

AValiação DA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE ENGRENAGENS NORMALIZADAS E RESFRIADAS AO FORNO

Cleiton Lazaro Fazolo de Assis

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS
Departamento de Engenharia Mecânica - DEM
Av. Brasil Centro, 56 - CEP: 15.385-000
Ilha Solteira-SP
clfassis@aluno.feis.unesp.br

Daniel Iwao Suyama

disuyama@aluno.feis.unesp.br

Rafael Gustavo da Rocha Paulo

rafaelgustavo@dem.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@mat.feis.unesp.br

Resumo: *Este trabalho teve como objetivo avaliar a microestrutura e a microdureza de engrenagens forjadas a quente, submetidas a diferentes condições de resfriamento. O material utilizado foi o aço AISI 4118H modificado, comumente utilizado na fabricação de engrenagens automotivas. Após o processo de forjamento, amostras foram normalizadas a 950 °C por 2 horas. Enquanto que outras amostras foram resfriadas ao forno a 600°C por 20 min, com posterior resfriamento ao ar. A amostra normalizada apresentou uma microestrutura mais refinada que a da amostra resfriada ao forno. Ambas as condições apresentaram uma matriz predominantemente ferrítico-perlítica, com microdurezas estatisticamente equivalentes.*

Palavras-chave: *microestrutura, microdureza, forjamento, tratamento térmico, resfriamento.*

1. INTRODUÇÃO

Forjamento é o processo de fabricação no qual um tarugo de metal é deformado dentro das mais variadas formas geométricas e com grandes deformações plásticas. Este processo de fabricação está dividido em três grandes grupos: forjamento a frio, a quente e morno. Essa classificação é dependente da temperatura na qual as operações de forjamento ocorrem (Yang, 1993).

O aperfeiçoamento das técnicas de fabricação e de produção tem colaborado com a intensificação de pesquisas, visando obter materiais que garantam resistência às solicitações mecânicas e simultaneamente boa usinabilidade. Essa busca tem como propósito otimizar o processo fabril e garantir qualidade às engrenagens produzidas.

O emprego de ligas metálicas na engenharia e na indústria é baseado principalmente nas suas propriedades mecânicas, ou seja, na sua capacidade de suportar as cargas a que estão sujeitas quando em serviço (Chiaverini, 2002). As características mecânicas, e em consequência suas propriedades, estão intimamente relacionadas com a estrutura cristalina do material, que deriva de composições químicas e dos processos de fabricação.

Um meio largamente difundido na indústria, a fim de se obter determinadas propriedades em um material, é o uso de tratamentos térmicos. Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinados (Chiaverini, 2002).

Técnicas de controle da taxa de resfriamento após o forjamento são também utilizadas com o benefício de levar as engrenagens às propriedades mecânicas requeridas. Os meios de esfriamento usuais são: ambiente do forno, ar e meios líquidos. O resfriamento mais brando é, evidentemente, o realizado no próprio interior do forno e ele se torna mais severo à medida que se passa para o ar ou para um meio líquido, onde a extrema agitação dá origem aos meios de resfriamento mais drásticos (Chiaverini, 2002). O que define a escolha do meio de resfriamento é a estrutura final desejada.

Algumas das variáveis de estudo para avaliar o real efeito dos tratamentos térmicos e meios de resfriamento nas peças são a análise micrográfica e de microdureza. A primeira constitui de apreciações quanto aos tipos de microconstituintes presentes na liga, enquanto a segunda visa estabelecer o grau de dureza destas mesmas estruturas.

A metalografia microscópica (ou micrografia dos metais) estuda os produtos metalúrgicos com o auxílio do microscópio, visando a determinação de seus constituintes e de sua textura. Este estudo é feito em superfícies previamente polidas e, em geral, atacadas por um reativo adequado (Colpaert, 1997). A análise micrográfica é de grande importância para os fabricantes de peças, já que seus resultados podem fornecer alterações geradas pelo processo de fabricação.

A microdureza é usada para avaliar durezas de fases e microconstituintes presentes na microestrutura, conseguindo assim identificar as fases da microestrutura (Sotelo, Scitzer e Rosso, 2005). Este ensaio é similar ao de dureza convencional, incluindo, por exemplo, os procedimentos experimentais, geometria dos penetradores e tratamento dos resultados.

