



**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
ENGENHARIA MECÂNICA**

## **TRATAMENTOS TÉRMICOS**

Luis Guilherme Seidel

Lajeado, maio de 2016

Luis Guilherme Seidel

## **TRATAMENTOS TÉRMICOS**

Trabalho prático realizado na disciplina de Tratamentos Térmicos e de Proteção Superficial, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como parte integrante da segunda nota da disciplina.

Professor: Diego Pereira Tarragó

Lajeado, maio de 2016

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. PARTE EXPERIMENTAL
3. RESULTADOS
4. CONCLUSÃO

## 1 INTRODUÇÃO

Os tratamentos térmicos são ciclos de aquecimento e resfriamento feitos nos metais, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou dar-lhes determinadas características, porém sem mudar a forma do produto.

Esses tratamentos também podem ocorrer quando não são requeridos, sendo um efeito colateral de um processo de fabricação que cause aquecimento ou resfriamento, como a soldagem ou forjamento.

Os principais objetivos dos tratamentos térmicos são os seguintes:

- Remoção de tensões internas (oriundas de resfriamento desigual, trabalho mecânico ou outras);
- Aumento ou diminuição da dureza;
- Aumento da resistência mecânica;
- Melhora da ductilidade;
- Melhora da usinabilidade;
- Melhora da resistência ao desgaste;
- Melhora das propriedades de corte;
- Melhora da resistência à corrosão;
- Melhora da resistência ao calor;
- Modificação das propriedades elétricas e magnéticas.

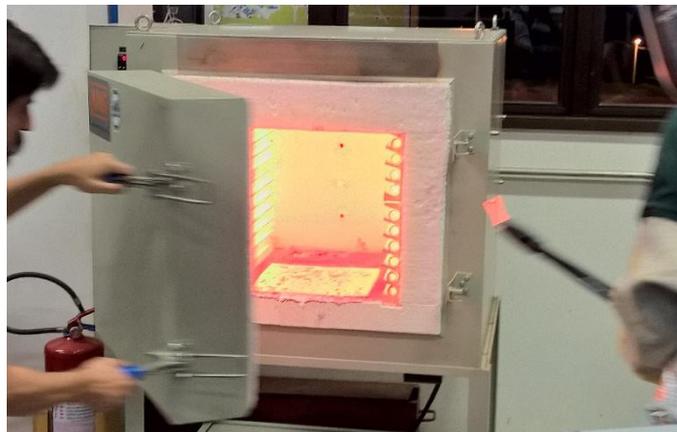
Em geral, a melhora de uma ou mais propriedades, mediante um determinado tratamento térmico, é conseguida com prejuízo de outras.

## 2 PARTE EXPERIMENTAL

Para esse experimento foram utilizados quatro corpos de prova de aço 1045, previamente prontos e colocados em um forno a 930°C por aproximadamente uma hora. Ao retirar esses corpos de prova do forno, cada um foi resfriado de uma maneira diferente até a temperatura ambiente.

A primeira amostra foi normalizada, ou seja, resfriada ao ar, a segunda e a terceira amostras foram temperadas, resfriada em água e óleo, respectivamente, e a quarta e última amostra, foi recozida, resfriada dentro do forno.

Figura 1 – Peças sendo retiradas do forno.



Pela indisponibilidade de tempo, não podemos realizar a metalografia na peça recozida. Então, utilizamos, somente, as peças Normalizada e Temperadas.

Figura 2 – Corpo de prova resfriado na água.



Figura 3 – Corpo de prova resfriado ao óleo e amostra retirada ao lado.



Como é possível notar pequenas cascas saem do material, isso se deve a elevada oxidação que ocorreu durante o resfriamento. Também notamos que na peça temperada ao óleo, isso ocorreu em menor quantidade.

Com três corpos de prova resfriados foram cortadas uma amostra de cada um para fazermos o embutimento a quente em baquelite e posterior análise metalográfica. O corte da peça foi feito com um disco giratório e resfriamento a base de água sendo direcionada a ela no momento do corte. Apesar de existir o resfriamento, o calor que é desenvolvido pelo disco de corte acaba afetando a camada mais externa da peça, criando deformações, logo, essa zona afetada precisa ser removida para não falsear os resultados das análises posteriores. O tamanho da peça foi dimensionado pensando no tamanho da embutidora.

