

Desenvolvimento de um Programa Computacional para Medição do Tamanho do Grão de Materiais Metálicos.

Francisco Roger L. CAETANO; Magnaura M. dos SANTOS
José Pinheiro QUEIROZ-NETO (Orientador).
rogerl.caetano@gmail.com, magnaurasantos@gmail.com
pinheiro@cefetam.edu.br

Abstract

Nos metais, parte das suas propriedades macroscópicas tem forte ligação com sua microestrutura e para relacioná-los utiliza-se a metalografia quantitativa, que consisti em técnicas de análise microestrutural da constituição do material metálico. A precisão das análises metalográficas de materiais está relacionada à medição correta dos grãos, que são pequenos cristais que compõem a microestrutura do material. Contudo, a quantificação manual da medição dos grãos é uma tarefa lenta, trabalhosa e sujeita a falha humana. Com o auxílio de técnicas de visão computacional é possível automatizar o processo de maneira a torná-lo mais rápido, preciso e confiável. Portanto, este trabalho visa desenvolver um programa computacional para a medição automática do tamanho do grão de materiais metálicos.

1. Introdução

O Brasil tem tido um grande avanço nas pesquisas de materiais com forte crescimento nos últimos anos. Com a evolução dos materiais, atualmente convivemos com os Monitores de Plasma, Monitores de Cristal Líquido - LCD, celulares de alto desempenho e novos insumos e equipamentos industriais [1].

A Metalografia é um conjunto de métodos e técnicas utilizados na análise de materiais, proporcionando identificar um dado tipo de material a um custo relativamente baixo. Basicamente este ensaio consiste em: corte da amostra, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e a observação microscópica que revela as interfaces entre os diferentes cristais [2]. Esta observação microscópica é desenvolvida, em geral, de maneira não automática, levando o pesquisador à utilização de um tempo considerável para identificar um determinado material.

A microestrutura de um material é constituída principalmente dos tamanhos de grão que a compõe, e tais medições são realizadas com muita frequência

tanto nas indústrias como nas instituições de pesquisa. Contudo, a quantificação manual da medida do grão é uma tarefa lenta, trabalhosa e sujeita a falhas e fadiga humana.

Alguns pesquisadores têm utilizado a Visão Computacional para automatizar o processo de medição do grão. Pode-se observar em [3], que técnicas de visão computacional são utilizadas para propor uma metodologia semi-automática de análise e medição do tamanho do grão, através de análise em imagens obtidas em um sistema microscópio/câmera, e processadas de tal maneira a permitir uma visualização segmentada das características que se deseja fazer a medição.

Nos trabalhos de Fazano [4,5], um sistema é utilizado para medição automática do grão, porém o autor não se preocupou em explicitar maiores detalhes quanto às técnicas utilizadas no processamento da imagem e no método de contagem, limitando-se a informar que o sistema efetua as medições conforme a norma ASTM-E112 [6]. O método proposto neste trabalho se baseia em [5], utilizando técnicas mais simples para efetuar a medição.

Este trabalho contribui para o processo automático de medição de grão de materiais metálicos, utilizando um sistema que inclui uma câmera acoplada a um microscópio para aquisição da imagem.

2. Grãos e Microestrutura

Materiais são substâncias com propriedades que as tornam úteis na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos. A microestrutura esta profundamente ligada com as propriedades dos materiais, e delas dependem a aplicação e a utilização de cada equipamento desenvolvido com um ou mais tipos de materiais.

Os materiais metálicos são cristalinos, isto é, têm suas ligações atômicas organizadas em estrutura cristalina formando arranjos que assumem uma configuração geométrica que, dependendo do elemento, pode formar diversas geometrias. Nos

metais, a configuração mais comum é a cúbica de face centrada (CFC) ou a hexagonal centrada (HC), respectivamente as Figuras 1(a) e 1(b).

Dos diversos tipos de defeitos na estrutura cristalina destacam-se os grãos, que são pequenos cristais poliédricos com diferentes orientações cristalográficas, isto é, numa rede cristalina, não alinhada, existem inúmeras orientações, onde cada uma constitui um cristal poliédrico ou grão. O conjunto de todas as imperfeições, em especial os grãos, forma a microestrutura, e a visualização desta é alcançada através da metalografia.

