

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

COMPARAÇÃO DA MICRODUREZA RESULTANTE DE AÇOS TRATADOS POR TÊMPERA SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMERSÃO EM DIFERENTES FLUIDOS DE ARREFECIMENTO

SUÁREZ, L.O.; VIEIRA, E.R.; DA SILVA, A.B.; MEDEIROS, J.L.B.

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

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

lauraoliveirasuarez@gmail.com

RESUMO: O processo de têmpera é caracterizado pela elevação de temperatura do aço até a austenitização seguido por um arrefecimento rápido o suficiente para evitar o início da formação de microestruturas por difusão. Esse processo se caracteriza por três estágios sucessivos: filme de vapor, ebulição e convecção. A têmpera incompleta é o tratamento térmico que impede a execução plena dos três estágios do processo por meio da retirada do aço do fluido de arrefecimento antes da execução plena dos estágios. Cada fluido de arrefecimento possui características diferentes quando se trata da retirada de calor da peça, variando principalmente a taxa de calor. O trabalho tem como objetivo avaliar a microdureza resultante da imersão de aços AISI 1050, comparando os resultados do resfriamento em óleo e em uma solução polimérica a base de polivinilpirolidona (PVP), sob tempos de imersão de 3, 6, 9, 12 e 60 segundos, este último tempo para garantir o processo completo, utilizando-o como parâmetro de comparação.

Palavras-Chave: Têmpera Incompleta, Microdureza, Tempo de Imersão

ABSTRACT: The quenching process is characterized by temperature rise of the steel to austenitization, followed by a cooling fast enough to prevent the formation of microstructures by diffusion. This process is characterized by three successive stages: vapor film, boiling and convection. Incomplete quenching is the heat treatment which prevents the full execution of the three stages of the process by withdrawing the steel from the cooling fluid prior to the full execution of the stages. Each cooling fluid has different features when it comes to removing heat from the sample, varying mainly the heat rate. The objective of this work is to evaluate the microhardness resulting from the immersion of AISI 1050 steels, comparing the results of cooling in oil and in a polyvinylpyrrolidone (PVP) based polymer solution under immersion times of 3, 6, 9, 12 and 60 seconds, this last time to ensure the complete process, using it as a comparison parameter.

Keywords: Incomplete Quenching, Microhardness, Immersion Time

INTRODUÇÃO

A têmpera é um tratamento térmico no qual o material é submetido a uma temperatura alta o suficiente para austenitizar sua microestrutura, e é mantido a essa condição por tempo suficiente de modo a garantir a completa uniformidade na temperatura e solubilização do carbono, seguido de imersão em um meio fluídico. Esse arrefecimento deve ser rápido o suficiente para evitar o início da difusão de carbono (Digges et al., 1966). O processo completo de têmpera é composto de três estágios: filme de vapor, ebulição e convecção. O filme de vapor caracteriza-se pelo contato da superfície quente do material com o fluido, formando uma película de vapor ao redor da peça, a qual torna a velocidade de arrefecimento do material baixa (Thelning, 1984). Após o colapso do filme de vapor, se inicia a ebulição do fluido, resultando em taxas elevadas de troca de calor (Totten, 2007). Por fim, quando a temperatura do corpo se encontra abaixo da ebulição do meio refrigerante, a fase de convecção se estabelece, novamente diminuindo bastante a troca de calor (ASM International, 1990a). A Fig. (1) ilustra as três fases do processo de têmpera de acordo com suas faixas de temperatura e tempo de imersão.

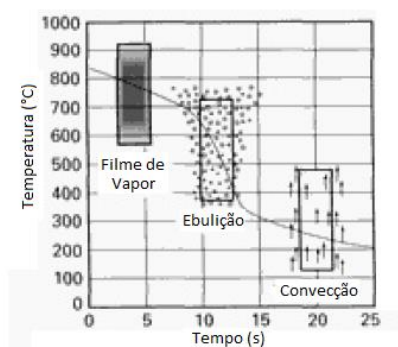


Figura 1. Etapas do processo de têmpera (ASM International, 1990)

Quando as peças são imersas em óleo, as fases da têmpera podem variar ao longo da peça, visto que a ebulição do filme de vapor tem início na extremidade inferior do material e evolui gradualmente até a extremidade superior do material, resultando em trocas de calor desiguais na superfície das peças, podendo resultar em variações microestruturais e de propriedades mecânicas (Ikkene et al., 2014). Em imersão em óleo, a segunda etapa de têmpera, a qual apresenta a maior taxa de arrefecimento, inicia em aproximadamente 8 segundos e termina em torno de 14 segundos (ASM International, 1990a).

