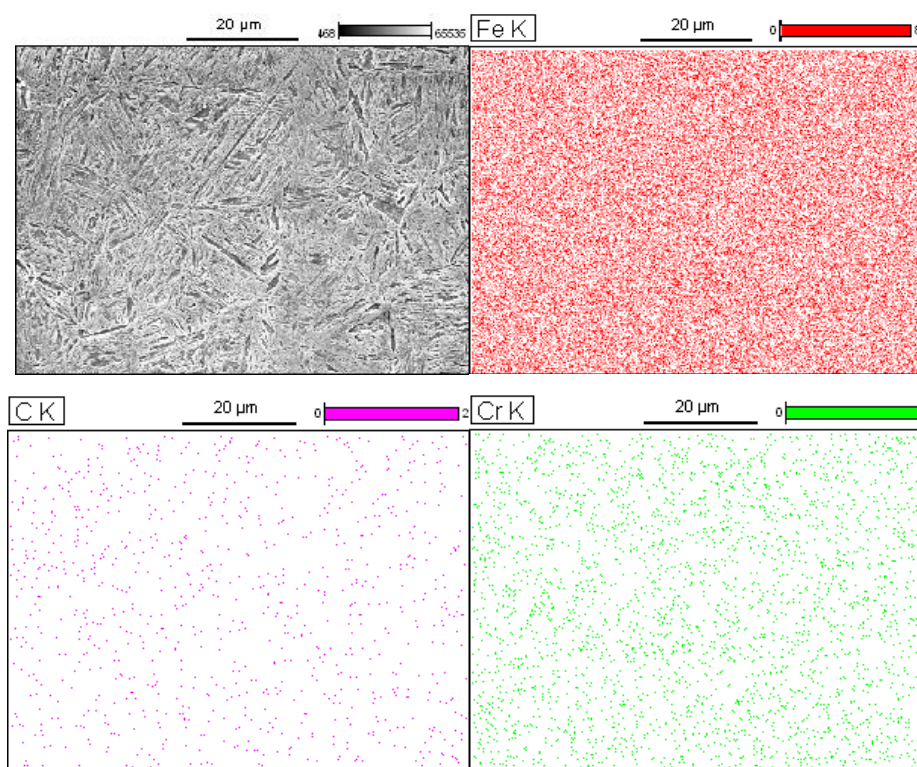


Figura 1. Microestrutura do aço AISI 4140 temperado em 100% PAG

A visualização da microestrutura do material demonstra uma predominância da estrutura martensítica, evidenciando a capacidade de temperamento da solução polimérica aquosa de PAG não diluída, assim como quando utilizado diluído em baixas concentrações.

O mapeamento realizado no mesmo microscópio demonstrou os resultados apresentados na Fig. 2.



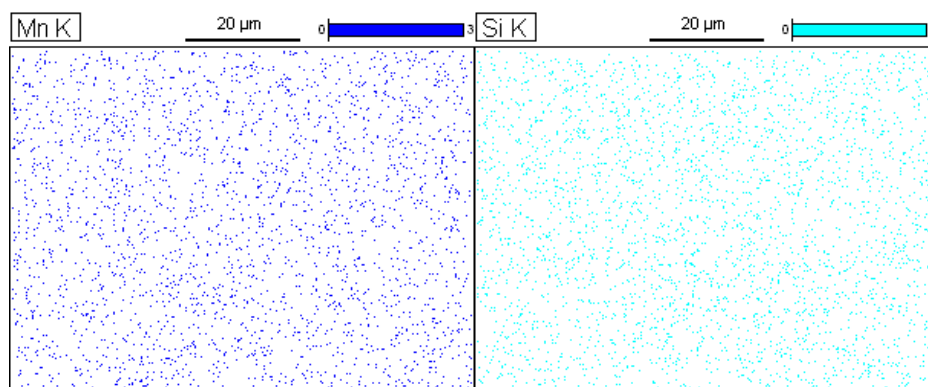


Figura 2. Distribuição de elementos de liga no material realizado por mapeamento. a) Imagem que o mapeamento foi realizado b) Distribuição de Ferro c) Distribuição de Carbono d) Distribuição de Cromo e) Distribuição de Manganês f) Distribuição de Silício.

Por meio do mapeamento, observa-se que os elementos mapeados obtiveram uma distribuição uniforme dos elementos, nenhum deles apresentou concentração em algum ponto específico da microestrutura. Os elementos fósforo, enxofre e molibdênio não apareceram no mapeamento, isso ocorreu por influência da natureza dos elementos, os quais são de difícil detecção pelo microscópio eletrônico de varredura e sua quantidade percentual no material. Ainda, podemos evidenciar que a quantidade dos elementos no mapeamento fica evidente de acordo com cada imagem, os elementos majoritários no material preenchem mais o espaço na imagem, enquanto que os elementos em menor quantidade percentual apresentam maiores espaços em branco. Isso fica bastante claro quando comparamos a imagem resultante do ferro, que compõe 96,78% do aço, com o carbono que preenche 0,443%. Ainda, o gráfico da Fig. 3 expõe de maneira mais clara a quantidade dos elementos detectados no mapeamento.

