

Estudo de nitretação líquida, têmpera e revenido do aço P20 para moldes de injeção de polímeros

Study of tempering and liquid nitriding of P20 steel for polymer injection molds

- ¹ Juliane Carera Marin
¹ Mauro Carlos Lopes Souza
¹ Alex da Silva Sirqueira assirqueira@gmail.com
² Vladimir Ivanovitch Monine
³ Ítalo de Carvalho

- 1 Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO
2 Universidade Augusto Motta, UNISUAM
3 Beneficiamento de Metais Ltda, BRASTÊMPERA

Resumo

O aço AISI P20 é utilizado no processo de moldagem por injeção de polímero. A alta produção desse tipo de molde e a demanda de um material resistente motivou o estudo da resistência, microestrutura e dureza. Três tratamentos térmicos foram realizados, respectivamente, para Têmpera, Revenido e Nitretação Líquida, a fim de se observar o método mais eficiente, com o menor custo, considerando o tempo para alcançar as melhores características. Foram utilizadas quatro amostras. O primeiro serviu de padrão e não sofreu nenhum tipo de tratamento. O segundo foi submetido apenas à nitretação líquida. O terceiro foi para têmpera e revenido, e o quarto foi têmpera e revenido, seguido de nitretação líquida. As amostras foram lixadas e polidas para tratamento térmico e termoquímico. Após os tratamentos térmicos, a dureza do Rockwell C atingiu valores de 40 HRC. Em microscopia óptica, as micrografias revelaram a presença de martensita produzida na têmpera, responsável pela alta dureza alcançada. A camada nitretada foi visualizada e medida. As amostras temperadas, revenidas e nitretadas atingiram uma dureza de 50 HRC, provando que a nitretação aumentou a dureza, na superfície. A medição, por difração de raios-X, mostrou baixo nível de tensões residuais geradas pela têmpera, da ordem 25 MPa.

Palavras-chave:

Aço AISI P20. Tratamento térmico. Tratamento termoquímico. Têmpera. Revenido. Nitretação líquida.

Abstract

P20 steel is used in polymer injection molding process. The high production of this type of mold and the demand of a sturdy material motivated the study of its resistance, microstructure and hardness. Two thermal treatments were performed respectively, tempering in oil and liquid nitriding. Four samples were used. The first one served as standard, and did not suffer any kind of treatment. The second was subjected only to nitriding liquid. The third to tempering and the fourth was tempering, followed by liquid nitriding. The samples were sanded and polished for thermal treatment and thermochemical. After thermal treatment, the hardness of Rockwell C reached 40 HRC values. In optical microscopy, the micrographs revealed the presence of martensite produced in the temper, responsible for the high hardness achieved. The nitride layer was visualized and measured. The temperate samples, tempered cylinders and nitrides reached hardness of 50 HRC, proving that the nitriding increased hardness, on the surface. Measure by X-ray diffraction showed low level of residual tensions generated by temper, of the order of 25 MPa.

Keywords:

AISI P20 Steel. Thermal treatment. Thermochemical treatment. Tempering. Liquid Nitriding.

Como você deve citar?

SIRQUEIRA, Alex da Silva et al. Estudo de nitretação líquida, têmpera e revenido do aço P20 para moldes de injeção de polímeros. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 41, p. 37-45, dezembro 2019.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os polímeros estão presentes no cotidiano do planeta, sendo popularmente conhecidos como plásticos. São utilizados em diversos segmentos como: eletrodoméstico, automobilístico, utensílio doméstico, vestimenta, entre outros.

As matérias-primas mais utilizadas pelas empresas do setor são as resinas termoplásticas, principalmente o polipropileno (PP), o polietileno (PE) e o policloreto de vinila (PVC), que juntos representam 83% da matéria-prima utilizada. Dentre os setores brasileiros que mais consomem produtos plásticos em sua composição, estão a construção civil, com consumo estimado em 16%; o setor de alimentos e bebidas, que também consome 16%; e o setor de automóveis e autopeças, com 15% do consumo [1].

Devido à facilidade de moldagem, os plásticos podem tomar as mais diversas formas, como ser rígido, flexível, transparente, opaco, resistente à umidade, entre outras possibilidades [2].

O método de injeção é amplamente utilizado para processamento de polímeros, no qual o material polimérico fundido flui até o molde. No molde, o polímero é resfriado e adquire a conformação do molde. Geralmente o molde consiste de um material normalmente metálico com baixa rugosidade e que suprime necessidades básicas, tal como, suportar temperaturas de 135° a 300° C. Para atender as necessidades dos métodos de injeção plástica, têm-se os aços AISI classificados por "P" [3].

