



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ANDREJEV PEREIRA DE SOUZA/ 06123001407

**UMA NOVA PROPOSTA PARA ALÍVIO DE TENSÕES RESIDUAIS EM JUNTAS
SOLDADAS UTILIZANDO COMBINAÇÕES DE TÉCNICAS**

MARABÁ/PA

2013

ANDREJEV PEREIRA DE SOUZA

**UMA NOVA PROPOSTA PARA ALÍVIO DE TENSÕES RESIDUAIS EM JUNTAS
SOLDADAS UTILIZANDO COMBINAÇÕES DE TÉCNICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Materiais, sob orientação do Profº Luis Fernando Nazaré Marques.

MARABÁ/PA

2013

ANDREJEV PEREIRA DE SOUZA/06123001407

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Materiais, sob orientação do Profº Luis Fernando Nazaré Marques.

Data da aprovação: 16 de agosto de 2013

Banca examinadora composta por:

_____ - Representante do orientador

Prof. Esp. Márcio Paulo Mafra – FEMAT / UFPA

_____ - Membro convidado

Prof. Edinaldo Teixeira – UFPA

_____ - Membro externo

Eng. de Materiais. Dennys Heverson Brandão – SINOBRÁS

MARABÁ/PA

2013

Dedico este trabalho à minha família, especialmente aos meus pais **Sebastião de Souza** e **Idalina Pereira de Souza**, pois sempre pude contar com a colaboração e ajuda e nunca mediram esforços para me proporcionar condições para que chegasse até aqui, também às minhas irmãs **Karla**, **Valéria** e **Viviane Souza**, que com gestos fraternos também tiveram grande contribuição para esta conquista e a minha namorada **Liselle Vaz** pelo companheirismo, amor, carinho e incentivos de sempre, tendo uma participação mais que especial. São a estas pessoas, que amo muito, que dedico essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e sabedoria que me concede a cada dia, pela força que me deu para superar todas as dificuldades que me fizeram duvidar dessa conquista.

Agradeço também aos meus pais Sebastião e Idalina, pelo amor, dedicação e compreensão, mesmo nos momentos difíceis e que estive distante. Às minhas irmãs, Karla, Valéria e Viviane, pelo carinho e amizade.

À Liselle Vaz, minha namorada, pelo amor, carinho, amizade, companheirismo, apoio e incentivos de sempre.

Ao meu orientador Professor Luis Fernando Marques, pela atenção, amizade, confiança e pelos ensinamentos.

Aos Professores André Luis Costa e Cláudio Siqueira, pelas oportunidades e ensinamentos durante os primeiros anos de curso.

Aos Professores Alacid Neves, Adriano Rabelo, Elias Fagury, Márcio Mafra, Márcio Correa e Clesianu Rodrigues, pela paciência e ensinamentos durante o curso.

À Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais, pela minha formação profissional.

Aos meus colegas do Grupo Prometal Crystopher Cardoso e Fabrício Magalhães, pela ajuda, força e companheirismo.

Aos Amigos da FEMAT, Dennys Brandão, Erbson Ribeiro, Milton Adalberto, Carlos Vinícius, Jhol Annes, Rodrigo Sampaio, Luan Fernandes, Cleyson Lameira e Mário Eduardo, Ronaldo Gama e Bárbara Thaís.

Agradeço também aos amigos José Nazareno, Luiz Francisco, Tatiane Guimarães pela amizade e apoio sempre.

E por fim a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

RESUMO

O presente trabalho apresenta, brevemente, diversos métodos disponíveis na literatura para alívio de tensões residuais em juntas soldadas as quais são resultantes do processo de soldagem. Cada um desses métodos descritos apresentam suas particularidades em termos de processo, custo e eficiência no controle e redução dessas tensões. Atualmente buscam-se combinações entre esses métodos objetivando desenvolver novas metodologias, principalmente, mais eficientes no controle e redução das tensões residuais em juntas soldadas. Desta forma, objetiva-se propor um novo método combinado que garanta uma redução ainda maior dessas tensões quando comparado com os métodos que o compõe.

Palavras-Chave: Tensão residual; Alívio de tensão; Junta soldada.

ABSTRACT

This study briefly presents several methods available in the literature for relieving residual stresses in welded joints which are resulting from the welding process. Each one of these methods have their particularities described in terms of process, cost and efficiency in controlling and reducing these tensions. Currently seeking to combinations of these methods aiming to develop new methods, especially in more efficient control and reduction of residual stresses in welded joints. Thus, the objective is to propose a new combined method that ensures a further reduction of these stresses when compared with the methods that compose it.

Keywords: Residual Stress; relief strain; welded joints;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenvolvimento de tensões internas em uma junta soldada.....	17
Figura 2 - Regiões de uma junta soldada (a) e dimensões geométricas de uma solda de topo (b).....	19
Figura 3 - Representação esquemática do crescimento epitaxial.....	20
Figura 4 - Regiões da junta soldada caracterizada por diferentes estruturas...21	
Figura 5 - Distribuição de tensões residuais após a soldagem de uma junta de topo: (A) Longitudinal. (B) Transversal.....	23
Figura 6 - Esquema do comportamento das tensões residuais em uma junta soldada.....	24
Figura 7 - Diferentes tipos de macro e micro tensões residuais.....	25
Figura 8 - Esquema que representa a vista geral superior de uma chapa soldada por fusão, onde a região fundida e posteriormente solidificada se chama zona fundida ou metal de solda e as adjacências da solda atingem temperaturas muito próximas da temperatura de fusão do metal ou início de fusão da liga.....	27
Figura 9 - Representação esquemática da relação entre as tensões residuais e variações de temperatura durante o processo de soldagem. (A) Região da solda. (B) Gradiente de temperatura ao longo do cordão de solda. (C) Distribuição de tensões ao longo do cordão de solda.....	27
Figura 10 - Representação esquemática da variação de tensões residuais Transversais ao longo do cordão de solda provenientes dos efeitos: a)	

