

CORREÇÃO DE EMPENO EM ANTEPARAS E CONVESES DE NAVIOS-PATRULHA*

DARIO AVELAR DO NASCIMENTO**
Engenheiro – Terceiro-Sargento (EN)

MARIA DE LOURDES MARTINS MAGALHÃES***
Professora Doutora

PASCHOAL VILLARDO SILVA****
Engenheiro

SUMÁRIO

Introdução
Metodologia
Resultados
Conclusão

INTRODUÇÃO

Os inúmeros casos de deformações causadas por processos de soldagem de eletrodo revestido realizados em anteparas e conveses de embarcações do tipo navio-patrolha de 500 toneladas resultaram na preocupação em eliminar as tensões residuais e/ou corrigir os empenos. Para isso, é preciso estabelecer os procedi-

mentos técnicos e operacionais para corrigir tais deformações e empenos causados por esses processos de soldagem, estudar os empenos na antepara e no convés para utilizar o melhor método de desempenho (a frio e/ou a quente), sugerir procedimentos que sejam capazes de eliminar as tensões residuais e indicar os benefícios alcançados com a eliminação dessas tensões residuais e/ou com a correção dos empenos.

* Título original: Correção de empeno em anteparas e convés proveniente dos processos de soldagem de eletrodo revestido em embarcações do tipo navio-patrolha.

** Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estácio de Sá, técnico em Estruturas Navais pela Escola Técnica do Arsenal de Marinha.

*** Doutora em Ciências Ambientais na área de Eletrodiálise, doutoranda em Novos Materiais e mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

**** Mestre em Ciência dos Materiais e Corrosão pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), engenheiro mecânico e de produção pela Universidade Gama Filho (UGF), Pós-Graduação em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo (USP), Pós-Graduação em Gestão da Qualidade e Engenharia da Confiabilidade pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Os aços estruturais aplicados na construção naval apresentam baixo custo, resistência mecânica, deformabilidade, soldabilidade e relação adequada entre resistência e peso. Em princípio, devem ser considerados dois tipos fundamentais: os aços carbono e os aços de alta resistência e baixo teor em liga.

Os primeiros são utilizados no estado simplesmente laminado, na forma de perfis estruturais, como barras, tiras, cantoneiras, vigas em T, em U, em I e em L. A maioria apresenta baixo a médio teor de carbono (entre 0,15 e 0,40%), o que lhes confere baixo custo, boa trabalhabilidade (ductilidade) e soldabilidade e resistência mecânica satisfatória. Quando se deseja melhorar a resistência à corrosão, introduzem-se pequenas quantidades de cobre (cerca de 0,25%).

De acordo com a Especificação de Aquisição do Projeto Básico – Navio-Patrolha, são utilizadas para o casco 500 toneladas de chapas de aço ASTM A131, grau A, ou ASTM A-36, ou equivalente. O aço ASTM A131, grau A, apresenta boa soldabilidade e média resistência, aplicado na construção naval. São considerados chapas grossas, de aço carbono, laminados nas espessuras de 6,00 até 10,00 mm, com larguras que podem variar de 900 até 3.900 mm e comprimentos de 2.400 até 18.000 mm. Já o aço ASTM A-36 apresenta boa soldabilidade, aplicado em componentes estruturais de média resistência, como caçambas, estruturas metálicas e torres de transmissão. Prescreve, basicamente,

a composição química formada por elementos com percentual de C, Mn, P, S, Si e Cu, e propriedades mecânicas, como limite de escoamento, limite de resistência e alongamento, iguais às do aço.

Segundo Paixão (2016), o desempenho consiste na deformação plástica do material e pode ser entendido como o ato ou efeito de desempenar. Há, nesse caso, a necessidade da presença do Controle de Qualidade, o qual é responsável por elaboração, controle e possíveis revisões do procedimento que será executado, bem como por reinspecionar a região após o

desempeno e acompanhar a execução deste para garantir a correta utilização dos procedimentos adotados (desempeno a frio e/ou desempeno a quente).

