

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO E DO TEMPO DE AUSTENITIZAÇÃO SOBRE A DUREZA DE ENGRENAGENS DE AÇO SAE 1045

*Ernando Alves Silva*¹

*Warley Augusto Pereira*²

RESUMO

Engrenagens são elementos de máquinas que visam transmitir movimentos rotativos entre eixos. Estes elementos são submetidos a altos torques e atrito, portanto, devem possuir alta resistência mecânica para suportar os esforços aplicados e alta resistência ao desgaste. Uma forma de se conseguir essas propriedades dos metais aplicados na fabricação das engrenagens são os tratamentos térmicos. Os aços SAE 1045 possuem baixa temperabilidade, gerando pequenas parcelas de martensita, e estas se concentrando principalmente na superfície das peças temperadas. Além da dureza superficial, outra propriedade importante para as engrenagens é a tenacidade, obtida pelo refino de grão. Desta forma, este trabalho teve como objetivo verificar a influência da velocidade de resfriamento e do tempo de austenitização sobre a microestrutura e, conseqüentemente, sobre a dureza de engrenagens de aço SAE 1045. Para isso, duas engrenagens foram submetidas a diferentes tempos de austenitização (30 e 60 minutos) e velocidades de resfriamento, sendo a primeira resfriada ao ar e a segunda em óleo. Uma análise estatística mostrou que em um nível de significância de 5%, tanto o tempo de austenitização quanto a velocidade de resfriamento apresentaram influência sobre a dureza do aço. No caso do tempo de austenitização, tempos menores reduzem o tamanho dos grãos promovendo uma estrutura refinada de perlita e/ou martensita, promovendo elevação da tenacidade e da dureza do aço. No caso da velocidade de resfriamento, resfriamento mais rápido, além de promover a formação de microestrutura mais refinada, também gera pequenas parcelas de martensita e/ou bainita, também elevando a dureza do aço.

PALAVRAS-CHAVE: Normalização forçada, refino de grão, tratamento térmico.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, GO.

² Orientador, Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.

1 INTRODUÇÃO

As engrenagens são elementos de máquinas usados há muito tempo para a transmissão de movimento e força entre eixos. As primeiras engrenagens eram de madeira e com pinos no lugar dos dentes. Hoje todas as engrenagens são dentadas, possuindo diferentes tipos e tamanhos.

De acordo com Norton (2013), as engrenagens são peças importantes para o funcionamento de várias máquinas. Elas são responsáveis por garantir que a força motora seja transferida, através do torque e velocidade angular entre eixos. Entretanto, devido ao contato constante entre seus dentes, as engrenagens são submetidas a altas pressões, impactos e atrito, causando desgaste, distorções e trincas. Desta forma, para que as engrenagens tenham uma maior durabilidade, muitas vezes é preciso que elas passem por algum tipo de tratamento térmico ou termoquímico, para melhorar suas propriedades mecânicas internas e superficiais.

Para que as engrenagens exerçam sua função com êxito devem ser fabricadas a partir de materiais que forneçam propriedades adequadas a cada situação de uso. Entre as propriedades mecânicas esperadas em uma engrenagem estão a tenacidade, relacionada às cargas de impacto e às tensões de fadiga, e a dureza superficial, relacionada ao desgaste provocado pelo contato entre os dentes.

Entre os materiais usados na fabricação de engrenagens está o aço SAE 1045 que, embora não possua todas as propriedades necessárias, estas podem ser melhoradas através de tratamentos térmicos, diminuindo possíveis paradas nos maquinários devido a quebra e trincas.

Uma das formas de se aumentar a resistência mecânica, um pouco da dureza e principalmente a tenacidade do aço, é através de um tratamento térmico de normalização para refino dos grãos, visto que em grãos mais finos, devido à maior presença de contornos de grãos, que são barreiras ao movimento de planos cristalinos, há uma redução da mobilidade destes planos e, conseqüentemente, uma redução da capacidade do material em se deformar, ou seja, há aumento da resistência, da dureza e da tenacidade do material quando os grãos são menores (CALLISTER e RETHWISCH, 2016).

Para Stein et al. (2005), a martensita, oriunda da austenita, possui tamanho médio relacionado com o tamanho dos grãos austeníticos. Dessa forma, quando a austenitização é realizada em temperaturas e tempos mais baixos, produzirá grãos austeníticos menores, com

menores tamanhos médios dos pacotes de martensita, resultando em uma estrutura mais resistente e mais dura.

Ferreira et al. (2004) em seu estudo sobre o efeito da rápida austenitização sobre as propriedades mecânicas dos aços C-Mn temperados e revenidos por indução eletromagnética, verificaram que nestas condições nem toda a ferrita e perlita são completamente austenitizada, causando distorções entre as regiões austenitizadas e as não austenitizadas, e elevando a dureza do metal tratado termicamente.

