Estudo e Avaliação do Tempo de Permanência a Temperatura no Tratamento Térmico de Têmpera do Aço SAE 1045

Denisson R. Trindade, Paulo H. Q. Santos, Rosemberg F. N. Rodrigues, Márcio J. Dias, Eduardo C. M. Faria & Adailton N. de Castro

A fim de diversificar a utilização dos aços comuns nas indústrias, é preciso que sua estrutura cristalina seja modificada, para tanto, são realizados tratamentos térmicos e termoquímicos. Para realização desses tratamentos, são considerados os seguintes fatores: aquecimento, tempo de permanência e o resfriamento. Este trabalho teve como objetivo o estudo do tempo de permanência a temperatura para realização do tratamento térmico de têmpera do aço SAE 1045. Para esse fim, foram utilizados 25 corpos de provas de massas iguais, divididos em 5 grupos, e cada grupo de peças foi submetido a diferentes tempos de permanência, variando 1 hora para cada exposição. Analisando o resultado dos testes de dureza e das análises micrográficas, constatou-se que quanto maior o tempo de permanência, maior será a alteração da estrutura cristalina e também a sua dureza (resistência a penetração). Obteve-se aumento de dureza de até 346% comparando os resultados antes da realização da têmpera.

Palavras-chave: dureza; resistência mecânica; propriedades mecânicas

In order to diversify the use of common steels in the industries, it is necessary that its crystalline structure be modified, for which thermal and thermochemical treatments are carried out. To perform these treatments considered are the following factors: heating, dwell time and cooling. The objective of this study was to study the annealing temperature of SAE 1045 steel. For this purpose, 25 equal mass tests were used, divided into 5 groups and each group of pieces submitted to different residence times, varying 1 hour for each exhibition. Analyzing the results of the tests of hardness and micrographic analyzes, it was verified that the longer the permanence, the greater the change in the crystalline structure and also the hardness (resistance to penetration). A hardness increase of up to 346% was obtained by comparing the results before tempering.

Key words: hardness; mechanical strength; mechanical properties

Jan / Jun de 2017 Revista Processos Químicos 67

Introdução

Desde a Idade Média, o aço é de fundamental importância para a sobrevivência do homem, possibilitando que fizesse ferramentas que o auxiliavam em sua sobrevivência. Conciliado com as técnicas de manuseio do fogo e da manutenção da temperatura, foi possível diversificar as formas de utilização alterando as suas propriedades mecânicas, e possibilitando maior dureza, tenacidade, resistência mecânica e dentre outros. Os romanos, no ano de 55 a.C, já utilizavam uma técnica que tornava o ferro mais duro quando aquecido durante longo tempo num leito de carvão vegetal e resfriado, em seguida, em salmoura. Essas técnicas são conhecidas como Tratamentos Térmicos e Termoquímicos 1,4,5.

Tratamento Térmico é todo processo de aquecimento de um material a uma dada temperatura e esfriado rapidamente após certo tempo, dando ao material propriedades especiais. Os tratamentos térmicos são os de Alivio de tensões, Normalização, Recozimento, Têmpera, Revenimento, Austêmpera e Martêmpera. Já os Tratamento Termoquímicos são processos de endurecimento superficial que consiste na modificação da composição química através de elementos aplicados na superficie do aço. Esses tipos de tratamentos são conhecidos como Cementação, Nitretação, Cianetação, Carbonitretação, Nitrocarbonetação, Boretação e Tratamentos Termorreativos 1.2.4.

Este trabalho teve como objetivo o estudo do tempo de permanência a temperatura para realização do tratamento térmico de têmpera do aço SAE 1045.

Referencial Teórico

TRATAMENTO TÉRMICO

É o conjunto de operações de aquecimento em que são submetidos os aços e ligas, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas ^{2,4,5}.

Os tratamentos térmicos dos aços e ligas especiais englobam uma das mais amplas faixas de temperaturas

dentre os processos industriais, variando desde o tratamento a temperaturas abaixo de 0° C, para estabilização, até a austenitização de alguns tipos de aços rápidos a 1280°C. Além disso, diversas taxas de resfriamento são empregadas, visando permitir a obtenção da exata estrutura desejada ^{2,3}.