Segundo Souza (1995), o ensaio de microdureza basicamente consiste na aplicação de cargas bastante reduzidas (de até 100 gf) em um dado microconstituente de interesse para gerar uma impressão de tamanho também reduzido (geralmente de ordens micrométricas). São portanto ensaios de precisão, sendo principalmente utilizados na medição de dureza de materiais recobertos (como os galvanizados), em materiais cerâmicos, por serem muito frágeis, e na avaliação de peças submetidas a processos de fabricação que podem alterar ou prejudicar suas propriedades superficiais durante sua produção, comprometendo-as em sua função.

Este trabalho visou avaliar a microestrutura e a microdureza de engrenagens forjadas a quente, submetidas a diferentes condições de resfriamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para o estudo foi o aço AISI 4118H modificado (~210 HV), empregado na fabricação de engrenagens automotivas. Este material foi forjado a quente a 1200°C por meio de prensas excêntricas, sendo este processo dividido em duas etapas. Primeiramente usou-se uma prensa com capacidade de 10MN e, em seguida, uma de 20MN. Após o forjamento a quente, as peças passaram por um processo de tamboramento para limpeza.

Em seguida, amostras foram normalizadas a 950°C por 2 horas com o objetivo de realizar uma maior homogeneização dos grãos. Enquanto que outras amostras foram resfriadas ao forno a 600°C por 20 min, com posterior resfriamento ao ar. Este último mecanismo de resfriamento ao forno foi uma proposta experimental, a fim de obter novas propriedades mecânicas, ainda em estudo. Cabe ressaltar que as peças utilizadas nestes ensaios correspondem à parte interna (miolo) da engrenagem, também conhecida como espelho. Essas amostras possuem 70 mm de diâmetro e uma espessura de 15,5 mm. A Tabela 1 exibe a composição química das peças utilizadas.

Tabela 1: Composição química das peças utilizadas (% em peso).

C	Mn	Cr	Mo	Si	P	S
0,23 - 0,28	0,90 - 1,30	0,35 - 0,70	0,10 - 0,20	0,15 - 0,35	0,25 máx	0,02 - 0,04

As peças normalizadas e resfriadas ao forno foram recebidas na forma bruta. Dessa maneira, antes de realizar as análises, elas foram submetidas a uma pré-usinagem por meio de um processo de torneamento convencional, visando à obtenção de uma superfície plana, antes da realização do seccionamento e posterior embutimento das amostras. Essas etapas podem ser observadas por meio da Figura 1.