Conforme *site* da empresa Esab, o processo de soldagem com eletrodo revestido é o mais utilizado, por possuir maior flexibilidade

Conforme *site* da empresa Esab, o processo de soldagem com eletrodo revestido é o mais utilizado, por possuir maior flexibilidade entre todos os processos para união ou revestimento por solda

dade entre todos os processos para união ou revestimento por solda. É realizado com o calor de um arco elétrico estabelecido entre duas partes metálicas (a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho/metal base), energizadas com cargas elétricas de sinais opostos. O calor produzido pelo arco elétrico é suficiente para fundir o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Quando as gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão, onde

protege o metal de solda da atmosfera durante a solidificação.

Sabendo que a estrutura do navio é projetada para operar normalmente, na condição de carregamento mais desfavorável, quando submetida aos esforços decorrentes dos movimentos e acelerações correspondentes às condições de estado do mar e dos ventos, deve-se ter atenção ao processo de soldagem realizado no início da fase de construção.

Durante o processo de soldagem por eletrodo revestido, a estrutura do metal, devido à mudança brusca de temperatura, gera distorções em algumas áreas e, durante o resfriamento, as contrações do cordão de solda produzem tensões térmicas. Dessa forma, devido ao aumento e à diminuição das temperaturas, há alterações dimensionais no chapeamento trabalhado.



Fonte: Autor

Convés principal do Navio-Patrolha de 500 toneladas, boreste



Fonte: Autor.

Convés principal do Navio-Patrolha de 500 toneladas

Ao se tratar desse processo, é importante ressaltar a necessidade de se utilizarem eletrodos de baixo teor de hidrogênio para a soldagem do chapeamento e dos conveses resistentes, onde, nas juntas de topo, deverão ser providos meios para manter as partes a serem soldadas em posição e alinhamento correto durante a operação de soldagem, sendo inaceitável os desalinhamentos superiores a 30% da espessura da chapa mais fina da junta ou 3 mm, o que for menor.

METODOLOGIA

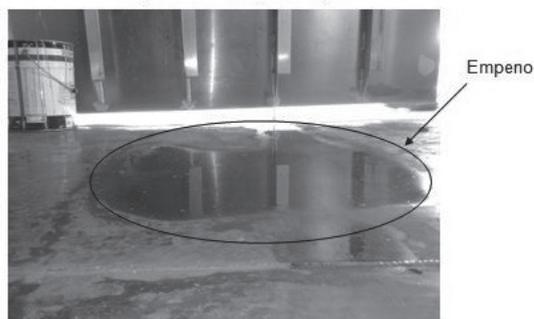
Desempenamento pode ser entendido como a operação de endireitar chapas, tubos, arames e perfis metálicos de acordo com as necessidades relativas ao projeto de construção, podendo ser realizado em produtos manufaturados que apresentam deformações causadas pelos processos de fabricação, pelo transporte ou pela armazenagem incorreta, ou nas peças que apresentam deformações causadas pelas próprias operações de fabricação.

O desempenamento depende de dois fatores essenciais (espessura e tipo do material) e pode ser executado de duas formas (a frio ou a quente) por processo manual ou mecânico. No processo manual são usados dispositivos de fixação (morsas e grampos), dispositivos de apoio (cepo e encontrador) e ferramentas (martelos, macetes, marretas e grifas). Já no processo mecânico são usadas as máquinas (prensas, calandras e marteletes pneumáticos), as quais exercem forças capazes de realizar o desempeno dos materiais. Importante mencionar que a utilização conjunta dos meios mecânicos e térmicos dá origem à terceira forma de desempeno: misto.