A importância do tratamento térmico é evidenciada pela simples enumeração de alguns dos objetivos visados: remoção de tensões, aumento ou diminuição da dureza, aumento da resistência mecânica, melhora de 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 magnética 4.

Fatores que influenciam nos tratamentos térmicos

Diversos fatores devem ser levados em conta na realização do tratamento térmico. Os fatores a serem inicialmente considerados são: aquecimento, tempo de permanência a temperatura e resfriamento. Além desses, outros de grande importância é a atmosfera do recinto de aquecimento, visto que sua qualidade tem grande influência sobre os resultados finais dos tratamentos térmicos².

O gráfico da Figura 1 é um exemplo aproximado para um aço eutetoide, considerado inicialmente em temperatura na região da austenita (acima de 727°C, linha A) e posteriormente resfriado.

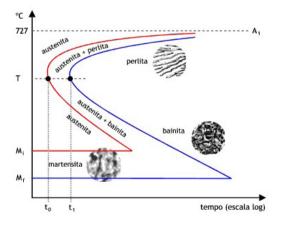


Figura 1. Gráfico TTT (tempo, temperatura e transformação) 4.

Diagrama tempo-temperatura-transformação que apresenta curvas de início e término de transformação austenítica para uma determinada temperatura e tempo. Alguns fatores têm influência direta na posição das linhas de início e fim de transformação das curvas TTT. Um deles é o teor de carbono. Homogeneidade da austenita também pode influenciar no diagrama ⁴.

AQUECIMENTO

O aquecimento é geralmente utilizado a uma temperatura crítica, porque então se tem completa austenitização do aço, ou seja, total dissolução do carboneto de ferro no ferro gama: essa austenitização do aço é o ponto de partida para transformações posteriores desejadas, as quais se processarão em função da velocidade de resfriamento adotada. Na fase de aquecimento, devem sem apropriadamente considerada as velocidades de aquecimento e a temperatura máxima de aquecimento².

A velocidade de aquecimento apresenta certa importância, principalmente quando os aços estão em estado de tensão interna ou possuem tensões residuais devidas a encruamento prévio ou ao estado inteiramente martensítico porque, nessas condições, um aquecimento muito rápido pode provocar empenamento ou mesmo aparecimento de fissuras. Já temperatura máxima de aquecimento é um fator fixo determinado pela natureza do processo e dependendo das propriedades e das estruturas finais desejadas, assim como da composição química do aço, principalmente do seu teor de carbono. Quanto mais alta essa temperatura, acima da zona crítica, maior segurança se tem da completa dissolução das fases no ferro gama; por outro lado, maior será o tamanho de grão da austenita².

Tempo de Permanência a Temperatura de Aquecimento

A influência do tempo de permanência do aço à temperatura escolhida de aquecimento, é mais ou menos idêntica à de máxima temperatura de aquecimento, isto é, quanto mais longo o tempo à temperatura considerada de austenitização, tanto mais completa a dissolução do carboneto de ferro ou outras fases presentes no ferro gama, entretanto maior o tamanho de grão resultante. Se o tempo de permanência for muito longo, pode também aumentar a oxidação ou descarbonetação do material. Sob o ponto de vista de modificação estrutural, admite-se que uma temperatura ligeiramente mais elevada seja

mais vantajosa que um tempo de permanência mais longo em uma temperatura inferior^{2,4}. Fator e variável que são objetos de estudos desse trabalho

RESFRIAMENTO

Este é o fator mais importante, pois ele que determinará efetivamente a estrutura e, em consequência, as propriedades finais dos aços. Os meios de resfriamento mais usais são: ambiente do forno, ar e meios líquidos. O resfriamento que menos se tem uma mudança drástica é o realizado no interior do forno e ele se torna mais severo à medida que se passa para o ar ou para um meio líquido, em que a extrema agitação dá origem aos meios de resfriamento mais drásticos ou violentos. Para a escolha de um desses meios de resfriamento, os fatores a serem considerados são os tipos de estruturas finais desejadas a uma determinada profundidade, a seção e a forma da peça².

