

Capítulo VI – Conclusão

VI.1 – Introdução

Neste trabalho foi estudada a influência da plastificação na medição de tensões residuais pela técnica do furo passante e cego. Foi apresentada uma extensa revisão a respeito de tensões residuais e das principais técnicas destrutivas não destrutivas para medir estas tensões. A técnica do furo-cego foi extensamente estudada e foi mostrado que se tensões residuais maiores que $0.3S_y$, chamadas de altas tensões, estiverem presentes no componente, a usinagem do furo causará plastificação na borda deste. A seguir foi feita uma breve revisão sobre plasticidade, notadamente no que diz respeito à plastificação em placas que contenham furos. Finalmente, foram avaliados os erros obtidos ao se aplicar os coeficientes linear-elásticos para retrocalcular tensões residuais quando ocorre plastificação na borda do furo. Alguns parâmetros que influenciam o surgimento de erros nas medições destas deformações foram estudados. Estes parâmetros foram :

- Nível de plastificação, λ – que corresponde à magnitude da tensão nominal;
- Razão de Biaxialidade, Ω – três relações diferentes entre as tensões residuais principais foram analisadas, $\Omega=0$, $\Omega=1$, $\Omega=0.5$;
- Tipo de curva tensão-deformação – foram empregados dois materiais, um possuindo limite elástico e limite de escoamento coincidentes (M1) e outro com limites não coincidentes (M2)
- Furo passante/furo-cego – não foram encontrados resultados na literatura no que diz respeito ao caso do furo-cego sob carregamento que possa gerar plastificação nas bordas do furo. Assim foram estudadas duas profundidades diferentes, $p=0.2 r_m$ e $p=1.0 r_m$, para avaliar como variam os erros para este caso, que é muito mais comum que o caso do furo passante.

Com o objetivo de cobrir os parâmetros acima descritos foram simulados através da técnica de elementos finitos diversos modelos de placas com furos passantes e cegos. Para retrocalcular as tensões residuais, seguiu-se a mesma metodologia

utilizada em casos totalmente elásticos. Esta metodologia é chamada de Tradicional, pois é largamente empregada na literatura. Os valores assim calculados de tensões residuais foram comparados com as tensões aplicadas, de forma a quantificar o erro entre os dois. De posse dos valores dos erros, concluiu-se que:

- Quanto aos materiais: que tanto para o material M1 quanto para M2, os erros tornam-se inaceitáveis a partir de $0.5S_y$, o limite de escoamento do material. Entretanto, a partir de então, os erros do material M1 são menores que os de material M2,
- para o mesmo tipo de furo e mesmo nível de plastificação tem-se erros diferentes para diferentes razões de biaxilidade. Assim, este fator não pode ser desprezado ao se avaliar erros na técnica do furo-cego,
- Os erros encontrados para furo passante são maiores que para furo-cego em todos os casos.

Como os erros encontrados foram muito altos, foram pesquisados métodos de correção para as tensões geradas pelo procedimento da Norma. Assim, repetiram-se dois artigos técnicos da literatura relativos a este tema [5, 6], os quais propunham métodos para corrigir o valor das tensões residuais nos casos em que estas são maiores que $0.5S_y$. Foi observado que os métodos propostos de correção, usam o princípio da superposição, o qual se baseia em hipóteses linear-elásticas, que obviamente não são aplicáveis no regime plástico. Assim, foram propostas nestes trabalhos três metodologias, sem empregar o princípio da superposição, para calcular os erros obtidos ao se calcular tensões residuais altas utilizando coeficientes linear-elásticos. Estas metodologias foram:

- Metodologia Estado Equivalente;
- Metodologia Morte de Elementos,
- Metodologia Tensão Substituta.

Todos os parâmetros variados na primeira análise (razão de biaxilidade, nível de plastificação, tipo de curva tensão-deformação e tipo de furo) foram repetidos para as três metodologias acima e as conclusões foram as seguintes:

- as metodologias Tensão Substituta e Morte de Elementos têm erros similares, para ambos os materiais, confirmando o esperado, pois as duas

são equivalentes. Assim, nos casos em que uma das metodologias não for aplicável, pode-se empregar a outra;

- para o material M1, os erros das metodologias Tradicional, Morte de Elementos e Tensão Substituta são similares, o que não ocorre para o material M2. Assim, utilizar o material M1 em simulações numéricas da técnica do furo-cego, para generalizar resultados que envolvam materiais do tipo M2 não é aconselhável, pois informações importantes podem ser perdidas;
- para o material M2, os erros da metodologia Tradicional são bastante diferentes daqueles encontrados nas metodologias Morte de Elementos e Tensão Substituta. Como a metodologia Tradicional se baseia no princípio da superposição, o qual só é válido em regime linear-elástico, conclui-se que esta metodologia não deve ser usada para avaliar erros na medição de tensões residuais pela técnica do furo-cego;
- os resultados encontrados para a metodologia Estado Equivalente são diferentes das demais, para os dois materiais. Tal resultado não era esperado para o material M1 e além disso, como esta metodologia também se baseia no princípio da superposição, pode-se igualmente concluir que esta metodologia não deve ser empregada em análises de erros na medição de tensões residuais;
- os erros encontrados nas Metodologias Morte de Elementos e Tensão Substituta são menores para furo-cego do que para furo passante. Assim, não se aconselha estender os resultados de furo passante para furo-cego, sob pena de ser muito conservativo.

VI.2 – Proposta para trabalhos futuros

Como base nas conclusões acima apresentadas, faz-se as seguintes recomendações:

- Executar em laboratório as simulações realizadas numericamente, ou seja, aplicar a técnica do furo-cego em placas submetidas a carregamentos acima de $0.3S_y$. Estas simulações podem ser realizadas tanto por extensometria quanto por fotoplasticidade;

- Aplicar a metodologia Tensão Substituta para furo-cego nos casos $\Omega=0$ e $\Omega=0.5$;
- Executar simulações utilizando materiais com diferentes coeficientes de encruamento;
- Executar simulações para furo-cego, para profundidades diferentes das apresentadas neste trabalho, uma vez que ficou demonstrado que os erros variam consideravelmente e de forma instável, para as profundidades $p=0.2r_m$ e $p=1.0r_m$,
- De posse das informações já obtidas neste trabalho e das que serão obtidas nos itens acima, o próximo passo é obter uma equação que corrija as tensões retrocalculadas numericamente. Com base nas conclusões acima esta equação deve considerar: razão de biaxilidade, coeficiente de encruamento e relação entre S_e e S_y .