O processo de desempeno a frio será realizado sempre que o material apresentar grandes deformações permanentes impossíveis de compensar a quente, por meio



Fonte: Autor

Convés principal do Navio-Patrolha
500 toneladas, bombordo

Fonte: Autor

Convés principal do Navio-Patrolha
500 toneladas, abaixo do compartimento do passadiço

Fonte: Autor

Anteparo do camarote do Navio-Patrolha
500 toneladas

de ferramentas como martelo, macetes, marretas, grifas, dispositivos de fixação (morsas e grampos) e dispositivos de apoio (cepo com macaco e encontrador). Caso seja necessário executar o desempeno a frio, será realizado em seguida um tratamento térmico visando ao alívio de tensões residuais, assim como inspeção visual e outros métodos não destrutivos, se necessário, visando certificar a não ocorrência de defeitos superficiais no material trabalhado. Inicialmente deve-se verificar o grau de empenamento da chapa, usando uma régua de controle. Além disso, será verificada, por meio da inspeção visual, a presença de trincas ou mossas acentuadas nas regiões conformadas. Caso sejam constatadas descontinuidades superficiais, serão feitos reparos na região. Nesse tipo de desempeno, alguns métodos poderão ser executados, como a martelagem (martelagem radial, martelagem paralela ou martelagem concêntrica) ou a flexão, devendo ser considerada a mão de obra, a movimentação da causa da deformação na estrutura, o risco de aumento da dureza, o risco de danificar a superfície e a não aplicação em estrutura já montada.

Já o desempeno a quente, também conhecido como desempeno por chama, será realizado em duas operações: operações de desempeno e operações de liberação de tensão, utilizando o maçarico. Na operação de desempeno há presença dos estágios de corte (formação de perfis), de montagem de blocos e de montagem de unidades; e na operação de liberação de tensão há presença da fabricação de perfis de sustentação e de pequenos painéis, e da fabricação de painéis planos. Antes de começar a aplicação de calor nas áreas a serem desempenadas, as áreas soldadas devem estar livres de tensão externa, nas quais dois pontos merecem destaque: painéis planos com deformação simétrica e desempeno no

navio. No primeiro, o lado oposto do perfil será aquecido por maçarico de três bicos, em que a distância entre o bico do cone da chama interna e do elemento a ser desempenado terá variação de 3 a 4 mm, observando um comprimento de faixa aquecida de aproximadamente 100 mm. A distância mínima entre as áreas aquecidas será de 25 a 30 mm para uma pressão do oxigênio variando de 4 a 5 bar e pressão do oxigênio de 1,2 bar. As deformações serão medidas depois do resfriamento da chapa. Se as tolerâncias não forem atingidas, o desempenho continuará na área da chapa, nas áreas com deformações convexas, não aquecendo o lado côncavo da deformação. No segundo ponto, a sequência de desempenho no navio, quando tratado globalmente, começa da parte inferior para o topo do navio e do meio para os bordos. Assim, o calor deve ser aplicado primeiro nas vigas e depois seguir com o desempenho das chapas. O desempenho deve iniciar do centro do navio e seguir para fora, e da quilha para a superestrutura; primeiro *deck*/plataformas e depois anteparas longitudinais, transversais, laterais e corrímãos. Nesse caso, os jatos de água controlados poderão ser utilizados para o resfriamento das peças durante o processo de desempenho a quente. Para as unidades que estão em fase de montagem, o desempenho deve ser feito apenas quando o acoplamento com os blocos adjacentes estiver completo, todas as soldas terem sido finalizadas, inspecionadas e aprovadas, e todos os acessórios montados. Antes da montagem dos acessórios é realizado um desempenho local nas áreas em que existirá montagem. Importante mencionar que os perfis de sustentação tecnológicos e cortes nas bainhas de soldas ou cortes na área da chapa são usados para remover deformação acima de 10 mm.

As áreas com menores deformações são reparadas primeiro. Onde for possível,

antes de aplicar calor, deve ser utilizada uma prensa, pois o desempenho se torna mais eficaz. O aquecimento da chapa causa o aumento das distorções. Por essa razão, quando o reaquecimento for necessário, será preciso esperar até que a chapa tenha esfriado. Um ponto importante para redução da borda livre é a montagem dos perfis permanentes no estágio de fabricação. Os perfis de chapas devem ser transversais no sentido de rolamento, pois a eficácia do desempenho aumentará.