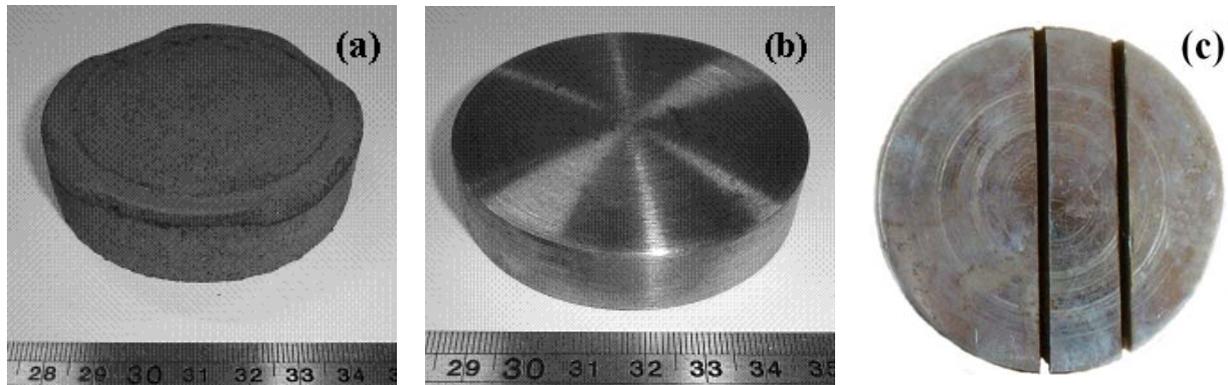


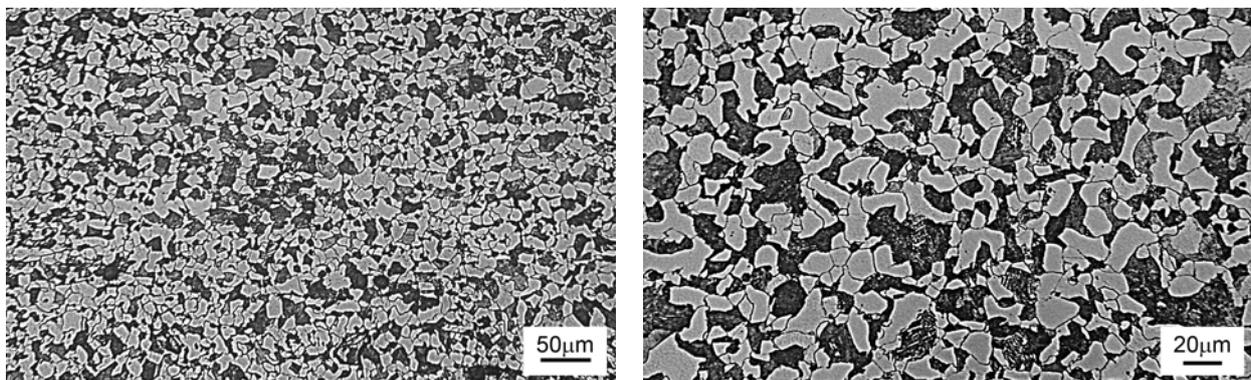
Figura 1: (a) peça bruta, (b) pré-usinada e (c) peça seccionada para metalografia.

Para o embutimento das amostras, foram utilizados resina acrílica transparente e moldes de silicone para embutimento a frio. As amostras passaram por um processo de lixamento manual com a seguinte seqüência de granulação: 120, 220, 400, 600 e 1000. Para espelhamento, foi feito o polimento das amostras utilizando óxido de alumínio (alumina) com tamanho de partículas de $1\ \mu\text{m}$. O ataque químico realizado foi por imersão das amostras em reativo Nital 2% por 5 s. As micrografias foram realizadas em um microscópio óptico da marca Carl Zeiss Jena, modelo Neophot 21, com ampliação máxima de 2000x. As medidas de microdureza foram também obtidas com o mesmo aparato óptico, apenas incrementado com acoplamento de um microidentador.

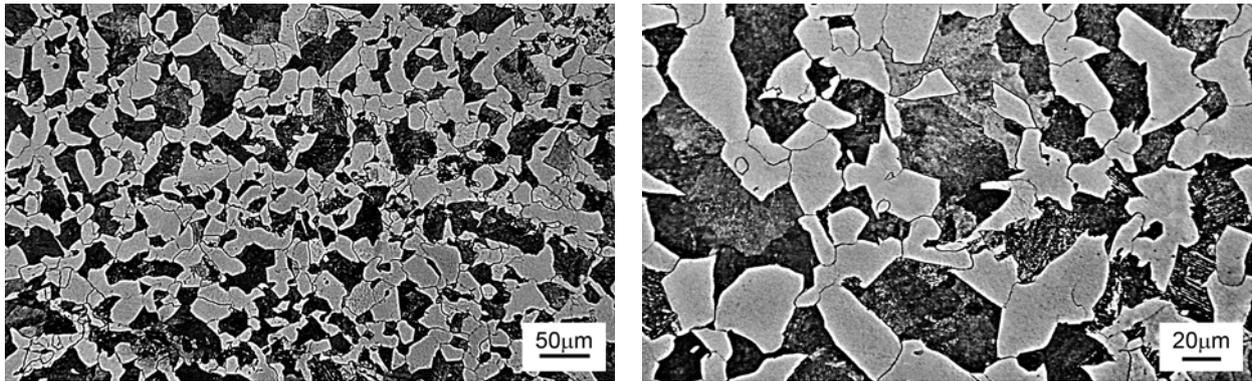
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as análises subseqüentes, será adotada a simbologia (N) para amostra normalizada e (F) para resfriada ao forno. Além disso, como referência aos microconstituintes, representar-se-á a ferrita por α e a perlita por β .

