

ANÁLISE DAS TENSÕES EM JUNTAS SOLDADAS DE ESTRUTURA TUBULAR DE ONIBUS

José Divo Bressan

Resumo : O presente trabalho trata de uma análise experimental de extensimetria aplicada à uma união soldada no cruzamento de vigas de uma estrutura tubular lateral de onibus carregado, com o objetivo de determinar os níveis de tensões nos pontos críticos de soldagem. Foram utilizados 4 extensômetros em pontos distintos no cruzamento das vigas da estrutura tubular de secção retangular afim de se obter as tensões nominais que atuam na linha neutra da viga tubular. As tensões máximas nos pontos de maior concentração de tensões foram avaliadas empregando-se o fator de concentração K_t para os pontos considerados, e determinando-se as deformações na linha neutra da viga através de pontes de Wheatstone na configuração de meia ponte.

Extensometria - Estrutura Tubular - União Soldada - Análise de Tensões

Introdução :

O estudo das tensões em vigas da estrutura lateral de onibus é relevante no projeto de tais estruturas pois constituem o aspecto moderno do atual desenho e projeto de estrutura, pois nos pontos de concentração de tensões existem possibilidades de ocorrerem fraturas em serviço. Com a exigência de menor peso para uma maior economia em termos de combustível, o projeto estrutural de onibus necessita de um estudo aprofundado para se poder avançar no limite de resistência mecânica, tendo como consequência uma diminuição dos clássicos fatores de segurança dos projetos e exigência de uma análise mais rigorosa de tensões na estrutura. Os veículos de modo geral, estão sujeitos a cargas de fadiga aleatória que tornam o projeto bastante difícil de se analisar. Entretanto, a análise do carregamento estático com onibus em plena carga é o primeiro passo da análise estrutural das vigas laterais do onibus. Estas vigas soldadas nos cruzamentos constituem uma treliça hiperestática onde o enfoque analítico é pouco confiável em função do método de montagem e fabricação da estrutura metálica com soldas e, portanto, há ocorrência de tensões residuais. Nesse caso a extensometria se torna uma ferramenta apropriada para se avaliar os níveis de tensões na estrutura com o carregamento pleno do veículo.

I Seminário de Mecânica da Fratura - Ouro Preto/MG - Junho/95.
José Divo Bressan, Eng.Mec., M.Sc., Ph.D.
Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Ciências Tecnológicas - FEJ/UESC

As solicitações na estrutura dependem do tipo de carregamento e distribuição da carga no veículo, bem como das irregularidades da pista por onde transita. As amplitudes máximas das vibrações na estrutura serão consequência do projeto, da pista e do carregamento de viagem. Este carregamento de viagem que é conhecido irá determinar as tensões médias em torno da qual a fadiga aleatória irá ocorrer.

O presente trabalho tem por objetivo determinar esta tensão média de carregamento estático nos pontos da estrutura considerados críticos no projeto.

Procedimento do Ensaio :

Os testes experimentais foram realizados de dois modos distintos: um carregamento estático e um dinâmico. O método estático foi feito carregando-se o bagageiro com sacos de areia e de modo que a carga ficasse distribuída, e posteriormente, carregou-se com sacos de areia e pessoas nos assentos na parte superior do onibus até uma carga total de 6.422kg. O teste dinâmico foi feito com o onibus rodando em estrada de chão.

As leituras no carregamento estático foram feitas a cada 1000kg a partir do veículo vazio : as correntes em microamperes eram lidas nos 4 microamperímetros conectados às pontes de Wheatstone correspondentes as deformações nos extensômetros. Foi utilizada meia ponte com um extensômetro passivo para compensar a influência da temperatura, Beckwith [1].

As leituras no carregamento dinâmico foram realizadas anotando-se os valores máximos atingidos nos amperímetros durante o percurso do teste dinâmico.

Resultados :

A seguir apresenta-se as tabelas de medidas diretas e das tensões nos quatros pontos analisados conforme Fig. 1.