Por sua vez, as soluções poliméricas aquosas não apresentam o gradiente de quebra do filme de vapor pois esse colapsa de forma instantânea, iniciando imediatamente a etapa de ebulição e posteriormente a convecção (Ikkene et al., 2014). Isso proporciona taxas de arrefecimento mais uniformes em todo o corpo, minimizando os efeitos deletérios do processo, como distorções e trincas (ASM International, 1990a). A capacidade refrigerante das soluções poliméricas é superior à do óleo, e essa característica varia principalmente pela concentração e natureza do polímero (Thelning, 1984). A fase de ebulição de Polialquilenoglicol em 15% de concentração inicia aproximadamente em 2 segundos e termina cerca de 10 segundos (Jarvis et al., 1990). Além disso, apresentam biodegradabilidade e baixos índices de toxicidade e inflamabilidade. Em função disso, as soluções poliméricas vêm apresentando altos índices de utilização atualmente (Canale et al., 2006).

Em geral, após o processo de têmpera é realizado um tratamento térmico chamado revenimento, que é um aquecimento a temperaturas abaixo da austenitização, visando aliviar as tensões geradas pelo processo de têmpera. Esse tratamento diminui progressivamente a dureza e resistência mecânica do metal, de acordo com a temperatura e tempo em que fica exposto a ela (Ghosh et al, 1994).

Este trabalho tem como finalidade comparar a microdureza resultante do arrefecimento por tempos distintos, sob dois fluidos refrigerantes diferentes: o óleo mineral e uma solução polimérica aquosa a base de PVP sob concentração de 15%.

METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma análise química do material com o objetivo de garantir que o material utilizado estava dentro dos parâmetros estabelecidos para o aço AISI 1050. Esse ensaio foi executado em um Espectrômetro de Emissão Óptica, modelo Foundry-Master Pro.

Após isso, foram separadas 30 amostras de superfície quadrada, com 20 mm de altura, 20 mm de largura e 5 mm de profundidade cada. Para cada situação de têmpera foram utilizadas 3 amostras, garantindo uma prova e uma contraprova, com a ideia de averiguar a veracidade dos dados obtidos.

As amostras foram aquecidas até a temperatura de 880°C em um forno resistivo durante o tempo de 60 minutos, garantindo a austenitização total do material. Após isso, as amostras foram imersas em óleo mineral para têmpera e em uma solução polimérica aquosa a base de PVP com 15% de concentração. O tempo de imersão nos meios fluidos de arrefecimento foram de 3, 6, 9, 12 e 60 segundos em cada fluido, sendo 3 amostras para cada situação. As amostras foram numeradas de acordo com a Tab. 1:

Tabela 1. Nomenclatura das amostras

	Tempo de Imersão (s)				
	3	6	9	12	60
Óleo	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9	10, 11, 12	13, 14, 15
PVP	16, 17, 18	19, 20, 21	22, 23, 24	25, 26, 27	28, 29, 30

Após imersas, as amostras foram revenidas por mais 60 minutos em forno resistivo pré-aquecido à temperatura de 180°C, com o intuito de diminuir as tensões residuais proveniente do tratamento térmico prévio.

Assim que os tratamentos térmicos de têmpera e revenimento foram executados, as amostras foram seccionadas transversalmente, com o intuito de avaliar a dureza interna de cada amostra.

Por fim, os pontos selecionados para avaliação da microdureza foram dois: um ponto distante de aproximadamente 1 mm da superfície e um na parte central da amostra, visando evidenciar a diferença das microdurezas do núcleo e próximas à superfície. Para isso, foi utilizado um microdurômetro Vickers Shimadzu HMV 2T, programado para executar a indentação com 1 kgf. Para cada ponto foram realizados 3 medições da dureza e foi realizada a média aritmética dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aços 1050 são basicamente ligas de ferro e carbono, porém, eles podem conter em sua composição alguns elementos residuais provenientes do seu processo de fabricação, sendo que os principais são manganês, silício, enxofre e fósforo. A composição dos elementos de liga é estabelecida por normas (ASM International, 1990b). A Tab. 2 apresenta a composição esperada para as amostras e a composição medida por espectrometria.