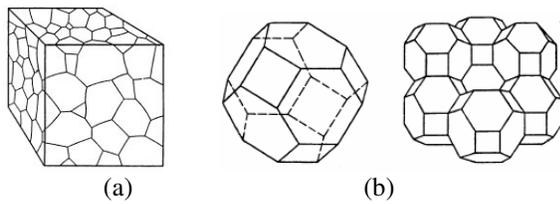


Figura 1 - Estruturas cristalinas. Extraída de [2].

3. Metalografia

A Metalografia é a ciência que estuda a morfologia dos metais, e nesta se encontra o processo de preparação da amostra do material que pode ser resumido em etapas. A primeira etapa é o Corte, que é a escolha e localização da seção a ser estudada que ficará a critério do analista que será guiado pela forma e dados que se quer obter e outras considerações da peça em estudo [6]. O Embutimento é a próxima fase e pode ser a quente ou a frio dependendo do ponto de fusão e dureza do material que se irá trabalhar. Em seguida, o Lixamento é uma etapa em que se retiram as impurezas mais grosseiras do material como defeitos de corte e defeito de fabricação. No Polimento, é a etapa em que se eliminam os riscos da ultima lixa e deixa a peça espelhada e pronta para a próxima etapa, a do ataque químico, que consiste no contato do material com o ácido que reage com o elemento que envolve todos os grãos, formando profundos sulcos ou depressões delineando os grãos e revelando-os pelo seu contorno, deixando a amostra apta para aquisição via sistema microscópio/câmera.

4. Microscopia Óptica

A Microscopia é a fase onde se visualiza, identifica e analisa as microestruturas dos metais qualitativamente, isto é, por suas características visuais. Há três tipos de microscopia que são utilizados em grande extensão na metalografia: a microscopia óptica (MO), a microscopia eletrônica de varredura

(MEV) e a microscopia eletrônica de transmissão (MET), e desses tipos de microscopia se destaca o microscópio óptico metalográfico por sua simplicidade e custo em comparação com os demais. Para analisar especificamente os metais utiliza-se o microscópio óptico de reflexão por sua baixa interação com o metal. Durante a análise é de suma importância possuir condições para uma boa visualização como posicionamento, fixação e firmeza do microscópio, a amostra deve esta plana e bem focada. Todo este processo é para reduzir os ruídos na imagem e aumentar a definição dos grãos garantindo uma boa precisão na análise.

5. Método de Medição dos Grãos

A microestrutura tem grande influencia nas propriedades macroscópicas do material, e para relacioná-las quantitativamente, isto é, através de números, utilizando a metalografia quantitativa, que consiste em técnicas de análise microestrutural fundamentadas na estatística, aplicada a uma imagem do microscópio ou micrografia de uma amostra plana ou transversal do material, com o objetivo de representar numericamente as características da micrografia com as propriedades. O processo de quantificação de cada característica da microestrutura é padronizado pela ASTM (*American Society Testing and Material*) [6].

A norma técnica ASTM E-112 padroniza a quantificação do tamanho médio do grão, que consiste em traçar três círculos concêntricos sobre a micrografia ampliada em 100 vezes seguindo a condição de que deve haver no mínimo 50 grãos em cada círculo (Figura 2).

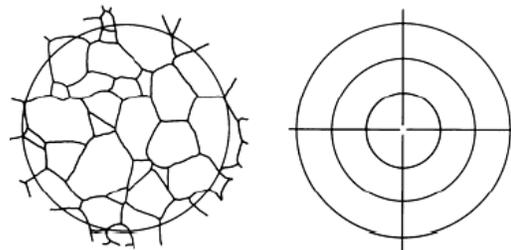


Figura 2 – Uso da norma ASTM E-112. Obtida de [22].

Desta forma, calcula-se a razão da quantidade de grãos contidos no círculo pela área do círculo, de cada círculo em polegadas quadradas, e em seguida é calculado a media dos resultados. O valor obtido representa o número de objetos da microestrutura por unidade de área, dado por N_a que é utilizado na Equação 1:

$$N = (\text{Log} N_a / \text{Log} 2) + 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde N é o número da ASTM que, através de uma tabela e figura padrão, indica um valor percentual entre 0 e 10 que representa uma micrografia com grãos semelhantes para comparação a um valor de referência em micrometros e determinação do tamanho do grão. Entretanto, para alcançar a condição da norma que estabelece um ou dois círculos para ultrapassarem a fronteira da imagem deve-se apenas utilizar os círculos dentro da imagem. Porém, se o diâmetro do primeiro círculo exceder o tamanho da imagem, então deve-se utilizar o Método de Hilliard [5], que consiste em traçar três círculos concêntricos, como na Figura 2, de comprimento conhecido, em centímetros, sobre a micrografia de qualquer ampliação e contar o número de fronteiras de grãos interceptados pela linha para substituir na Equação 2. Contudo, é importante que obedeça à condição de que deve haver mais de seis interseções do círculo com os grãos.

$$D = \text{Comprim. Circ.} / (\text{Conta.} \times \text{Ampl.}) \quad (\text{Equação 2})$$

O resultado da Equação 2 é substituído na Equação 3:

$$G = -10,00 + 6,64 \log(D) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde G é o número da ASTM em micrometros do tamanho médio do grão pelo Método de Hilliard.

