
A INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE JATEAMENTO E MARTELAMENTO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS

Daniel Benítez Barrios*
André Ferrara Carunchio**
Edvaldo Angelo*
Abner Cabral Neto*
Nelson Batista de Lima**

Resumo

A vida útil de componentes mecânicos, quando sujeitos a esforços cíclicos, nem sempre está relacionada com o limite de resistência do material. Devido à natureza das solicitações aplicadas e às conseqüentes deformações decorrentes desse tipo de carregamento, pequenas trincas formam-se em pontos de concentração de tensões. Tratamentos superficiais, como o jateamento com granalha e o martelamento, geram um campo de tensões compressivas e aumentam a dureza da região tratada, de modo a evitar o surgimento de trincas e, portanto, aumentar a vida útil de componentes. Esse trabalho destina-se a investigar a influência desses tratamentos em juntas de topo soldadas de aço ABNT 1020 e ABNT 1045 por meio de ensaios de dureza, tensões residuais por difração de raios X e ensaios de fadiga.

Palavras-chave: Jateamento por granalha, juntas soldadas, fadiga.

* Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen). Os autores agradecem ao Prof. MSc. Everaldo Vitor e ao engenheiro Marcos E. B. Fazolari as importantes contribuições ao trabalho.

1 INTRODUÇÃO

Desde o século XIX, já existe ciência de que uma estrutura pode falhar sem que a sollicitação mecânica à qual esteja sujeita ultrapasse seu limite de resistência (BRANCO; FERNANDES; CASTRO, 1999). Na realidade, o fenômeno de fadiga acontece para valores de tensões por baixo da tensão-limite de escoamento. Em componentes mecânicos sujeitos a tensões cíclicas, essa falha ocorre por fadiga, pois, devido às deformações decorrentes desse tipo de carregamento, pequenas trincas formam-se em pontos de concentração de tensões (como cantos vivos, rasgos de chaveta e riscos superficiais). Entretanto, é pertinente destacar que pode ocorrer também a falha por fadiga em superfícies polidas. Com a propagação dessas fissuras, o componente chega ao colapso (CALLISTER, 2002).

As tensões residuais decorrentes do processo de soldagem também alteram a resistência à fadiga. Assim, uma junta soldada tem sua vida útil reduzida em relação a uma peça de mesmo material sem solda. Por esse motivo, foram desenvolvidas diversas técnicas para aliviar essas tensões resultantes do aquecimento, como o jateamento e o martelamento (OKUMURA, 1982).

1.1 Fadiga

O processo de falha por fadiga pode ser dividido em três partes: nucleação da trinca, crescimento e falha final da peça. Consumindo em média 90% da vida do componente, a nucleação da trinca ocorre geralmente na superfície, já que é a área onde as concentrações de tensões são máximas e por estar sujeita às agressões do meio. A propagação da trinca ocorre em duas fases. Na primeira, o crescimento ocorre a 45° em relação à sollicitação. Conforme o quociente tensão de cisalhamento/tensão normal diminui, começa a segunda fase, e o crescimento passa a ser perpendicular à sollicitação. A velocidade da segunda fase é diretamente proporcional à amplitude da tensão (σ_a) (BRANCO; FERNANDES; CASTRO, 1999).

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{2} \quad (1)$$

A fratura por fadiga ocorre de forma repentina e é de natureza frágil, mesmo em metais com comportamento dúctil, existindo pouca ou nenhuma deformação plástica associada à falha (CALLISTER, 2002).

1.2 Tensões residuais

Durante o processo de soldagem, ocorre um aumento da temperatura da zona fundida e de suas vizinhanças, ocasionando a expansão térmica. Essa expansão é restringida pelas zonas frias do metal-base, o que resulta (após o resfriamento) em tensões residuais. Como o limite de escoamento dos materiais varia em função da temperatura, deformações plásticas ocorrem em consequência do resfriamento (OKUMURA, 1982).

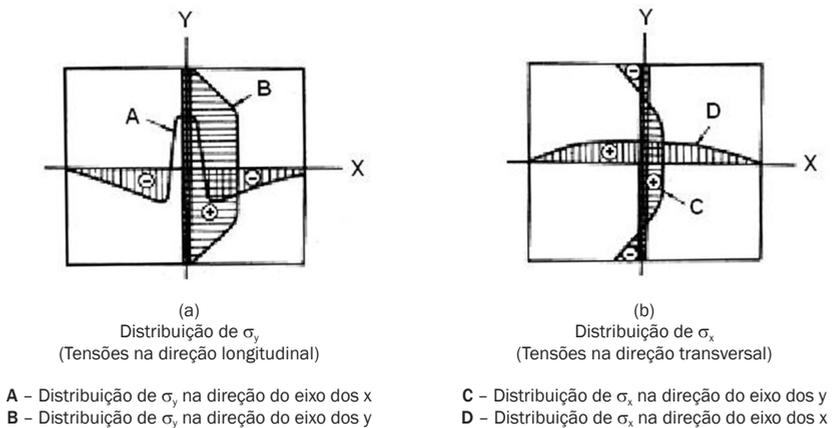


Figura 1 Distribuição esquemática de tensões residuais em uma junta de topo.

