



ANÁLISE DOS CONSTITUINTES DO TRATAMENTO TÉRMICO DE REVENIDO NO AÇO SAE 1050

Thairan Ramos da Costa Matos, thairanmatos@hotmail.com

Fundação Técnico-Educacional Souza Marques - Av. Ernani Cardoso, 335 - Cascadura, Rio de Janeiro - RJ, 21310-310

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo comparar os constituintes provenientes do tratamento térmico de revenido com os constituintes provenientes do tratamento térmico de têmpera e do material sem tratamento térmico, através da análise metalográfica e do ensaio de dureza feito no mesmo material (aço SAE 1050). Estas análises mostram como as propriedades do material podem ser modificadas alterando apenas os parâmetros de cada tratamento térmico. A modificação dessas propriedades pode ser vista comparando a dureza de cada constituinte que surgiu em cada um dos tratamentos térmicos. Nesta pesquisa, foram utilizados seis constituintes, sendo quatro provenientes do tratamento térmico de revenido, um do tratamento térmico de têmpera e um do material que não recebeu tratamento térmico após sua fabricação.

Palavras chave: Tratamento térmico. Metalografia. Revenido. Aço SAE 1050.

Abstract: This research aims to compare the constituents from the heat treating of tempering with the constituents from the heat treating of quenching and with the material without heat treatment, through metallographic analysis and hardness test done on the same material (SAE 1050 Carbon Steel). These analyzes show how material properties can be modified by changing only the parameters of each heat treatment. The modification of these properties can be seen by comparing the hardness of each constituent that arose in each of the heat treatments. In this research, six constituents were used, four from tempering heat treatment, one from quenching heat treatment and one from the material that did not receive heat treatment after its manufacture

Keywords: Heat Treating. Metallography. Tempering. SAE 1050 Carbon Steel.

1. INTRODUÇÃO

Cada material possui propriedades e aplicações específicas e muitas delas são obtidas através de tratamentos térmicos que, quando feitos de forma correta, agregam características de acordo com a necessidade de sua aplicação.

O tratamento térmico é um procedimento utilizado para modificar as propriedades mecânicas de um determinado material controlando os seguintes parâmetros de tempo e temperatura: temperatura de aquecimento, tempo de permanência no forno e velocidade de resfriamento.

Um dos diversos tipos de tratamentos térmicos existentes é a têmpera, que tem como objetivo elevar a dureza e a resistência mecânica do material. Entretanto, com o aumento do nível de dureza, o material apresenta uma redução de outras propriedades, como a tenacidade, a resiliência e a ductilidade, o que torna o material mais frágil. Para corrigir o nível de dureza excessiva causado pela têmpera executa-se outro tratamento térmico, chamado de revenido, que tem como objetivo criar um alívio de tensões em um material previamente temperado. Este tratamento térmico reduz esse nível de dureza excessiva, aumentando outras propriedades mecânicas, tornando o material menos frágil. Esta redução de dureza varia de acordo com a temperatura em que é executado o tratamento térmico de revenido (quanto maior for a temperatura, menor será a dureza resultante).

2. DEFINIÇÃO

2.1. Têmpera

O tratamento térmico de têmpera é um tratamento destinado a aumentar a dureza e a resistência mecânica do material, aquecendo o mesmo a uma temperatura acima da zona crítica, para que ocorra a formação da austenita, seguido por um rápido resfriamento, formando uma estrutura chamada de martensita. Entretanto, esse tratamento térmico pode causar algumas falhas ao material, como o aumento da sua fragilidade, que deverão ser corrigidas posteriormente pelo tratamento de Revenido. (CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018).

2.2. Revenido

O tratamento térmico de revenido, também chamado de revenimento, é um tratamento que possui o objetivo de corrigir falhas provenientes do tratamento térmico de têmpera, tais como a dureza excessiva, que causa o aumento da fragilidade do material. O revenido nada mais é do que um alívio de tensões feito após a têmpera. (COLPAERT, Hubertus - Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008).

