

Granitado Laser

A. L. V. S. LAGE

Centro de Física da Universidade do Porto
Faculdade de Ciências, Praça Gomes Teixeira, 4000 PORTO (Portugal)

Introdução

Com o aparecimento do Laser surge um fenómeno inesperado: a imagem da superfície de um objecto iluminado por um Laser apresenta um granitado chamado granitado Laser (SPECKLE), cujas dimensões e distribuição espacial dependem do observador, da posição deste e dos níveis de iluminação. Apesar do granitado Laser estar intimamente associado à invenção do Laser, o estudo deste fenómeno iniciou-se muito antes.

Consideremos uma superfície difusora e iluminada por uma fonte de luz coerente e cuja rugosidade é superior ao comprimento de onda da radiação utilizada. Dado o carácter difusor desta, podemos considerar que cada ponto re-emite a luz comportando-se como uma fonte de ondas esféricas. A interferência destas ondas com intensidades e fases aleatórias, mas coerentes, origina um padrão com aspecto granitado que se designa por granitado Laser.

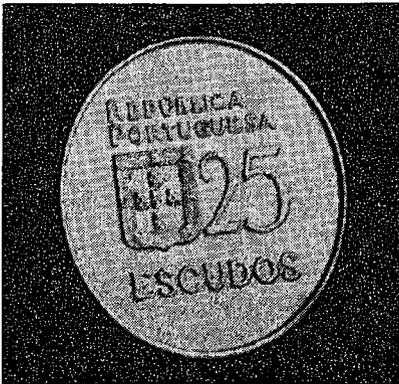


Fig. 1 — Fotografia de um objecto iluminado por uma lâmpada de incandescência (f/11).

A Fig. 1 representa um objecto iluminado por uma lâmpada (fonte de radiação incoe-

rente) e nas Figs. 2 e 3 o mesmo objecto iluminado por um Laser. Nestas duas últimas, dado o carácter coerente da fonte de radiação, cada ponto da imagem é obtido pela interferência de ondas esféricas provenientes de diversos pontos do objecto, resultando daí uma imagem com granitado. Na Fig. 1, dada a falta de coerência da fonte, há uma integração temporal obtendo-se uma imagem sem granitado. É ainda de notar, nas Figs. 2 e 3, a diferença

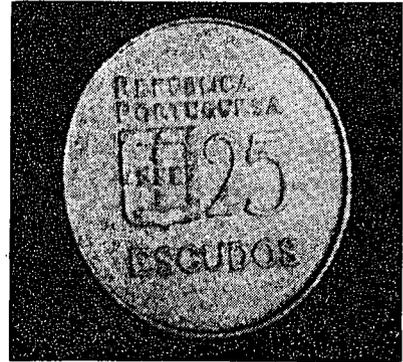


Fig. 2 — Fotografia de um objecto iluminado por um Laser He-Ne (f/11).

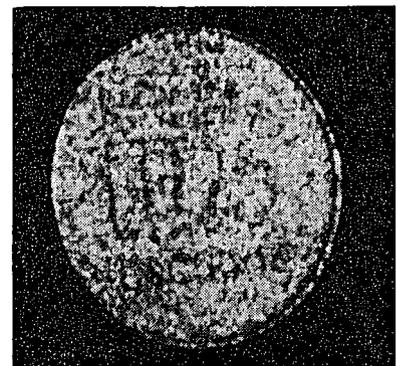


Fig. 3 — Fotografia de um objecto iluminado por um Laser He-Ne (f/32)

da dimensão do grão. Na verdade, este não depende da rugosidade da superfície do objecto,

mas sim da resolução do sistema óptico formador de imagem, ou seja, no caso de uma lente, da sua abertura.

Inicialmente o granitado Laser foi encarado como ruído da imagem, originando dificuldades como por exemplo no campo da holografia e no processamento óptico. Porém, dado que o granitado Laser contém informação da superfície e resulta de um processo interferométrico, é possível explorá-lo na análise da superfície e do seu comportamento.

Hoje o granitado Laser é considerado como uma nova ferramenta fundamental na Metrologia Óptica e com várias outras aplicações inclusive no processamento de imagens.

Granitado Laser

Consideremos uma superfície difusora iluminada por um feixe Laser, na qual cada ponto vai actuar como uma fonte pontual de ondas esféricas (Fig. 4). A amplitude da onda em

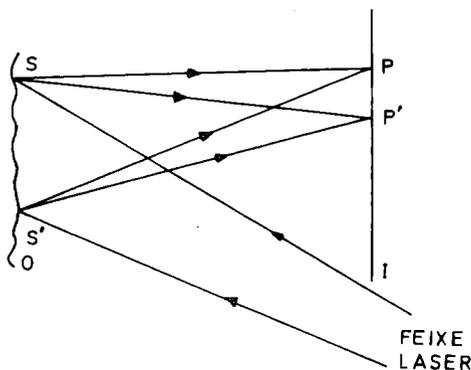


Fig. 4 — O — superfície do objecto; I — plano de imagem.