Fonte: Okumura (1982).

A Figura 1 ilustra que a tensão longitudinal na direção do cordão de solda (curva B) atinge o limite de escoamento e diminui gradativamente até chegar a zero nas bordas da chapa (OKUMURA, 1982). Na direção transversal (curva A), nas vizinhanças do cordão, a tensão σ_y passa bruscamente a ser compressiva, diminuindo em módulo até um valor nulo na extremidade da chapa.

Um comportamento inverso pode ser observado nas tensões transversais, ocorrendo tração na direção transversal (curva D) e um equilíbrio de tração e compressão na linha do cordão (curva C).

As tensões residuais decorrentes da soldagem não interferem no comportamento estático do material caso ele seja dúctil, e diminui a resistência à fratura nos materiais frágeis. Quanto à resistência à fadiga, o risco de falha se tornará maior se as tensões residuais forem trativas na direção do carregamento.

1.3 Jateamento com granalhas (*shot peening*)

Jateamento com granalhas (*shot peening*) é uma técnica de acabamento feita a frio, que consiste em bombardear um corpo com esferas (de ferro, aço, vidro ou cerâmica) a uma velocidade controlada. O tamanho dessas esferas varia de 0,125 mm a 6 mm, segundo Kalpakjian (2000). Esse processo deforma plasticamente a superfície do componente que recebe o tratamento de maneira irregular, o que induz tensões de compressão paralelas à superfície do material (KALPAKJIAN, 2000).

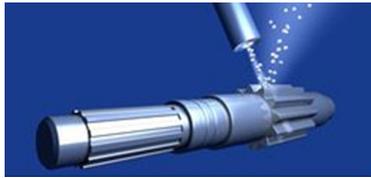


Figura 2 Representação esquemática de *shot peening*.

Fonte: OSK-Kiefer (2009).



Figura 3 Tratamento de *shot peening*.

Fonte: Engineers Edge (2009).

1.4 Intensidade

Uma série de fatores contribui para a intensidade do tratamento, principalmente as propriedades dos materiais da granalha e do componente tratado (módulo de Young e tensão-limite de escoamento, por exemplo), a velocidade de impacto, os tamanhos das esferas e o ângulo de incidência (ASM, 2010).

- *Velocidade*: a intensidade das tensões induzidas é diretamente proporcional à velocidade de impacto dos projéteis. Quando se utilizam altas velocidades, deve-se tomar o cuidado de inspecionar as esferas com maior frequência, já que elas ficam mais suscetíveis a deformações e quebras. Recomenda-se utilizar

85% ou mais de granalha em boas condições para não riscar a superfície a ser tratada e garantir a uniformidade do processo (ASM, 2010).

- *Ângulo de incidência*: a magnitude do tratamento tende a diminuir quando o ângulo de incidência dos projéteis em relação à superfície se afasta dos 90 graus. É comum a utilização de ângulos oblíquos para evitar colisões entre esferas disparadas e as esferas que ricocheteiam da peça em tratamento. Quando não é possível alcançar o ângulo desejado, deve-se variar a velocidade ou o tamanho da esfera (ASM, 2010).

1.5 Aumento da resistência à fadiga

A deformação plástica causada durante o tratamento de *shot peening* fecha as trincas já existentes, impedindo que elas se propaguem (KORSUNSKY, 2005). Além disso, o endurecimento superficial do material e principalmente as tensões residuais de compressão (que podem chegar a 60% da tensão de escoamento) são fatores que impedem o surgimento de novas trincas, caso o componente esteja sujeito a um carregamento cíclico (KORSUNSKY, 2005).

1.5.1 Limitações

Caso o componente seja submetido a processos de usinagem superficial ou tratamentos térmicos a altas temperaturas, os efeitos do tratamento por *shot peening* se anulam. Em superfícies muito pequenas, por exemplo, implantes dentários, peças de mecanismos de precisão (próximas ao tamanho das esferas) etc., os efeitos desejáveis podem não ser satisfatórios. Também são problemáticas para o jateamento superfícies sujas de óleo ou água, o que pode comprometer a qualidade do processo (ASM, 2010).