No presente trabalho, utilizou-se o aço AISI P20, que possui teor de carbono de, aproximadamente, 0,35%, e que tem, em suas composições, elementos de liga com cromo, molibdênio e níquel, tornando esse aço mais suscetível para tratamentos térmicos [4].

O tratamento térmico em aços visa melhorar a qualidade e resistência do produto final. Apresenta grande importância, pois mudam a estrutura do material e não afetam sua composição química, exceto os tratamentos termoquímicos que alteram superficialmente as composições químicas, e acrescentam muitas vezes carbonetos, mas, principalmente nitretos, no caso da Nitretação [5,6]. A nitretação fornece qualidade mais específica para cada tipo de polímero.

Este estudo aborda a importância e influência dos tratamentos térmicos sobre o aço AISI P20 1.2738, muito utilizado em molde para injeção plástica. Foi feita também uma comparação entre os benefícios da Têmpera e Revenido (Tratamento Térmico) com Nitretação Líquida (Tratamento Termoquímico), ou seja, comparação entre Tratamento Térmico e Termoquímico.

Amostras do aço AISI P20 1.2738 foram submetidas à Nitretação Líquida. Os resultados foram comparados com o tratamento do aço por Têmpera a óleo e Revenido ao ar.

Após o tratamento termomecânico e termoquímico, as amostras foram submetidas a ensaios de dureza na superfície Nitretada. Estudos metalográficos foram realizados para visualizar a camada Nitretada e a análise de tensões provocadas pela Têmpera, por Difração de Raios-X.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Material de estudo*

A composição química do aço AISI P20 1.2738, utilizado nos tratamentos de Têmpera, Revenido e Nitretação Líquida, é normatizada, e mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição AISI P20 1.2738.

Elementos Químicos	Composição
Carbono	0,35 – 0,45%
Cromo	1,80 – 2,10%
Molibdênio	0,15 – 0,25%
Niquel	0,90 – 1,20%
Manganês	1,30 – 1,60%
Silício	0,20 – 0,40%
Fósforo	0,03%
Enxofre	0,03%

Fonte: Borrô Júnior, 2001.

2.2 Tratamento térmico e termoquímico

Para obter maior resistência ao desgaste, o aço foi submetido aos tratamentos térmicos: de têmpera, revenido; e tratamento termoquímico de nitretação líquida. A Tabela 2 apresenta o direcionamento experimental aplicado.

Tabela 2 – Direcionamento experimental de amostra de aço P-20.

Amostras	Direcionamento
1	Padrão / Não sofreu nenhum tipo de tratamento
2	Submetida apenas à nitretação líquida
3	Sofreu Têmpera e Revenido
4	Sofreu Têmpera e Revenido, seguido de Nitretação Líquida

Fonte: autores, 2019

2.3 Teste de Dureza Vickers

Os resultados de ensaio de dureza gerados pelas amostras foram obtidos através do durômetro Vickers, Zwick. Nas condições de análises foram utilizadas cargas de 1 kgf por 15 segundos. Em seguida, foi calculada a área da superfície inclinada da endentação. A dureza Vickers é o quociente obtido, dividindo-se a carga (em kgf) pela área da endentação.

2.4 Ensaio de Difração de Raios-X

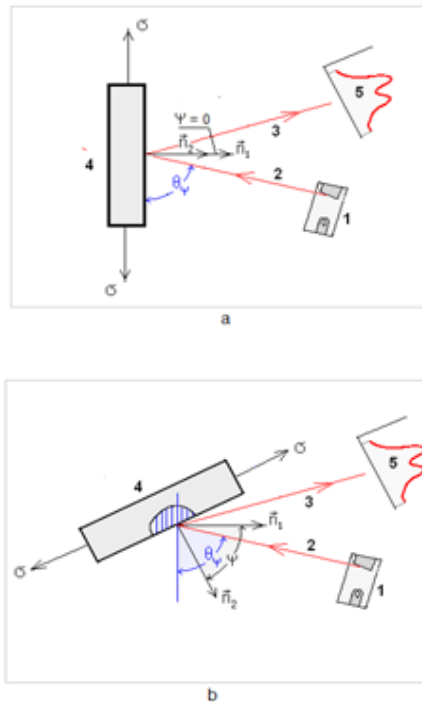
A difratometria de raios-X é usada em várias análises de materiais cristalinos. A técnica está baseada nas medidas das intensidades e dos ângulos de difração. Os métodos de difratometria de raios-X permitem estudar várias características do material, como a identificação de fases cristalinas, quantificação de fases, determinação de parâmetros de célula unitária, tamanho de cristalitos, orientação de cristalitos, textura e tensões residuais [7,8].