Tabela 2. Composição química das amostras de aço AISI 1050

	Composição Química AISI 1050				
	Carbono	Manganês	Silício	Fósforo (máx)	Enxofre (máx)
Limites	0,47-0,55	0,60-0,90	0,15-0,40	0,035	0,04
Medido	0,537	0,685	0,275	0,0139	0,013

Além dos elementos de liga, foram registrados os valores do ferro - elemento majoritário dos aços, que foi medido em 98,3%, dos elementos residuais com composições não significativas, e do carbono equivalente do material, o qual foi medido em 0,74%.

As medições de microdureza Vickers não apresentaram diferença significativa entre as primeiras amostras, suas provas e contraprovas. Ante o exposto, os resultados apresentados são relativos às primeiras amostras. Também dividiu-se os pontos medidos entre centro e superfície e calculou-se a média das amostras medidas. A Tab. 3 é relativa às amostras imersas em óleo mineral.

Tabela 3. Microdurezas de aço AISI 1050 imersos em óleo

Tempo (s)	AISI 1050 - Óleo						Médias	
	Superfície (HV1)			Centro (HV1)			Superfície	Centro
3	331	339	325	328	319	327	332	325
6	584	532	570	464	454	459	562	459
9	628	634	603	486	482	467	622	478
12	689	660	638	514	496	501	662	504
60	713	735	720	646	637	646	723	643

Por meio dos resultados obtidos, percebe-se que existe uma diferença entre as microdurezas formadas na superfície e no centro da amostra. A superfície é a parte do material que entra em contato com o fluido de arrefecimento, já o interior do aço é arrefecido por meio de condução, o que proporciona uma taxa de troca de calor mais baixa. Isso acaba permitindo maior difusão do carbono, minimizando a quantidade de martensita formada no interior do que na superfície (Monroe, 1983). Essa diferença de dureza é notada principalmente em aços carbono, os quais possuem temperabilidade limitada. Já os aços com melhor possibilidade de obtenção de martensita não apresentam uma diferença acentuada de microdureza entre superfície e núcleo (Echeverri, 2012). Somente nas amostras que ficaram 3 segundos imersas não houve mudança significativa de microdureza, o que demonstra que a taxa de arrefecimento produzida nos 3 primeiros segundos, na etapa de filme de vapor, não foi alta o suficiente para começar a transformação adifusional.

A evolução da microdureza em função do tempo pode ser melhor avaliada por meio da construção de um gráfico, apresentado na Fig (2).

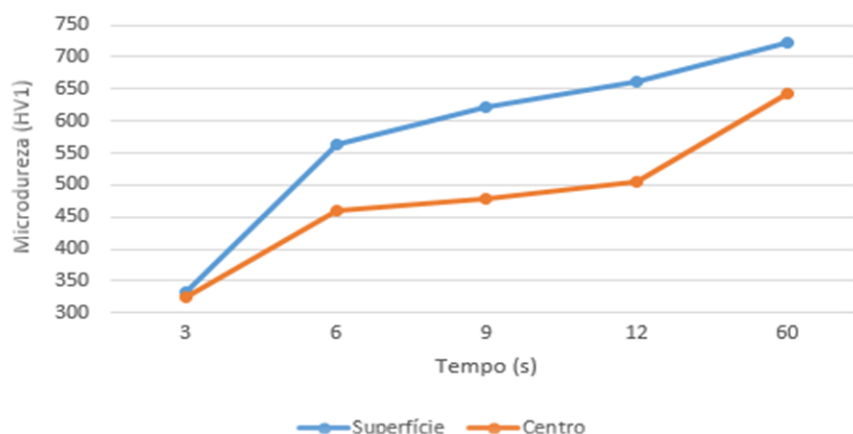


Figura 2. Gráfico da evolução da microdureza das amostras imersas em óleo

Por intermédio da observação do gráfico, percebe-se que a diferença da microdureza em imersão por 3 segundos é insignificante, de apenas 7 HV. Após isso, existe um acréscimo de microdureza tanto na superfície quanto no núcleo do material, os quais chegam ao limite máximo de diferença na imersão de 12 segundos, com 159 HV. Por fim, a imersão em 60 segundos, a qual completa os três estágios da têmpera, demonstra uma queda significativa na diferença entre as microdurezas do núcleo e da superfície. Além disso, a dureza superficial a partir dos 6 segundos evolui quase linearmente, enquanto que no núcleo ela apresenta um pico de evolução a partir de 12 segundos.

