

TRATAMENTOS TÉRMICOS DAS LIGAS FERROSAS

THIAGO LINHARES ALMEIDA¹; ADROALDO JOSÉ SILVA DE MOURA FILHO²

¹Estudante de Engenharia Mecânica, UNIFOR, Fortaleza – CE, thiagolinhares.a25@gmail.com

²Professor da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Fortaleza-CE, adroaldo@unifor.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
4 a 6 de outubro de 2022

RESUMO: Este estudo apresenta tratamentos térmicos em amostras de aço SAE 1045, microscopia e medição da microdureza Vickers, bem como a análise dos dados obtidos. Os corpos de prova foram submetidos aos seguintes tratamentos térmicos: têmpera, recozimento pleno e normalização. Para a obtenção dos resultados foram necessários, além dos próprios tratamentos térmicos, a realização de uma preparação metalográfica das amostras, para assim tornar possível as etapas de microscopia e medição da dureza. As análises foram realizadas considerando o diagrama TRC do SAE 1045, bem como as microestruturas e valores esperados referentes a microdureza. Tem como objetivo atestar a eficácia dos tratamentos térmicos realizados, além de apresentar os parâmetros que influenciam na realização dos tratamentos térmicos. Foi realizada uma comparação com os dados presentes na literatura, bem como com informações fornecidas pelos fabricantes do aço SAE 1045. Chegando-se à conclusão que todos os tratamentos térmicos foram bem sucedidos, com exceção da normalização que não refinou como esperado o grão perlítico.

PALAVRAS-CHAVE: Têmpera, normalização, recozimento, aços.

HEAT TREATMENTS OF FERROUS ALLOYS

ABSTRACT: This study presents heat treatments on SAE 1045 steel samples, microscopy and Vickers microhardness measurement, as well as the analysis of the data obtained. The specimens were submitted to the following heat treatments: quenching, annealing and standardization. In order to obtain the results, in addition to the heat treatments themselves, a metallographic preparation of the samples was necessary, in order to make the microscopy and hardness measurement steps possible. The analyzes were carried out considering the TRC diagram of the SAE 1045, as well as the microstructures and expected values referring to microhardness. Its objective is to attest to the effectiveness of the heat treatments performed, in addition to presenting the parameters that influence the performance of heat treatments. A comparison was made with the data present in the literature, as well as with information provided by the SAE 1045 steel manufacturers. Coming to the conclusion that all heat treatments were successful, with the exception of standardization, which did not refine the pearlitic grain as expected.

KEYWORDS: Quenching, standardization, annealing, steels.

INTRODUÇÃO

Visando atender aos requisitos técnicos solicitados para as diversas aplicações dos aços, uma possibilidade é a realização de tratamentos térmicos que os possibilitam a alteração de suas propriedades o adequando para solicitações específicas. Tratamento térmico é um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades. (CHIAVERINI, 2002). Por meio dos tratamentos térmicos podem ser obtidos: remoção de tensões residuais, modificação da dureza e resistência mecânica, melhora da ductilidade, entre outros. Os tratamentos térmicos são influenciados principalmente pela temperatura de aquecimento, tempo de permanência de aquecimento, resfriamento e atmosfera do forno. (CHIAVERINI, 2002).

Para a realização deste estudo foram utilizadas amostras de aço SAE 1045. O aço em questão é classificado como aço médio carbono. Sendo utilizado na fabricação de engrenagens, eixos, além de peças para a mecânica em geral.

Tabela 1. Composição Química do aço SAE 1045.

Aço SAE 1045			
C	Fe	Mn	Resíduos
0,43% - 0,50%	98,52% - 98,89%	0,60% - 0,90%	0,08%

Fonte: Gerdau, 2003.

Baseando-se na literatura, bem como no diagrama TRC, neste estudo foram discutidos os resultados obtidos ao realizar os tratamentos térmicos de têmpera, recozimento pleno e normalização nas amostras do aço SAE 1045, visando verificar a construção do aço e a influência da composição química, analisar as fases obtidas a partir das taxas de resfriamento distintas. Os resultados foram obtidos por meio de micrografias e medições de microdureza das amostras.

MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova utilizados possuíam formato cilíndrico com 13 mm de espessura, ambos de aço SAE 1045. Os tratamentos térmicos, procedimentos metalográficos e análises de microestrutura e microdureza foram realizados nos Laboratórios de Engenharia Mecânica, na Universidade de Fortaleza (UNIFOR). O aquecimento dos corpos de prova ocorreu em um forno tipo mufla, marca Quimis. Para a realização dos três tratamentos térmicos efetuou-se o aquecimento dos corpos de prova até uma temperatura de 950 °C, deixando-os aquecer por um tempo de 1 minuto para cada milímetro de espessura. Ao atingir o tempo determinado para a permanência na temperatura de aquecimento, realizou-se a retirada de todos para dar início ao resfriamento. Sendo estes os meios em que foram submetidos:

- Recozimento Pleno: no interior do forno, com o mesmo desligado;
- Normalizado: no ar, sem estar em contato com nenhuma superfície;
- Têmpera: na água, realizando movimentos da peça na água;
- Têmpera: no óleo.

Além das quatro amostras tratadas em laboratório, foi realizada uma análise em uma amostra de aço SAE 1045 condição como recebido.

As amostras foram submetidas a preparação metalográfica, da seguinte forma: corte com auxílio de um disco abrasivo e resfriamento constante, por meio de uma cortadora metalográfica, marca AROTEC; embutimento em baquelite, por meio de uma embutidora metalográfica, marca AROTEC; lixamento em uma lixadeira/politriz, marca AROTEC, utilizando lixas de 220, 400, 600 e 1200 Mesh; polimento com pasta de diamante, por meio de uma politriz; e ataque químico com Nital 5%. A medição da microdureza foi realizada em um microdurômetro para microdureza Vickers, marca Shimadzu. Foram realizadas três medições para cada peça, com cada impressão à 1 mm de distância da anterior. Para a micrografia das amostras foram utilizadas principalmente as lentes de 500X e 1000X. A microscopia foi realizada em um microscópio metalográfico, marca Olympus, com monitor colorido e câmara de vídeo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos referentes a microdureza Vickers estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Tabela relacionando os corpos de prova e suas microdurezas obtidas para o aço SAE 1045.

Tratamentos Térmicos	Microdureza Vickers (N/mm ²)			Média (N/mm ²)
Normalização (Recebida)	271	277	305	284,3
Normalização	235	208	204	215,7
Recozimento Pleno	148	165	161	158
Têmpera em Óleo	290	304	304	299,3
Têmpera em Água	656	649	596	633,7

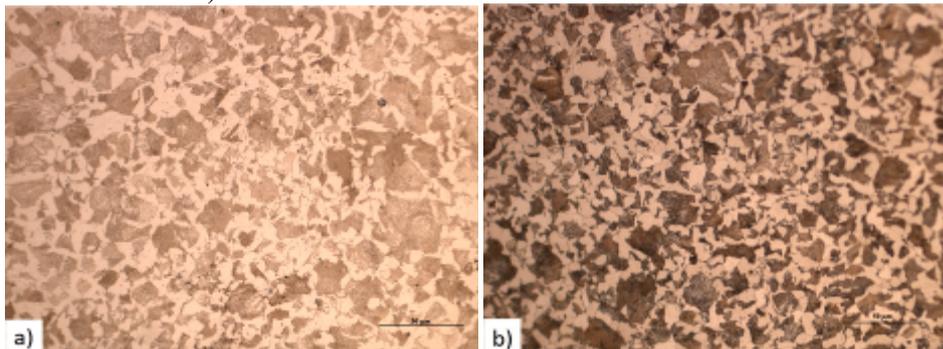
O aço SAE 1045 apresenta o diagrama TRC (Figura 1) de acordo com o Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels (1991):

Figura 1. Diagrama TRC para Aço SAE 1045.

Fonte: ASM International; George F. Vander Voort, 1991

A Figura 2 apresenta as micrografias obtidas com as amostras normalizadas.

Figura 2. Aços SAE 1045 submetidos a normalização com ampliação de 500 vezes. a) normalização em laboratório. b) normalizado de fábrica.