ACOS CARBONO

A maior quantidade de aço consumida pertence à categoria dos aços carbono. Isto se deve ao baixo custo, em relação aos aços ligados e à ampla gama de propriedades que pode ser obtida mediante variação do teor de carbono e do estado de fornecimento (encruado, temperado, etc.) 3.

Pode-se estabelecer a seguinte subdivisão dos aços carbono para fins de aplicação:

Aços de baixo teor de carbono, esses aços contêm geralmente menos do que aproximadamente 0,25%p C e não respondem a tratamentos térmicos, um aumento da resistência é obtido através de trabalho a frio. Possuem uma ductilidade e uma tenacidade excepcionais, e dentre todos os tipos de aços, são os mais baratos. São utilizados em carcaças de automóveis e chapas que são usadas em tubulações[...] Aços de médio carbono possuem concentrações de carbono entre aproximadamente 0,25 e 0,60%p. Essas ligas podem ser tratadas termicamente por autenitização, têmpera e então revenido para melhorar suas propriedades mecânicas. São aplicadas em rodas e trilhos de trem, engrenagens, virabrequins dentre outras aplicações[...] Aços de alto teor de Carbono possuem normalmente teores de carbono entre 0,60 e 1,4%p, são os mais duros e os ais resistentes, porém

Jan / Jun de 2017 Revista Processos Químicos 69

são os menos dúcteis dentre todos os aços. São utilizados como ferramentas de corte e como matrizes para modelação de materiais. (CALLISTER 5, 2005, p.397/400).

PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS-CARBONO

As propriedades mecânicas dos aços-carbono são afetadas pelos dois fatores seguintes: composição química e microestrutura. No que se refere à composição química, nos aços esfriados normalmente o elemento predominante é o carbono que, como se viu, à medida que aumenta, melhora as propriedades relativas à resistência mecânica, isto é, o limite de escoamento, o limite da resistência à tração e a dureza e pioram as propriedades relativas à ductilidade e à tenacidade, isto é, o alongamento, a estricção e a resistência ao choque ^{3,4}.

A microestrutura é inicialmente afetada pela composição química, pois sabe-se que os constituintes presentes são ferrita, perlita ou cementita ou somente perlita, conforme se trate de aço hipoeutetoide ou eutetoide. Por outro lado, a microestrutura dos aços depende do estado ou condição no ponto de vista de fabricação, que são elas: "fundido - o aço apresenta granulação grosseira, do tipo dentrítico, visto que a austenita se forma a altas temperaturas e o esfriamento do interior dos moldes é muito lento; Trabalhando a quente ou trabalhando a frio". (CHIAVERINI 2, 2008, p. 183).

IMPORTÂNCIA E LIMITAÇÕES DOS AÇOS-CARBONO

Os aços-carbono constituem o mais importante grupo de materiais utilizados na engenharia e na indústria. De fato, as propriedades mecânicas desses aços simplesmente ao carbono, sem qualquer elemento de liga, e na maioria dos casos também sem qualquer tratamento térmico, são suficientes para atender à maioria das aplicações da prática. As peças fundidas geralmente requerem um tratamento térmico de recozimento ou normalização para alívio das tensões originadas na solidificação e para homogeneização da microestrutura. O aço trabalhado por forjamento, laminação, estiramento, trefilação, etc., é utilizado diretamente na forma de perfis obtidos através desses processos, sem necessidade de tratamentos térmicos complexos, a não ser nos casos de trabalho final a frio,

70

quando é necessário eliminar o efeito do encruamento 5.

AÇO ABNT 1045

O aço ABNT 1045, segundo a NBR 172/2000, é classificado como aço para construção mecânica, ao carbono e especial. E, de acordo com a norma NBR NM 87/2000, que estabelece as composições químicas dos aços para construção mecânica, o aço ABNT 1045 deve apresentar a composição química descrita na Tabela 1.

Os aços de construção ao carbono quase sempre são utilizados no estado de fornecimento sem qualquer tratamento térmico. Com a intenção de se obterem melhores características para a peça, no entanto, recorre-se a tratamentos térmicos convencionais, como, normalização,

Tabela 1. Composição química do aco ABNT 10456.

С	Mn	Pmáx	Smáx	Si	
0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050	0,010-0,60	

recozimento, têmpera e revenimento 6.