A aplicação dos calores numa peça a desempenar é sempre um processo delicado, uma vez que pode provocar alterações metalúrgicas no aço, e a introdução de tensões internas pode reduzir substancialmente a capacidade de resistência do material. O aço, por exemplo, é constituído por pequenos grãos, também chamados de cristais. O tamanho e a forma desses cristais têm uma importância decisiva nas propriedades de dureza do aço, como a ductilidade, a resistência à tração e a resistência ao impacto.

Na sequência do desempenho, a metodologia a ser seguida inicia-se pela escolha do ponto de início. Após, o maçarico é posicionado e mantido aceso até chegar à temperatura necessária (observa-se a cor roxo-escuro para o material aquecido). Não são permitidos movimentos circulares ou pendulares. Além disso, a temperatura da área aquecida é medida com termômetro digital, e o movimento avançando é executado em uma única direção para obter o comprimento necessário da fita de aquecimento. Nesse ponto, não é permitido retornar ou parar a linha de aquecimento, pois a eficácia de aquecimento é importante para a eficácia do desempenho.

Durante o processo de desempenho, é importante verificar se está sendo executado com o equipamento adequado, verificar se não está sendo ultrapassada

a tensão máxima permitida para o desempenho mecânico (tensão de ruptura), observar o limite de escoamento e o limite de deformação plástica do material (região a ser trabalhada), verificar se o método de desempenho está sendo corretamente aplicado conforme descrito anteriormente, verificar a correta aplicação do calor para desempenho a quente e verificar dimensionalmente a peça desempenada.

Há inúmeras causas que originam a deformação e o empenamento no chapeamento do navio, sendo o aquecimento não uniforme de uma junta soldada pelo arco ou chama a principal delas. Assim, com o aumento da temperatura, o limite de escoamento, o módulo de elasticidade e a condutividade térmica do aço decrescem e o coeficiente de dilatação térmica aumenta. Entre os fatores que influenciam diretamente na deformação, merecem destaque:

a) Energia de soldagem – Tensões internas são desenvolvidas se o metal ao redor da poça dificulta que o metal de base aquecido se contraia novamente. Dessa forma, quanto menor a energia de soldagem, menor será a quantidade do metal de base adjacente à solda aquecida e, conseqüentemente, menor será a deformação do material. Em contrapartida, caso o preaquecimento seja aplicado incorretamente, a deformação poderá aumentar.

b) Grau de restrição – Quando a deformação for impedida ou dificultada pelo uso de acessórios, o nível de tensões internas aumenta e, se tratando de grandes espessuras, é inevitável o aparecimento de trincas. Dessa forma, quanto maior for o grau de restrição, maior será o nível de tensões internas e menor será a possibilidade de deformação, porém o surgimento de trincas torna-se maior.

c) Tensões internas – As tensões internas são presentes nos componentes de uma estrutura antes de sua fabricação e são

causadas por diversos processos, como laminação, dobramento, corte e oxicorte. Essas tensões se opõem à deformação causada pela soldagem, reduzindo, assim, a deformação resultante.

d) Propriedades dos materiais – Quanto maior for o coeficiente de dilatação, maior será a tendência à deformação durante o processo de soldagem. Nesse caso, pode ser abordada a dilatação linear, em que há presença da variação em apenas uma dimensão, ocorrendo de maneira proporcional à variação da temperatura e ao comprimento inicial.

A condutividade térmica pode ser entendida como a medida da capacidade que o calor tem de escoar através de um material. Assim, quanto maior a tensão de escoamento da área soldada, maiores serão as tensões residuais capazes de deformar a peça. Para minimizar o empenamento, os materiais são submetidos a tratamentos térmicos de alívio de tensões.