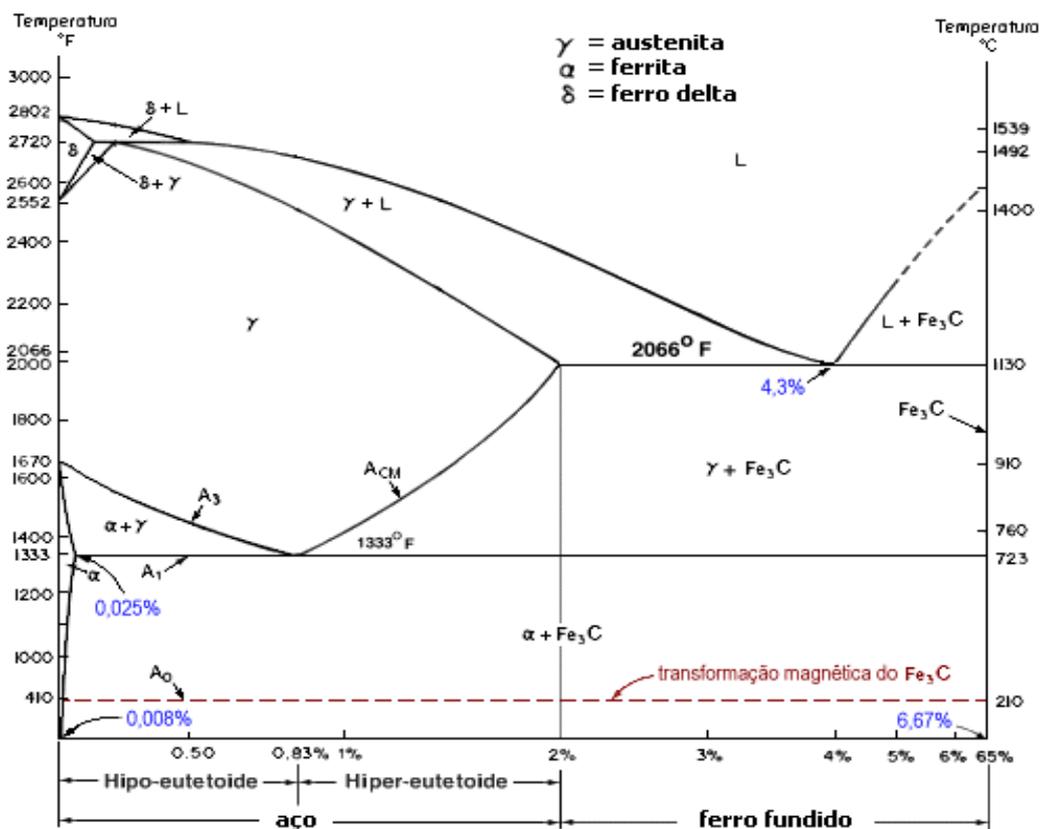
O tratamento de revenido consiste basicamente em aquecer o material temperado a uma temperatura abaixo da zona crítica para que não ocorra a formação da austenita (temperatura abaixo da linha A1 no Diagrama Fe-C (Fig. 1)), e, após isso, resfriá-lo lentamente ao ar livre ou mesmo dentro do forno. Seguindo estes parâmetros o resultado obtido é a alteração de algumas propriedades do material, como a diminuição da dureza e das tensões internas e o aumento da tenacidade, ductilidade, maleabilidade e resiliência.

3. DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO FERRO-CARBONO

O Diagrama de equilíbrio ferro-carbono, ou diagrama Fe-C, representa várias fases da liga ferro-carbono, através do percentual de carbono inserido em uma liga metálica com o ferro, em diversas faixas de temperatura. Esse diagrama também nos mostra duas ligas de ferro-carbono: o aço, que é caracterizado por um teor de carbono de até, aproximadamente, 2,1%, e o ferro fundido, que é caracterizado por um teor de carbono de até, aproximadamente, 6,7% (Fig. 1). (SILVA, Rubens Rodrigues da. Apostila de Materiais. Rio de Janeiro, 2010. 56p.)