TÊMPERA

A têmpera do aço é uma operação de tratamento térmico aplicada principalmente nas ligas ferrosas e têm por objetivo produzir uma estrutura que permite ao material, submetido a essa operação, adquirir dureza. É através da têmpera que se obtêm estruturas e as propriedades que permitem o emprego do aço em peças de maior responsabilidade e em aplicações mais críticas, como as que se encontram na indústria mecânica, na indústria de transporte e em outros segmentos industriais ^{3,4}.

Para que a operação de têmpera seja bem-sucedida, vários fatores devem ser levados em conta. Inicialmente, a velocidade de resfriamento deve ser tal que impeça a transformação da austenita nas temperaturas mais elevadas, em qualquer parte da peça que se deseja endurecer^{2,4}.

A operação de têmpera visa à obtenção do constituinte "martensítica", em sua estrutura. A martensita é uma fase metaestável que aparece com o resfriamento brusco da austenita, acontecendo, assim, uma transformação por

cisalhamento da estrutura sem difusão 9.

DUREZA DOS MATERIAIS

No início do século XX, houve muitos progressos no campo da determinação da dureza. Em 1922, o norteamericano, Stanley P. Rockwell, desenvolveu um método de ensaio de dureza que utilizava um sistema de pré-carga. Esse método apresenta algumas vantagens em relação ao ensaio Brinell, pois permite avaliar a dureza de metais diversos, desde os mais moles até os mais duros. Entretanto, também tem limitações ^{5,7}.

O ensaio Rockwell, que leva o nome do seu criador, é hoje o processo mais utilizados no mundo inteiro, pois apresenta vantagens, como rapidez e facilidade de execução, possibilidade de medição automática, isenção de erros humanos, facilidade em detectar pequenas diferenças de dureza e pequeno tamanho da impressão ⁷.

O durômetro, conforme apresentado na Figura 2, é um instrumento utilizado para medir a dureza de endentação de borrachas, plásticos, metais e materiais com comportamento



Figura 2. Durômetro - Laboratório de Ensaios de Materiais do SENAI-RM

similar.

ENSAIO ROCKWELL

Nesse método, a carga do ensaio é aplicada em etapas, ou seja, submete-se a amostra à uma pré-carga e acerta-se o medidor em "0", para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado. Depois, aplica-se à carga que, somada à pré-carga, resulta a carga nominal do ensaio até o ponteiro do indicador ficar parado e, retirando a carga suplementar, faz-se a leitura em um mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predeterminada, adequada à faixa de dureza do material 7.

Os penetradores utilizados na máquina de ensaio de dureza rockwell são do tipo esférico, que têm em sua ponta uma esfera de aço temperado, ou cônico, cone de diamante

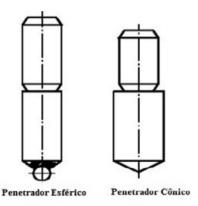


Figura 3. Penetradores para ensaio de Dureza Rockwell ⁶

com 120° de conicidade, mostrados na Figura 3.

METALOGRAFIA

Um dos problemas mais interessantes da avaliação de micro e macroestruturas de metais é o fato de que, na maioria das vezes, as técnicas analíticas disponíveis permitem a observação de seções bidimensionais de estruturas que têm características tridimensionais. Esta transformação, aparentemente simples, requer cuidados especiais na aplicação da técnica metalográfica, estes cuidados vão desde a seleção das seções a estudar até a avaliação criteriosa dos resultados obtidos na avaliação destas secões. Embora técnicas

Jan / Jun de 2017 Revista Processos Químicos 71

de reconstrução tridimensional já venham sendo aplicadas ao estudo da estrutura metalográfica, este tipo de análise ainda requer um investimento considerável de recursos materiais e tempo. As primeiras técnicas empregavam seccionamento e preparação de planos sucessivos de amostragem, mas já existem diversas outras técnicas que possibilitam recomposição tomográfica automática ⁸.

Dentre as diversas técnicas de observação da microestrutura dos aços e ferros fundidos, a mais comum é a microscopia ótica. Neste caso, emprega-se luz visível que incide sobre a amostra e é refletida até os observadores ⁸.

