

PROBLEMA INVERSO DO ESPALHAMENTO TOTAL RESOLVIDO

DAVI DIEGO DE ALMEIDA¹; PEDRO LOVATO GOMES JARDIM ²

¹*Universidade Federal de Pelotas – davidiego@fisica.ufmt.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – pedro.lovato@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A aplicabilidade de técnicas de espalhamento de luz constituem-se objeto de grande relevância no método científico de caracterização do acabamento de superfície de materiais e da quantificação dos parâmetros de superfície que os caracterizam. O comportamento da luz espalhada por superfícies rugosas aleatoriamente é ditado pelas características estatísticas da superfície (HARVEY, 2012). A técnica de espalhamento de luz em vários ângulos, usando uma variedade de métodos baseados no espalhamento de superfície de iluminação e a detecção pode ser configurada para investigar as propriedades topográficas do meio *in situ* em tempo real e sem contato com a amostra. Além disso, a aproximação de Kirchhoff supera as limitações do problema inverso de determinar estatísticas de superfície da dispersão, cujos resultados estão de acordo com os reportados por SHEPPARD (1996). Quando submetidos à tratamento de polidez, os metais tendem a ser mais reflexivo, tanto mais especular é a reflexão quanto mais polida for a superfície (CALLISTER, 2002). Em síntese, o estudo do espalhamento descreve quanta luz é desviada (ou espalhada) da direção da luz incidente por reflexão difusa ou transmissão em uma superfície ou elemento óptico, ou seja, refere-se à razão entre a potência óptica difusa refletida ou transmitida e a potência óptica incidente quando a luz incide sobre uma superfície. (HARVEY, 2007).

Neste trabalho, propomos um método de luz espalhada que é capaz de caracterizar e quantificar totalmente a topografia de superfícies microestruturadas, usando luz policromática, permitindo a obtenção de todos os parâmetros estatísticos superficiais e a reconstrução da superfície pela sua função de autocorrelação. Diante disso, este trabalho propõe investigar o problema inverso do espalhamento policromático angularmente resolvido, testando experimentalmente a obtenção do perfil de superfícies gaussianas, por meio do polars.

Para isso, utilizaremos como base teórica o espalhamento clássico segundo a teoria de Kirchhoff, bem como a teoria de espalhamento sobre superfícies gaussianas como meios de se obter uma nova expressão teórica para o objeto de pesquisa que permite a obtenção da função de autocorrelação através do espalhamento. A base teórica será aprofundada no estudo das Equações de Maxwell, Equação da Onda Eletromagnética, Difração e Espalhamento, Princípio de Huygens, Equação de Helmholtz, Solução da Equação de Helmholtz, Solução da Função de Green, Aplicando a função de Green, Difração de Fraunhofer, Equação de Daves e Estatística da superfície.

Para fins experimentais, este trabalho visa a preparação dos substratos (alumínio e cobre por exemplo) através de técnicas de polimento e texturização com rugosidade graduada, as quais serão caracterizadas por um aparato óptico, idealizado, projetado e construído para tal, composto por uma fonte de luz policromática, espectrofotômetro, lente, dentre outros, montado sobre um goniômetro. Dentre as

técnicas de caracterização utilizadas, utilizaremos como aporte o POLARS desenvolvido em nosso laboratório, técnicas de Interferometria de Luz Branca (WLI - White Light Interferometry) e Microscopia de Força Atômica (AFM - Atomic Force Microscopy).

2. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa consiste em algumas etapas, sendo a primeira a confecção e preparação dos substratos de cobre, alumínio e aço, que serão trabalhados com técnicas de polimento, desbaste mecânico, ataque químico, limpeza e secagem. A segunda etapa consiste na montagem experimental, de espalhamento luz as quais serão realizadas no laboratório de óptica do CCAF nas dependências da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. O aparato experimental se constituirá de uma fonte luminosa de luz policromática *Ocean Optics* modelo DH-2000, uma esfera integradora da marca *ThorLabs*, série IS200 e modelo IS200-4, um colimador, filtros de feixes de luz, e um semi-espelho.