Para embutirmos as peças, enchamos o cilindro de embutimento com pelets de baquelite e uma amostra do corpo de prova normalizado. Em seguida, ligamos a

máquina que começa a aquecer a peça e elevamos a pressão até 100 bar, a qual devíamos manter constante manualmente até que a própria máquina conseguisse manter a pressão. Isso é necessário, pois quando os pellets de baquelite começam a se fundir, devem preencher todos os espaços intergranulares.

Quando a temperatura de embutimento chega em 140°C a pressão aumenta a aproximadamente, 120 bar, na qual o baquelite se expande devido a temperatura. Nesse processo, a temperatura máxima foi de 193°C, quando começou o resfriamento lento da amostra, ao chegar em 163°C, o resfriamento do baquelite é feito com água. A peça feita de baquelite tem sua serventia quanto ao manuseio na hora de lixar ou fazer o ataque químico, assim como garante que a superfície exposta ficará mais plana possível.

Figura 4 – Embutidora.



O lixamento das amostras foi feito nas lixas de mesa, conforme a figura 5, visto que há quatro tipos de lixas de diferentes granulometrias (220, 320, 400, 600). Antes de começar o lixamento, marcamos na baquelite uma linha vertical para orientarmos a direção do movimento. Então demos início ao processo, lixando em um movimento

vertical, primeiramente, na lixa mais grosseira até linhas de desgaste estarem orientadas numa direção preferencial e ficarem visíveis no material.

Figura 5 – Mesa de lixas.



Passamos, então, para uma lixa mais fina, girando a baquelite em 90° e continuamos o processo até as linhas estarem orientadas na nova direção. Depois passamos para outra lixa, ainda mais fina que a anterior, também girando a baquelite em 90°, até termos linhas mais sutis e a amostra ficou conforme demonstrado pela figura 4.

Mais uma vez, giramos a baquelite e passamos para uma lixa com maior granulometria, dessa vez, a lixa dava um aspecto de polimento ao material.

Em seguida, fomos para a politriz de polimento (figura 5) que contém um pano onde despejamos uma pequena quantidade alumina de 0,3  $\mu\text{m}$  diluída em água (figura 6), e começamos o processo até a amostra estar com aspecto brilhoso e reflexivo, conforme figura 7. Após limpamos a peça com água e secamos cuidadosamente com papel toalha para não riscar a peça.

Figura 6 – Politriz Lixadeira



Logo, levamos a peça para realizar um ataque químico com ácido Nital 3% com o objetivo de revelar a microestrutura da peça, removendo a camada de inclusões, para isso, deixamos a peça durante três segundos no ácido e lavamos com água e depois secamos com papel toalha. Foi percebido que a peça perdeu seu aspecto brilhoso, conforme figura 9. O tipo de ácido usado influencia no contraste entre ferrita e cementita, sendo o mais indicado para aços carbono, ferramenta e ligados. Ele também é capaz de revelar o contorno de grão ferrítico.

Em seguida, levamos a amostra para o microscópio afim de vermos sua microestrutura.