Seleção de uma metodologia de resolução do problema

Considerando as discontinuidades apresentadas em estruturas soldadas, algumas práticas podem ser adotadas na fase de projeto com objetivo de prevenir ou minimizar tais efeitos:

a) Eliminar as soldas – A contração e a distorção tornam-se inevitáveis durante o processo de soldagem. Por isso é necessário que se tenha uma quantidade mínima de operações e que uma quantidade menor de metal de solda seja depositada em cada operação. Dessa forma, podem ser utilizados perfis com dobra ou perfis laminados (perfil em T ou em U, por exemplo) para resultar na eliminação da soldagem em alguns casos.

b) Reduzir o volume de metal de solda – Sabendo que quanto maior a quantidade

do metal depositado em uma junta maior será a força de contração sofrida pelo material, o volume de metal de solda deve ser limitado às exigências do projeto. Em caso particular, tratando-se de chapas relativamente espessas, o ângulo do chanfro pode ser diminuído se o espaçamento da raiz for aumentado ou se for usado chanfro em J ou chanfro em V. Para soldas em chapas com um único chanfro, a seção transversal da solda deve ser mantida a menor possível para reduzir o nível de distorção angular. Nas juntas de topo, se feitas por passo único de soldagem e com grande penetração, há pouca distorção angular.

c) Usar chanfros duplos – A solda em ambos os lados possibilita o equilíbrio dos esforços de contração. Dessa forma, uma junta em X, por exemplo, precisa de metade da quantidade de material necessário para a junta com chanfro em V em relação a uma chapa de mesma espessura.

d) Usar soldas intermitentes – Usar sempre que possível soldas intermitentes em lugar de uma solda contínua, para reduzir a quantidade de soldagem. Por exemplo, em chapas de reforço de fixação, uma redução significativa da quantidade de soldagem pode ser obtida com a manutenção de uma resistência adequada. Importante mencionar que o comprimento efetivo de qualquer segmento de solda intermitente não pode ser menor que quatro vezes a dimensão nominal, nem menor que 40 mm.

e) Menor número possível de passes – Quando se trata de aquecimento da peça, é preferível usar poucos eletrodos de grande diâmetro e, conseqüentemente, sempre que possível, utilizar poucos passes, já que a contração transversal se torna um problema. O preenchimento da junta com um número pequeno de passes com depósitos grandes de solda resulta em mais contração longitudinal e transversal do que uma solda preenchida com um grande

número de passes de pequenos depósitos. Em uma solda de multipasses, o metal de solda anteriormente depositado fornece restrição aos passes subseqüentes, de modo que a distorção angular por passe diminui à medida que a solda é preenchida. Grandes depósitos aumentam o risco de flambagem, especialmente em chapas finas.

f) Posicionar as soldas próximas à linha neutra – A deformação de uma peça é reduzida quando se tem um menor braço de alavanca para que as forças de contração não puxem o perfil para fora do seu alinhamento, resultando em menor distorção final. Geralmente as soldas são depositadas afastadas do eixo neutro e, nesse caso, a distorção pode ser minimizada durante o projeto de fabricação colocando uma solda no lado oposto do eixo neutro. No caso de grandes estruturas, por exemplo, se há presença da distorção em um lado, pode ser aplicada uma ação corretiva no lado oposto, aumentando a quantidade de solda depositada, a fim de controlar a distorção total.

g) Uso de solda balanceada – Resulta na diminuição da deformação proveniente do processo de soldagem, em que a força de contração é compensada por outra força, controlando a distorção angular em uma solda de topo, por exemplo, de multipasses. Este procedimento é executado primeiramente no lado da junta desbalanceada.

h) Utilizar a soldagem com passe à ré – As chapas se expandem cada vez menos devido à restrição das soldas anteriores com os cordões sucessivos, ou seja, os trechos dos cordões de solda são executados no sentido oposto ao da progressão da soldagem, de forma que cada trecho termine no início do anterior, em um único cordão.

i) Utilizar a pré-deformação e a disposição dorso a dorso – Colocar as partes a

serem soldadas fora de posição pode fazer com que a contração trabalhe de maneira construtiva.

j) Gabaritos e dispositivos auxiliares de fixação e montagem – Os dispositivos auxiliares de fixação e montagem não devem ser removidos por impacto, e a área da solda não deve apresentar descontinuidades, como poro, trinca, redução de espessura ou remoção incompleta.

