Alívio de tensões por vibrações sub-ressonantes

Carlos Augusto Pereira Martins[1], Jose Carlos Morilla [2], Paulo Villani Marques [3], Sergio Delijaicov [4]

[1] Engebasa Mecânica e Usinagem Ltda, Programação, Cubatão, São Paulo, Brasil, programação@engebasa.com.br,
[2] Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo, Brasil, morilla@unisanta.br ,
[3] Universidade Federal de Minas Gerais, DEMEC, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, pvillani@ufmg.br,
[4]Centro Universitário da Faculdade de Engenharia Industrial, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil, sergiode@fei.edu.br

A indústria mundial utiliza a técnica de alívio de tensões e condicionamento de soldas por vibrações sub-ressonantes há mais de vinte anos. No Brasil, esta técnica é utilizada há cerca de quinze anos, com resultados práticos satisfatoriamente comprovados. A redução do gasto de energia e do tempo, em relação ao processo térmico, gira em torno de 95% [1], possibilitando maior agilidade na recuperação de peças, fator primordial em paradas para manutenção com prazos exíguos. Este trabalho tem como objetivo apresentar alguns exemplos de tratamentos por vibração realizados com sucesso na indústria de bens de capital, sua aplicabilidade em indústrias de base e também uma proposta de realização de uma pesquisa experimental para quantificar as tensões residuais oriundas da soldagem, antes e após o tratamento de alívio de tensões por vibração, comparando-as com as aliviadas por tratamento térmico convencional. Estas pesquisas são realizadas numa parceria entre a Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, e o Centro Universitário da FEI - Faculdade de Engenharia Industrial. O alívio será realizado no equipamento Metalax série 2400, adquirido em 2011, que possui apurado controle de remoção de tensões oriundas de soldagem. Com este trabalho, espera-se obter comprovação científica da eficiência de procedimentos de alívio de tensões por vibração, que atendam às expectativas industriais e possam contribuir com a economia de energia.

Palavras chave
Soldagem, tensões residuais, alívio de tensões, vibração mecânica.

Stress relief by sub-harmonic vibrations

The worldwide industries use the sub-resonant vibration stress relief and welding conditioning for more than twenty years. In Brazil, this technique is used for more than fifteen years, with practical results satisfactorily proved. The reduction of waste of energy and time is about 95% [1], regards to thermal processes, allowing a faster repairing pieces, which is prime factor to make a maintenance stop in a small time. The target of this work is present some examples of successful jobs made at capital goods industry, its direct application at basis industry and also present a proposal to make an experimental research to measure the welding residual stress, before and after the vibration treatment, comparing to conventional heat treatment. These researches are being made by an association between Santa Cecília University - UNISANTA, Minas Gerais Federal University – UFMG, and FEI – Faculdade de Engenharia Industrial - University Center. This technique is used in Brazil for more than fifteen years and this treatment will be done at series 2400 Metalax equipment, acquired in 2011, which have accurate precision for reliving the residual stress of the welding. With this work, we expect to obtain scientific evidence of the effectiveness of procedures for relief of tension by vibration, which meet industrial expectations and may contribute to the economy of energy.

Key word
Residual stress, stress relief, mechanical vibration

INTRODUÇÃO

É comum o aparecimento de tensões mecânicas nos metais em geral, ao sofrerem algum tipo de conformação, como dobra, estiramento ou prensagem. Na soldagem, quando são gerados altos gradientes térmicos, o surgimento de tensões é bastante acentuado, podendo levar a distorções dimensionais, resultantes da expansão e da contração não uniformes do metal da solda e do metal-base adjacente.