Analisando as micrografias obtidas percebe-se que apesar de haver dois corpos de prova submetidos a normalização, há uma diferença na sua microestrutura nitidamente, enquanto na peça normalizada durante o estudo apresenta um tamanho de grão maior, a peça recebida de fábrica já normalizada apresenta um tamanho de grão menor, aproximando-se mais do objetivo deste tratamento térmico, refino de grão. Supõe-se que a peça normalizada durante a prática apresenta tamanho de grão maior em decorrência da temperatura de aquecimento maior que o necessário.

Considerando as informações obtidas no diagrama TRC para o SAE 1045, nota-se que a sua temperatura de austenitização não atinge 800°C, contudo a temperatura utilizada para o aquecimento do corpo de prova foi de 950 °C, sendo muito superior a necessária. Segundo a literatura, a temperatura de aquecimento para a normalização é de 35°C até 40°C acima da temperatura de austenitização para aços hipoeutetóides. Devido a altas temperaturas, há um crescimento elevado dos grãos da austenita, gerando ao final do tratamento térmico grãos não tão refinados.

Se analisarmos os valores obtidos de microdureza Vickers para a peça normalizada durante a prática e a peça normalizada recebida de fábrica, os resultados corroboram ainda mais com a análise da microestrutura. A microdureza Vickers média obtida para a peça normalizada durante a prática foi de 215,7 N/mm², enquanto para a recebida de fábrica obteve-se o valor médio de 284,3 N/mm². Sabe-se que a dureza da perlita fina é consideravelmente maior do que a da perlita grossa, à depender do número do tamanho de grão. O objetivo para as duas peças é formar a perlita fina, porém em decorrência da temperatura alta de aquecimento, supõe-se que durante a normalização feita no estudo houve a formação de um gradiente maior de perlita com tamanho de grão de número 5 ou 4,

aproximadamente. Sendo este o motivo para a microdureza da peça normalizada durante a prática possuir valores tantos porcentos menor.

A Figura 3 apresenta a micrografia obtida na amostra recozida.

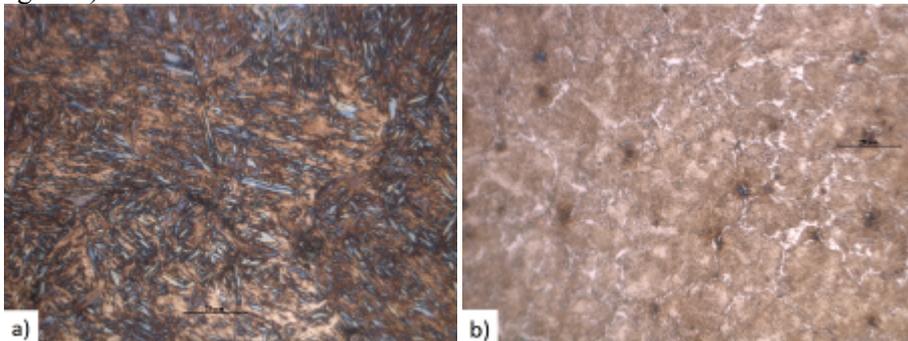
Figura 3. Aço SAE 1045 submetido a recozimento pleno com ampliação de 500 vezes.



Considerando a micrografia e microdureza Vickers obtida do corpo de prova submetido ao recozimento pleno, nota-se um tamanho de grão perlítico maior quando comparado a microestrutura das amostras normalizadas (Figura 2). A microestrutura obtida foi perlita grossa, em acordo com o esperado para o tratamento. Comparando o tamanho de grão da **Figura 3** com o da Figura 2 (a), é possível ver a formação da perlita grossa na amostra normalizada, porém em quantidade inferior como quando comparada com a peça recozida. A microdureza média obtida foi de 158 N/mm², sendo este o menor valor obtido entre todas as peças, este valor é justificado pelo tamanho de grão da perlita. Diferentemente do que é visto na normalização, a temperatura de 950°C utilizada durante o tratamento não prejudica o resultado final desejado, visto que uma temperatura nesta faixa contribui para a formação de perlita grossa.

A **Figura 4** apresenta as micrografias das amostras temperadas.

Figura 4. Aços SAE 1045 submetidos a têmpera com ampliação de 1000 vezes. a) resfriamento em água. b) resfriamento em óleo.