k) Planejar a sequência de soldagem – Nesse caso é importante saber que, à medida que o conjunto se contrai em um determinado ponto durante o processo de soldagem, haverá interação com as forças de contração de soldas já executadas; por isso é necessário planejar a sequência de solda que será utilizada.

l) Martelamento e tratamento térmico – O martelamento deforma o cordão de solda, aliviando, por deformação plástica, as tensões induzidas pela contração do metal frio. Por outro lado, no passe de raiz nunca deve ser utilizado esse método, pelo possível surgimento de trinca e indesejável encruamento. Outro método para remoção das forças de contração é pelo alívio de tensões, em que há um aquecimento controlado a determinada temperatura, seguido por um resfriamento também controlado.

m) Minimizar o tempo de soldagem – O uso de eletrodos com revestimento de pó de ferro e os processos automáticos reduzem o tempo de soldagem, resultando na diminuição de deformação.

n) Planejar a sequência de montagem dos equipamentos e estruturas.

Seleção do Processo

Nem sempre é possível controlar, inicialmente, as deformações dentro dos limites aceitáveis. Normalmente é possível corrigir a deformação por um dos métodos relacionados abaixo:

- ressoldar;
- uso de ferramentas e dispositivos de apoio (desempeno a frio); e
- uso do aquecimento no local deformado ou empenado, com utilização de

maçarico (desempeno a quente). Nesse caso, é preciso restringir a temperatura da área entre 600 à 650° C.

RESULTADOS

Toda a estrutura soldada empena durante a sua construção e montagem. O maior ou menor empeno está diretamente

relacionado com a correção das precauções que forem tomadas.

As tolerâncias são tanto mais apertadas quanto menor é a dimensão dos navios em construção e, portanto, menor é o módulo de flexão dos elementos estruturais.

Para a quantificação do empeno foram utilizadas régua de madeira, fios de fibra ou de aço e fitas metálicas, anotando em diversos pontos se a chapa empenou para fora (+) ou para dentro (-).

No estaleiro, foi necessária a inserção de procedimentos com objetivo de minimizar o retrabalho iniciado (principalmente no departamento de estrutura), associados às distorções em juntas soldadas, em que utilizou a metade da força de trabalho.

Toda a estrutura soldada empena durante a sua construção e montagem. O maior ou menor empeno está diretamente relacionado com a correção das precauções que forem tomadas

Todas as soldas foram executadas de forma filetada, por profissionais qualificados, portando os equipamentos de proteção individual, e sendo observadas as tolerâncias estruturais. Para isso, a máquina de solda foi calibrada; a junta estava devidamente seca e protegida de água, ventos, poeira, óleo, graxa e tinta, em uma faixa de 50 mm para cada lado da borda do chanfro; e não foi interrompido o processo de soldagem antes de completar o segundo passe, sendo este chamado de passe de reforço.

Quando havia deformações pequenas, estas foram reparadas inicialmente. Nesse caso, antes da aplicação de calor, utilizou-se uma prensa, já que esse processo é mais eficaz e não altera as propriedades do material. Importante mencionar que o ato de martelar as superfícies é proibido quando há a necessidade de desempenar.

A utilização de fixadores rígidos na estrutura soldada também foi adotada para diminuir as distorções provenientes da soldagem, porém as tensões residuais e as deformações tiveram comportamentos opostos. Em outras palavras, um elemento fixo apresentou tensões residuais elevadas enquanto esteve soldado e distorção elevada e tensões residuais baixas após soldado livremente. Dessa forma, tornou-se inviável fabricar um componente soldado que, simultaneamente, apresentasse baixos níveis de tensões residuais e deformações, fazendo-se necessário o uso de tratamentos térmicos e/ou mecânicos.

Na preparação das juntas soldadas, as aberturas e os ponteamientos excessivos foram evitados, o que resultou em menores distorções. O ponteamiento permitiu uma fácil, correta e econômica fixação das peças a soldar, em que foram executados cordões curtos distribuídos ao longo da junta. Em contrapartida, se houvesse ponteamiento deficiente, não haveria fusão e escórias e gargantas excessivas se fariam presentes.

