

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NA DUREZA SUPERFICIAL DO AÇO D6

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE SURFACE HARDNESS OF D6 STEEL

Wallyson Thomas Alves da Silva^{1, i}
Marcus Vinicius Begossi^{2, ii}

RESUMO

O aço D6 é amplamente utilizado na fabricação de componentes mecânicos que exigem alta resistência ao desgaste e dureza superficial. Para garantir o desempenho dessas peças sob esforço mecânico, é fundamental aplicar tratamentos térmicos adequados, como têmpera e revenimento. Este trabalho visa determinar a espessura mínima admissível do aço D6 que possibilite alcançar uma dureza superficial de 56 HRC após têmpera. Três corpos de prova com diferentes espessuras foram submetidos a aquecimento em forno elétrico, seguidos de resfriamento em óleo e em água. A dureza foi medida com durômetro, buscando avaliar a influência da espessura e do meio de resfriamento na dureza final. Os resultados indicam que a espessura do material não influencia significativamente na obtenção da dureza desejada, pois a temperabilidade está diretamente relacionada ao teor de carbono presente no aço. Já a variação na dureza foi atribuída ao meio de resfriamento: o resfriamento em óleo, mais lento devido à maior viscosidade, favoreceu a formação de bainita e menor dureza, enquanto o resfriamento rápido em água promoveu a formação de martensita e maior dureza superficial.

Palavras-chave: Aço D6, Tratamento térmico, Têmpera, Dureza superficial, Temperabilidade.

ABSTRACT

D6 steel is widely used in manufacturing mechanical components requiring high wear resistance and surface hardness. To ensure these parts perform well under mechanical stress, appropriate heat treatments such as quenching and tempering are essential. This study aims to determine the minimum thickness of D6 steel required to achieve a surface hardness of 56 HRC after quenching. Three specimens of different thicknesses were heated in an electric furnace, then quenched in oil and water. Hardness measurements were taken using a durometer to evaluate the influence of thickness and cooling medium on final hardness. Results show that thickness does not significantly affect hardness due to the steel's carbon content controlling hardenability. The variation in hardness was mainly due to the cooling medium: oil cooling, slower because of higher viscosity, resulted in bainite formation and lower hardness, whereas fast water quenching led to martensite formation and higher surface hardness.

¹ Professor Adjunto II - Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

² Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: mbegossi@sp.senai.br

Keywords: D6 Steel, Heat Treatment, Quenching, Surface Hardness, Hardenability.

1 INTRODUÇÃO

O aço D6 é uma liga de alto carbono e alto cromo amplamente empregada em aplicações que exigem elevada resistência ao desgaste, como ferramentas de corte e componentes moldadores. Para atingir as propriedades mecânicas desejadas, especialmente a dureza superficial, é fundamental aplicar tratamentos térmicos adequados. Estes tratamentos modificam a microestrutura do aço, promovendo a formação de fases resistentes como a martensita. Entretanto, a eficácia do tratamento térmico depende da temperabilidade do material, influenciada pela composição química e pela espessura da peça. O resfriamento após a austenitização, seja em óleo ou em água, determina a microestrutura final e, conseqüentemente, a dureza obtida. Compreender a influência desses fatores é essencial para garantir que o aço D6 atenda às especificações de dureza superficial para aplicações industriais, evitando falhas prematuras por desgaste ou deformação.

1.1 Problema de pesquisa

Qual a influência da espessura do aço D6 e do meio de resfriamento na obtenção da dureza superficial mínima necessária após o tratamento térmico de têmpera?

1.2 Objetivo(s)

Avaliar a influência da espessura do aço D6 e do meio de resfriamento (óleo e água) no processo de têmpera, determinando a dureza superficial alcançada para estabelecer a espessura mínima admissível que garanta dureza superior a 56 HRC.