A Tab. 4 se refere aos resultados de microdureza obtidos nas amostras imersas em solução polimérica aquosa de PVP a 15% de concentração:

Tabela 4. Microdurezas de aço AISI 1050 imersos em PVP 15%

Tempo(s)	AISI 1050 - PVP 15%						Médias	
	Superfície (HV1)			Centro (HV1)			Superfície	Centro
3	724	717	721	575	587	573	721	578
6	723	720	738	614	630	612	727	619
9	748	735	759	640	622	676	747	646
12	764	760	759	623	671	696	761	663
60	789	763	781	674	642	695	778	670

Da mesma forma que as amostras imersas em óleo, as amostras imersas em solução polimérica aquosa também apresentam uma diferença entre as durezas do centro e da superfície, as quais apresentam aproximadamente 100 HV de

diferença, exceto na imersão de 3 segundos, que possui 142 HV de diferença. A evolução de microdureza pode ser expressa de maneira mais adequada por meio do gráfico expresso na Fig. (3).

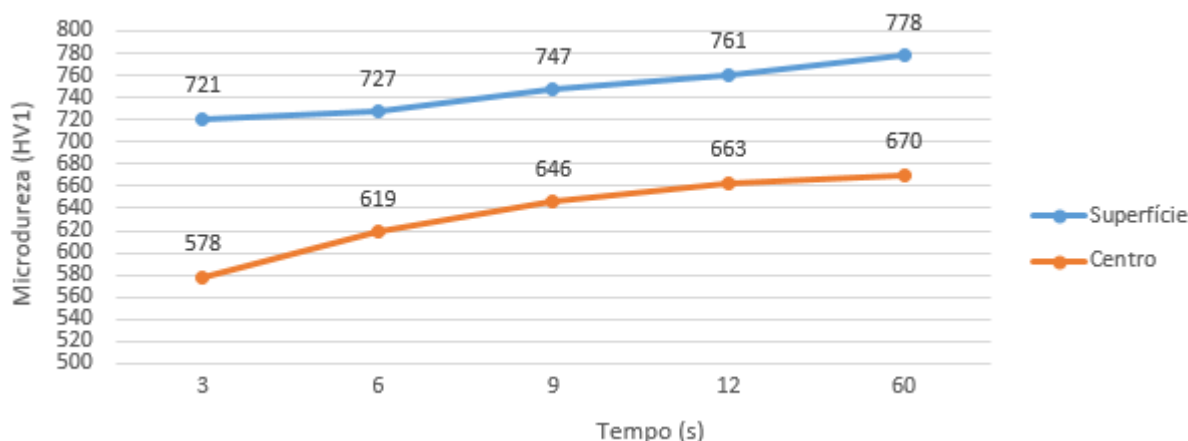


Figura 3. Gráfico da evolução da microdureza das amostras imersas em solução de PVP 15%

As amostras arrefecidas na solução polimérica apresentam um comportamento mais próximo da linearidade, sem nenhum pico de microdureza, tanto para a superfície como para o núcleo. A maior diferença entre superfície e núcleo acontece para o tempo de 3 segundos, após isso, a diferença diminui e se mantém aproximadamente constante. Já a intensidade da microdureza aumenta de acordo com o tempo de imersão, chegando ao seu valor máximo aos 60 segundos. Em função da diferença entre o último e o penúltimo tempo marcados, que é de 48 segundos, induz-se que a evolução da microdureza praticamente se estabiliza após o tempo de 12 segundos.

A diferença entre as evoluções das microdurezas nos dois fluidos refrigerantes pode ser comparada na Fig. (4).