contração (C); b) resfriamento superficial mais intenso (R); c) transformação de fase (T); d) C+R; e) C+T.....	29
Figura 11 - Distribuição de tensões em um componente com uma solda de topo submetido a carregamentos crescentes (curvas 1,2 e 3) e distribuição de tensões residuais após a liberação do carregamento.....	33
Figura 12 - Flambagem de uma coluna.....	34
Figura 13 - Condições que exigem tratamento térmico de alívio de tensões em juntas soldadas em aço carbono de forma a evitar corrosão sob tensão em solução de soda cáustica.....	36
Figura 14 - Principais parâmetros para um tratamento de alívio de tensões.....	40
Figura 15 - Como ocorre o alívio de tensões quando se aquece o material.....	42
Figura 16 - Martelo de punção com uma ponteira deformável.....	43
Figura 17 - Equipamento típico para alívio de tensões por vibrações.....	46
Figura 18 - Esquema que representa as dimensões da amostra.....	47
Figura 19 - Configuração Experimental.....	48
Figura 20 - Imagem que representa o poder da função do ruído branco filtrado na densidade espectral.....	49
Figura 21 - Geometria das circunferências dos tubos soldados	51
Figura 22 - Esboço da amostra com tensão residual.....	53
Figura 23 - Diagrama esquemático da VWC.....	55
Figura 24 - Esquema de soldagem com dissipador de calor.....	56

Figura 25 - Representação da Tensão residual na direção longitudinal.....58

Figura 26 - Representação da Tensão residual sobre o cordão.....58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Técnicas para determinação experimental de tensões residuais.....	31
Tabela 2 - Parâmetros de TTAT conforme normas internacionais.....	39
Tabela 3 - Métodos para alívio de tensões.....	41
Tabela 4 - Relação entre corrente indicada no amplificador e valor médio da aceleração na ponta do eletrodo antes da soldagem.....	48
Tabela 5 - Comparação entre os percentuais de redução de tensões na aplicação dos métodos combinados.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Corrente
ASM	American Society for Metals
ASME	American Society for Mechanical Engineers
ASTM	American Society for testing and Materials
AWS	American Welding Society
CCC	Cúbica de Corpo Centrado
C	Contração
CT	Tratamento de Corrente Pulsada
G	Aceleração
GMAW	Gas Metal Arc Welding
HV	Dureza Vickers
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
MB	Metal de Base
MT	Tratamento de campo magnético pulsado
P	Força
PF	Poça de Fusão
R	Resfriamento
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
T	Transformação de Fase

TA	Taxa de Aquecimento
Ti	Temperatura Inicial
Tf	Temperatura Final
TIG	Tungsten Inert Gas
TR	Tensões Residuais
TR	Taxa Resfriamento
TTAT	Tratamento Térmico de Alívio de tensão
VSR	Vibração Ressonante
VWC	Vibração de Solda Condicionada
ZF	Zona Fundida
ZL	Zona de Ligação
ZTA	Zona Termicamente Afetada
(d)	Distância entre Termopares
(E)	Módulo de Young
(MC-T)	Tratamento Combinado magnético com corrente pulsada
δ	Deformação Lateral
σ_1	Tensão Inicial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivos Gerais.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Soldagem.....	18
2.2 Juntas Soldadas.....	19
2.2.1 Metal de Base (MB).....	19
2.2.2 Zona de Metal Fundido (ZF).....	20
2.2.3 Zona Termicamente Afetada (ZTA).....	20
2.3 Metalurgia da Soldagem.....	21
2.4 Tensões Residuais.....	22
2.4.1 Tipos de Tensões.....	23
2.4.2 Origem das Tensões Residuais.....	25
2.4.3 Tensões Residuais Geradas Durante a Soldagem.....	26
2.4.4 Técnicas de Determinação de Tensões Residuais.....	30
2.4.5 Efeitos das Tensões Residuais.....	32
2.4.6 Efeitos Específicos da Presença de Tensões Residuais em um Componente Soldado.....	34
2.4.6.1 Flambagem de Componentes Soldados.....	34
2.4.6.2 Falha por Fadiga.....	35
2.4.6.3 Corrosão sob Tensão.....	35

2.4.6.4 Fratura Frágil.....	36
2.4.6.5 Formação de Trincas em Soldas.....	38
2.4.6.6 Instabilidade Dimensional.....	39
2.4.7 Procedimento para Determinação de Alívio de tensões.....	39
3 Métodos para Controle e Alívio de Tensões Residuais.....	41
3.1 Martelamento (Hammer Peening).....	42
3.2 Encruamento.....	44
3.3 Vibrações Ressonantes (VSR).....	45
3.4 Pré-aquecimento durante a deposição de passes.....	49
3.5 Aumento do Aporte de Calor.....	49
3.6 TIG dressing.....	49
3.7 Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT).....	50
3.8 Vibração de Solda Condicionada (VWC).....	50
4 Nova Proposta de Técnica Combinada.....	52
4.1 Análise de Técnicas Combinadas.....	52
4.2 Método Proposto: Técnica de Vibração combinada com Técnica de Dissipação de Calor.....	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
6 CONCLUSÕES.....	62
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64