De acordo com COLPAERT⁸, A técnica de preparação de amostras para a realização de um ensaio micrográfico em microscópio ótico pode ser dividida nas seguintes fases: escolha e localização da seção a ser estudada; obtenção de uma superfície plana e obtida e polida no local escolhido para estudo; exame ao microscópio para a observação das ocorrências visíveis sem ataque; ataque da superfície por um reagente químico adequado; exame ao microscópio para a observação da microestrutura; registro do aspecto observado (fotografia). (2008, p. 69).

Materiáis e Métodos

PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO

72

Para avaliar a importância da manutenção da temperatura no tratamento térmico de têmpera do aço 1045, nas características microestruturais e na dureza do aço, foram utilizados 25 corpos de provas do aço 1045, com massas equivalentes, conforme apresentado na Figura 4.

Os corpos de prova foram separados em cinco grupos, e cada grupo foi composto por peças. Todos os 5 grupos de peças foram colocadas no forno elétrico destinado à realização de tratamentos térmicos e termoquímicos, distribuídas uniformemente de forma que os grupos pudessem ser identificados. O forno inicialmente estava aquecido a 850°C que é a temperatura indicada de autenitização recomendada para o aço 1045, quando se

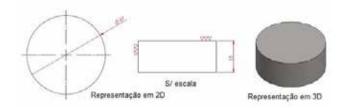


Figura 4. Dimensões do corpo de prova utilizado (imagens em 2 e 3D)

deseja fazer o tratamento térmico de têmpera.

O experimento durou 6 horas, e a cada intervalo de 1 hora, um grupo de amostras era retirado do forno e resfriadao em água para realizar a tempera, conforme divisão Grupo 1 (1 hora), Grupo 2 (2 horas), Grupo 3 (3 horas), Grupo 4 (4 horas) e Grupo 5 (5 horas). O forno inicialmente permaneceu ligado por 1 hora até que a temperatura permanece constante em toda área de carga.

MATERIAIS

Foram preparados 25 corpos de prova de aço 1045, cada um deles com 15 mm de espessura e diâmetro de 37 mm como mostra Figura 5.

O aço ABNT 1045, cuja composição química representada pela Tabela 2, foi utilizado no experimento devido ser classificado como aço comum e de bastante aplicação na indústria devido a facilidade de ser alterada sua estrutura cristalina por meio dos processos de tratamentos



Figura 5. Lixadora/polidora PANTEC - Poliplan 2D

Tabela 2. Composição Química Média do Aço 1045 (%) 5.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	
0,43	0,15	0,6	0,03	0,05	-	-	-	

términos e termoquímicos.

Equipamentos utilizados para ensaios metalográficos:

- Serra fita da RONEMAK, modelo SR-250VF muito utilizada em manutenção e linhas de produção compactas – usada para cortar os corpos de prova;
- Torno Mecânico da marca NARDINI e modelo MASCOTE MS 205, com motor de potência de 6,3/4HP e rotação com 18 velocidades variando de 31,5 a 2500rpm – usado para usinar a face dos corpos de prova;
- Lixadeira Rotativa PANTEC Poliplan 2D;
- Lixas d'água DEERFOS e NORTON foram usadas lixas de granulação 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500.
- Microscópio Eletrônico da marca PANTEC, modelo MK-1000 tipo ereta, tubo trinocular, com revolver quádruplo, aumento total até 600x – usado para fazer a micrografia;
- Leitor óptico digital da marca OPTON, câmera colorida de 1.3 Mega Pixel, padrão C-Moun e lente de redução 0,5X – utilizado juntamente com o microscópio Eletrônico para a captura das micrografias.

Equipamento para ensaios Mecânicos

 Durômetro de Bancada Rockwell MITUTOYO, apresentado na Figura 2, – utilizado para medir a dureza antes e depois da têmpera.

Equipamento para realizar a Têmpera

- Forno Elétrico tipo câmara da marca JUNG e modelo TB9613, com capacidade de 96 litros e potência de 14KW, podendo atingir uma temperatura de 1300°C – utilizado para aquecer os corpos de prova;
- Reservatório de água para realizar a tempera dimensões: comprimento = 650 mm, largura = 333

mm, altura = 227 mm, com uma capacidade total para armazenamento de liquido de 49,8 litros. Se usado pouco líquido para resfriar a peça, o líquido irá se aquecer mais rápido, podendo interferir na têmpera da peça.