Para a eliminação deste problema e em substituição ao alívio térmico de tensões, vem sendo utilizada há mais de 20 anos, em várias partes do mundo, uma tecnologia que utiliza a vibração mecânica, com resultados satisfatórios e comprovada economia de energia. Esta tecnologia, chamada de **Vibrações Sub-Harmônicas,** utiliza a vibração mecânica originada em um excêntrico acoplado a um motor elétrico de pequeno porte, que elimina as tensões residuais oriundas de variações de temperatura, conformação, fadiga ou usinagem dos materiais. Seus resultados práticos tem sido comprovados em empresas aqui no Brasil, porém sua credibilidade nos meios industrial e acadêmico ainda é questionada. Isto se deve ao fato de que as instituições normativas ainda não incluíram esta tecnologia, provavelmente devido à falta de comprovações científicas que embasem os resultados práticos atingidos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, expor alguns resultados obtidos na indústria, devidamente comprovados junto com os usuários das peças fabricadas e ainda propor uns estudos mais aprofundados, utilizando metodologia de pesquisa científica, para comprovação de tais resultados.

Como resultado final deste estudo, pretende-se obter subsídios técnico-científicos para consolidar a confiança nesta tecnologia, a fim de se conseguir produtos com alta qualidade, que necessitem de uma menor quantidade de energia na sua fabricação, contribuindo assim para a redução do aquecimento global.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Tratamento por Vibração Sub-Harmônica

O Tratamento por Vibração Sub-Harmônica consiste na indução de movimento acelerado das moléculas de um material para a remoção de tensões internas. Esta técnica pode ser comparada ao "envelhecimento ou recuperação natural", pois em ambas não ocorrem os efeitos nocivos da aplicação de calor, como a escamação, a perda de dureza ou a redução das propriedades mecânicas, ocorridos nos tratamentos térmicos convencionais.

O aprofundamento teórico desta tecnologia se iniciou em 1987 com um estudo de Richard Skinner, apresentado no artigo *An Investigation into the Theory Behind Subressonant Stress Relieve* - Um Estudo sobre a Teoria do Alívio de Tensões Sub-ressonante. Skinner (1987).

Neste estudo foi avaliada, detalhadamente, cada parte da curva de ressonância e como ocorre a dissipação da energia em função da frequencia aplicada, sendo aqui considerada como energia dissipada a quantidade de tensões internas contidas na peça que pode ser removida. Verificou-se que a região sub-harmônica é a que possui melhor desempenho neste sentido, sendo esta então a adotada nesta tecnologia. Skinner (1987).

O estudo de Skinner confirmou empiricamente que quando se aplica a frequencia de ressonância o resultado é praticamente nulo, em termos de alívio de tensões internas, se comparado à região sub-harmônica.

O tratamento de alívio de tensões, na maioria dos casos, não requer mudanças nas propriedades mecânicas, nas dimensões e muito menos na estrutura cristalina dos metais sendo tratados e assim o processo de *Alívio de tensões por Vibrações Sub-Harmônicas* mostra-se uma técnica eficaz, comprovadamente testada e aprovada, para remover as tensões internas dos materiais sem afetar suas características fisico-químicas, como ocorre nos tratamentos térmicos convencionais.

Materiais Tratáveis. Web Site (2012).

Os processos de *Alívio de Tensões e Condicionamento de Solda por Vibrações Sub-Harmônicas* são aplicados na maioria dos metais trabalhados nas indústrias metalmecânicas, dentre eles:

- aços de baixo teor de Carbono, laminados a quente como o ABNT 1018, ABNT 1020, ASTM A 36, ABNT 8620;
- aços de médio e alto teor de Carbono, como o ABNT 1045, ABNT 1060, ABNT 4140, ABNT 4340;
- aços-ferramenta, como os da série VW da Villares;
- ligas de alumínio das séries 356, 2000, 5000 e 6000;
- aços inoxidáveis como os ABNT 304, ABNT 316, ABNT 410 e ABNT 416 ;
- ferros fundidos cinzentos, brancos e nodulares;
- metais especiais como Au, Ag, Ti, Mg, Inconel, Monel, entre outros, com exceção do Cu e suas ligas;
- peças com revestimentos endurecidos, forjados e fundidos em geral.

Características. Web Site (2012).

As vantagens deste tratamento em relação ao térmico são:

- não ocorrem distorções por causa do tratamento;
- custo do processo 90% menor;
- tempo do processo 98% menor;
- tempo de usinagem após tratamento 41% menor;
- aumento da vida útil em relação à fadiga, 200% maior;
- ocorrência de distorções 84% menor;
- aparecimento de trincas de soldagem 95% menor;
- necessidade de pré-aquecimento antes da soldagem 66% menor;
- menor nível de porosidades em soldas condicionadas;
- resultado comprovado na prática.