Apesar de simples, a quantificação manual é trabalhosa, porque é necessário quantificar diferentes áreas da micrografia e diferentes micrografias do mesmo material obedecendo às restrições para um bom nível de confiança e precisão dos resultados através de uma média. Também na análise está sujeita a falha humana, pois, com o avanço contínuo da repetição do processo, cresce os erros causados por fadiga.

6. Implementação e Resultados

Utilizando o que recomenda a Norma da ASTM E-112, o processo de automatização da quantização inicia a partir da digitalização da micrografia através de um sistema de câmera acoplada a um microscópio óptico metalográfico e conectado ao computador, no Laboratório de Materiais e Componentes Eletrônicos do CEFET-AM. Para o início do sistema é de suma importância que a micrografia tenha excelente iluminação, contraste, foco e, sobretudo, nitidez. Após selecionar a micrografia, a imagem é quantizada para tons monocromáticos, e em seguida suas linhas são

segmentadas através do algoritmo de CANNY EDGE, resultando numa imagem preta e branca, sendo preta nas bordas de objetos e branca em todo o resto da imagem (Figura 3). Até esta etapa o sistema apenas prepara a micrografia para análise.

O sistema obedece à condição de que deve haver no mínimo 50 grãos por círculo, exigida pela norma técnica, porém, os grãos não são uniformes e variam muito de material para material, então, o sistema ajusta o raio de acordo com o tamanho de grão através do algoritmo de ajuste, desenvolvido neste trabalho como um software livre em linguagem C++. O algoritmo baseia-se em duas medições de grãos, a primeira é a medição grosseira do grão que consiste na varredura linear de pixel a pixel contando o número de fronteiras de grãos encontradas (Figura 3(b)), utilizado para calcular a razão entre o comprimento da linha e da contagem conforme a Equação 4. O método irá se repetir 10 vezes aleatoriamente, para obter um resultado médio preciso.

$$D = \text{Comprimento da linha} / \text{Contagem} \quad (\text{Equação 4})$$

A segunda é a medição simples do grão que consiste na varredura circular de pixel a pixel de três círculos concêntricos (Figura 3(c)) de cada vez, no qual o raio do primeiro círculo é o resultado da Equação 4 e os demais são 50% e 150% do primeiro círculo. Conta-se o número de contorno de grãos interceptados durante a varredura para utilizar na Equação 2, porém, considera-se a ampliação igual a 1. O processo repete-se para uma média dos resultados dos três círculos.

O resultado da Equação 2, com ampliação igual a 1, é o valor mínimo do raio para o ajuste, o qual consiste no aumento aritmético do raio na razão de 50% do raio mínimo até a condição verdadeira da restrição da norma ASTM. No entanto se o diâmetro do primeiro raio ultrapassar o tamanho da imagem o sistema adota o procedimento do Método de Hilliard.

Na condição de haver pelo menos 50 grãos no primeiro círculo, o sistema inicia a quantificação do grão calculando a razão entre o número de grãos e a área do círculo, de cada um dos três círculo concêntricos para um resultado médio. Este resultado é substituído por N_a na Equação 1. O valor de N_a acessa, na tabela ASTM, o valor do tamanho médio do grão e a micrografia correspondente. Como saída do sistema obtêm-se a micrografia segmentada por bordas, o número da ASTM, o tamanho médio do grão e a micrografia padrão, de acordo com a ASTM.