qualquer ponto do espaço resulta do somatório das amplitudes complexas das diversas contribuições de cada ponto da superfície iluminada. Sendo $\phi(x, y)$ a rugosidade da superfície no ponto $S(x, y)$, a amplitude complexa $U(r)$ da

luz difundida no ponto $S(r)$ da superfície é dada por

$$U(r) = k \iint u(x, y) \exp \left[\frac{2 \pi i}{\lambda} A \phi(x, y) \right] dx dy$$

onde λ é o comprimento de onda da radiação Laser, A é um factor geométrico, k é uma constante e $u(x, y)$ é a amplitude complexa da radiação incidente. Dado que suposemos a rugosidade superior ao comprimento de onda, a amplitude no ponto $S(r)$ é uma soma de amplitudes complexas com fase e intensidade aleatórias, com intensidade variável entre zero e um valor máximo. Qualquer ponto do espaço terá uma intensidade resultante da contribuição dos diferentes pontos da superfície. Para um ponto vizinho de P, P' , apesar das amplitudes das componentes individuais poderem variar lentamente, a sua fase relativa altera-se rapidamente provocando na resultante variações bruscas.

Nesta breve introdução ao granitado Laser não cabe um estudo detalhado das suas propriedades estatísticas, aliás bem referenciado na literatura [1]. Pela sua importância e para uma melhor compreensão deste fenómeno destacamos a probabilidade da intensidade \mathcal{I} pertencer ao intervalo $(\mathcal{I}, \mathcal{I} + d\mathcal{I})$ num ponto como sendo dada por:

$$P(\mathcal{I})d\mathcal{I} = \frac{1}{\langle \mathcal{I} \rangle} \exp \left(\frac{-\mathcal{I}}{\langle \mathcal{I} \rangle} \right)$$

onde $\langle \mathcal{I} \rangle$ é o valor médio da intensidade do granitado na região.

Consideremos a imagem do objecto num plano (I) formada por um sistema óptico constituído por uma lente com uma determinada abertura (Fig. 5). A cada ponto S da superfície do objecto vai corresponder no plano imagem I uma figura de difracção centrada no ponto P . Ao ponto S' , vizinho de S , vai corresponder outra figura de difracção centrada em P' mas coincidente em parte com a obtida anteriormente, a menos da fase que depende da rugosidade da superfície. A amplitude em P resulta assim da soma das amplitudes complexas das várias figuras de difracção de pontos

vizinhos de S, sendo a sua intensidade devida à contribuição de uma área do objecto cen-

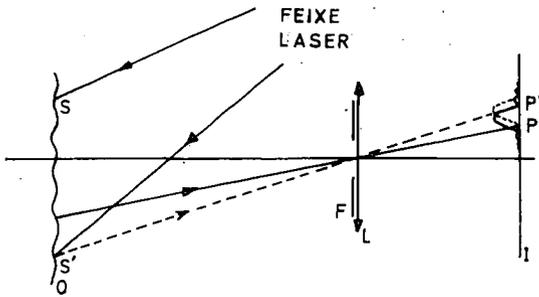


Fig. 5 — O — superfície do objecto; I — plano de imagem; L — lente; F — diafragma (filtro espacial).

trada em S cuja intensidade varia entre zero e um valor máximo, dadas as características da fonte de iluminação. A distância mínima entre dois pontos da superfície para os quais as figuras de difracção não interferem corresponde na imagem a dois pontos afastados de

$$\overline{SS'} = \frac{2,4 \lambda x}{a}$$

em que a é o diâmetro da abertura suposta circular do sistema óptico e x a distância da lente ao plano imagem I. Este resultado foi obtido com base na figura de difracção no infinito de uma abertura circular que corresponde a

$$f(r) = \frac{2 J_1(z)}{z} \quad z = \frac{2 \pi}{\lambda} ax$$

sendo $J_1(z)$ a função de Bessel de primeira espécie e de primeira ordem da variável z .

Se considerarmos o tamanho do grão como a distância entre os dois mínimos da função de Bessel a dimensão deste é

$$\frac{2,4 \lambda x}{a}$$

isto é, só depende da abertura da lente formadora da imagem.

Justifica-se assim o facto de nas Figs. 2 e 3 surgir granitado Laser de dimensões diferentes, dado que as fotografias foram obtidas com aberturas diferentes.

Podemos considerar o granitado Laser como um conjunto de redes aleatórias com frequência espacial variável, e que a máxima frequência é imposta pelo sistema óptico. Este funciona como um filtro passa baixo relativamente às frequências espaciais da frente de onda difundida pela superfície.