Através desse diagrama, pode-se selecionar as faixas de temperatura para um determinado tratamento térmico do aço carbono de acordo com o seu percentual de carbono.

Figura 1. Diagrama de equilíbrio ferro-carbono (CIMM. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6434-diagramas-fe-fesub3subc#.XAaW4dtKjcs>. Acesso em: 25 nov. 2018.)



4. NOMENCLATURA

Foram divididos 12 corpos de prova para a análise metalográfica e ensaio de dureza. Cada corpo de prova recebeu uma nomenclatura específica (Tab.1), sendo 10 nomenclaturas destinadas aos corpos de prova que receberam tratamentos térmicos durante esta pesquisa (TE1, TE2, MR1, MR2, TR1, TR2, SO1, SO2, ES1 e ES2) e 2 nomenclaturas destinadas aos corpos de prova que não receberam nenhum tratamento térmico desde a sua fabricação. (LA1 e LA2).

Tabela 1. Nomenclatura de cada corpo de prova com seus respectivos tratamento térmico e o constituinte esperado após o procedimento laboratorial (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018).

CORPOS DE PROVA		
Nomenclatura	Tratamento Térmico	Constituinte Esperado
TE1	Têmpera	Martensita
TE2		
MR1	Revenido	Martensita Revenida
MR2		
TR1	Revenido	Troostita/Perlita Fina
TR2		
SO1	Revenido	Sorbita
SO2		
ES1	Revenido	Esferoidita
ES2		
LA1	Nenhum	Ferrita + Cementita
LA2		

5. PARÂMETROS DO TRATAMENTO TÉRMICO

Todo tratamento térmico possui os seguintes parâmetros:

- Temperatura de aquecimento.
- Tempo de permanência no forno (tempo de encharque).
- Velocidade de resfriamento.

Antes de iniciar o tratamento térmico de revenido, foram definidos todos os parâmetros para cada um dos constituintes esperados, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do tratamento térmico de revenido para seu respectivo constituinte (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018).

PARÂMETROS DO REVENIDO				
C.P.	Temperatura (°C)	Encharque (min)	Resfriamento	Constituinte
MR1	100	20	Temperatura Ambiente	Martensita Revenida
MR2	100	20		
TR1	250	20	Temperatura Ambiente	Troostita
TR2	250	20		
SO1	500	20	Temperatura Ambiente	Sorbita
SO2	500	20		
ES1	650	20	Temperatura Ambiente	Esferoidita
ES2	650	20		

6. DIAGRAMA DO TRATAMENTO TÉRMICO

O diagrama nos mostra, através dos parâmetros de temperatura e tempo, como é realizado o tratamento térmico de têmpera seguido pelo tratamento térmico de revenido, conforme a Fig. 2.

Figura 2. Diagrama do tratamento térmico (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018)



7. PROCEDIMENTO

7.1. Tratamento Térmico

Primeiramente, todos os corpos de prova passaram pelo tratamento térmico de têmpera, com exceção dos corpos de prova LA1 e LA2. A têmpera foi feita em um forno elétrico tipo mufla a 900°C (para que chegasse à fase de austenita), com o tempo de encharque de 10 minutos e, logo após, foi resfriado rapidamente em água para a formação da martensita.

Dos corpos de prova temperados, apenas dois não receberam o tratamento térmico de revenido (TE1 e TE2) e foram selecionados para a comparação com os demais corpos de prova.

Nos corpos de prova MR1 e MR2, o revenimento foi feito em um forno elétrico tipo mufla a 100°C, com o tempo de encharque de 20 minutos e depois foi resfriado lentamente a temperatura ambiente.

Nos corpos de prova TR1 e TR2, o revenimento foi feito em um forno elétrico tipo mufla a 250°C, com o tempo de encharque de 20 minutos e depois foi resfriado lentamente a temperatura ambiente.