1.6 Martelamento

O processo de martelamento consiste em martelar o componente com martelos elétricos ou pneumáticos, utilizando uma ferramenta feita com *bits* de elevada dureza na direção perpendicular à superfície (KIRKHOPE, 1999). Quanto aos parâmetros do processo, Kirkhope (1999) recomenda uma frequência de aproximadamente 83 Hz e avanço de 25 mm/s.

Esses dados são importantes, pois o martelamento excessivo pode criar trincas na superfície, diminuindo a resistência à fadiga e causando um efeito contrário ao desejado. Essa técnica de acabamento costuma produzir tensões residuais mais profundas do que o jateamento (KIRKHOPE, 1999).

A Tabela 1 mostra os resultados de um teste de fadiga executado por Kopsov (1991), com martelamento ocorrendo a uma pressão de 0,5 MPa. A segunda coluna indica o número de ciclos necessários para a iniciação da trinca, a terceira coluna apresenta o número de ciclos em que ocorreu a propagação da fissura, e a quarta coluna lista o número de ciclos até a ruptura. Com base nos resultados mostrados na Tabela 1, é possível inferir que a técnica de martelamento provocou um aumento significativo na resistência à fadiga dos corpos de prova tratados.

TABELA 1

Resultados dos testes de fadiga

Parâmetros de martelamento	$N_{início}$	$N_{propagação}$	N_{total}
Não martelados	30.000-40.500	47.000	77.000-87.500
Martelados com pressão de 0,5 MPa	10.000-15.000	119.500-134.000	129.500-149.000

Fonte: Kopsov (1991).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação dos corpos de prova

Para o estudo dos efeitos dos tratamentos superficiais em juntas soldadas, foram escolhidos dois materiais diferentes: o aço ABNT 1020 e aço ABNT 1045. As dimensões estabelecidas para a execução dos corpos de prova foram 70 x 180 mm e espessura de 4,76 mm, em que se utilizou o método de soldagem MIG. Essa técnica foi escolhida devido às boas propriedades mecânicas proporcionadas e por ser um método de fácil execução, apesar de ser um pouco mais caro que outras técnicas. Também foi considerado que a soldagem MIG apresenta um arco estável, o que significa um processo com menos respingos e, conseqüentemente, mais limpo. Visando acelerar a fabricação dessas peças, utilizaram-se chapas de 440 mm de comprimento e chanfros de 40° em uma das extremidades, que, depois de soldadas, foram cortadas de forma a dar origem a seis peças do tamanho desejado. Para evitar deformações decorrentes das tensões residuais da solda, foi utilizado um dispositivo para a fixação, fabricado em aço, como mostra a Figura 4.

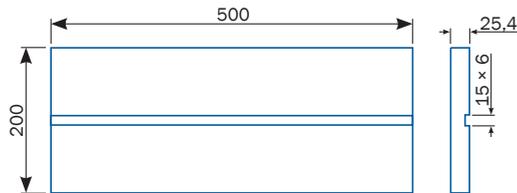


Figura 4 Dispositivo de fixação para auxiliar a soldagem.

Os corpos de prova foram corretamente posicionados e, em seguida, ponteados (também com soldagem MIG) nesse dispositivo. O canal de 15 x 6 mm foi fresado com o intuito de impedir que a solda que porventura vazasse ocasionasse a união entre os corpos de prova e o dispositivo.



Figura 5 Fixação das chapas no dispositivo.

As regiões correspondentes à abertura e ao fechamento do arco foram descartadas, já que essas áreas são muito suscetíveis a apresentar defeitos no cordão. Com essa etapa concluída, os corpos de prova foram fresados para garantir precisão dimensional. A Figura 6 ilustra o procedimento descrito.

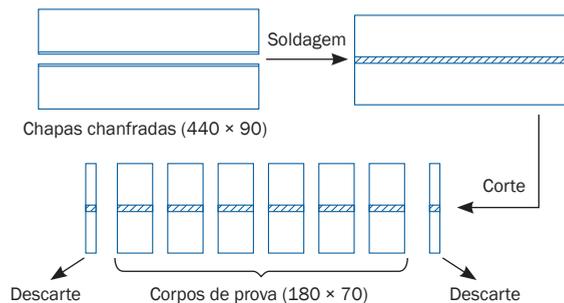


Figura 6 Obtenção dos corpos de prova.

Os corpos de prova, totalizando 18 unidades, foram divididos em três grupos: tratados por jateamento, tratados por martelamento e grupo de controle (sem nenhum tipo de tratamento). Uma unidade de cada grupo foi destinada exclusivamente à análise por difração de raios X e dureza, por tratar-se de ensaios que afetam a integridade do material, não servindo para o posterior teste de fadiga.

