FOTOELASTICIDADE COMO MEIO DE ESTUDO DOS MATERIAIS

Alexandre Augusto Laco Dzazio (PROVIC/UEPG), Julio Flemming Neto (Orientador), e-mail: flemming@uepg.br.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Física

Ciências Exatas e Naturais - Física e Astronomia.

Palavras-chave: Óptica, Polarização da luz, tensões mecânicas, vidros.

Resumo

Um tema de pesquisa o qual se encontra na interface entre a Óptica e a Engenharia dos Materiais e de grande interesse é o estudo das tensões mecânicas nos materiais através da fotoelasticidade. Este fenômeno, descoberto pelo físico David Brewster em 1815, foi desenvolvido principalmente ao longo do século XX e hoje tem aplicações em sistemas tridimensionais, em descontinuidades de materiais, em geometrias irregulares e em situações de variação dinâmica de tensões, entre outras. Dentro da grande complexidade deste tema, analisou-se as tensões residuais em um vidro termicamente temperado. Foram realizados experimentos ópticos que reproduzam a técnica padrão de fotoelasticidade. Esta se constitui pela incidência normal de luz poli ou monocromática, linear ou circularmente polarizada sobre uma amostra bidimensional. A luz emergente é analisada por um polaroide e/ou uma lâmina de quarto-de-onda, onde a imagem obtida é capturada.

Introdução

A fotoelasticidade é uma técnica não destrutiva utilizada para estudar, a partir do uso de fontes luminosas, como um material responde a uma solicitação mecânica ou suas tensões residuais. Tais propriedades podem ser visualizadas devido a característica do material de ser birrefringentes. Neste caso a luz se propaga pelo material com duas velocidades diferentes, *V1* e *V2*. Assim, também existirão dois diferentes coeficientes de refração, definidos por *n1= V1 /C e n2= V2 /C,* sendo *C* a velocidade com que a luz se propaga no vácuo. Devido a esta diferença de velocidade a luz tende a se propagar diferentes distâncias em um mesmo intervalo de tempo. O deslocamento relativa entre estas é chamada de retardamento, *R*, e está correlacionado a espessura do material, *t*. e ao módulo das tensões aplicadas. O retardamento pode ser definido a partir do seguinte equacionamento: $R = (\sigma 1 \ - \ \sigma 2)\,.\mathrm{t}\,.\mathrm{F}$, onde *F* é uma constante dependente do material estudado e σ_1 e σ_2 as tensões residuais. (1)

Ao se posicionar um polarizador subsequentemente ao material birrefringente estudado, este fará com que as ondas emergentes interferiram entre si. O padrão de cores e franjas observadas a partir deste é o resultado destas interferências construtivas ou destrutivas. (1, 2)

A existência de tensões residuais pode provocar alterações em algumas propriedades óticas dos materiais e em diversas de suas propriedades mecânicas, alterando assim seu desempenho. (3, 4)

Os vidros temperados são excelentes exemplos onde a tensão residual em um material é utilizada para se melhorar uma propriedade mecânica. Estes têm uma resistência ao impacto de duas a cinco vezes superior ao seu valor original. A fotoelasticidade pode ser empregada para se analisar se o vidro está adequadamente submetido a uma tensão e se esta é adequada, a qual torna a superfície uma camada protetora mais resistente. (1, 4)
A têmpera do vidro consiste essencialmente no aquecimento do vidro acima da temperatura de transição vítrea e, então no seu resfriamento até a temperatura ambiente de maneira rápida. Inicialmente existe um maior resfriamento da superfície e, assim, esta torna-se rígida mais rapidamente que o interior do material, que ainda encontrara-se em condição plásticas. A medida que o interior e resfriado, este tenderá a se comprimir, porém uma vez que o exterior encontra-se rígido, este movimento não será permitido. Portanto tensões compressivas na superfície e com tensões de tração no interior serão geradas. (4)
Teoricamente as tensões residuais verificadas sob a superfície do material deveriam ser homogêneas e bem distribuídas ao redor do material, mas, na prática, tal fato não é verificado, uma vez que há uma heterogeneidade dos fenômenos de transporte de calor. Na maior parte dos casos tal resfriamento não ocorre de maneira uniforme por toda superfície do vidro, mas sim com jatos de ar concentrados em certas localidades. Portanto, tais regiões estarão submetidas a maiores esforços residuais, aumentando a importância da analise destas áreas. (4)
Importante salientar também a existência de fatores concentradores de tensões nos materiais, como o caso dos cantos vivos e de defeitos presentes, como as trincas. Estes pontos sob maiores tensões devem ser analisados mais cuidadosamente e podem ser identificados através da fotoelasticidade. (4, 5)