Neste presente trabalho, o ensaio de difração de raios X foi utilizado para se analisar as tensões residuais do material.

2.5 Metodologia das medidas de tensões pelo método de “ $\text{sen}^2\psi$ ”

A Figura 1 mostra o esquema das medidas pelo método de “ $\text{sen}^2\psi$ ”, que é o principal método de medidas de tensões por difração de raios X, baseado na medida da posição angular da linha de difração [8,9].

Figura. 1 (a): Esquema de medida de tensão por difração de raio X para $\psi = 0$ (a) e $\psi > 0$; (b): 1 – tubo de raios X; 2,3 – raios-X incidente e difratado; 4 – amostra analisada; 5 – perfil da linha de difração registrado pelo detector de raios-X .



Fonte: Novik, 1994.

A principal equação desse método é a equação da teoria de elasticidade para deformação $\mathcal{E}_{\phi, \psi}$ em direção arbitrária [8]. No caso do sistema de coordenadas polares e do estado de tensões bidimensionais, essa equação pode ser escrita como:

$$\varepsilon_{\phi, \psi} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{\phi} \text{sen}^2\psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (1)$$

Onde ϕ e ψ são os ângulos azimutal e polar, respectivamente; E , ν são as constantes de elasticidade do material; σ_1 , σ_2 são tensões principais e σ_{ϕ} é a componente da tensão medida. Por outro lado, a deformação $\mathcal{E}_{\phi, \psi}$ pode ser expressa em termos da difração de raios-x, encontrados na lei de Bragg:

$$2d \cdot \text{sen}\theta = \lambda \quad (2)$$

Na equação (2), à distância interplanar da rede cristalina, θ é o ângulo de difração e λ é o comprimento de onda dos raios-X. Após a diferenciação da lei de Bragg, pode-se obter a expressão para deformação $\mathcal{E}_{\phi, \psi}$:

$$\varepsilon_{\phi, \psi} = \frac{\Delta d}{d} = -\text{ctg}\theta * \Delta\theta = -\text{ctg}\theta * (\theta_{\psi} - \theta_0) \quad (3)$$

Igualando as equações (1) e (3), podemos obter a equação para o ângulo de difração θ_w , mostrado na Figura 1b, como um ângulo entre os raios-X incidente ou difratado e o plano cristalino, conforme mostrado na equação 4.

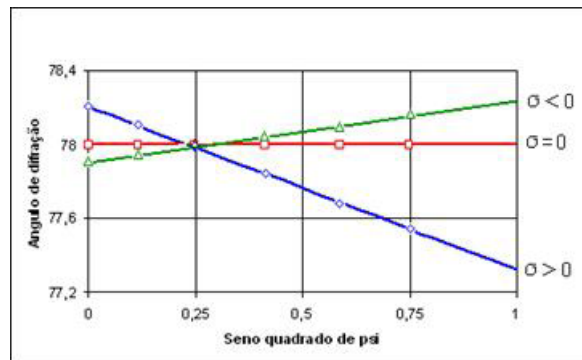
$$\theta_\psi = \theta_0 + \sigma_\phi \frac{(1+\nu)}{E} \frac{\text{sen}^2\psi}{\text{ctg}\theta} - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (4)$$

De acordo com equação (4), θ_ψ é uma função linear em relação de $\text{sen}^2\psi$ e a tangente dessa função dá a possibilidade de determinar o valor da tensão σ_ϕ como:

$$\sigma_\phi = \frac{E}{1+\nu} \text{ctg}\theta (\theta_{\psi=90} - \theta_{\psi=0}) \quad (5)$$

A equação (5) ($\theta_{\psi=90} - \theta_{\psi=0}$) é o valor da tangente de inclinação da linha reta da função $\theta_\psi = f(\text{sen}^2\psi)$. A Figura 2 ilustra esquematicamente o gráfico de ângulo de difração θ_ψ em função de $\text{sen}^2\psi$ dada pela equação (4) para várias tensões σ_ϕ .

Figura 2 os gráficos das funções $\theta_\psi = f(\text{sen}^2\psi)$ no método de “($\text{sen}^2\psi$)”.



Fonte: Novik, 1994.