Outro efeito do tempo de austenitização é sobre o refino de grão. Erdogan (2003), citado por Gallo (2006) comprovou em seus estudos que a taxa de crescimento da ferrita depende, entre outros fatores, do grau do resfriamento, da taxa de difusão e da concentração de carbono na interface da austenita. Desta forma, pequenas partículas de austenita são enriquecidas com carbono mais rapidamente do que as maiores, afetando o crescimento da ferrita. Assim, para uma determinada velocidade de resfriamento, o crescimento médio de ferrita será considerado mais baixo nas dispersões mais finas que nas grosseiras e, conseqüentemente, serão formadas mais martensita e menos ferrita. A diferença aumenta com o crescimento da dispersão da austenita. Além disso, de acordo com Callister e Rethwisch (2016) a perlita grossa é mais dúctil que a perlita fina, devido à maior restrição à deformação plástica da perlita fina, provocada pela maior quantidade de contornos de grão.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do tempo de austenitização e a velocidade de resfriamento sobre a dureza do aço SAE 1045 em tratamentos térmicos de normalização convencional e têmpera em óleo (que devido à baixa temperabilidade do aço 1045 pode ser considerada como uma normalização forçada). Esperava-se que o efeito do refino do grão em tratamentos térmicos sucessivos aumentasse a dureza do aço e conseqüentemente sua resistência mecânica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram usadas duas engrenagens de aço SAE 1045, temperadas e revenidas, ambas em situação de tratamento térmico e de dureza iniciais semelhantes. Inicialmente, foi feita a medida de dureza das duas engrenagens, antes dos tratamentos térmicos, na escala Rockwell C, em um durômetro Rockwell, modelo 200HB-150 do laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde.

Para a análise dos resultados foi feito um planejamento estatístico fatorial com dois fatores (tempo de austenitização e velocidade de resfriamento) e dois níveis em cada fator, ou seja, tempo de austenitização de 30 e de 60 minutos e resfriamento ao ar e em óleo. A seguir foi feita a análise de variância para determinar se algum destes fatores afeta significativamente a dureza superficial das engrenagens.

Os testes foram realizados em duas etapas, sendo que na primeira as engrenagens foram colocadas em um forno de resistência elétrica, em atmosfera normal, a uma temperatura de 950 °C por um período de 60 minutos para a austenitização completa das engrenagens. Após a completa austenitização das engrenagens a primeira delas foi resfriada ao ar (Figura 1-b seta vermelha indica o local de medição da dureza) e a segunda em óleo (Figura 1-a seta vermelha indica o local de medição da dureza). Depois foram feitas as medidas de dureza. Na segunda etapa a austenitização das engrenagens também foi realizada a 950 °C, porém por apenas 30 minutos, não ocorrendo a austenitização completa das mesmas. O resfriamento foi feito como na primeira etapa, a primeira ao ar e a segunda em óleo. Dessa forma, cada engrenagem passou por um ciclo de dupla austenitização em tempos diferentes e duplo resfriamento em velocidades também diferentes. Terminados os ciclos de austenitização e resfriamento foram feitas novas medidas de dureza em cada engrenagem.

FIGURA1 - Engrenagens tratadas termicamente e resfriadas (a) em óleo e (b) ao ar



Fonte: Ernando Alves Silva, 2017

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

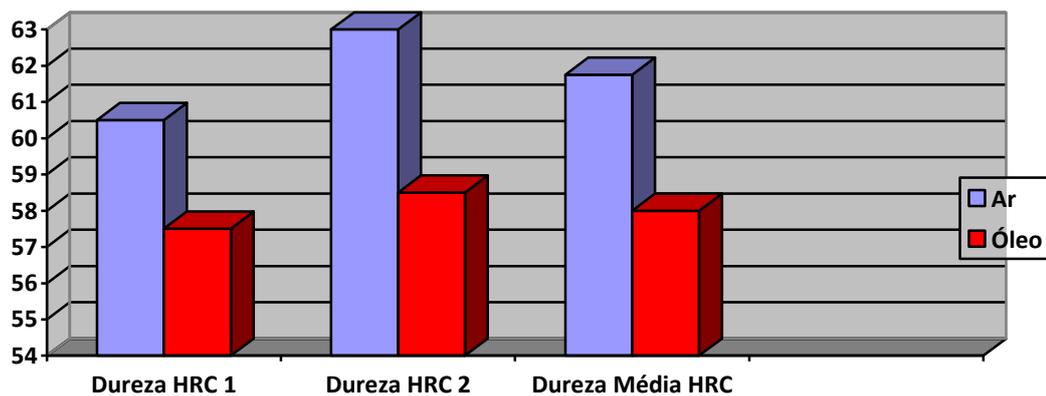
As medidas iniciais de dureza das engrenagens podem ser observados na Tabela 1:

TABELA 1 - Dureza inicial das engrenagens

Amostra	Dureza HRC 1	Dureza HRC 2	Dureza Média HRC
Ar	60,5	63,0	61,75
Óleo	57,5	58,5	58,0

Fonte: Ernando Alves Silva, 2017

FIGURA 2 - Dureza inicial das engrenagens



Fonte: Ernando Alves Silva, 2017

O planejamento estatístico fatorial é mostrado na Tabela 2, enquanto que a Tabela 3 apresenta a análise de regressão para um nível de significância de 5%. Nesta análise são apresentadas todas as combinações entre o meio de resfriamento (ar e óleo), a variável A, e o tempo de austenitização (30 e 60 min.) que é a variável B.