Para identificar os corpos de prova, foi atribuída a eles uma nomenclatura composta respectivamente de duas letras e três números. As duas primeiras letras correspondem ao tipo de tratamento pelo qual a peça passou: ST para corpos sem tratamento, JT para jateamento com granalha e MT para martelamento. Os dois primeiros dígitos numéricos correspondem à quantidade de carbono presente na amostra expressa em centésimos de porcentagem, e o último dígito identifica o número do corpo de prova dentro do seu grupo.

2.2 Martelamento

A ferramenta utilizada para executar o martelamento dos corpos de prova foi projetada e fabricada especificamente para esse fim, utilizando como material aço 1045. Construiu-se o punção com uma seção para a fixação no mandril da ferramenta de impacto (com diâmetro de 7 mm), e a inclinação foi feita em dois estágios para fornecer uma ponta fina suficiente para causar deformação plástica na superfície a ser tratada e um corpo resistente o suficiente para suportar os impactos. A Figura 7 ilustra a ferramenta descrita.

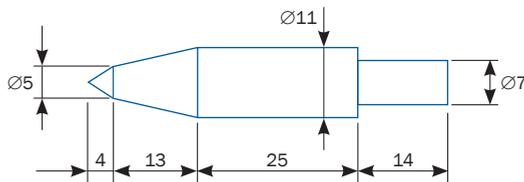


Figura 7 Dimensões da ferramenta.

Tendo a usinagem da ferramenta sido concluída, ela foi temperada em água e em seguida lixada para retirar sujeira e oleosidade da superfície. Para o revenimento da peça, o aquecimento foi feito com um maçarico, pelo lado de diâmetro 7 mm até que a extremidade oposta apresentasse uma coloração “amarelo-palha” (que equivale a uma temperatura de 220°C). Esse padrão é recomendado para uma dureza equivalente à de ferramentas de corte e talhadeiras. Como o aquecimento foi feito pelo lado

oposto ao que sofrerá o impacto, puderam-se obter uma ponta dura e uma base mais tenaz para absorver os choques mecânicos.

Essa ferramenta foi testada com uma furadeira manual no modo impacto, e observou-se a necessidade de utilizar um objeto que servisse como guia para o punção, pois o martelamento com avanço unidirecional, constante e ortogonal à superfície a ser tratada mostrou-se uma condição difícil de ser atingida. Essa guia foi fabricada com dois pedaços de cantoneira de aço soldados a dois cubos de aresta igual a 12,1 mm (um milímetro e um décimo a mais que o diâmetro do punção).

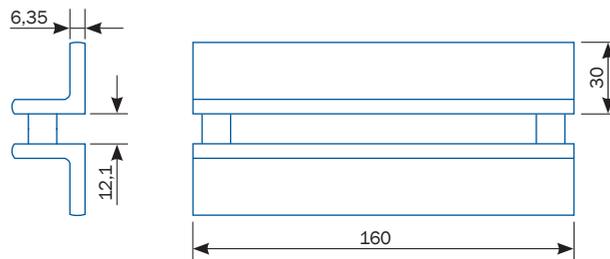


Figura 8 Dispositivo-guia.

Para executar o martelamento, esse dispositivo foi preso juntamente com os corpos de prova (um por vez) em uma morsa, e encaixou-se o punção no vão de 12,1 mm com um pouco de graxa. A furadeira foi então acionada, e introduziu-se um esforço de compressão do punção em relação ao corpo de prova, gerando assim o martelamento. A furadeira foi deslocada, o que causou deformação plástica superficial em apenas uma linha da junta soldada. Com o fim desse procedimento, a morsa foi afrouxada e o corpo de prova, deslocado para baixo, sem alterar sua angulação em aproximadamente 1 mm (em relação ao dispositivo-guia), para que a próxima linha pudesse passar pelo martelamento. A Figura 9 mostra o esquema de montagem do procedimento.



Figura 9 Martelamento.

2.3 Jateamento com granalhas

O jateamento com granalha foi executado na empresa Cindumel, em uma máquina construída pela própria empresa e utilizando microesferas de aço com diâmetro de 0,8 mm. Para prevenir o empenamento devido às tensões induzidas pelo processo, tubos de seção transversal quadrada de 30 mm foram ponteados com solda na parte de trás dos corpos de prova. Apenas a zona termicamente afetada recebeu o tratamento (uma faixa de 16 mm a partir do cordão de solda), e as demais áreas foram protegidas com tiras de borracha. A Figura 10 mostra dois corpos de prova na esteira da máquina.