Variações do ângulo ψ se realizam por inclinações do feixe de raios X incidente à superfície da amostra analisada, conforme demonstrado na Figura 1. Utilizando-se os valores de constantes elásticas, a fórmula final para cálculo de tensões medidas pode ser escrita como:

$$\sigma_\phi = -k * (\theta_{\psi=90} - \theta_{\psi=0}) \langle M P a \rangle \quad (6)$$

2.6 Microscópio Óptico

As amostras foram cortadas com refrigeração e feito captura metalográfica. Cada amostra foi seccionada e preparada, conforme procedimento padrão de metalografia (uso de lixa nº 600 e 1200, polimento com pasta 3 e 6 μm e ataque químico de Nital 2%). Após captura de novas imagens, nota-se a presença de camada branca na amostra 2 e 4, e avalia-se seus núcleos.

2.7 Teste de Dureza Rockwell C

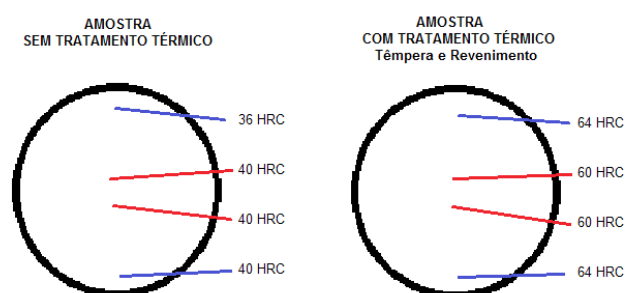
Os ensaios de dureza das amostras sem tratamento térmico e com tratamento térmico de Têmpera e Revenimento, após o teste de Difração de raios-X, foram encaminhados para o durômetro universal da PANTEC, do Laboratório de Tratamentos Térmicos – LTT/UEZO, adotando-se a escala Rockwell “C”, com aplicação de uma pré-carga de 10kgf e carga de 150 kgf por 10 segundos, com ponteira de

diamante de 120°. Os valores de dureza foram obtidos segundo a média aritmética de 4 endentações em uma das faces de cada corpo-de-prova, com intervalo de confiança calculada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na empresa BRASTÊMPERA, os pontos na parte central das amostras sem tratamento mantiveram um patamar de dureza 40HRC, e extremidades com 36 HRC. Após os tratamentos térmicos de Têmpera e Revenido, a dureza Rockwell C atingiu valores de 60HRC na mesma parte central e extremidades com 64 HRC.

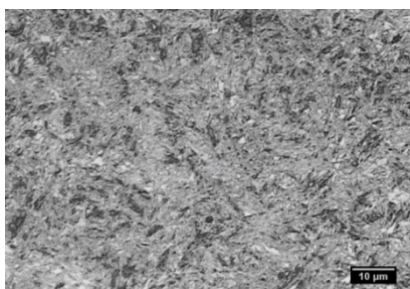
Figura 3. Apresentação da localidade dos resultados do teste de dureza Rockwell "C". Adaptação.



Fonte: autores, 2019.

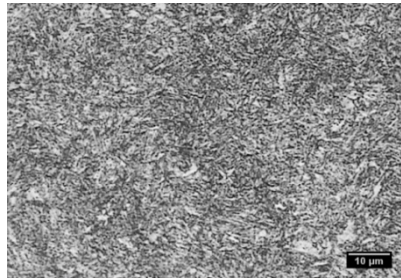
Na captura metalográfica no microscópio óptico, as micrografias exibidas, respectivamente, nas Figuras 4 e 5, revelaram a presença de martensita, produzida na têmpera, responsável pela elevada dureza inicial atingida.

Figura 4 Aço P20, submetido: Têmpera e Revenido. Aumento: 500x.



Fonte: autores, 2019.

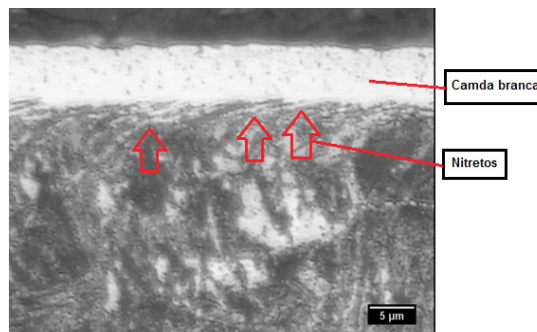
Figura 5 Aço P20, submetido: Têmpera e Revenido, seguido de Nitretação Líquida. Aumento: 500x



Fonte: autores, 2019.