A limitação deste processo é a não atuação no Cobre e suas ligas, por razões ainda não conhecidas.

Resultados Práticos Obtidos na Indústria

Um exemplo dos resultados obtidos com esta tecnologia foi a aplicação do alívio de tensões em selos de vedação das portas de coqueria da companhia Usinas Siderúrgicas Minas Gerais S/A – Usiminas. Estes selos são formados por tiras de aço de 6,3 mm de espessura x 180 mm de largura x

3.000 mm de comprimento. As peças eram fabricadas a partir de chapa de 12,7 mm de espessura, usinadas para 6,3 mm em chanfro, ao longo de todo o comprimento. Todas as vezes que a fabricante produzia estas peças, havia um problema sério de empeno devido à retirada de uma quantidade de material muito grande em relação ao seu perfil.

Após a utilização da nova tecnologia de alívio de tensões, este problema deixou de ocorrer, pois são feitos alívios parciais durante a usinagem e depois um alívio final, que evitam por completo as torções e os empenos.

Outro resultado impressionante ocorreu com o reparo do bloco da tesoura de tiras a quente da laminação da Usiminas. O equipamento necessitou de um reparo de emergência, pois a produção foi interrompida devido à parada deste equipamento. Após a deposição de 50 kg de solda para a remoção de trincas o equipamento sofreu alívio de tensões por vibração, pois não havia tempo hábil para a realização do tratamento térmico. O resultado foi mais que satisfatório, pois além da excelente qualidade do reparo comprovada após o retorno do equipamento à operação, conseguiu-se executar todo o serviço em apenas 28 horas, ao invés das 40 horas previstas.

Inúmeros outros casos ocorreram nos anos seguintes, cada um com suas peculiaridades e até hoje nenhum serviço ou solicitação quanto a esta técnica foi recusada, tendo-se obtido com resultados adequados, dentro dos limites do equipamento.

MATERIAS E MÉTODOS

Para comprovar a eficácia desta tecnologia e obter resultados quantitativos, foram fabricados oito corpos-de-prova de aço ABNT 1045 soldados, divididos em três grupos de volume de solda de modo a gerar diferentes tensões residuais quando do resfriamento do material. O primeiro lote é composto de três corpos-de-prova, um de cada grupo de volume, que serão mantidos no estado original para quantificar suas tensões internas sem tratamento algum; o segundo lote de dois corpos-de-prova terá suas tensões aliviadas termicamente, pelo processo convencional (TTAT), serão quantificadas as tensões residuais, antes e depois do tratamento térmico e o terceiro lote de três corpos-de-prova será submetido ao Alívio de Tensões com Vibrações Sub-harmônicas (ATVS) e também terão suas tensões residuais medidas. A tabela 1 resume os testes que ainda serão realizados.

Corpo-de-prova 1 – Baixo Volume de Solda

2 corpos-de-prova de espessura 9,0 mm com solda de topo sem chanfro, conforme a figura 1.

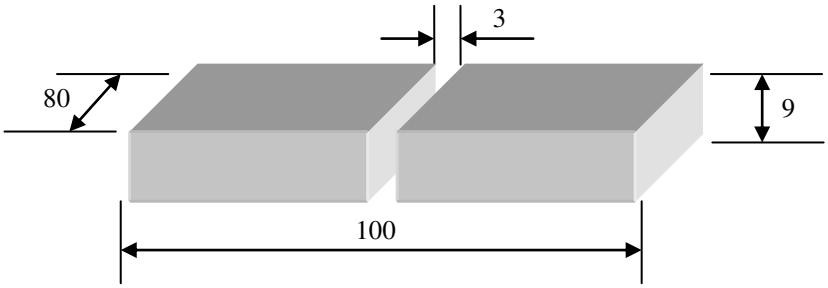


Figura 1 – Corpo-de-prova de baixo volume de solda.