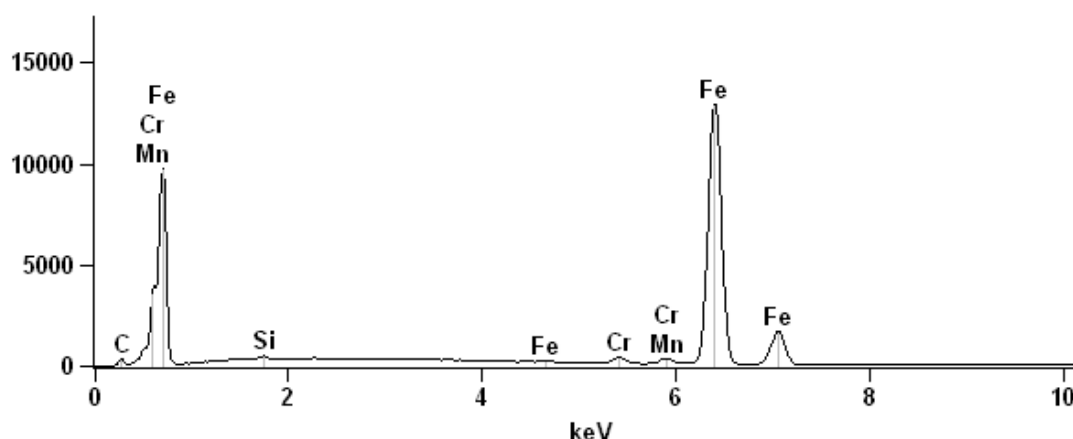


Figura 3. Distribuição dos elementos pela detecção por meio de mapeamento

Por meio da Fig. 3 fica evidente a quantidade de elementos detectados por mapeamento. Nesse gráfico visualizamos 2 grandes picos e 2 picos menores de ferro. Já o carbono, apresenta apenas um pequeno pico, próximo de 0,4 KeV, assim como o silício, com um pico perto de 1,8 KeV. Já o cromo, apresenta 2 picos, um elevado e dois menores, e o manganês 2 picos, um elevado e outro menor. Essa distribuição é coerente tanto com os resultados de mapeamento quanto com os de espectrometria.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados, podemos concluir que a utilização de polialquilenoglicol sem diluição para arrefecimento de aços é perfeitamente possível. Os resultados de microdureza para o aço AISI 4140 são semelhantes às obtidas utilizando 15 e 25% de concentração. Ainda, há uma diferença dentro dos limites aceitáveis entre a



microdurezas superficial e de núcleo das amostras. Ainda, percebemos que a microestrutura resultante é predominantemente martensítica, o que evidencia que o arrefecimento ocorreu rápido o suficiente para não haver início de difusão de carbono. Além disso, a distribuição de elementos de liga no material foi aproximadamente uniforme.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos colegas, professores e colaboradores da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande.

REFERÊNCIAS

- ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook: Properties and Selection Iron Steels and High Performance Alloys. V.1, 10 ed., Russell Township: ASM International, 1990.
- ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook: Heat Treatment. V.4, 10 ed, Russell Township: ASM International, 1990.
- CANALE, L.C.F.; TOTTEN, E.G.; CANALE, A.C. Polímeros de Têmpera à Base de PAG. Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia, V. 3, p. 209-214, 2006.
- GHOSH, A.; BHADURI, A.; RAY, K. K. Characterization of Tempered Martensite Embrittlement Using Hardness Measurement, Materials Characterization, V. 33, p 321-327, 1994.
- GRUM, J.; BOZIC, S.; ZUPANCIC, M. Influence of Quenching Process Parameters On Residual Stresses in Steel. Journal of Materials Processing Technology, v. 114, p. 57-70, 2001.
- GRUM, J.; BOZIC, S. Influence of Steel Masses and Quenchants on Mechanical Properties of Steel, International Journal Materials and Product Technology, v. 24, p. 224-240, 2005.
- IKKENE, R.; KOUDIL, Z.; MOUZALI, M. Cooling Characteristic of Polymeric Quenchant: Calculation of HTC and Prediction of Microstructure and Hardness. Journal of Materials Engineering and Performance, v. 23, p. 3819-3830, 2014.
- KNOLL, P.K. Utilização de Solução Polimérica em Substituição ao Óleo como Meio de Resfriamento no Tratamento Térmico de Têmpera de Barras de Aço. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- MOYER, J.M.; ANSELL, G.S. The Volume Expansion Accompanying the MArtensite Transformation in Iron-Carbon Alloys. Metallurgical Transactions A, v. 6, p. 1785-1792, 1974.
- PATROCÍNIO, A.B. Determinação de Velocidades Críticas de Têmpera em Aços pro Meio de Curvas de Resfriamento. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- RAMESH, G.; PRABHU, N.K. Dimensionless Cooling Performance Parameter for Characterization of Quench Media. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 44, p. 797-799, 2013.
- RAMESH, G.; PRABHU, N.K. Effect of Polymer Concentration on Wetting and Cooling Performance During Immersion Quenching. Metallurgical and Materials Transactions B, V. 47, p. 859 – 881, 2015
- SEDIGHI, M.; McMahon, C.A. The Influence of Quenchant Agitation on the Heat Transfer Coefficient and Residual Stress Development in the Quenching of Steels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, v. 214, p. 555-567, 2000.
- TOTTEN, G.E. Steel Heat Treatment Handbook. 2 ed. Nova Iorque: CRC Press, 2007.
- TOTTEN, G.E.; TENSİ, H.M.; LAINER, K. The Influence of Quenchant Agitation on the Heat Transfer Coefficient and Residual Stress Development in the Quenching of Steels. Journal of Materials Engineering and Performance, v. 8, p. 409-417, 1999.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.