Tabela 1 : Medidas Diretas

| Carregamento | Corrente | | | | Carga |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
| | I ₁ μA | I ₂ μA | I ₃ μA | I ₄ μA | Kgf |
| Só bagageiro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0.4 | - | 0.3 | 0.2 | 1.059 |
| | 0.6 | - | 0.4 | 0.4 | 2.015 |
| | 0.8 | - | 0.4 | 0.5 | 3.000 |
| Bagageiro mais interior do onibus | 0.9 | - | 0.6 | 1.1 | 4.000 |
| | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 2.6 | 5.000 |
| | 1.4 | 0.4 | 1.0 | 2.6 | 6.422 |
| Teste Dinâmico | 1.8 | 1.4 | 1.5 | 4.0 | 6.422 |

Tabela 2 : Tensões Calculadas

| Tensões (Kgf/mm ²) | | | | Carga (Kgf) | Tipo |
|--------------------------------|------------|------------|------------|-------------|----------|
| σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_4 | | |
| 4.7 | 1.3 | 3.4 | 8.8 | 6.422 | Estático |
| 6.1 | 4.7 | 5.1 | 13.6 | 6.422 | Dinâmico |

Para o cálculo das tensões acima foi utilizado como módulo de elasticidade do aço das vigas $E = 18.000\text{kgf/mm}^2$. A equação para a determinação da tensão na linha neutra é dada por $\sigma = E.e$, onde e é a deformação no extensômetro. Os valores das constantes do extensômetro e da ponte são:

R_a = resistência do amperímetro = 1000ohms

f = fator do extensômetro = 2.05

R_e = resistência do extensômetro = 120ohms

V = voltagem da fonte DC = 12 volts

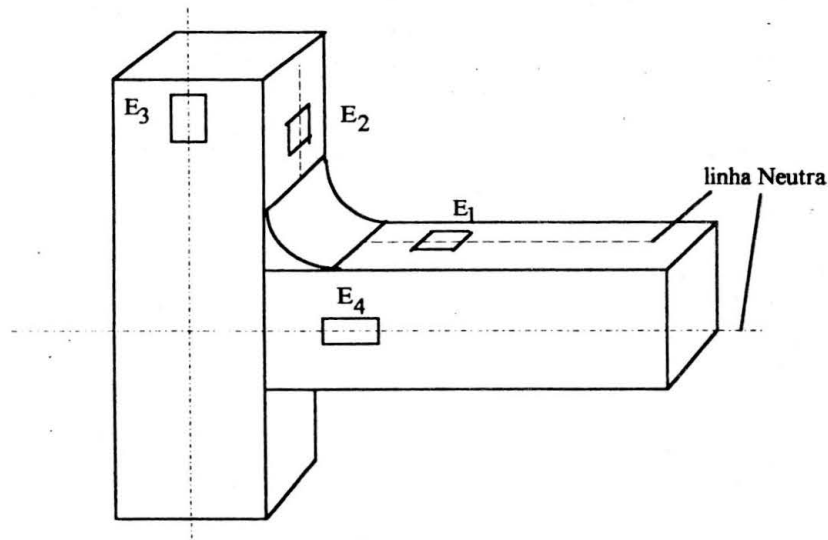


Fig. 1 - Posição dos Extensômetros nas Vigas da Estrutura Lateral do veículo.

Estimativa das Tensões Máximas :

As tensões σ_3 e σ_4 mostradas na tabela anterior correspondem as tensões nominais nas vigas vertical e horizontal respectivamente conforme Fig.1. Estas tensões

serão intensificadas pela presença do reforço de canto e pelo canto vivo (ângulo de 90º sem arredondamento no cruzamento das vigas horizontal e vertical. O fator de concentração de tensão é definido por,

$$K_t = \frac{\sigma_{\text{máximo}}}{\sigma_{\text{nominal}}}$$

K_t depende da geometria, isto é, do raio de arredondamento e da razão entre a largura da viga e tamanho da base. De acordo com Rooke [2] K_t é aproximadamente 1.5 para a tração no canto superior da janela (raio de arredondamento de 100mm). Entretanto, para o canto inferior temos um canto vivo com solda cujo raio de arredondamento é aproximadamente 5mm, e portanto, o fator de concentração de tensão é de aproximadamente 3.0. Devido a flexão da viga horizontal teremos uma concentração de tensão por esforço de flexão de 1.3 para o canto superior e de 2.5 para o canto inferior.