Nos corpos de prova SO1 e SO2, o revenimento foi feito em um forno elétrico tipo mufla a 500°C, com o tempo de encharque de 20 minutos e depois foi resfriado lentamente a temperatura ambiente.

Nos corpos de prova ES1 e ES2, o revenimento foi feito em um forno elétrico tipo mufla a 650°C, com o tempo de encharque de 20 minutos e depois foi resfriado lentamente a temperatura ambiente.

7.2. Preparação dos Corpos de Prova

A primeira fase da preparação consiste em fazer um lixamento na superfície do corpo de prova.

Primeiramente, foi colocada a lixa adequada na lixadeira e então a mesma foi ligada junto com pequenas mangueiras de água que foram utilizadas para a refrigeração durante esse processo.

O corpo de prova foi posicionado com a superfície paralela à lixa até que toda a sua superfície ficasse plana após o lixamento.

O processo de lixamento inicia-se com a lixa de granulação mais grossa e termina com a lixa de granulação mais fina. A primeira lixa utilizada no processo foi a lixa número 100, depois dela foram usadas as lixas de número 220, 320, 400, 500 e 600. Após a troca de cada lixa, o corpo de prova é girado em 90° para que cada lixa retire todas as marcas da lixa anterior com uma nova direção.

Após o processo de lixamento, o corpo de prova é lavado para a remoção dos resíduos deixados pelas lixas. Inicia-se, então, o processo de polimento que é feito em uma máquina chamada de politriz que é regulada com a velocidade de 1000 rpm. O polimento foi feito utilizando a alumina de 1 microm (μ) como lubrificante.

Por fim, o corpo de prova foi lavado com água, limpo com um algodão molhado em sua superfície para a remoção das manchas brancas deixadas pela alumina e depois o álcool foi borrifado em sua superfície para que a água evaporasse mais rapidamente e, por fim, o corpo de prova foi secado com um secador metalográfico para evitar a oxidação do mesmo.

7.3. Análise Metalográfica

Primeiramente foi feito o ataque químico com Nital 2% durante 6 (seis) segundos na superfície do material que foi devidamente lixada e polida.

Após isso, o corpo de prova foi lavado com água e depois o álcool foi borrifado na superfície atacada quimicamente e por fim foi secado com o secador metalográfico para evitar a oxidação em sua superfície.

Após esse procedimento, o corpo de prova foi levado até o microscópio óptico para que sua microestrutura fosse analisada através de uma lente com aumento de 600x. Através de um software, a imagem foi capturada e digitalizada.

Esse procedimento foi feito em todos os corpos de prova para que no final todas as imagens capturadas fossem comparadas entre si.

7.3.1 Martensita

A martensita (Fig. 3) é o constituinte formado após o tratamento térmico de têmpera, portanto possui a dureza mais elevada dentre os constituintes apresentados nesta pesquisa.

Figura 3. Imagem do constituinte martensita com aumento de 600 vezes (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018)



7.3.2 Sorbita

A sorbita (Fig. 4) é um exemplo dos vários constituintes que podem ser formados após o tratamento térmico de revenido. Sua dureza, assim como a de todos os constituintes do revenido, se encontra menor do que a dureza da têmpera e maior do que a dureza do material que não recebeu tratamento térmico após sua fabricação.

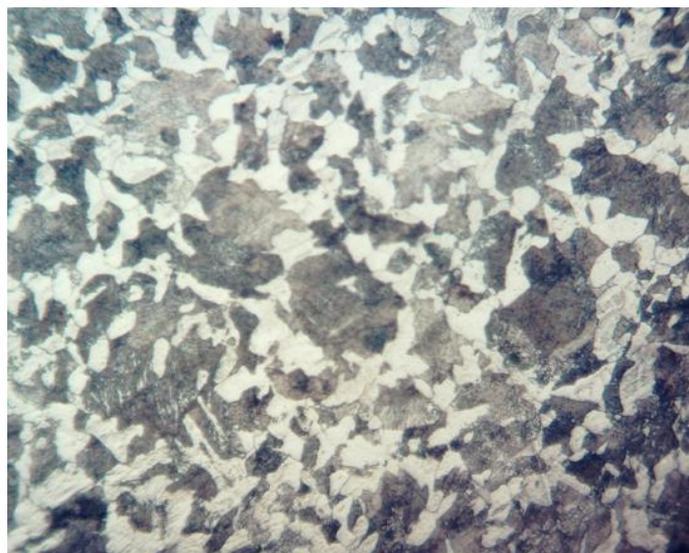
Figura 4. Imagem do constituinte sorbita com aumento de 600 vezes (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018)