Tomando como base a quantidade de material depositado nas juntas com o nível de empenamento sofrido, eletrodos de diâmetros menores foram utilizados para que a altura dos pontos fosse de 3 mm para gargantas de 4 ou 5 mm em solda de filete.

CONCLUSÃO

As deformações resultantes das tensões residuais, presentes no empenamento dos conveses e das anteparas,

acarretaram retrabalho, atrasos consideráveis durante a construção e montagem e aumento no custo de mão de obra, como foi observado na entrega final do navio.

Paralelamente a esse ponto, foi observado que o uso do maçarico nem sempre garantia a correção da deformação presente. Assim, foi necessário realizar cortes e operações de reparo de solda para a correção do problema em questão, quando foi sugerida pelos profissionais de estrutura naval a inserção de técnicas que prevenissem que essas deformações ocorressem.

Como o processo de soldagem por eletrodo revestido foi o fator motivador

As deformações resultantes das tensões residuais, presentes no empenamento dos conveses e das anteparas, acarretaram retrabalho, atrasos consideráveis durante a construção e montagem e aumento no custo de mão de obra, como foi observado na entrega final do navio

para o empenamento, é importante ter em mente que a execução da soldagem requer um planejamento cuidadoso, desde a preparação das juntas, o estabelecimento de procedimentos e a definição dos equipamentos adequados até o estudo das sequências de soldagem que serão utilizadas com o objetivo de controlar as tensões residuais e as deformações que poderão surgir.

Dessa forma, ao analisar os procedimentos propostos neste trabalho, atestou-se que estes resultaram em melhor custo e benefício durante o processo de fabricação do navio-patrolha. Por exemplo, se houver um comprimento de perna de filete de 6 mm, depositando um comprimento de perna de 8 mm, resultará em uma deposição adicional de metal de solda de aproximadamente 57%. Com isso, é importante ter noção da quantidade de passes de solda e de material necessários para preencher a junta que será soldada, porque há aumento do custo extra de deposição do metal de solda e aumento do risco de distorção, além da remoção desse metal de solda ser cara e do atraso na entrega da obra que isso acarretaria.

Para controlar a distorção, por sua vez, há custos adicionais. Por exemplo, o uso de preparação de junta duplo V é uma excelente prática para reduzir o volume de solda e controlar a distorção, porém há custos para produzir, ao lado oposto da

chapa, meios de manipulação aos quais o soldador possa ter acesso.

Assim, a sequência que será utilizada no processo de soldagem de eletrodo revestido tem um efeito extremamente importante na distorção, podendo esta ser reduzida ou até mesmo eliminada, o que resultará no aumento da produtividade e da economia, já que o empeno não estará mais presente.

Chegando ao final deste artigo, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados, sendo apresentadas formas de corrigir os casos de empenos, utilizando desempenho a frio e/ou desempenho a quente e sugerindo meio em que o empeno fosse evitado.

Sem dúvida pode ter acontecido de um assunto não ter sido abordado de forma completa, porém inúmeras são as situações em que o empeno pode interferir na estrutura do navio visto como um todo. Esse fato serve de incentivo para que estudos mais detalhados sirvam de complemento para este trabalho.

Um ponto muito importante que pode servir para trabalhos futuros, por exemplo, é o comportamento dos empenos para o navio em condição de deslocamento, estando este comportamento diretamente ligado à segurança de toda a tripulação. Este empeno, inicialmente, tornou-se admissível, pelo limite de tolerância para a fase de construção e montagem.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Construção Naval; Metalurgia; Navio-Patrolha;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESAB. *Processo de soldagem*: eletrodo revestido. Disponível em: http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm, acesso em 16/10/2016.
- PAIXÃO, Anderson. *Procedimento de Execução de Desempeno*. Documento elaborado pelo Estaleiro B3, sob a aprovação final da Diretoria de Engenharia Naval, Marinha do Brasil, 2016.
- Especificação de Aquisição do Projeto Básico – Navio-Patrolha 500 toneladas para a Marinha do Brasil, elaborado pela Diretoria de Engenharia Naval, 2007.