Figura 7 – Microscopia do aço temperado no óleo

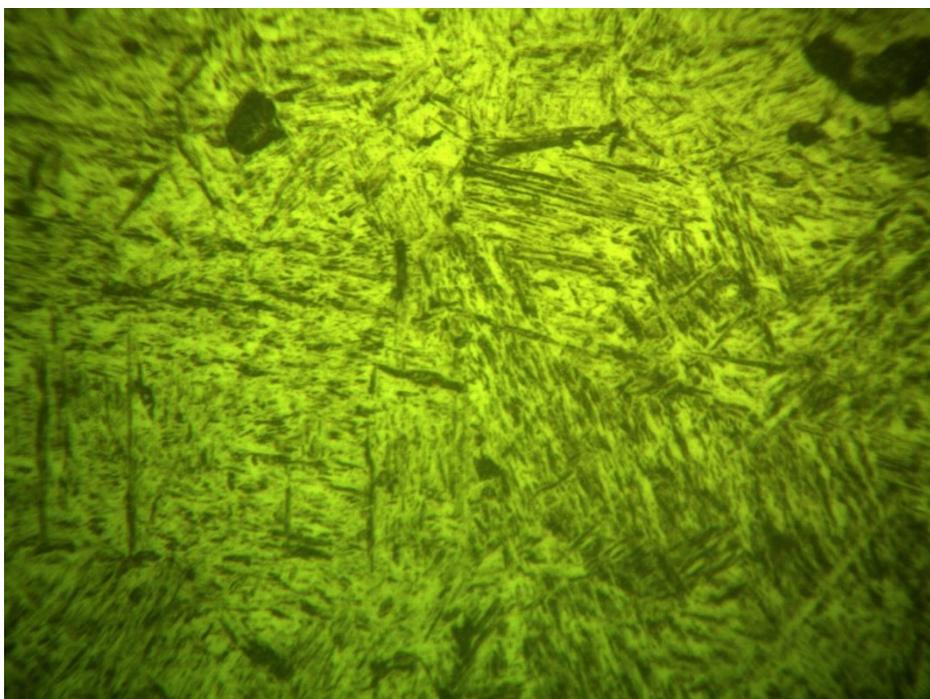


Figura 8 – Microscopia do aço temperado na água

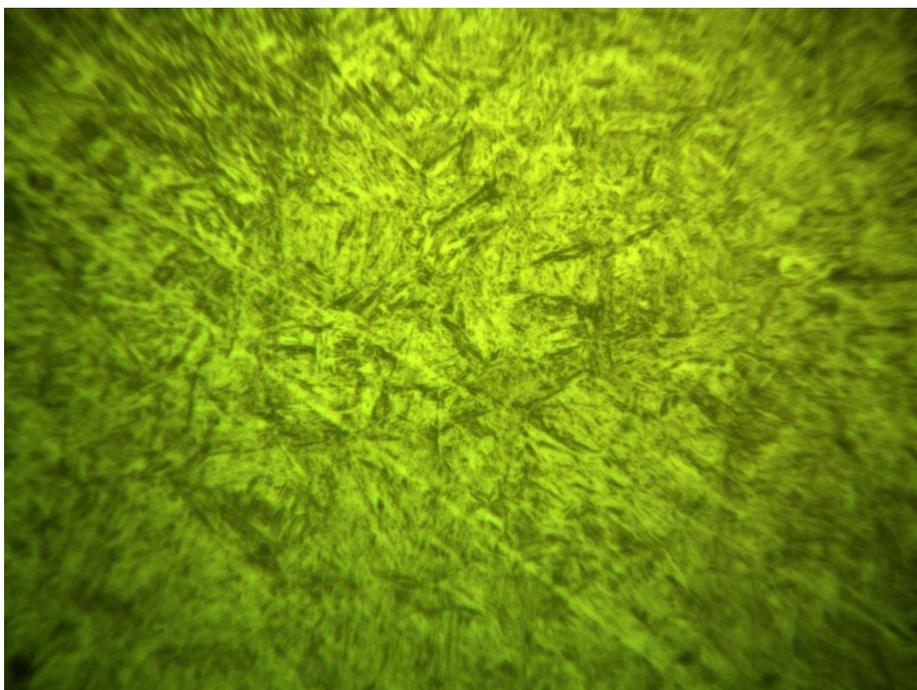
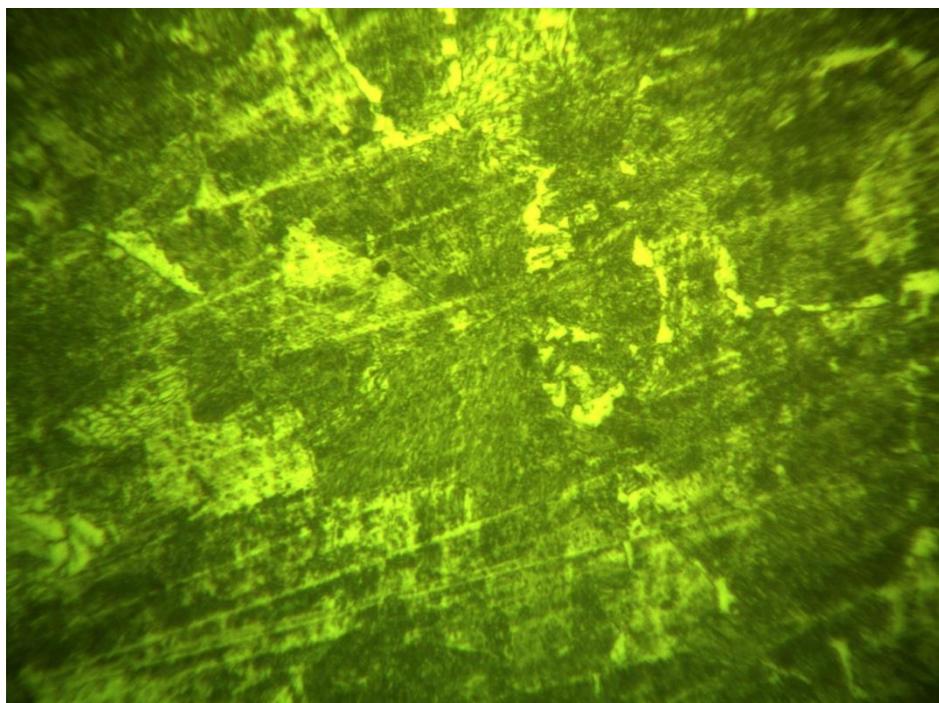