Materiais e Métodos

Materiais

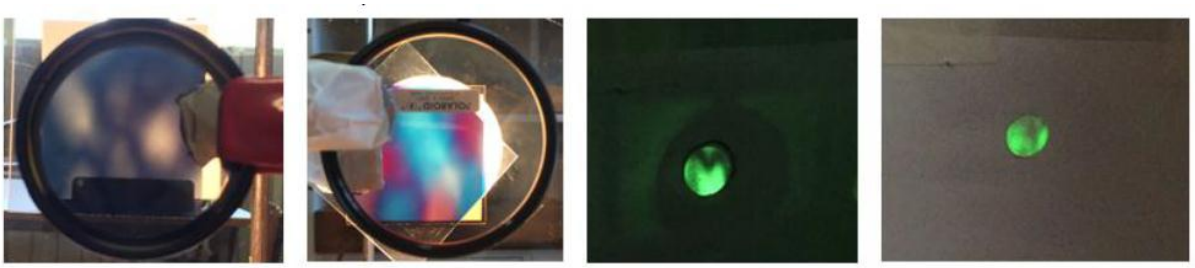
O foi baseado na utilização de um vidro temperado cuja espessura era de 8mm, tendo uma altura de 390mm e largura de 590mm, apresentando dois chanfros e um furo com raio de 30mm na peça.
Para seu estudo, empregou-se de dois polarizadores lineares, tendo o primeiro um formato quadrático, cuja lateral tinha 75mm e o segundo da marca, Tokina Polarizer, formato circular, de diâmetro igual a 55mm.
A fim de se analisar o material a partir de uma luz circularmente polarizada empregou-se de uma lâmina de quarto-de-onda, cujo o valor de retardação era de 140 ± 20 µm e de um polarizador circular, o qual já tinha uma lamina de quarto-de-onda embutida, utilizado como analisador. Utilizou-se também de um difusor, cuja função era redistribuir a luz de maneira homogênea.No teste do material com o laser, empregou-se de um polarização a partir de uma calcita número 8.
Como fontes luminosas foram utilizadas uma lâmpada policromática branca de 200W e um laser DPSSL, a partir do aparelho LPM 8000, cujo o feixe apresentava cor verde. Também utilizou-se de um filtro espacial Tropel Model 28,0 e de um filtro neutro.Para dar suporte aos equipamentos e ao vidro fez-se uso de uma mesa óptica bem como de garras e outros suportes mecânicos.
Utilizou-se também de um equipamento emissor de micro-ondas.

Métodos

Para a realização da pesquisa, inicialmente visou-se escolher as regiões mais favoráveis para o estudo da fotoelasticidade do material. Para tal foi realizado um mapeamento da superfície do material, determinando as regiões onde este encontrava-se sobre maior solicitação mecânica. Este teste consistiu no uso de dois polarizadores lineares cruzados entre sí, onde o vidro temperado seria inserido entre estes, enquanto o sistema era iluminado por uma luz policromática branca. A peça era movida através de todo sistema e os pontos onde, aparentemente haviam maiores tensões residuais foram registrados. Tais pontos foram numerados de 1 a 10 e foram analisados durante todo o estudo. Para uma melhor identificação foi utilizado de um sistema de coordenadas.
O comportamento do material nestas regiões foi analisado a partir da incidência de diferentes ondas, dentre estas se encontram a análise através de fonte luminosa policromática linearmente polarizada; uma fonte luminosa policromática circularmente polarizada; uma fonte luminosa monocromática linearmente polarizada e uma fonte luminosa monocromática circularmente polarizada.
No ensaio com a luz circularmente polarizada, esta era obtida através de laminas quarto-de-onda que eram inseridos no sistema. Importante salientar que o alinhamento óptico foi fundamental para que o sistema fosse devidamente analisado e os resultados obtidos fossem os mais exatos possíveis. Assim, para cada um dos ensaios realizado com diferentes fontes luminosas era necessário um preciso alinhamento antes que o teste pudesse ter início.

