

RESUMO

Este trabalho teve como principal objectivo desenvolver técnicas para caracterizar campos de tensões residuais. Utilizando técnicas de relaxação baseadas no método do furo e técnicas ópticas para caracterizar deslocamentos no plano, foram desenvolvidas metodologias para obter as tensões residuais. Estudaram-se problemas envolvendo tensões uniformes em profundidade e tensões variáveis. Para ambos os casos desenvolveram-se métodos de calibração e de medida.

Os resultados obtidos nas medições foram comparados com valores provenientes doutros grupos de investigação e resultantes de simulações numéricas realizadas pelo autor. A concordância verificada entre os resultados permite afirmar que as metodologias desenvolvidas constituem importantes ferramentas para a caracterização de tensões residuais. O facto de se tratar de medições de campo permite obter directamente as tensões de corte e desta forma caracterizar completamente o campo de tensões libertadas. A possibilidade de realizar furos a diferentes profundidades de forma contínua ou iterativa permite investigar a variação de tensões em profundidade e medir tensões em profundidades que normalmente estão fora do alcance de outras técnicas.

No desenvolvimento desta dissertação o autor desenvolveu vários algoritmos e programas para utilização nesta técnica de medida. As técnicas de Moiré interferométrico ainda que não sejam novidade em termos internacionais foram aqui aplicadas de forma pioneira no nosso país. Para isso foi necessário desenvolver técnicas de gravação e replicação de redes bem como métodos de calibração e cálculo de tensões que, tanto quanto é do conhecimento do autor, apresentam alguma originalidade e inovação mesmo em termos internacionais.

Durante a realização deste trabalho o autor estabeleceu colaboração com outros grupos de investigação, quer nacionais, quer estrangeiros. Com estas colaborações foi possível otimizar o processo de gravação de redes e desenvolver os métodos de calibração e cálculo de tensões.

Finalmente deve referir-se a colaboração com o único grupo nacional com trabalho relevante na área de medição de tensões residuais. Com esta colaboração foi possível comparar os resultados obtidos neste trabalho com os resultantes da medição com técnicas convencionais; difracção de raios X e extensometria, e verificar a qualidade das medições realizadas.

No capítulo 1, faz-se uma introdução às tensões residuais, sua definição, como ocorrem, quais os problemas decorrentes das tensões residuais, em que situações é que podem ser vantajosas. Abordam-se, sucintamente, as técnicas de medição de tensões residuais convencionais, referindo-se também sobre a possibilidade de utilização de técnicas ópticas para a sua medição.

O capítulo 2 é dedicado à descrição das principais técnicas de medição de tensões residuais, desde as técnicas destrutivas, às não destrutivas passando pelas semi-destrutivas. É, também, feita uma avaliação qualitativa das principais vantagens e desvantagens de cada uma delas. Neste capítulo faz-se, também, uma introdução a algumas técnicas ópticas utilizadas na medição de tensões residuais.

A medição de campos de deslocamentos no plano com técnicas ópticas vem desenvolvida no capítulo 3. Neste capítulo descrevem-se, com algum pormenor, as técnicas ópticas mais utilizadas na medição de campos de deslocamentos no plano, como é o caso de Moiré, de ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*) no plano, da correlação de imagem e de ESPI radial. Estão indicados os princípios de funcionamento de cada uma delas, as suas potencialidades e limitações, bem como a sua sensibilidade e resolução.

O capítulo 4 é dedicado ao método do furo. Neste capítulo é explicado o fenómeno físico do relaxamento de tensões, são desenvolvidas todas as equações utilizadas no método do furo. Numa primeira parte do capítulo faz-se um desenvolvimento analítico para o furo passante baseado na solução de Kirsch e posteriormente faz-se um desenvolvimento a partir das séries de Fourier para aplicação do método aos furos cegos, que é a situação mais próxima da realidade. Também se aborda o problema da determinação dos parâmetros de calibração e desenvolvem-se as equações que relacionam os deslocamentos obtidos nas medições com as tensões residuais relaxadas.

No capítulo 5 abordam-se as principais técnicas de preparação de superfícies. A preparação das superfícies tem uma importância primordial para uma medição eficiente com as técnicas ópticas. Assim, é feita a descrição da preparação das redes a serem usadas em Moiré geométrico, os procedimentos e dificuldades para obter-se a replicação duma rede de difracção eficiente para Moiré interferométrico. É, também, feito um estudo da preparação de superfícies para a correlação de imagem.

O capítulo 6 foi definido para validar as técnicas ópticas para medição no plano. Assim, fizeram-se um conjunto de ensaios com Moiré geométrico e interferométrico, os resultados obtidos foram comparados com simulações numéricas e, em alguns casos, com outras técnicas de medição, nomeadamente com a extensometria. Os resultados obtidos estiveram de acordo com o esperado e na comparação feita com os cálculos numéricos verificou-se que os valores obtidos se encontram muito próximos. Fez-se o mesmo tipo de análise para a correlação de imagem e, da comparação com os resultados numéricos, verificou-se que há boa semelhança entre os valores medidos com os valores determinados numericamente.

No capítulo 7 descrevem-se as medições de tensões residuais executadas com as técnicas ópticas. Fizeram-se a medição de tensões residuais num provete de calibração utilizando o método do furo associado ao Moiré interferométrico e ESPI no plano, os resultados medidos estão próximos dos valores esperados. Um outro ensaio de medição de tensões residuais foi executado numa peça granalhada, utilizando a técnica do furo incremental com o método integral associada ao Moiré interferométrico. Os valores obtidos com estas medições foram comparados com outras técnicas convencionais de medição de tensões residuais e com uma simulação numérica, verificando-se que há uma concordância entre eles.

As conclusões e propostas para futuros trabalhos na sequência desta dissertação estão apresentadas no capítulo 8.

ABSTRACT

The main subject of the present work was the development of techniques for the characterization of residual stress fields. To this end, a set of methodologies was developed by using the hole drill relaxation technique together with in plane displacements optical characterization methods. Several physical problems involving depth uniform as well as variable stresses were subject to analysis. Calibration and measurement methods were developed in all cases.

The results obtained on this work were compared both to the results from other research groups and to those obtained by numerical simulation by the author. The agreement between all results supports the statement that the developed methodologies remain as important tools for the characterization of residual stress fields. The fact these are full field methods enables the direct acquisition of shear stresses, thus completely characterizing the released stress field. The capacity to drill a hole at different depths either continuously or iteratively, makes it possible to study and measure depth stresses which are normally out of reach for other techniques.

In the course of this thesis, the author developed several algorithms and computer programs to support the measurement techniques. Moiré Interferometry, while not being a novelty in foreign research centers, was applied here for the first time in our country. In order to do so, grating recording and replication techniques had to be developed, as well as calibration and stress calculation methods which bear some innovation and originality, to the author's knowledge.

The author has also established a number of collaborations with other research groups, both national and foreigner. The grating recording process was dully optimized due to these collaborations, and the calibration and stress calculation methods were further improved.

Finally, but not less important, the collaboration with the soul national research group of relevance in the area of residual stress calculation must be referred. This collaboration made it possible to compare the results obtained during this work with those resulting from the application of conventional techniques such as X-Ray diffraction and strain gauging, and further enabled the verification of the quality of the performed measurements.