7.3.3 Ferrita e Cementita

A ferrita e a cementita (Fig. 5) são constituintes que são apresentadas em um material em condições normalizadas, ou seja, que não passaram por tratamentos térmicos de endurecimento. Podem ser encontrados também como resultantes de outros tratamentos térmicos como a normalização ou o recozimento. Neste caso, o material não recebeu tratamento térmico após a sua fabricação.

Figura 5. Imagem dos constituintes ferrita e cementita com aumento de 600 vezes (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018)



7.4. Ensaio de Dureza

Depois da análise metalográfica ter sido feita, foi feito o ensaio de dureza, que é utilizado para medir a dureza do material através de um equipamento chamado durômetro. Neste ensaio utilizamos o cone de diamante como penetrador e a escala de dureza Rockwell C. A Tab. 3 mostra o resultado dos ensaios de dureza feito em cada corpo de prova e a Fig. 6 mostra a comparação da dureza dos constituintes.

Tabela 3. Resultado do ensaio de dureza feito em cada corpo de prova (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018).

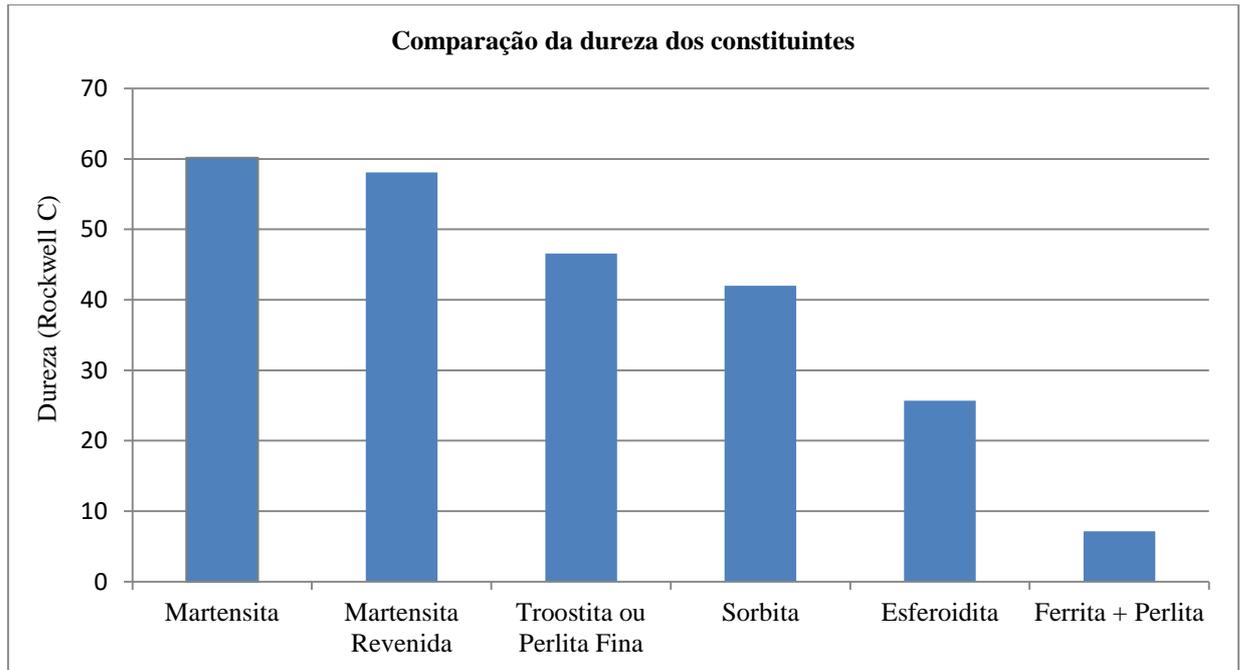
DUREZA (Rockwell C)							
C.P.	Constituinte	Tratamento	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média para cada C.P.	Média para cada constituinte.
TE1	Martensita	Têmpera	59,5	61	61	60,50	60,17
TE2	Martensita	Têmpera	59	60	60,5	59,83	
MR1	Martensita Revenida	Revenido	58,5	60	60,5	59,67	58,08
MR2	Martensita Revenida	Revenido	55	57	57,5	56,50	
TR1	Troostita	Revenido	51,5	52	51	51,50	47,42
TR2	Troostita	Revenido	43,5	43	43,5	43,33	
SO1	Sorbita	Revenido	41	43	41	41,67	41,17
SO2	Sorbita	Revenido	40,5	40,5	41	40,67	
ES1	Esferoidita	Revenido	24,5	26,5	26,5	25,83	25,67
ES2	Esferoidita	Revenido	25	26	25,5	25,50	
LA1	Ferrita + Perlita	Nenhum	5	6,5	7,5	6,33	7,17
LA2	Ferrita + Perlita	Nenhum	7,5	8	8,5	8,00	