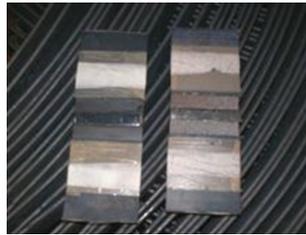


Figura 10 Corpos de prova jateados.

2.4 Ensaio de dureza

Com as juntas soldadas já prontas, foi dado início à análise das modificações causadas por cada tipo de tratamento superficial, começando pela medição da dureza dos corpos de prova, que foi feita no Laboratório de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Para essa tarefa, foi escolhida a escala Rockwell B, já que o penetrador Vickers não era compatível com a superfície irregular causada pelo martelamento. Os 15 pontos nos quais as medições foram feitas se localizam sobre três linhas perpendiculares ao cordão de solda, sendo uma no centro da peça, e as outras duas a 5 mm de cada uma das extremidades. Em cada linha, o primeiro ponto de medição foi feito o mais próximo possível do cordão de solda, e os demais espaçados em 2 mm uns dos outros. Em alguns corpos de prova, a medição rente à solda não pôde ser efetuada, devido à altura do cordão e à geometria do durômetro utilizado, impossibilitando que o ponto desejado fosse alcançado.

2.5 Tensões residuais

A verificação das tensões residuais é essencial para checar o quão eficaz foram os tratamentos. Ela foi efetuada no Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais (CCTM), no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), em um equipamento Rigaku

modelo Dmax2000 (Figura 11). Empregou-se o método $\text{sen}^2\psi$, com ψ variando de -50° a 50° com passo 10° , utilizando tensão de 10 KV e corrente de 20 mA. Os corpos de prova que passaram por esse ensaio tiveram seu comprimento diminuído de 180 mm para 70 mm, devido a uma limitação geométrica da máquina, e, por esse motivo, foram utilizados exclusivamente nessa análise e na de dureza, e não nos ensaios dinâmicos.



Figura 11 Rigaku Dmax2000.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dureza

Os ensaios de dureza revelaram alguns padrões seguidos pela dureza em função da distância do cordão de solda. Foi observado que o grupo de controle apresentou o maior valor de dureza no ponto mais próximo ao cordão, enquanto nos demais pontos ela se manteve praticamente constante. A hipótese criada para explicar esse fato considera as alterações da microestrutura do material decorrentes da variação de temperaturas, à qual os corpos de prova estiveram sujeitos durante o processo de soldagem como causadora desse desvio.

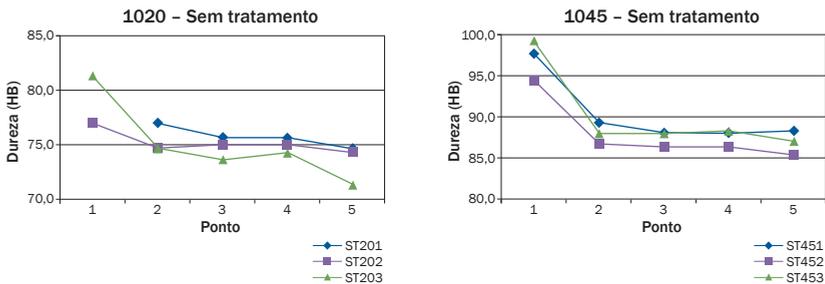


Gráfico 1 Variação da dureza do grupo de controle com a distância do cordão.

Os corpos de prova que passaram por martelamento apresentaram em média uma dureza 4,5% maior que o grupo de controle, porém não foi encontrada uma variação harmônica em função da distância, e sim valores aleatórios. Acredita-se que, devido à geometria do punção utilizado, as deformações sofridas pela superfície tenham sido maiores do que no caso do jateamento, contribuindo assim para o encruamento do material e, conseqüentemente, para a maior dureza. O padrão aleatório mostrado no Gráfico 2 possivelmente ocorreu pelo mesmo motivo: o ponto no qual a dureza foi medida pode ter coincido com as imperfeições superficiais causadas pela ferramenta, ou seja, algumas medições podem ter sido executadas nos vales da deformação, enquanto outras foram executadas nos cumes. Eventualmente, partes desses corpos de prova podem não ter sido golpeadas pelo punção, já que o processo de martelamento foi controlado manualmente e está sujeito a pequenas falhas. Apesar de a escala Rockwell chegar até um valor máximo de 100, valores acima desse limite foram utilizados para se ter uma noção de grandeza.