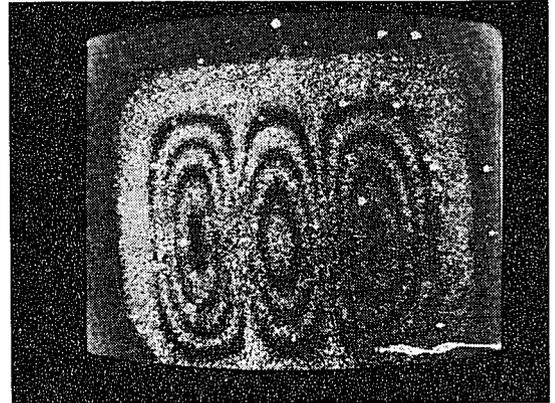


Fig. 6 — Modo de vibração de uma chapa de aço com 2 mm de espessura frequência = 1,75 KHz.

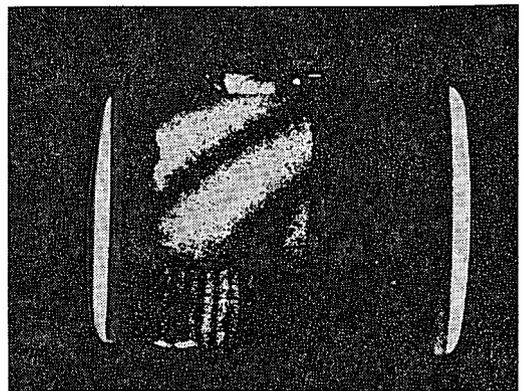


Fig. 7 — Deformação de um objecto sujeito a uma carga.

Os sistemas de registo da imagem utilizados por esta técnica podem apresentar mais baixa resolução do que os usados nos métodos holográficos, dado necessitarem de resolver unicamente as frequências contidas pelo granitado Laser. Torna-se assim possível transpor as técnicas de holografia interferométrica para técnicas de granitado Laser nas quais se substitui a placa holográfica de alta resolução pelo

«target» de uma câmara de vídeo. Evita-se desta forma o processamento químico e o reposicionamento da placa holográfica. Este método é normalmente designado por “Electronic Speckle Pattern Interferometry” ou ESPI, e foi inicialmente estudado por Butters e Leendertz [2].

Aplicações

A nível da Metrologia pode-se falar em vários métodos de aplicação, sendo talvez os mais importantes a fotografia de granitado Laser e a interferometria de granitado Laser. A distinção entre os dois não é fácil dado ambos envolverem registo do granitado Laser e interferometria. Na fotografia de granitado Laser considera-se a existência de uma rede intimamente ligada à superfície do objecto e que acompanha os movimentos desta. A informação é obtida pela análise da deformação sofrida pela rede. Na interferometria de gra-

nitado Laser a informação é obtida pela correlação entre duas manchas de granitado Laser.

Estas duas técnicas de granitado Laser tornam possível medidas na gama de 100 μm a 0.1 μm sendo possível ampliar esta gama com técnicas de heterodinagem.

As Figs. 6 e 7 mostram exemplos de aplicações das técnicas de granitado Laser no estudo de vibrações de deformações, tendo sido obtidas com o sistema de ESPI por nós desenvolvido.

Além das citadas aplicações esta técnica permite analisar a forma da superfície («contouring»), deformações, vibrações, movimentos de fluídos, citando apenas os de uso mais corrente.

- [1] J. W. GOODMAN — Laser Speckle and Related Phenomena. J. C. DAINTY, Spring-Verlag: Berlim (1975).
- [2] J. N. BUTTERS e J. A. LEENDERTZ — Journal of Measurement and Control, 4 (1971).

Ondas térmicas na análise não destrutiva de materiais

M. ZAMITH SILVA e J. A. FERREIRA

Laboratório de Física, Universidade do Minho

1. Introdução

A utilização de ondas térmicas na análise não destrutiva de materiais é uma técnica recente que permite detectar e representar as características térmicas de uma amostra, quer à superfície, quer na região imediatamente subjacente. Nesta técnica são criadas ondas térmicas usando um feixe intenso de energia, habitualmente um laser ou um feixe de electrões, modulado em intensidade e focado na amostra.

Foi a partir do efeito fotoacústico [1], descoberto há mais de um século por Alexander Graham Bell [2], que esta técnica se desenvolveu. Bell verificou que, se interrompesse periodicamente um feixe de luz focado sobre um diafragma num tubo auditivo, podia obter

um sinal audível. Dado não existirem na altura detectores sensíveis que permitissem quantificar os sinais acústicos, esta descoberta foi rapidamente esquecida e, quando ressurgiu, o então chamado *efeito optoacústico* foi inexplicavelmente aplicado apenas a amostras gasosas. Desde que, nos últimos anos, passou a ser utilizado também no estudo de sólidos e líquidos, o efeito fotoacústico encontrou aplicações em numerosas áreas de investigação, desde a física e a química até à biologia e à medicina.

Tendo-se concluído que o sinal fotoacústico dependia não só das propriedades ópticas da amostra mas também das suas características térmicas, dado que o efeito era decomponível num efeito fototérmico seguido de um efeito termoacústico, procuraram-se métodos alternativos para detectar as ondas térmicas criadas