Resultados e Discussão

Uma vez os conceitos fundamentais correlacionados a fotoelasticidade foram assimilados e compreendidos, pode-se dar início aos experimentos.
Uma vez devidamente montado o sistema, com os polarizadores devidamente cruzados, observava-se que previamente ao vidro temperado ser adicionado ao sistema que nenhuma imagem era formada e a passagem de luz era mínima.
Com a adição do material entre os polarizadores observa-se a formação de uma imagem repleta de franjas. Estas derivam da birrefringência do vidro, devido a presença de tensões residuais no material. Assim, algumas ondas, ao interferirem entre si através do polarizador analisador, não se encontravam sobre a mesma polarização inicial, podendo assim transpassar pelo analisador, possibilitando a formação de uma imagem.
Os diversos sistemas com diferentes fontes luminosas foram montado separadamente e o vidro temperado teve toda sua superfície varrida através da incidência de cada uma destas, onde a fotoelasticidade nos 10 pontos foi registrada a partir de uma câmera fotográfica. A figura 1 mostra por exemplo os resultados obtidos para o ponto 6.
Pode-se observar na figura 1 (a) e (b) uma grande área ocupada por franjas, enquanto nas figuras 1 (c) e 1 (d) a luz transpassa quase que por completo. Tal fato advém do pequeno diâmetro do feixe luminoso monocromático gerado pelo laser, que mesmo que expandido apresenta um pequeno diâmetro, de 10mm Assim, tal diâmetro não era suficiente para que se pudessem ser visualizadas varias franjas nesta área.



(a) (b) (c) (d)

Figura 1 – Fotoelasticidade do ponto 4, obtida através de um feixe de luz (a) policromático linearmente polarizado; (b) policromático circularmente polarizado, (c) monocromático linearmente polarizado; (d) monocromático circularmente polarizado.

A partir dos testes realizados pode-se constatar que o resfriamento com o jato de ar durante a tempera do material deu-se em uma região próxima aos pontos 2, 4, 7 e 9.

Conclusões

A partir dos experimentos realizados pode-se averiguar a existência de tensões residuais no vidro temperado. Observou-se também que os fatores concentradores de tensão exercem uma forte influencia sob o material. Nestas regiões deve-se haver uma maior preocupação com as tensões aplicadas, apresentando alterações nas tensões residuais. A partir do estudo, pode-se concluir também que o resfriamento do vidro foi realizado em maiores intensidades em regiões próximas aos pontos 2, 4, 7 e 9. Nota-se também a forte influencia dos chanfros e furos da peça quanto sob a tensão residual. As demais regiões do vidro apresentam tensões resíduas característicos do vidro temperado, porem em menores proporções quando comparadas as regiões onde se concentrou o jato de ar.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e a meus amigos por todo apoio e incentivo fornecido durante esta etapa, auxiliando-me nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Agradeço também ao Professor Doutor Julio Flemming Neto, pela orientação, confiança e oportunidade, fornecendo ajuda por toda esta jornada, sem o qual a realização desta pesquisa não seria possível.

Referências

1) R. W. ANSEVIN, "The Nondestructive Examination of Surface Stresses in Glass". Materials Evaluation, Vol.25**,** 58, (1967).
2) HALLIDAY, D.; RESNICK, R. 3.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1982, v.4.
3) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS C1279 – 05: Standard Test Method for Non-Destructive Photoelastic Measurement of Edge and Surface Stresses in Annealed, Heat-Strengthened, and Fully Tempered Flat Glass. West Conshohocken: ASTM, 2005.
4) CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
5) A. AJOVALASIT.;G. PETRUCCI.; M. SCAFIDI, " Review of RGB photoelasticity",Optics and lasers in engineering Vol. 68 ,58, (2015).