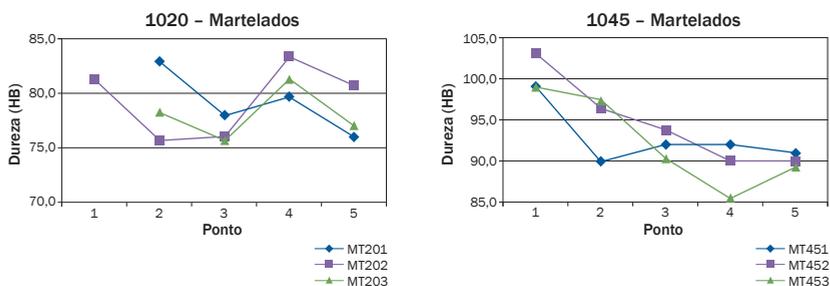


Gráfico 2 Variação da dureza dos corpos de prova martelados com a distância do cordão.

Os corpos de prova sujeitos ao jateamento com granalha, ao contrário do esperado, apresentaram dureza em média 1,5% menor do que as peças sem tratamento. Isso provavelmente ocorreu por tratar-se de um aço estrutural com baixo conteúdo de carbono, ou seja, um material com comportamento dúctil. Na medida em que o material apresenta elementos de liga e maior conteúdo de carbono, a dureza será maior depois de aplicado o tratamento de jateamento. Como o *shot peening* gera uma superfície mais homogênea do que o martelamento, notam-se, nas curvas do Gráfico 3, padrões semelhantes nos três corpos de prova de cada tipo.

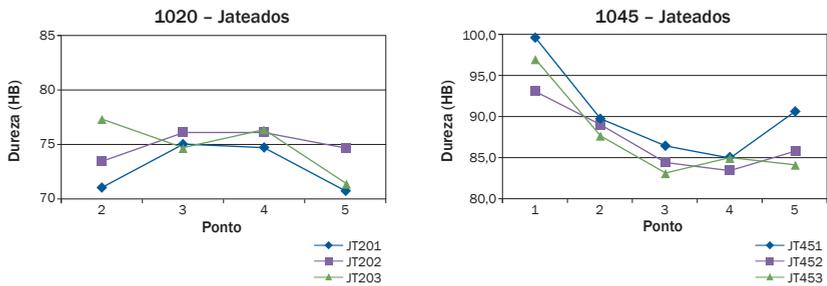


Gráfico 3 Variação da dureza dos corpos de prova jateados com a distância do cordão.

Acredita-se que esses resultados poderiam ser causados pelo fato de os corpos jateados terem recebido somente uma passada do jato de granalhas, sendo o encruamento insuficiente para provocar um aumento na dureza.

Os resultados detalhados dos testes de dureza encontram-se na Tabela 2.

3.2 Tensões residuais

A verificação das tensões residuais é, juntamente com os ensaios de fadiga, o que determinará se os tratamentos superficiais foram ou não efetivos para melhorar as propriedades dos corpos de prova. Foi possível notar que o grupo de controle apresentou um campo de tensões longitudinais ao cordão de solda que se alterna entre valores positivos (tração) e negativos (compressão), com um valor médio em módulo de 43,8 MPa para o aço 1020 e 59,4 MPa para o aço 1045. Ao contrário do que sugere Okumura (1982), os valores não seguiram o padrão descrito, mas apresentaram tensões que variaram consideravelmente com o distanciamento do cordão de solda. Conforme era esperado, o martelamento induziu tensões residuais de compressão nas regiões tratadas com exceção de um ponto. Assim como citado anteriormente, os valores não uniformes de tensões encontrados provavelmente se devem à não uniformidade do tratamento, já que se trata de um processo controlado manualmente. De maneira contrária, nota-se um campo muito mais homogêneo no caso do jateamento devido à forma como o tratamento é feito, alcançando a superfície na totalidade. O Gráfico 4 mostra os resultados obtidos pela difração de raios X.