Primeiramente o material foi posicionado em um equipamento chamado de durômetro e foi posto uma pré-carga de 150 kg sobre ele. Após isso, o processo se iniciou com a descarga do peso da máquina sobre o corpo de prova durante 10 segundos e então foi aferida a dureza do material trabalhado. Esta medição foi feita em três diferentes pontos em cada um dos corpos de prova e assim foi feita uma média aritmética com o resultado para cada corpo de prova e outra média aritmética para cada constituinte.

Com base no ensaio de dureza feito nos corpos de prova, as durezas de cada um dos constituintes (representadas pela letra “H”) foram classificadas da seguinte forma:

H Martensita > H Martensita Revenida > H Troostita > H Sorbita > H Esferoidita > H Ferrita + Cementita

Figura 6. Comparação da dureza dos constituintes. (Matos, Thairan Ramos da Costa, 2018)



8. CONCLUSÃO

Após todo o procedimento laboratorial dos tratamentos térmicos, análise metalográfica e ensaio de dureza, conclui-se que se pode alterar as propriedades mecânicas do mesmo material sem alterar a sua composição química, apenas modificando os parâmetros do tratamento térmico realizado no mesmo.

Analisando os resultados pode-se afirmar que quanto maior é a temperatura de aquecimento do forno durante o tratamento térmico de revenido, menor é sua dureza.

Quando se aumenta a dureza de um material, também se aumenta a sua resistência mecânica. Entretanto, propriedades como a resiliência, maleabilidade, ductilidade e tenacidade são reduzidas. Além disso, uma dureza excessiva pode tornar o material muito frágil, por isso, o tratamento térmico de revenido se mostra indispensável para o alívio das tensões internas de um material que passou previamente pelo tratamento térmico de têmpera, diminuindo a sua fragilidade e aumentando propriedades que foram reduzidas com o aumento excessivo da dureza.

9. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus, ao meu pai, Horacio da Costa Matos, por sempre investir na minha educação, aos professores Rubens Rodrigues da Silva e Claudio Vidal Teixeira e à Faculdade de Engenharia Souza Marques.

10. REFERÊNCIAS

- CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2018. 805 p.
- CIMM. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6434-diagramas-fesub3subc#.XAaW4dtKjcs>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- COLPAERT, Hubertus - Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 652p.
- SILVA, Rubens Rodrigues da. Apostila de Materiais. Rio de Janeiro, 2010. 56p.

11. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.