1.3 Justificativa

Garantir a dureza superficial adequada em peças fabricadas com aço D6 é fundamental para sua durabilidade e resistência ao desgaste em aplicações industriais. Conhecer a influência da espessura e do meio de resfriamento permite otimizar processos térmicos, reduzir custos com retrabalho e assegurar a qualidade do produto final, promovendo maior eficiência e competitividade na indústria metalúrgica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O tratamento térmico é uma etapa fundamental para modificar as propriedades mecânicas dos aços, sobretudo no que diz respeito à dureza superficial e à resistência ao desgaste. Conforme Totten (2006), os processos térmicos de têmpera e revenimento alteram significativamente a microestrutura do aço, promovendo transformações da austenita em martensita ou bainita, dependendo da taxa de resfriamento aplicada. A martensita, por ser uma fase tetragonal distorcida, confere elevada dureza e resistência, enquanto a bainita apresenta propriedades intermediárias entre a martensita e a perlita, resultando em menor dureza, porém maior tenacidade.

Davis (2001) ressalta que a composição química do aço, especialmente o teor de carbono e elementos de liga como cromo e molibdênio, influencia diretamente a temperabilidade do material — ou seja, sua capacidade de endurecimento durante o resfriamento. Quanto maior a temperabilidade, maior a profundidade e uniformidade da estrutura martensítica obtida após a têmpera. A espessura da peça também pode afetar o resultado final, uma vez que peças mais grossas podem sofrer resfriamento não uniforme, favorecendo a formação de microestruturas menos duras no núcleo.

O ASM Handbook (1990) detalha a importância do meio de resfriamento para determinar a microestrutura final do aço. O resfriamento rápido, como o realizado em água, gera uma rápida transformação da austenita em martensita, elevando a dureza superficial. Já resfriamentos mais lentos, como em óleo, promovem a formação de bainita ou perlita, resultando em durezas inferiores. A escolha do meio de resfriamento deve considerar o equilíbrio entre dureza desejada e propriedades de tenacidade, evitando a formação de trincas e distorções.

Portanto, para o aço D6, um aço ferramenta com alto teor de carbono e elementos de liga, o controle rigoroso da temperatura de aquecimento, tempo de permanência e meio de resfriamento é decisivo para garantir a dureza superficial desejada e a vida útil da peça.

3 METODOLOGIA

O procedimento experimental foi planejado de forma a assegurar condições controladas de temperatura, tempo e resfriamento, de acordo com as recomendações técnicas de GGD Metals (2017).

Foram utilizados três corpos de prova obtidos a partir de uma barra laminada redonda de aço D6. O corte foi realizado em uma máquina serra de fita com acionamento por came, conferindo a cada corpo de prova espessuras distintas de 7 mm, 9 mm e 11 mm, com o intuito de analisar o efeito da espessura no tratamento térmico.

O processo de austenitização foi precedido de pré-aquecimento a 550 °C, com o objetivo de promover a homogeneidade térmica e minimizar distorções dimensionais. Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à austenitização em temperaturas controladas entre 950 °C e 960 °C, utilizando um forno elétrico por indução.

O tempo de permanência na temperatura de austenitização foi definido conforme a norma técnica: 1 hora para cada 25 mm de espessura, acrescida de 1 hora para cada incremento adicional de 25 mm, garantindo completa transformação da estrutura cristalina.

Após a etapa de austenitização, o processo de têmpera foi realizado em diferentes meios de resfriamento:

Dois corpos de prova foram resfriados em óleo pré-aquecido a aproximadamente 70 °C, sob agitação leve para otimizar a troca térmica.

Um corpo de prova foi resfriado em água, também sob leve agitação, de forma a comparar o efeito de um meio de resfriamento de maior condutividade térmica.

O objetivo da variação do meio de resfriamento foi avaliar a influência da taxa de extração de calor na microestrutura final e, conseqüentemente, na dureza dos corpos de prova.

Todas as etapas do tratamento térmico foram monitoradas por meio de instrumentos de controle de temperatura e tempo integrados ao sistema do forno por indução, assegurando repetibilidade e confiabilidade dos parâmetros de processamento. As

Figuras 1 ilustram as etapas de resfriamento e manipulação dos corpos de prova.