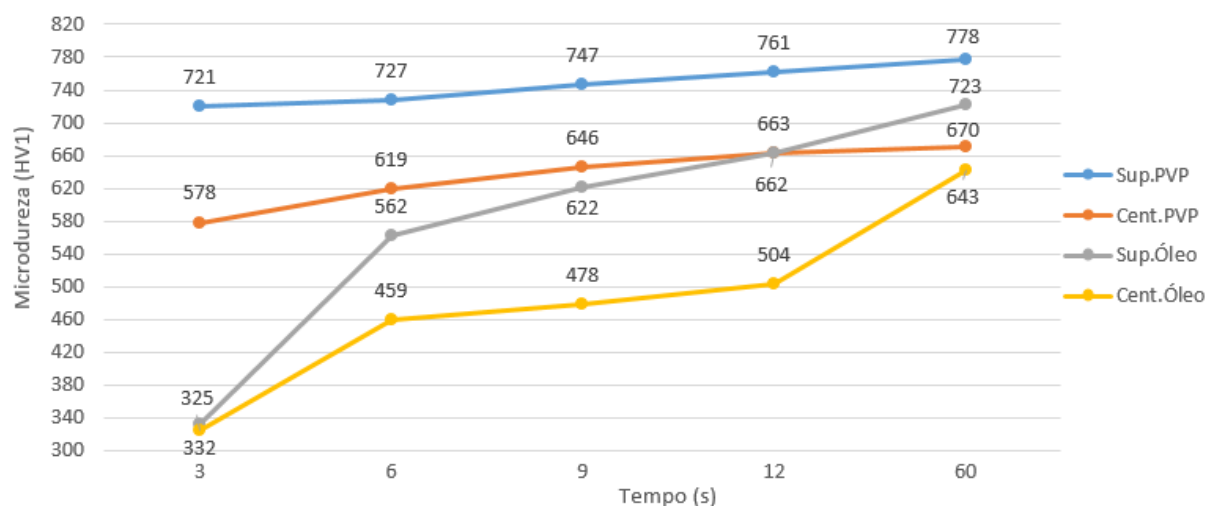


Figura 4. Gráfico comparativo da evolução de microdureza das amostras imersas em óleo e solução polimérica aquosa de PVP 15%

Pela sobreposição dos gráficos percebe-se as diferenças entre a evolução de microdurezas das amostras arrefecidas nos dois fluidos distintos. Primeiramente, compreende-se que as soluções poliméricas permitem às amostras atingirem índices mais altos de microdurezas que o óleo mineral. Além disso, no óleo a amostra demora mais tempo para evoluir sua microdureza, visto que os resultados finais, apesar de manterem uma defasagem, são mais próximos que no restante dos tempos. Ainda, nas imersões em 3 segundos, as amostras arrefecidas em óleo apresentam uma dureza baixa em relação ao resto dos tempos, o que infere que não houve troca de calor suficiente para iniciar a transformação



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

adifusional. Já as amostras da solução polimérica aquosa apresentam uma elevação de dureza mesmo no primeiro tempo de imersão. Por fim, nota-se que, enquanto as microdurezas das amostras imersas em soluções poliméricas apresentam um comportamento sem mudanças significativas, as arrefecidas em óleo apresentam uma evolução acentuada entre os tempos de 3 e 6 segundos, comportamento que se repete entre 12 e 60 segundos, sendo este último bem menos acentuado em função do maior intervalo de tempo.

CONCLUSÃO

No trabalho exposto, pode-se notar a diferença de microdureza entre amostras arrefecidas em tempos diferentes sob dois meios de arrefecimento distintos. Indubitavelmente, a maior capacidade de transferência de calor da solução polimérica aquosa interfere diretamente nos resultados finais do trabalho. Em função disso, obtém-se maior índice de microdureza nas amostras arrefecidas na solução polimérica aquosa, as quais formam maior quantidade de martensita. Já as amostras imersas em óleo apresentam menor capacidade de troca de calor e demoram mais para iniciar as transformações de fases, o que reflete na demora para iniciar a evolução de microdureza. Ademais, essa demora para evolução das fases apresenta uma evolução de curva mais acentuada que as amostras imersas em soluções poliméricas aquosas.

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: Heat Treatment. V.4. 10 ed. Russell Township: ASM International, 1990.
- ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook: Properties and Selection Iron Steels and High Performance Alloys. V.1. 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.
- DIGGES, T.G.; ROSENBERG, S.J.; GEIL, G.W. Heat Treatment and Properties of Iron and Steel. Washington: United States Department of Commerce, 1966.
- ECHEVERRI, E.A.A. Análise Numérica e Experimental das Tensões Geradas Durante o Processo de Têmpera de Cilindros de Aço AISI 1045, 4140 e 4340. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- GHOSH, A.; BHADURI, A.; RAY, K. K. Characterization of Tempered Martensite Embrittlement Using Hardness Measurement, Materials Characterization, V. 33, p 321-327, 1994.
- 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.
- JARVIS, L. M.; TOTTEN, G.E.; WEBSTER, G.M.; Aqueous Polymer Quenchants: How do They Work and What are the Differences?, Advanced Materials and Process, 1990.
- MONROE, R.W.; BATES, C.E. Evaluating Quenchants and Facilities for Hardening Steel, Heat Treating, V. 3, 1983.
- THELNING, K.E. Steel and its Heat Treatment. 2 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1984.
- TOTTEN, G.E. Steel Heat Treatment Handbook. 2 ed. Nova Iorque: CRC Press, 2007.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

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