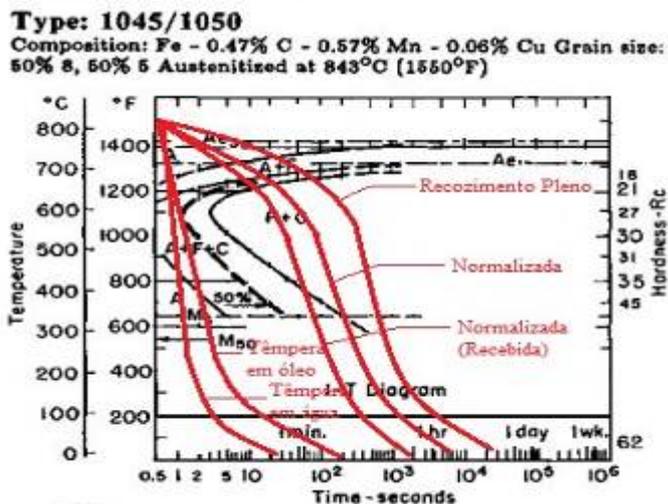


A amostra temperada e resfriada em óleo não apresenta as agulhas dos grãos da martensita, diferente do que pode ser visto na microestrutura da amostra temperada e resfriada em água, onde é possível ver uma granulometria mais refinada. Supõe-se que na amostra resfriada em óleo, onde a taxa de resfriamento é menor quando comparada a água, houve a formação de mais microconstituintes diferentes da martensita, como bainita e perlita fina. Já para a amostra resfriada em água, que apresenta elevada taxa de resfriamento, a formação de martensita foi maior. O objetivo do tratamento térmico de têmpera é formar a maior quantidade de martensita. Neste caso a temperatura de 950 °C não causa nenhum problema para a formação da martensita. Os valores de microdurezas obtidos corroboram exatamente com a análise das microestruturas, onde para a amostra resfriada em óleo sua microdureza Vickers média é de 299,3 N/mm², enquanto para a amostra resfriada em água o valor é de 633,7 N/mm². Esta diferença entre os valores pode ter sido causada exatamente pelo meio de resfriamento, gerando grande diferença entre as taxas de resfriamento. Não é possível afirmar se há uma dureza homogênea ao longo da profundidade da peça, visto que as medições realizadas foram

superficiais, contudo, para ambas as peças admite-se que toda a sua seção transversal foi temperada, visto que os três valores obtidos são próximos.

Considerando que todos os tratamentos térmicos atingiram os seus objetivos, além de todos os valores de microdureza e as micrografias obtidas, torna-se possível estimar as taxas de resfriamento presentes na Figura 5 no diagrama TRC para o aço SAE 1045.

Figura 5. Diagrama TRC para aço SAE 1045 com taxas de resfriamento.



CONCLUSÃO

Os tratamentos térmicos de recozimento e têmpera foram bem sucedidos de acordo com suas microestruturas e valores de microdureza.

O tratamento térmico com resultado mais distante do esperado foi o de normalização, que apresenta granulometria maior do que o esperado, além de valores de microdureza menores se comparada a peça recebida já normalizada.

Os tratamentos térmicos de recozimento pleno e têmpera com resfriamento em água, apresentam as microestruturas e os valores de microdureza mais próximos do esperado e do visto na literatura. Excluindo os dados obtidos da peça recebida normalizada, que claramente apresenta os valores e microestruturas mais corretos devido o processo ter sido realizado com maior controle de todos os fatores que influenciam os tratamentos térmicos.

Com a realização deste estudo, torna-se possível demonstrar a influência de alguns fatores na realização dos tratamentos térmicos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Mecânica da UNIFOR pela infraestrutura necessária e ao Mestre professor Adroaldo José Silva de Moura Filho pela motivação, tempo, auxílio e dedicação para a realização desse estudo.

REFERÊNCIAS

- ASM INTERNATIONAL; VANDER VOORT, G. F. Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels. United States of America, 1991.
- CHIAVERINI, V. Aços e ferros fundidos. 7.ed. São Paulo: ABM, 2002.
- CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica. Vol. 3. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- GERDAU. Manual de Aços. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf. Acesso em: 13 de agosto de 2022.
- SOUZA, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.