Métodos

Obtiveram-se os corpos de prova através de uma barra cilíndrica de aço 1045, de três metros de comprimento, cortada na serra fita e faceadas no torno mecânico para ter uma superfície mais uniforme. Após o corte das amostras, o processo foi divido em três etapas que são: (a) a preparação das amostras para análise metalográfica (b) teste de dureza antes da tempera (c) aquecimento das amostras no forno a uma temperatura de 850°C.

A preparação dos corpos de prova para análise metalográfica foi feita seguindo a norma ABNT NBR 15454:2007, que estabelece os termos empregados em metalografia das ligas ferro-carbono. O objetivo dessa etapa foi polir 5 corpos de prova, um de cada grupo de teste, para a obtenção da sua determinada microestrutura. Nesse processo, foram utilizadas uma lixadeira rotativa PANTEC - Poliplan 2D, conforme apresentada na Figura 5, lixas d'água de sílica de granulação 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500. Após o lixamento, foi feito o polimento com um pano de polimento, próprio para esse processo, juntamente com a aplicação do abrasivo a base de alumina (óxido de alumínio) azul de 0,05 e 0,03 µm (microns), para se obter uma superficie completamente livre dos riscos e marcas que o processo de lixamento tenha deixado na peça em estudo que poderia causar uma má visualização da microestrutura do aço.

Com as peças polidas, foi feito o ataque químico com NITAL 3%. Nesse processo, as peças ficaram submersas na solução por 20 segundos, retiradas e lavadas em álcool, a fim de tronar visíveis os contrastes ópticos entre os vários componentes estruturais do material. Pode-se, então, fazer a análise da microestrutura das amostras utilizando o microscópio eletrônico PANTEC e nele acoplado o leitor óptico digital OPTON, conforme apresentada na Figura 6. Obtiveram-se as primeiras análises estruturais que serão



Figura 6. Microscópio Eletrônico PANTEC

abordadas e comparadas com o resultado final no próximo tópico.

Ainda, pode-se também fazer a medição das durezas de todos os corpos de prova. Para tanto, utilizou-se o ensaio não destrutivo de dureza Rockwell, seguindo a norma ABNT NBR NM 146-1 de 1998. Foi utilizado o Durômetro analógico da Mitutoyo e um penetrador cônico de diamante de 120°, semelhantes aos apresentados nas Figuras 2 e 3. Os testes de dureza foram realizados em escala Rockwell C.

Foi possível a realização dos testes de dureza, devido à parceria feita com a FATEC (Faculdade de Tecnologia) SENAI Roberto Mange, onde utilizou-se do Durômetro MITUTOYO no laboratório de Ensaios de Materiais, Figura 2.

Resultados

Ao realizar os ensaios metalográficos e os testes de durezas, feitos antes da realização da têmpera, constatouse que a dureza obtida nos testes era a especificada pelo fabricante do aço ABNT 1045 e apresentanda uma

microestrutura contendo uma matriz Perlítica e Ferrítica, microestrutura típica de um aco médio carbono.

A Figuras 7 (a) e 7 (b) apresentam os comparativos das microestruturas do aço ABNT 1045. A Figura 7 (a) são as microestruturas do aço antes de ser temperado, já Figura 7 (b) a apresentam a imagem como da microestrutura depois do aço ter sido realizado a têmpera. Ao analisar as micrografias, comparando-as com literatura ⁸, pode-se afirmar que realmente o aço adquirido para os ensaios tinha como composição química do SAE 1045, que apresenta matriz ferrítica (granulados mais de cor mais clara), e os grãos de perlita (granulados mais de cor mais escura). A ferrita constituinte do aço que é praticamente isenta de

Figura 7 (a)

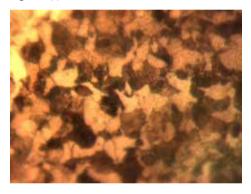


Figura 7 (b)



Figura 7. Análise Micrográfica do corpo de prova do Grupo 1, 2 e 5 antes de depois da Têmpera.

carbono, e por isso, muito dúctil, já a perlita é uma fase rica em carbono, por isso é bem mais dura que a ferrita.