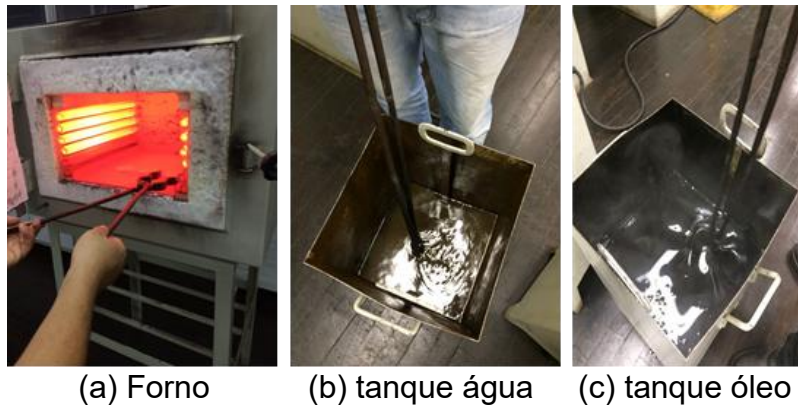


Figura 1. aquecimento no forno (a) e resfriamento em água (b) e óleo (c)

Concluído o tratamento térmico, as amostras foram encaminhadas à sala de metalografia para determinação da dureza. Utilizou-se uma máquina de medição LC-200 RB, ilustrada na Figura 2 capaz de operar nas escalas Rockwell C (HRC) e Brinell. Optou-se pela escala HRC por ser mais adequada ao aço D6 e à faixa de dureza esperada, garantindo maior confiabilidade nos resultados.



Figura 2. máquina de medição de dureza LC-200 RB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os valores de dureza Rockwell C (HRC) obtidos para os três corpos de prova de aço D6, com diferentes espessuras e submetidos a dois tipos distintos de resfriamento. Observa-se que o maior valor médio de dureza foi registrado no corpo de prova com 9 mm de espessura, resfriado em água (63,09 HRC). Este resultado confirma a maior severidade da têmpera em meio aquoso, decorrente de sua elevada taxa de extração de calor, o que favorece a formação de martensita mais dura e homogênea.

Tabela 1. Dureza Rockwell C de corpos de prova de aço D6 tratados termicamente com diferentes espessuras e meios de resfriamento.

Espessura (mm)	Medição 1 (HRC)	Medição 2 (HRC)	Medição 3 (HRC)	Média (HRC)	Tipo de resfriamento
7	56,96	60,23	60,71	59,30	Óleo
9	63,84	62,44	63,01	63,09	Água
11	59,24	58,73	61,46	59,81	Óleo

Os corpos de prova com 7 mm e 11 mm de espessura, ambos resfriados em óleo, apresentaram médias de dureza semelhantes (59,3 HRC e 59,81 HRC, respectivamente). Apesar de o óleo proporcionar um resfriamento menos agressivo que a água, os valores obtidos ainda se situam na faixa esperada para o aço D6 tratado termicamente, evidenciando a eficácia do processo de têmpera em óleo para espessuras distintas.

De forma geral, os resultados indicam que o tipo de meio de resfriamento exerce maior influência sobre a dureza final do que a espessura dos corpos de prova na faixa analisada. Ainda assim, a espessura pode impactar a uniformidade térmica e, portanto, contribuir para a dispersão dos valores obtidos.

5 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o corpo de prova de 9 mm, resfriado em água, apresentou a maior dureza média (63,09 HRC), confirmando o efeito mais severo desse meio de resfriamento sobre a microestrutura do aço D6. Já os corpos resfriados em óleo, com espessuras de 7 mm e 11 mm, apresentaram valores médios semelhantes, entre 59,3 e 59,81 HRC, evidenciando que, para a faixa de espessuras analisada, o tipo de meio de resfriamento exerce influência mais significativa sobre a dureza final do que a variação dimensional. Ainda assim, o óleo mostrou-se eficaz, proporcionando durezas elevadas e adequadas para aplicações que requerem resistência ao desgaste, mas com menor risco de trincas e deformações.

REFERÊNCIAS

Totten, George E., ed. Steel heat treatment: metallurgy and technologies. CRC press, 2006.

Davis, Joseph R., ed. Alloying: understanding the basics. ASM international, 2001.

ASM International. Handbook Committee. Properties and Selection--Irons, Steels, and High-performance Alloys. Vol. 1. ASM international, 1990.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

i NOME DO AUTOR (Autor 1)



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI "Roberto Mange" em Campinas - SP.

ii NOME DO AUTOR (Autor 2)



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.