TABELA 2

Resultado dos testes de dureza

Nome	ESQUERDA					CENTRO					DIREITA				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
JT451	104	93	87	86	87	97	87	89	83	92	98	89	83	86	93
JT452	95	88	85	84	86	95	92	85	87	86	89	87	83	79	85
JT453	100	83	86	88	87	94	86	82	86	84	97	94	81	81	81
Média por ponto	99,7	88,0	86,0	86,0	86,7	95,3	88,3	85,3	85,3	87,3	94,7	90,0	82,3	82,0	86,3
MT451	100	91	91	89	86	100	90	97	99	97	97	89	88	88	90
MT452	-	92	94	84	70	-	94	94	94	101	103	103	93	92	99
MT453	-	110	89	88	88	-	84	91	82	95	99	98	91	86	85
Média por ponto	100	97,7	91,3	87,0	81,3	100	89,3	94,0	91,7	97,7	99,7	96,7	90,7	88,7	91,3
ST451	99	90	89	89	89	97	89	88	88	89	97	89	87	87	87
ST452	91	88	87	86	82	95	86	86	86	86	97	86	86	87	88
ST453	98	86	88	88	88	100	88	88	89	86	100	90	88	88	87
Média por ponto	96,0	88,0	88,0	87,7	86,3	97,3	87,7	87,3	87,7	87,0	98,0	88,3	87,0	87,3	87,3
JT201	-	73	78	75	76	-	77	73	78	61	-	63	74	71	75
JT202	-	74	76	76	76	-	76	75	77	72	-	70	77	75	76
JT203	-	77	75	74	71	-	78	73	77	73	-	77	76	78	70
Média por ponto	-	74,7	76,3	75,0	74,3	-	77,0	73,7	77,3	68,7	-	70,0	75,7	74,7	73,7
MT201	-	84	79	76	81	-	85	78	85	77	-	80	77	78	70
MT202	78	80	77	86	80	84	73	72	91	85	82	74	79	73	77
MT203	-	68	76	74	70	-	84	76	86	71	-	83	75	84	90
Média por ponto	78,0	77,3	77,3	78,7	77,0	84,0	80,7	75,3	87,3	77,7	82,0	79,0	77,0	78,3	79,0
ST201	-	79	76	74	76	-	77	75	76	73	-	75	76	77	75
ST202	77	74	76	76	74	76	76	75	74	75	78	74	74	75	74
ST203	77	77	75	76	74	79	74	74	74	72	88	73	72	73	68
Média por ponto	77,0	76,7	75,7	75,3	74,7	77,5	75,7	74,7	74,7	73,3	83,0	74,0	74,0	75,0	72,3

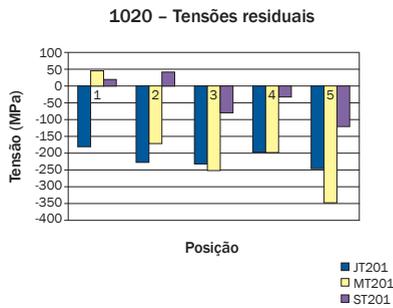
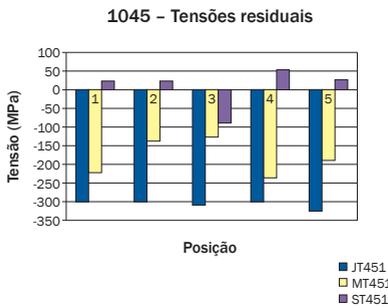


Gráfico 4 Tensões residuais obtidas para os corpos de prova sem tratamento (ST), jateados (JT) e martelados (MT) [MPa].

Os resultados detalhados dos ensaios de difração por raios X encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3

Resultados detalhados dos ensaios de difração por raios X

Nome	1	2	3	4	5	Média (MPa)
JT451	-298	-300	-309	-288	-325	-304,0
MT451	-221	-137	-126	-235	-189	-181,6
ST451	23	26	-90	53	27	7,8
JT201	-181	-229	-233	-199	-248	-218,0
MT201	47	-171	-255	-198	-352	-185,8
ST201	20	41	-80	-34	-122	-35,0

3.3 Fadiga

Os ensaios de fadiga foram realizados aplicando-se uma solicitação que variou senoidalmente em função do tempo com frequência de 10 Hz e intensidade mínima de 200 kgf e máxima de 400 kgf, forças suficientes para que os corpos de prova não entrassem em regime plástico. Essa condição foi adotada embora se saiba que a maior parte dos equipamentos não trabalha além do seu limite de escoamento, pois trata-se de cargas mínimas que podem ser utilizadas em ensaios de flexão alternante no equipamento utilizado, assim como a distância entre apoios. O Gráfico 5 mostra a maneira como a força foi aplicada e os diagramas de força cortante e momento fletor.

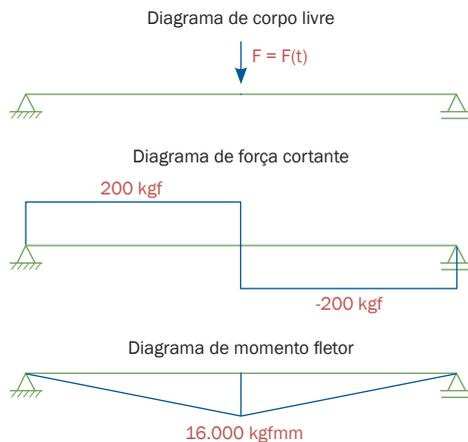


Gráfico 5 Ensaio de fadiga.