A Figura 2 ilustra as micrografias da superfície das amostras, revelando as estruturas ferrítica (clara) e perlítica (escura). Em ambas as condições de resfriamento, observam-se contornos de grão bem delineados e morfologia poligonal ou equiaxial dos constituintes. Visualmente, as fases parecem distribuir-se homogeneamente na matriz, indicando apresentar-se percentualmente em quantidades próximas. Mais adiante, resultados da metalografia quantitativa reforçarão em números as conclusões qualitativas verificadas aqui.



(a) Amostra na condição de resfriamento (N).



(b) Amostra na condição de resfriamento (F).

Figura 2: Microestruturas das duas amostras em diferentes aumentos (Reativo Nital 2%).

A Tabela 2 finaliza a caracterização microestrutural das peças fornecendo a fração volumétrica e o tamanho médio dos grãos. Todos os resultados quantitativos foram determinados pela aplicação das normas ASTM E 112-95 e ASTM E 562-95.

Tabela 2: Metalografia quantitativa das amostras.

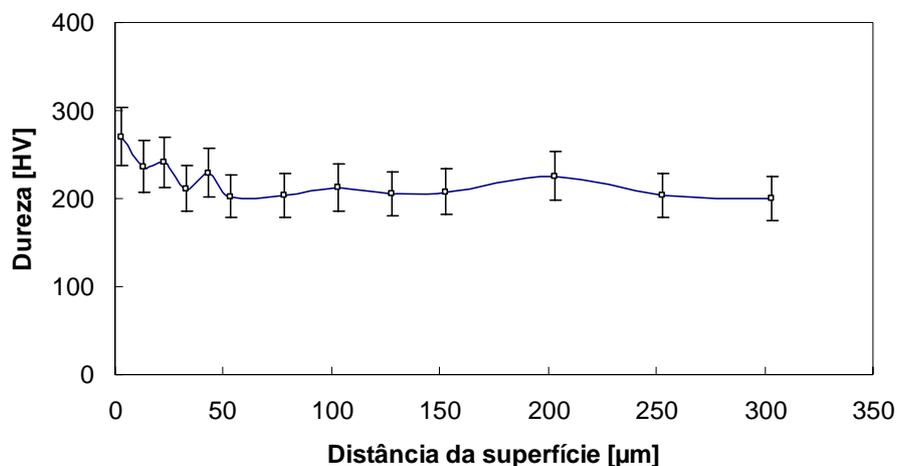
Condição	Fração Volumétrica (%)		Tamanho de Grão [μm]*	
	α	β	α	β
(N)	57	43	8,6 (11)	11,2 (10)
(F)	46	54	15,5 (9)	24 (8)

* Tamanho médio de grão ASTM (G) em parênteses

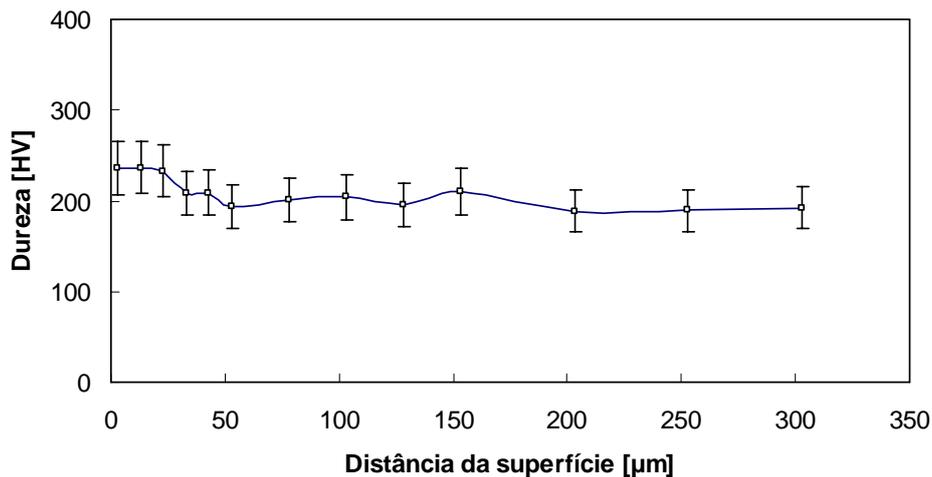
Pela Tabela 2 é possível observar que o corpo de prova na condição (N) apresentou uma microestrutura mais refinada com um tamanho de grão ASTM cerca de 10,5 contra 8,5 do corpo de prova (F). Ocorreu predominância de ferrita na amostra normalizada (aproximadamente 60%), e de perlita na amostra resfriada ao forno (aproximadamente 55%).