Corpo-de-prova 2 – Médio Volume de Solda

3 corpos-de-prova de espessura 28 mm com solda de topo chanfro meio V de 30º, conforme a figura 2.

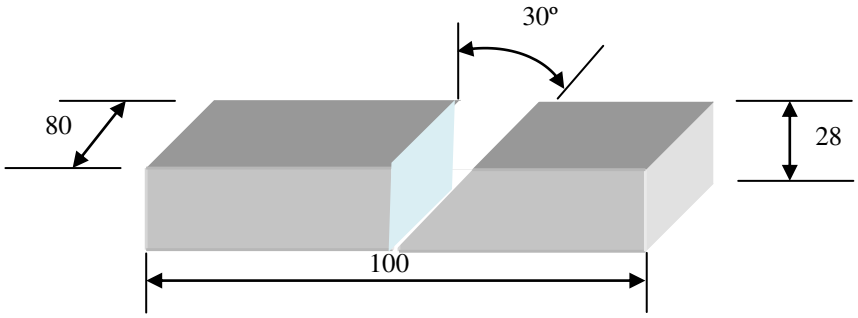


Figura 2 – Corpo-de-prova de médio volume de solda

Corpo-de-prova 3 – Alto volume de Solda

3 corpos-de-prova de espessura 28 mm com solda de topo chanfro em V de 60º, conforme a figura 3.

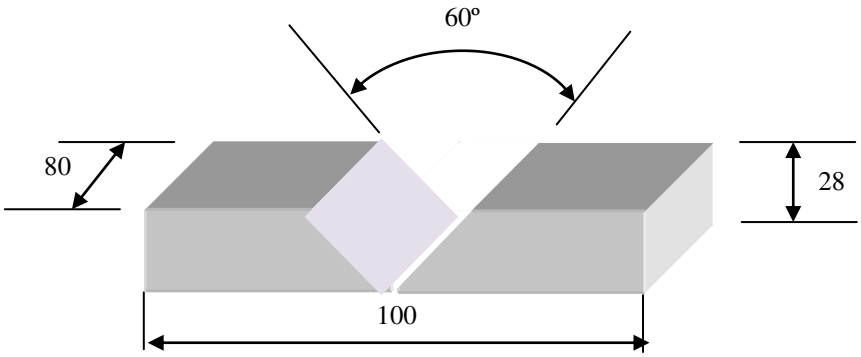


Figura 3 – Corpo-de-prova de alto volume de solda

Tabela 2 – Relação dos Tratamentos e Testes de Difração de Raios-X a serem executados

Tratamento / Ensaio	TTAT	ATVS	Difração de Raio-X
Corpo-de-Prova 1 (a)			●
Corpo-de-Prova 1 (b)		●	●
Corpo-de-Prova 2 (c)			●
Corpo-de-Prova 2 (d)		●	●
Corpo-de-Prova 2 (e)	●		●
Corpo-de-Prova 3 (f)			●
Corpo-de-Prova 3 (g)		●	●
Corpo-de-Prova 3 (h)	●		●

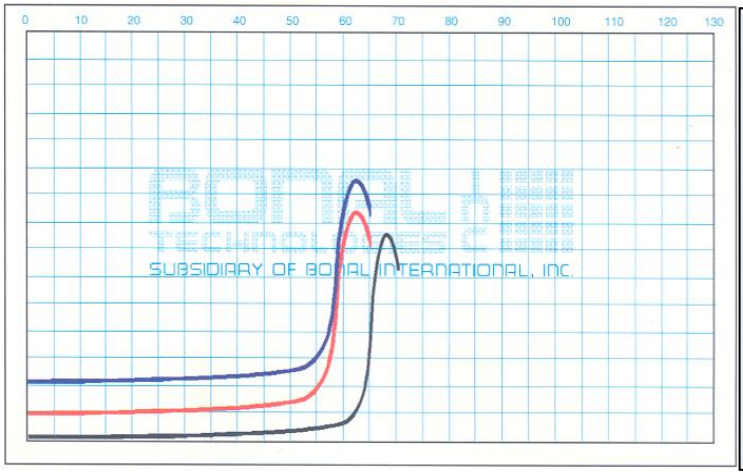
Legenda:

1º Lote: Corpos-de-Prova no estado original soldado sem tratamento
2º Lote: Corpos-de-Prova com Tratamento Térmico de Alívio de Tensões
3º Lote: Corpos-de-Prova com Alívio de Tensões por Vibrações Sub-Harmônicas

RESULTADOS PRETENDIDOS

Após a execução dos tratamentos e ensaios propostos, serão feitas as seguintes análises:

1. Análise dos resultados obtidos nos Testes de Difração de Raios-X dos corpos-de-prova (a), (c) e (f) e comparação com as análises antes e após os tratamentos de Alívio de Tensões nas duas modalidades, dos demais corpos-de-prova;
2. Comprovação da eficácia da Tecnologia de Alívio de Tensões por Vibrações Sub-Harmônicas através da comparação dos resultados dos Testes de Difração de Raios-X dos corpos-de-prova (d) & (e) e (g) & (h) (Tratamento Térmico de Alívio de Tensões TTAT x Alívio de Tensões por Vibrações Sub-Harmônicas ATVS).
3. Análise dos relatórios de Alívio de Tensões em Hertz e compará-los com os resultados dos Testes de Difração de Raios-X dos corpos-de-prova (b), (d) & (g), gerando uma tabela de resultados e uma equação dimensional, que será utilizada como parâmetro e complementação dos resultados dos trabalhos desta natureza, conforme o exemplo da figura 4.



ALÍVIO DE TENSÕES POR VIBRAÇÕES SUB-HARMÔNICAS
Cliente: _____ Pedido: _____
O.S. _____ Descrição: _____
Desenho: _____ Pos. _____
Dimensão: _____ Peso: _____
Material: _____ Indutor: _____ Exc. ____%
Operador: _____ Data: _____
Redução de Freqüência: _____HZ
Tensão Residual Removida: _____ N/mm²

Figura 4 – Exemplo de Relatório Final do Alívio de Tensões por Vibrações Sub-Harmônicas

CONCLUSÃO

A tecnologia de alívio de tensões por vibrações mecânicas vem sendo usada já há mais de 20 anos na indústria mecânica em várias partes do mundo e tem apresentado resultados tecnologicamente satisfatórios, embora sem uma base científica suficientemente comprovada e com a conseqüente falta de aval das instituições normativas. Apesar dos bons resultados obtidos, esta lacuna afeta a credibilidade desta tecnologia nos meios industrial e acadêmico, e este trabalho visa a obtenção de subsídios, utilizando-se metodologia de pesquisa científica, que contribuam para a diminuição desta lacuna. A ausência dos inconvenientes da aplicação de calor nas peças, assim com a economia de tempo e de energia em relação ao alívio térmico de tensões são, sem dúvida, as grandes vantagens e um forte atrativo para a consolidação e aumento da utilização desta tecnologia, no momento atual, para contribuir com a redução do aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM STP 993 Bulletim, Mechanical Removal of Residual Tensions, 1998 Cincinnati, Ohio, USA.

CRISI; MENDONÇA Alívio de Tensões de Soldas por Tratamento Térmico e Vibração: Uma Comparação Entre os Dois Métodos In: XXX CONSOLDA 2004 - Rio de Janeiro.

HEBEL III, August, Sub-Harmonic Vibratory Stress Relief and Weld Conditioning Palestra realizada em 17/02/98 na Bonal Technologies Inc., Sothfield Michigan U.S.A.

Operation Manual META-LAX Series 2400: 2011 Catálogo do equipamento Meta-lax Série 2400 em CD-ROM.

SKINNER, R. D. An investigation Into the Theory Behind Sub-ressonant Stress Relieve: 1987 – Relatório "Lockheed Missiles and Aerospace Report". USA. p.10

Web site: www.metalax.com, - benefits, consultado em 22/11/2012.

WONG, T. E and JOHNSON, G. C. Ultrasonic Evaluation of the Nonlinearity of Metals from a Design Perspective: 1987 p. 15 Dissertação – Departmento de Engenharia Mecânica – University of California – Berkerley-USA.