Ainda, as figuras 7 (a) e 7 (b) apresentam o comparativo das micrografias dos grupos 1, 2 e 5 antes de ser feita a têmpera, e logo após a sua realização. As peças do Grupo 1 foram mantidas por 1 hora, após a temperatura da área de carga ter sido estabilizada a 850°C (temperatura de indicada para a autenitização do o aço 1045 4), já o grupo 2 permaneceu por 2 horas, e o grupo 5, por 5 horas ou seja, intervalo adicionado de uma hora para cada grupo de amostras. Foi observado que o processo de têmpera alterou a estrutura do aço alcançando a martensítica, característica de um aço de médio carbono após a realização da têmpera.

Ainda pode-se observar nas micrografias, indiferente do tempo de permanência das amostras no forno, que as análises micrografadas obtiveram a mesma estrutura. A estrutura martensítica foi alcançada devido ao aquecimento até a temperatura de austenitização do material, e logo após tê-lo resfriado bruscamente em água a 23°C. A rápida queda da temperatura prende os átomos de carbono dentro da estrutura cristalina dos átomos de ferro, sem que antes possam se dissipar para fora resultando em uma ligeira distorção da forma destas estruturas aumento a dureza do material 3.4.5.

A estrutura em forma de agulha é a martensita, uma estrutura Tetragonal de Corpo Centrado (TCC) que dá ao material uma elevada dureza, como constatado através dos testes de dureza ROCKWELL.

Já nas análises micrográficas das amostras peças do grupo 3, que ficou por 3 horas dentro do forno, e do grupo 4, que ficou por 4 horas dentro do forno Figuras 8 (a) e 8 (b). Após o tratamento térmico, notou-se que não se obteve uma mudança na microestrutura do aço, resultante da deficiência na agitação do material na hora do resfriamento, permanecendo uma estrutura ferrítica com grãos de perlita, isso explica o porquê da dureza das amostras desses grupos não tiveram um aumento.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados das durezas alcançadas antes e após a realização da têmpera: Os ensaios de dureza foram realizados em um durômetro da Mitutoyo utilizando a escala Rockwell C (HRC), sendo

Figura 8 (a)

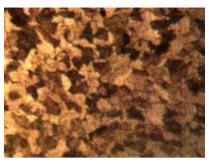


Figura 8 (b)

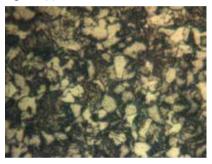


Figura 8. Análise Micrográfica do corpo de prova do Grupo 3 e 4 antes de depois da Têmpera

os resultados, para cada grupo de amostras, uma média de 3 medidas realizadas em cada amostra.

Ao analisar os resultados obtidos, pode-se observar que houve um aumento de dureza em todas as peças. As peças do Grupo 1 (expostas por 1 hora) passaram de 16,1 HRC para 47,8 HRC, as peças do Grupo 2 (expostas por 2 horas) passaram de 16,3 HRC para 50,8 HRC, as peças do Grupo 3 (expostas por 3 horas) passaram de 16,4 HRC para 34,8 HRC, as peças do

Tabela 3. Resultados das durezas alcançadas antes e após a realização da têmpera

	Antes da Témpera					Depois da Témpera						
	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Média	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Média
Grupo 1	17	16,5	16,5	15,5	15	16,1	55	54,5	54,5	37	38	47,8
Grupo 2	16,5	16,5	16	16,5	16	16,3	51.5	54	29,5	60.5	58,5	50,8
Grupo 3	16	16,5	16,5	17	16	16,4	48	25.5	25,5	47.5	27,5	34.8
Grupo 4	16,5	16,5	17	14	16,5	16,1	41,5	29,5	34,5	23,5	23	30.4
Grupo 5	16,5	16,5	16	16,5	15	16,1	53	55,5	57	57,5	59	56,4

Unidade de medida: HRC

Grupo 4 (expostas por 4 horas) passaram de 16,1 HRC para 30,4 HRC e as peças do Grupo 5 (expostas por 5 horas) passaram de 16,1 HRC para 56,4 HRC.