Figura 9 – Microscopia do aço Normalizado



Para a realização do ensaio de tração, foram utilizados quatro corpos de prova do aço 1045.

Levamos os corpos de prova para uma máquina que faz os ensaios de tração. Depois realizamos o ensaio de tração para os mesmos, fixando bem, o corpo de prova na máquina de maneira vertical, sentido do movimento de tração. O modelo do equipamento era VERSAT-1000K, cuja célula de carga imprimia 100Kgf, com velocidade de 3mm/min.

O ensaio de tração aplica uma força vertical, crescente na direção axial, sendo, então, medidas as deformações até a ruptura do corpo. Dessas medidas de forças e deformações, extraímos um gráfico de tensão deformação.

### 3 RESULTADOS

Após o rompimento dos quatro corpos de prova no ensaio de tração, obtivemos os seguintes resultados, conforme demonstrados no gráfico e na tabela abaixo.

Gráfico 1 - Tensão x Deformação

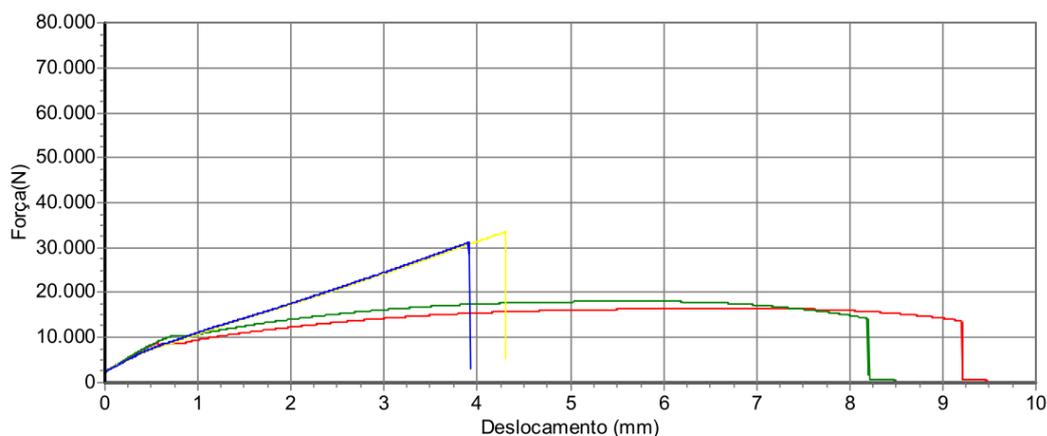


Tabela 1 - Dados colhidos do ensaio

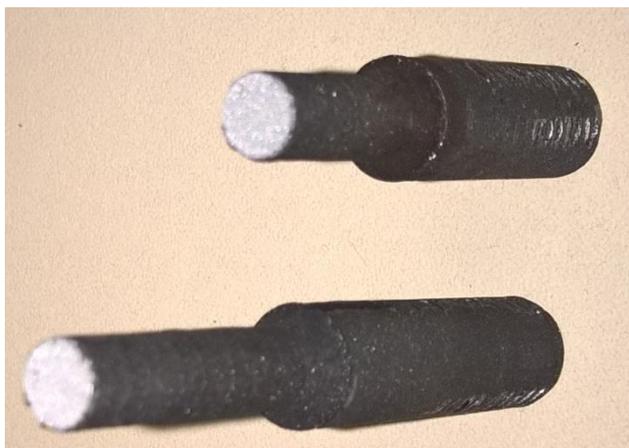
Nome do Lote:	TOTOS P2	Data do Lote:	19/04/2016
Nome do Método:	P2MM/MIN	Tipo do Extensômetro:	Nenhum
Tipo do Equipamento:	Versat-1000K	Célula de Carga	100 Kgf
Velocidade do Ensaio:	3 mm/min	Sentido do Ensaio:	Tração
Ensaio Realizados:	4	Ensaio Válidos	4