A micrografia da Figura 6 mostra as camadas que surgiram após o processo de nitretação líquida, a partir da superfície da amostra até cerca de 15 µm de profundidade, onde podem ser visualizadas a camada branca e a camada de nitretos estáveis, na parte mais profunda da nitretação. A camada nitretada foi visualizada e medida. As amostras temperadas, revenidas e nitretadas atingiram dureza de 60 HRC, melhorando assim seu desempenho ao desgaste.

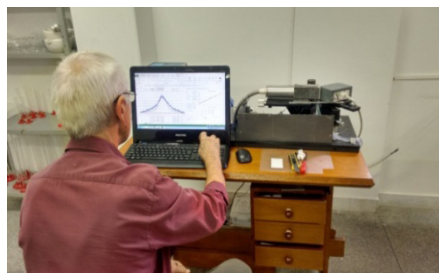
Figura 6 Aço P20, Nitretação Líquida a 573°C, por 2h e 30min.



Fonte: autores, 2019.

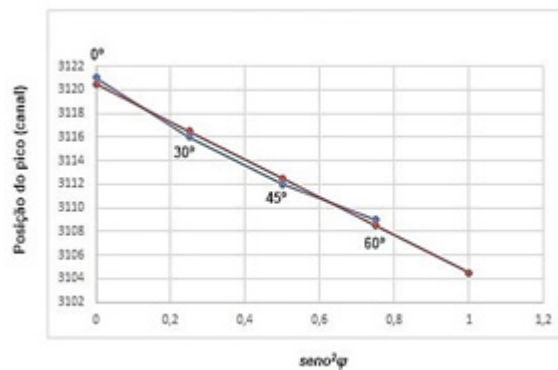
Durante o experimento de difração de raios-X na UNISUAM, foi observado que a Têmpera distorce muito a rede cristalina, resultando uma linha de difração muito larga, assim sendo, há necessidade de aumentar a intensidade para manter altura do pico, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 Ensaios de difração de raios-X do corpo-de-prova.



Fonte: autores, 2019.

Figura 8: Gráfico da função $\theta_\psi = f(\text{sen}^2 \psi)$, método “($\text{sen}^2 \psi$): ψ ” para tensões axiais: Linha azul – experimental; Linha vermelha – processo de regressão linear.



Fonte: autores, 2019.

Os ensaios de difração possibilitaram a medição de tensões residuais, geradas pela têmpera, da ordem de 25 MPa.

4 CONCLUSÃO

Os resultados alcançaram os objetivos desejados, de aumento de dureza superficial, através de tratamentos de Têmpera, Revenido e Nitretação Líquida, com características principais de resistência à corrosão, dureza, fadiga e coeficiente de atrito, tendo o processo térmico demonstrado melhor desempenho, tanto pela alta dureza apresentada no teste de dureza Vickers quanto na resistência à corrosão.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tratamentos Térmicos LTT/UEZO, UNISUAM e BRASTÊMPERA, por todo o suporte e disponibilidade de seus laboratórios para os ensaios. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. SAINT´CLAIR, Endersom Mota. **Mecânica da fratura aplicada em tubulação de aço carbono ASTM 672 Gr B60 e ASTM 106 Gr B usada em processos petroquímicos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Escola de Engenharias, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2014.
2. CALISTER JR., William, **Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro:LTC, 2006.
3. SANTOS, Rodrigo. **Estudo da nitretação líquida, têmpera e Revenido no aço P-20 utilizado em moldes**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2014.
4. CHIAVERINI, Valter. **Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas**. 1 ed.. São Paulo: ABM, 2003.
5. REED-HILL, Robert E. **Physical Metallurgy Principles**. 2 ed. London: Van Nostrand Reinhold, 1973.
6. BORRÔ JUNIOR, Antônio. **Estudo do efeito da Nitretação líquida e gasosa no comportamento mecânico de um aço ferramenta para trabalho a frio Sinterizado 2,3%C – 12,5%Cr -1,1%Mo – 4%V, Temperado e Revenido**. São Paulo, USP.
7. MONTEIRO, Wallace. **Caracterização de materiais por métodos físicos: técnicas de microscopia eletrônica aplicada a materiais de interesse nuclear**. Dissertação (Mestrado em Pesquisa Energéticas e Nucleares), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
8. NOVIKOV, I. **Teoria dos tratamentos térmicos dos metais**. 1. ed., Rio de Janeiro: UFRJ. 1994.
9. CHIAVERINI, V. **Aço Carbono e Aço Liga**. 1. ed.. São Paulo: ABM, 2009.