Ainda pode ser observado que as amostras do grupo 3 e 4, apesar de ter aumentado a dureza, obtiveram resultados insatisfatórios visto que, suas médias são inferiores aos dos grupos 1 e 2. As justificativas se devem ao fato de ter havido deficiência no processo de resfriamento das peças. Tais resultados também podem ser visualizados na Figuras 8 (a) e 8 (b) em que não houve alteração da microestrutura do aço temperado. Já os resultados das têmperas das peças dos grupos 1, 2 e 5 tiveram um aumento significativo de sua dureza, corroborando com a literatura 2,4. Os autores afirmam que diversos fatores devem ser levados em conta na realização do tratamento térmico. Os fatores a serem inicialmente considerados são: aquecimento, tempo de permanência a temperatura e resfriamento.

Conclusão

Com base nos resultados experimentais obtidos por meio deste trabalho, foi possível observar que a estrutura cristalina no aço comum SAE 1045 é facilmente alterada, tornando sua aplicação mais vasta nos processos de produção. A manutenção da temperatura aumenta a dureza do aço em até 346%. Ademais, os aços, após realização da têmpera, tornam-se resistentes à penetração, no entanto, frágeis e quebradiços. Para que sejam corrigidas essas imperfeições, é preciso que seja realização o tratamento de normalização.

Referências Bibliográficas

- NDT Resource Center. Thermal Treatments (Heat-Treating).
 Disponível em: https://www.ndeed.org/EducationResources/
 CommunityCollege/Materials/Structure/ther mal.htm>. Acesso em:
 10 de maio de 2016.
- Chiaverini, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7. Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. 599 p. ISBN: 85-86778-48-6.
- Silva, André Luiz V. da C.; MEI, Paulo Roberto. Aços e Ligas Especiais. 3. Ed. São Paulo: Blucher, 2010. 646 p. ISBN: 978-85-212-0518-0.
- 4. Chiaverini, Vicente. Tratamento Térmico das Ligas Metálicas. 1. Ed.

- São Paulo: ABM (Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais), **2008**, 272 p. ISBN: 85-86778-62-1.
- Callister, William D. Jr. Fundamento da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 702 p. ISBN: 978-85-216-1515-6.
- Gerdau Aços Finos Piratini. Manual de Aços. Porto Alegre RS. Disponível em:http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2016.
- Cozaciuc, Ivan. Telecurso: Profissionalizante de Mecânica: Ensaios de Materiais. 1. Ed. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2009. 248 p. ISBN: 978-85-7484-480-0.
- Colpaert, Hubertus. Metalografia dos produtos Siderúrgicos Comuns.
 Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 652 p. ISBN: 978-85-212-0449-7.
- Van Vlack, Lawrence H. Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais. 4. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984. 567 p. ISBN: 978-85-700-1480-1.
- Geologia E Metalurgia. São Paulo: Centro Moraes Rego da USP, ano 10, n. 11, out. 1955. 196 p.
- Smith, William F; HASHEMI, Javad. Fundamentos de engenharia e Ciências dos Materiais.
 Ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2012. 707 p. ISBN: 978-85-8255-114-3.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aços carbono e Ligados para Construção Mecânica NBR NM 87. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Materiais metálicos -Ensaio de Dureza Rockwell. Parte 1: método de ensaio NBR NM 6506-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tratamentos Térmicos de aço – Terminologia e definições NBR NM 136:2000. Rio de Janeiro: ABNT, 2000

Denisson R. Trindade; Paulo H. Q. Santos; Rosemberg F. N. Rodrigues; Márcio J. Dias*; Eduardo C. M. Faria & Adailton N. de Castro

- ¹ Departamento de Engenharias, Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica, Centro Universitário de Anápolis UniEVANGÉLICA, Av. Universitária, km 3,5, Cidade Universitária, CEP 75083-515, Anápolis GO.
- ² Ciências Exatas & Tecnológicas, UEG. BR 153, Km 98, 75133-050, Anápolis, GO.

^{*}e-mail: marcio.dias@unievangelica.edu.br;