Dados Técnicos do Lote

Ensaio	Área do C.P.	Força Máxima	Resistência Máxima	Deformação Permanente	Patamar de Escoamento	Módulo de Elasticidade
Numero	mm <sup>2</sup>	N	MPa	%	MPa	MPa
4	33,696	16441	487,9	11,608	476,5	2237
3	28,086	18063	643,1	13,650	579,8	4729
2	28,369	33534	1182,1	0,011	1145,0	9521
1	29,225	31186	1067,1	0,004	1022,4	9132
<b>Média</b>	29,844	24806	845,1	6,32	805,9	6405
<b>Mediana</b>	28,797	24624	855,1	5,81	801,1	6930

O primeiro corpo de prova a ser testado foi o temperado ao óleo. A força máxima utilizada para o rompimento foi de 33534 N e a sua resistência máxima foi de 1182,1 Mpa. Conforme demonstrado pela figura 10 e pelo gráfico, houve uma fratura frágil no corpo de prova.

Figura 10 – Fratura frágil no corpo temperado no óleo.



O segundo corpo a ser testado foi o temperado na água, para o qual a força máxima utilizada para o rompimento foi de 33534 N e a sua resistência máxima foi de 1182,1 Mpa. Nesse corpo de prova, observando a figura e o gráfico, também notamos uma fratura frágil.

Figura 11 – Fratura frágil no corpo temperado na água.



O terceiro corpo de prova testado foi o normalizado que obteve 18063 N de força máxima e 643,1 Mpa de resistência máxima. Nesse corpo de prova a fratura foi dúctil, observando a estrutura “taça e cone” no corpo de prova rompido e a área do gráfico, sobre a linha verde.

Figura 12 – Fratura dúctil no corpo de prova resfriado ao ar.



O quarto corpo de prova testado foi o recozido que obteve 16441 N de força máxima e 487,9 Mpa de resistência máxima. Sua fratura também foi do tipo dúctil, observando a linha vermelha no gráfico.

Após os testes de tração, foram realizados três testes de durezas nas peças extraídas dos corpos de prova, e eles apresentaram os seguintes resultados, com exceção da amostra recozida – resfriada ao forno – que demorou muito para resfriar e não podemos realizar a metalografia.

- ❖ Normalizada:  
Dureza: 13HRc; 16HRc; 16HRc.
- ❖ Resfriamento em água:

Dureza: 50HRc; 50HRc; 54HRc.

❖ Resfriamento em óleo:

Dureza: 50HRc; 49HRc; 50HRc.

## 4 CONCLUSÃO

Após os processos de tratamentos térmicos, observando as linhas azul e amarela no gráfico 1 e as microscopias das figuras 7 e 8, percebemos que os corpos de prova que foram temperados, tanto na água como no óleo, tiveram sua microestrutura modificada, tanto que desenvolveram um comportamento frágil no teste de tração, porém sua dureza aumentou consideravelmente, visto que foram os corpos de prova com os maiores valores de dureza e também de resistência no teste de tração. Porém, em detrimento da maior dureza desenvolvida pelos dois corpos de prova, foi sua ductilidade, motivo pelo qual apresentaram fraturas frágeis. Outro motivo do aumento da dureza, foi pela formação da martensita na microestrutura.

Já o aço normalizado e o recozido obtiveram uma menor dureza no teste, em compensação tiveram fraturas dúcteis, ou seja, absorveram mais energia antes de romperem, conforme apresentado pelas linhas verde e vermelha no gráfico. Essa falta de dureza se caracteriza pela não formação de martensita na microestrutura, como pode ser observado na figura 9, a qual apresenta a microestrutura do aço normalizado somente com ferrita e cementita.

Então, concluímos que os tratamentos térmicos podem influenciar na utilização de um aço, como no caso apresentado. Logo, ao invés de fabricar um aço com maiores valores de carbono para se obter maior dureza, podemos simplesmente fazer um tratamento térmico, desde que o mesmo seja mais economicamente viável. Também, com os tratamentos de recozimento e normalização, podemos deixar um aço mais dúctil, maleável e usinável, preparando o mesmo para um próximo passo de fabricação, por exemplo, ou adequando aos mais diversos usos.