Portanto, na viga vertical a tensão no início do arredondamento do raio será aumentada para um tensão máxima de 5.1 kgf/mm² (carregamento estático) e 7.6 kgf/mm² no carregamento dinâmico. Na viga horizontal o aumento de tensão é bem maior pois temos o efeito sobreposto de tração e flexão. Ver Fig.3.

Deste modo, a tensão máxima no canto inferior da viga horizontal é de 15.7 kgf/mm² para carregamento estático de 6.422kgf, e de 24.7 kgf/mm² para o carregamento dinâmico. Esta tensão máxima dinâmica é superior ao limite de fadiga estimado de 19 kgf/mm² (50% do limite de resistência), considerando-se também um erro de medida ou precisão de 0.3 kgf/mm². Entretanto, pelo diagrama de Goodmann, a tensão alternada disponível para uma tensão média de 15.7 kgf/mm² é de $\sigma_a = 8.5$ kgf/mm². A tensão alternada (tensão máxima - tensão média) medida foi de 9.0 kgf/mm² que é superior aos 8.5 kgf/mm² disponíveis para uma vida longa sob fadiga.

Portanto, é bem provável a ocorrência de trincas por fadiga nesses pontos de solda nos cantos vivos do cruzamento das vigas horizontal e vertical. As tensões máximas nesses pontos críticos poderão ser reduzidas através da mudança do raio de arredondamento do canto inferior da junção das vigas. Se adotarmos um raio de arredondamento igual ao superior, isto é de 100mm, as tensões máximas serão reduzidas para 13.2 kgf/mm² no carregamento estático e 21.1 kgf/mm² no carregamento dinâmico, sendo que a tensão alternada disponível sob para 10.2 kgf/mm² contra 7.9 kgf/mm² de estimativa de tensão alternada que será solicitada da viga após a modificação do raio de arredondamento. Como as tensões máximas ocorrem nos pontos de solda, recomenda-se uma soldagem perfeita.

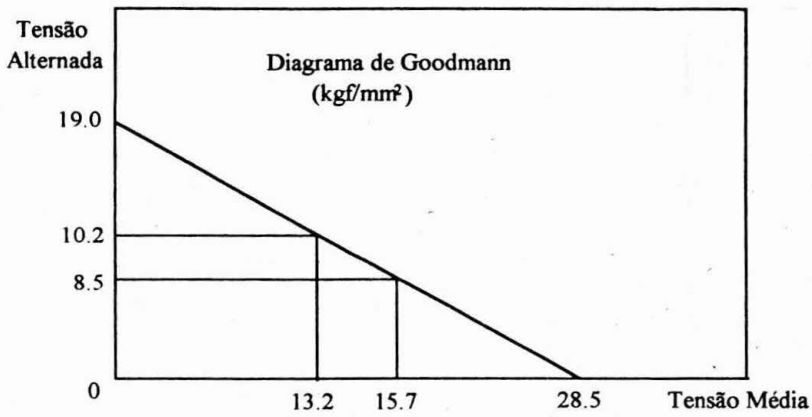


Fig. 2 - Diagrama de Goodmann : apresenta a disponibilidade de tensão alternada para tensão média maior que zero. Limite de escoamento = 28.5 kgf/mm².

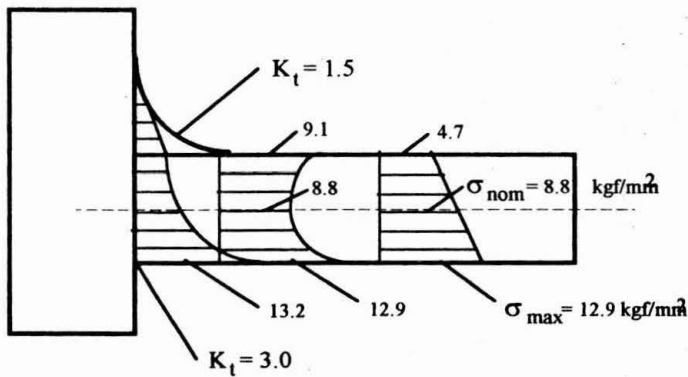


Fig. 3a - Diagrama das tensões na viga horizontal devido à tração somente.