Os resultados dos ensaios de fadiga são mostrados na Tabela 4.

TABELA 4

Resultados dos testes de fadiga

Identificação	Ciclos	Média	Identificação	Ciclos	Média
ST452	5.200	5.000	ST202	4.300	4.100
ST453	4.800		ST203	3.900	
MT452	5.300	5.150	MT202	9.200	9.650
MT453	5.000		MT203	10.100	
JT452	8.300	8.250	JT202	8.000	14.900
JT453	8.200		JT203	21.800	

Com base nesses dados, é possível observar que ambos os tratamentos foram benéficos para o aumento da resistência a esforços dinâmicos dos componentes, mais acentuadamente fabricados em aço 1020. Para os dois materiais, o jateamento foi a técnica que mais prolongou a vida útil dos corpos de prova, representando um aumento de 65% para o aço 1045 e 263,41% para o aço 1020, ao passo que, com o martelamento, esse aumento foi de 3% para o aço 1020 e 135,4% para o aço 1045. Isso provavelmente se deve ao fato de esse ser um tratamento executado por meio do impacto de um punção muito maior que as esferas utilizadas no jateamento, o que pode ter causado trincas ou pontos de concentrações de tensões na superfície do material. Também se acredita que contribuiu para esses resultados, assim como nos ensaios anteriores, o fato de o martelamento ser menos homogêneo.

4 CONCLUSÃO

Com a realização dos ensaios de dureza, tensão residual por difração de raios X e flexão dinâmica, é possível concluir que ambos os tratamentos melhoraram as propriedades das juntas soldadas em estudo. As restrições existentes para o martelamento são os métodos pouco automatizados, que, além de aumentarem o tempo necessário para sua execução, adicionam dificuldades para alcançar uma superfície tratada com 100% de cobertura dos impactos, comprometendo a eficácia do método. Entretanto, a maior simplicidade dessa técnica em relação ao jateamento pode tornar sua aplicação vantajosa em grandes corpos, tal como uma estrutura metálica, que não poderia ser introduzida em uma cabine para ser jateada. Deve ser destacado, entretanto, que este é

um trabalho preliminar. Para futuras pesquisas, poder-se-ia tentar construir ou adquirir uma ferramenta mais adequada, com a qual, e observando os resultados atingidos neste trabalho, fundamentalmente nos ensaios de fadiga e nas medições de tensão residual, seriam obtidos resultados muito mais promissórios. Seria uma ferramenta com possibilidade de controlar a frequência de impactos, intercambiar punções e com avanço controlado.

THE INFLUENCE OF SHOT AND HAMMER PEENING IN THE MECHANICAL BEHAVIOR OF WELDED JOINTS

Abstract

The service life of mechanical components, when under cyclic loads, not always is related with the material resistance limits. Due to this kind of stress and its consequent deformation, cracks are formed in stress concentration points. Surface treatments, like shot peening and hammer peening, help to create a compressive stress field, and also increase the hardness, avoiding crack and, therefore, increasing the component service life. This article is intended to investigate the influence of these treatments in ABNT 1020 and ABNT 1045 steel welded joints when under hardness, diffraction by X-ray, and fatigue tests.

Keywords: Shot peening, welded joints, fatigue.

REFERÊNCIAS

- ASM. *International ASM Metals Handbook*. Ohio, 2010. v. 5.
- BRANCO, C. M.; FERNANDES, A. A.; CASTRO, P. M. S. T. *Fadiga de estruturas soldadas*. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.
- CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- ENGINEERS EDGE. Shot peening manufacturing review. Disponível em: <<http://www.engineersedge.com/manufacturing/shot-peening-manufacturing.htm>>. Acesso em: 26 set. 2009.
- KALPAKJIAN, S. *Manufacturing engineering and technology*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000.
- KIRKHOPE, K. J. Weld detail fatigue life improvement techniques. Part 1: review. *Marine Structures*, v. 12, n. 6, p. 447-474, 1999.

KOPSOV, I. E. The influence of hammer peening on fatigue in high-strength steel. *International Journal of Fatigue*, v. 13, n. 6, p. 441-512, 1991.

KORSUNSKY, A. M. On the modelling of residual stresses due to surface peening using eigenstrain distributions. *Journal of Strain Analysis*, v. 40, n. 8, p. 159-170, 2005.

OKUMURA, T. *Engenharia de soldagem e aplicação*. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

OSK-Kiefer. Disponível em: <<http://www.osk-kiefer.de/home/default.asp?lang=e006E>>. Acesso em: 26 set. 2009.

Contato

Daniel Benítez Barrios
e-mail: danielbb@mackenzie.br