TABELA 2 - Planejamento fatorial com dois fatores a dois níveis

MEIO DE RESFRIAMENTO	HRC/30 min.		HRC/60 min.	
Ar	25,0	30,0	25,0	24,5
Óleo	35,5	35,5	28,5	29,0

Fonte: Ernando Alves Silva, 2017

TABELA 3 - Análise de regressão

Parâmetro	SQ	GL	MQ	F _{0cal}	F _{0tab}	Influência
A	72	1	72	22,59	7,71	Sim
B	45,125	1	45,125	14,16	7,71	Sim
AB	8	1	8	2,51	7,71	Não
Erro	12,75	4	3,1875			
Total	137,875	7				

Fonte: Ernando Alves Silva, 2017

O efeito de cada variável é:

- Efeito de A = 6
- Efeito de B = -4,75

A análise de regressão mostrou que tanto o meio de resfriamento, quanto o tempo de austenitização influenciam na dureza das engrenagens. Também mostrou que não há efeito combinado entre os fatores (AB). Quando se verifica os valores dos efeitos, verifica-se que quando se muda o meio de resfriamento do ar para o óleo, a dureza aumenta em 6 HRC, enquanto que quando se muda o tempo de austenitização de 30 para 60 minutos a dureza reduz em 4,75 HRC.

Assim, quando a austenitização é realizada em tempos mais baixos, produzirá grãos austeníticos menores, devido à redução do mecanismo de crescimento de grão, com menores tamanhos médios da martensita resultante e mesmo de parcelas de bainita e perlita, resultando em uma estrutura mais resistente e mais dura, conforme descrito por Stein et al. (2005).

No caso do efeito da velocidade de resfriamento, além do refino de grão pela formação de perlita mais refinada, provavelmente ocorre a presença de pequenas parcelas de pacotes de martensita e/ou bainita no resfriamento em óleo, o que normalmente não ocorre no resfriamento ao ar devido ao baixo teor de carbono do aço SAE 1045.

4 CONCLUSÃO

Tanto o meio de resfriamento (velocidade de resfriamento), quanto o tempo de austenitização influenciaram na dureza do aço SAE 1045. Tempos menores de austenitização promoveram maiores valores de dureza. Resfriamento mais rápido (em óleo) também promoveu elevação na dureza nas engrenagens.

Novos tratamentos térmicos com resfriamento em óleo e austenitização em 30 minutos deverão ser realizados para verificar se há contínuo refinamento de grão até certo limite, com conseqüente elevação da dureza.

Além disso, em uma nova etapa, poderá ser feitas análises metalográficas nas amostras tratadas para verificar o efeito do refino de grão sobre a microestrutura das engrenagens. Comprovando que o processo de austenitização surte efeito no material, melhorando suas especificações mecânicas.

***INFLUENCE OF COOLING SPEED AND AUSTENITIZATION TIME ON
SAE 1045 STEEL GEAR HARDNESS***

ABSTRACT

Gears are machine elements that aim to transmit rotational movements between axes. These elements are subjected to high torques and friction, therefore, must possess high mechanical resistance to withstand the applied forces and high resistance to wear. One way of achieving these properties of the metals applied in the manufacture of gears are the heat treatments. The SAE 1045 steels have low hardenability, generating small plots of martensite, and these concentrating mainly on the surface of the tempered pieces. In addition to the surface hardness, another important property for the gears is the tenacity obtained by grain refining. In this way, this work had as objective to verify the influence of the cooling speed and the time of austenitization on the microstructure and, consequently, on the hardness of SAE 1045 steel gears. For this, two gears were subjected to different austenitization times (30 and 60 minutes) and cooling rates, the first being cooled in air and the second in oil. A statistical analysis showed that at a significance level of 5%, both the austenitization time and the cooling rate present an influence on the hardness of the steel. In the case of austenitization time, In the case of the austenitization time, smaller times reduce the size of the grains promoting a refined structure of perlite and / or martensite, promoting increase of the tenacity and hardness of the steel. In the case of the cooling speed, faster cooling, besides promoting the formation of more refined microstructure, also generates small portions of martensite and / or bainite, also raising the hardness of the steel.

KEYWORDS: Forced normalization, grain refining, heat treatment.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, C. R. et al. Tratamento térmico por indução eletromagnética em tubos de aço SAE 1045 para produção de hastes de sondagem geológica. **REM: Revista da Escola de Minas**, v. 57, n.1, p.23-26, 2004.

GALLO, G. B. Influência do tratamento térmico sobre a tenacidade de um aço AISI SAE 1045 com médio teor de carbono, avaliada por ensaios de impacto. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - **Universidade Estadual Paulista**, Guaratinguetá, 2006.

NORTON, R. L. Projeto de Máquinas - Uma Abordagem Integrada. 4ª Ed. **Editora: BOOKMAN**, 1028p, 2013.

STEIN, C. R. Et al. Efeito da rápida austenitização sobre as propriedades mecânicas de um aço SAE1045. **Metalurgia & Materiais**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 58(1): 51-56, jan. mar. 2005.