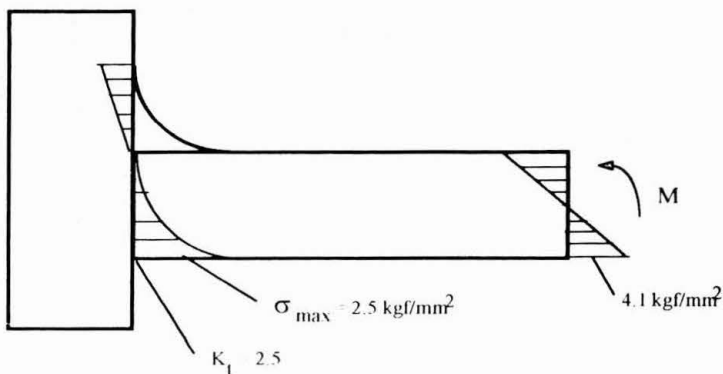


Fig. 3b - Diagrama das tensões na viga horizontal devido à flexão somente.

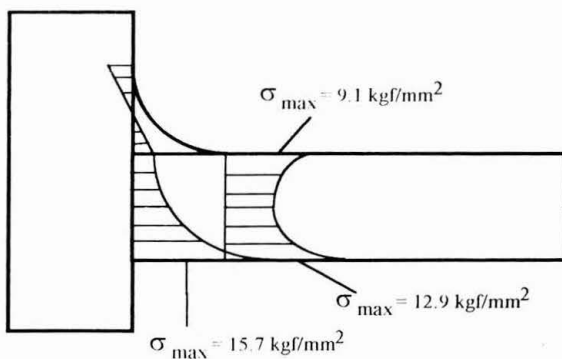


Fig. 3c - Diagrama de tensões na viga horizontal : tração + flexão.

Conclusões :

Considerando que a precisão dos amperímetros é de $\pm 0.1 \mu\text{A}$, os valores das tensões acima tem uma precisão de $\pm 0.3 \text{ kgf/mm}^2$, ou seja este seria o erro máximo das tensões calculadas na tabela acima. Deve-se salientar que as medidas dinâmicas não são de boa precisão pois os amperímetros utilizados tem resposta lenta e certamente os valores dinâmicos deverão ser maiores.

Considerando que o limite de escoamento do aço das vigas é de 28.5 kgf/mm^2 , os valores de tensões medidos por extensometria nas vigas vertical e horizontal da estrutura lateral de onibus, tanto para carregamento estático como dinâmico em serviço não ultrapassaram o limite de escoamento. Entretanto, de acordo com o diagrama de

Goodmann, a tensão alternada para vida infinita foi ultrapassada nos cantos vivos do cruzamento das vigas. Para diminuir esta concentração de tensão sugere-se um raio de arredondamento no canto inferior igual ao superior , isto é , raio de 100mm. Como a união das vigas é feita por soldagem, recomenda-se uma solda de boa qualidade para se evitar o surgimento de trincas por fadiga.

Bibliografia :

1. BECKWITH, T.G. & BUCK, N.L., "Mechanical Measurements", Ed. Addison Wesley, 1961.
2. ROOKE, D.P. & CARTWRIGHT, D.J., "Compedium of Stress Intensity Factors", Ed. The Hellington Press, England , 1976.

Stress Analysis in Welded Joint of Bus Tubular Structure

Abstract : The present work is a experimental strain gage analysis applied to a welded joint of crossed beams of a bus lateral tubular structure under full load . The aim is to calculate the stress levels at the critical welded points. Four strain gage near the crossing of beams were utilized in order to obtain the nominal stresses acting in the beam neutral line. The maximum stress at the critical points were estimated using the stress intensity factor K_t for these points and the experimental strains obtained by the Wheatstone Bridge (half bridge).

Strain gage - Tubular Structure - Welded Joint - Stress Analysis