O sistema de medição será composto por um goniômetro (adaptação de um espectômetro de prisma de grado) com vários estágios de rotação controlados por computador, equipado com placa de arduino, alterando a incidência ângulo de 0° a 360° em uma variação de décimo de grau. A segunda etapa consistirá na realização das medidas. As amostras serão submetidas ao processo de incidência de luz em diferentes ângulos, sendo o processo caracterizado e anotado em gráficos. Já a terceira etapa será a plotagem e análise dos dados colhidos no laboratório, sendo esses processados e tratados por softwares de análises gráficas, tais como *Origin 10.5*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A montagem do aparato experimental e as medidas de espalhamento de luz difusa e especular estão sendo realizadas no laboratório de óptica do CCAF do instituto de física e matemática, nas dependências da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. Para a preparação das amostras dos substratos metálicos, está sendo utilizado serra de corte e torno no laboratório de mecânica anexado ao CCAF. Durante o período de pesquisa, será mantido o aparato em uma bancada fixa, com aferimento de calibração e funcionamento diário.

Para aferir o espalhamento de luz, incindimos um feixe de luz policromática em cada amostra, passando por ela e fornecendo dados para a análise quantitativa. Uma fonte luminosa (*Ocean Optics* e modelo DH-2000) é a geradora da luz, cuja via de direção e transporte se dá por fibra óptica, ocasionando uma propagação contínua da luz em seu núcleo interno com a menor perda de sinal possível. Na mesma configuração, fixamos uma lente convergente com filtros especiais, que servirá como colimador do feixe de luz. Ao passar pelo colimador, o feixe de luz refletido por um semi espelho e recai sobre uma esfera integradora (*ThorLabs*, série IS200 e modelo IS200- 4), depois, a luz incidirá sobre a amostra a ser analisada. Um espectrômetro (*Stellar Net Inco modelo BLUE-Wave spectrometer Overview*) será o receptor (por fibra óptica) da luz espalhada difusamente, e um espectrofômetro fará a conversão analógico-digital do sinal e o enviará para o um software no computador, que mostrará o sinal de intensidade e comprimento de onda do espalhamento.

As amostras de cobre, alumínio e aço são fixadas no centro do goniômetro, que pode ser girado em 360 graus com velocidades que varia em segundos e distâncias que variam entre décimos de graus a graus inteiros, dezenas e quarto de plano geométrico. A calibragem é bastante minuciosa, sendo ajustado o nivelamento da bancada em relação ao solo e, obter os parâmetros iniciais de 104° e 256°. Uma fonte de 9V alimenta uma plataforma programável de prototipagem eletrônica de programação padrão, essencialmente C/C++ de placa única e hardware livre, cuja função é comandar a velocidade e distâncias em ângulos variados pelo feixe de luz. Os dados quantitativos obtidos pelo espectrofotômetro são processados pelo software *OceVienn* e plotados em computador para um programa que importa dados de instrumentos de medidas (*Origin 8.5*) para ajuste dos dados experimentais e permite visualização de gráficos.

Figuras 1 a 8. Montagem do Goniômetro onde está sendo executado o experimento e amostras metálicas.



Fonte dos autores.

4. CONCLUSÕES

Até o momento, foi possível identificar e superar problemas com a técnica de polimento das amostras sugerindo um procedimento distinto de preparação de amostras, adotando meios alternativos para a preservação da amostra após o tratamento químico, buscando manter a superfície livre de oxidação. O substrato de cobre mostrou uma resposta mais rápida quando submetidas ao processo de preparação amostral com ácido nítrico, sendo que as concentrações testadas se mostrou satisfatória, propiciando rugosidade variada com tempos de desbastamento.

As primeiras medidas no aparato óptico mostrou-se possível a aquisição de dados estatísticos de rugosidade e espalhamento. Esses dados ainda estão sendo tratados de maneira a apresentar uma expressão que possa viabilizar comparações com as técnicas de caracterização de superfícies.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002

GUO, Z; LIU, W; SU, B. Superhydrophobic surfaces: From natural to biomimetic to functional. **Journal of Colloid and Interface Science**, n. 353, 2011, p 335-355

HARVEY, J. E. et al. Total integrated scatter from surfaces with arbitrary roughness, correlation widths, and incident angles. **Optical Engineering**, v. 51, n. 1, p. 013402, 2012

HARVEY, J.; KRYWONOS, A.; VERNOLD, C. L. Modified Beckmann- Kirchhoff scattering model for rough surfaces with large incident and scattering angles. **Optical Engineering**, v. 46, n. 7, p. 078002, 2007.

SHEPPARD, C. J. R. Simplified expressions for the bidirectional reflectance distribution function, and inverse scattering of surface roughness. **Journal of Modern Optics**, v. 43, n. 2, p. 373-380, 1996.