Provavelmente o refinamento de grão derivou do tempo e da temperatura de resfriamento de ambas, 2 horas e 950°C para a (N) e 20 min e 600°C para a (F). É válido lembrar que a taxa de resfriamento é um dos fatores que influenciam fortemente o tamanho de grão em metais.

Os gráficos da Figura 3 apresentados na sequência fornecem os valores nominais e as respectivas variações da microdureza medidas na ferrita. Os pontos de medição iniciaram-se a 5 μm da superfície e alcançaram uma profundidade de 300 μm .



(a) Amostra na condição de resfriamento (N).



(b) Amostra na condição de resfriamento (F).

Figura 3: Perfil de microdureza das duas condições de resfriamento.

Os perfis de microdureza mostraram-se idênticos estatisticamente, com erro experimental médio de 12% para ambas as condições de resfriamento. Para a quantificação da incerteza de medição, foi utilizado o método da propagação de erro. As medidas praticamente não variaram ao longo da distância da superfície, permanecendo todas dentro da média estatística.

É importante frisar que o levantamento do perfil de microdureza das amostras foi feito visando, além da caracterização das peças nas condições de resfriamento, estudos futuros da variação de microdureza em decorrência de processos de usinagem em altíssimas velocidades.

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

- O tempo e a temperatura de resfriamento influenciaram no tamanho de grão das amostras;
- A distribuição de ferrita e perlita foi igual estatisticamente para as duas peças;
- A microdureza manteve-se dentro da média ao longo da distância da superfície;
- Estatisticamente a microdureza de ambas as amostras foram próximas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), à EATON Ltda - Divisão de Transmissão e o Departamento de Engenharia Mecânica da FEIS/UNESP pelo amparo financeiro e apoio técnico ao projeto de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Yang, G., Osakada, K., 1993, "A Review of Expert Systems for Process Planning of Cold Forging", *Manufacturing Review*, June, vol. 6, n. 2, pp. 101-113.
- Chiaverini, V., 1987, "Aços e Ferros Fundidos", Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), São Paulo, SP.
- Colpaert, H., 1997, "Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns", Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP.
- Sotelo, G., Schnitzer, E., Rosso, N., 2005, "Estudo Comparativo de Microidentações de Ligas Sinterizadas Pré-Ligadas e Misturas Simples", *Revista Matéria*, Junho, Vol. 10, n. 2, pp. 284-289.
- Souza, S.A., 1995, "Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos", Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

EVALUATION OF MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF THE NORMALIZED AND FURNACE COOLED GEARS

Cleiton Lazaro Fazolo de Assis

São Paulo State University - UNESP
Engineering Faculty of Ilha Solteira - FEIS
Mechanical Engineering Department - DEM
Av. Brasil Centro, 56 - 15.385-000
Ilha Solteira-SP
clfassis@aluno.feis.unesp.br

Daniel Iwao Suyama

disuyama@aluno.feis.unesp.br

Rafael Gustavo da Rocha Paulo

rafaelgustavo@dem.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@mat.feis.unesp.br

Abstract: *This research aimed to evaluate the microstructure and microhardness of hot forged gears submitted at different cooling conditions. The modified AISI 4118H steel was employed as workpiece. This material is commonly used in production of automotive gears. After hot forging, specimens were normalized at 950 °C for 2 hours. An experimental processing route was carried out on some of these samples, where a subcritical heat treatment was applied at 600 °C for 20 minutes following air cooling. Normalized sample presented a finer structure than that from furnace specimen. Both conditions revealed essentially a microstructure of ferrite and pearlite as well as equivalent microhardness values statistically.*

Keywords: *microstructure, microhardness, forging, heat treatment, cooling condition.*