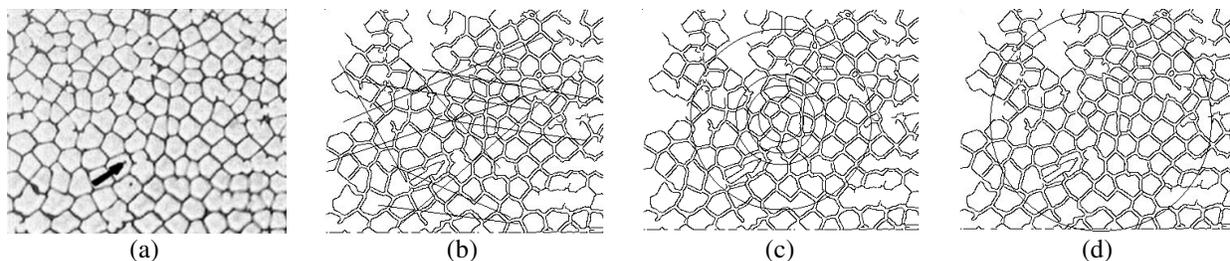


Figura 3 - Micrografia C - Amostra do material Pb-2Sb-8 obtida de [6]. Imagens resumindo o processo (a) Imagem Monocromática (b) 10 Linha Aleatórias para Análise Linear (c) Três Círculos Concêntricos Para Análise Circular (d) Contagem de 50 grãos para a Norma ASTM E112

Caso não haja menos 50 grãos no primeiro círculo, o programa aproveita o resultado da Equação 2 obtida através do processo de varredura circular, porém agora com o valor da ampliação da micrografia aplicada na fórmula, para substituí-la na Equação 3 e obter o tamanho médio do grão. Em micrografias com o número total de grãos inferior a 50, o sistema adota a medição de G (Equação 3).

Para o teste e comprovação do sistema foram efetuados experimentos com as Amostras A, B, C (Figura 3) e D extraídas de [6], sendo que esta última apresenta menos de 50 grãos no primeiro círculo para o teste da quantização pelo Método de Hilliard.

Os resultados dos cálculos de tamanho dos grãos são apresentados na Tabela 1. A medição manual (análise a olho nu na imagem) foi efetuada por um professor do CEFET-AM com 23 anos de experiência na área e confrontada com os valores obtidos pelo sistema desenvolvido neste trabalho.

A seguir o tamanho médio do grão, retirado de [6] e com alta precisão, foi comparado ao resultado do programa, observou-se que há uma pequena diferença, porém justificável, pois a precisão do programa é fundamentada na repetição do método em varias micrografias do mesmo material e não apenas em uma. Além disto, não é possível afirmar quanto ao grau de certeza da medição, uma vez que a quantidade de amostra foi pequena, e considerando que a medição manual não configura um valor exato, pois está sujeito a erros.

Amostras da Micrografia	Tamanho do Grão (Manual)	Tamanho do Grão (Automático)	Erro
A	22,05	26,278	19%
B	60,88	66,852	9%
C	108,33	122,47	13%
D	33,09	30,36	8%

Tabela 1 – Resultados comparando o método manual de medição e sistema automático proposto

5. Conclusão

A quantificação manual das medidas dos grãos é uma tarefa lenta e sujeita a falhas. Com o auxílio da visão computacional e métodos de processamento da imagem digital, este trabalho demonstrou que é possível automatizar o processo de medição dos grãos de maneira a torná-lo mais rápido e confiável. As técnicas utilizadas permitem a medição do tamanho do grão de maneira simples e eficaz, contudo este ainda é um resultado que precisa ser validado através de uma quantidade maior de amostras com mais experimentos e diferentes tipos de micrografias.

Agradecimento

Agradecemos a FAPEAM pelo auxílio através do Programa de Apoio a Iniciação Científica (PAIC).

Referências

- [1] REZENDE, Sérgio., *Materiais e dispositivos*, Ed. Livraria da Física, 2ed, ISBN 8588325276, 2004.
- [2] PADILHA, F. A e Ambrozio filho, F., *Técnicas de análises microestrutural*, Hemus livraria, distribuidora e editora 2004.
- [3] DIÓGENES, A. N., Hoff, E. A., Fernandes, C. P., “Grain size measurement by image analysis: An application in the ceramic and in the metallic industries”, Proceedings of 18th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM, November 6-11, 2005, Ouro Preto, MG.
- [4] FAZANO, C. A., *A Aplicação da Análise de imagem na quantificação das características microestruturais de materiais*, Revista Analytica • Outubro/Novembro 2005 • Nº19.
- [5] FAZANO, C. A., “Determinando-se o tamanho de grãos em ligas de cobre-zinco através da análise de imagem”, Revista Analytica • Fevereiro/Março 2007 • Nº27.
- [6] ASM Metals HandBook - *Metallography and Microstructures - Volume 09*, Ed. Metals Handbook 1985.