

ANÁLISE DE TRINCAS EM CORDAO DE SOLDA EM LIGAS DE ALUMÍNIO NAVAL

EMMANUELLE DE OLIVEIRA SANCHO¹, ALESSANDRO MOREIRA PINHEIRO², ADRIANA PEREIRA DO NASCIMENTO³ e PEDRO DE MORAES OLIVEIRA⁴

¹Dra. em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professora UNIFOR, IFCE, Fortaleza-CE, Sobral-CE, emmanuellesancho@hotmail.com;

²Especialista em Engenharia Naval e Offshore, UCP, Petrópolis-RJ, jbaysandro@gmail.com;

³Me. em Ciências Marinhas Tropicais, Professora UNIFOR, Fortaleza-CE, adria@unifor.br;

⁴Engenheiro Mecânico, UNIFOR, Fortaleza-CE, pedro.de.moraes.oliveira@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: A pesquisa apresentada consiste na investigação do fato de que a liga de alumínio quando utilizada na construção em embarcações navais de médio porte sofre processos de fadiga, ocorrendo assim trincas e rupturas nas áreas que sofreram processos de soldagem. Sendo assim, o objetivo desse estudo é achar o provável motivo desses defeitos. Foi analisada as microestruturas de amostras de liga de alumínio naval através de microscópio óptico e com o auxílio de pesquisas bibliográficas, realizados os ensaios de microdureza Vickers e ensaio de impacto Charpy, determinando assim os elementos que compõem essas ligas, chegando-se a conclusões a respeito da sua resistência na região do cordão de solda e suas áreas adjacentes.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem, propriedades mecânicas, alumínio naval.

ANALYSIS OF CRACKS IN WELDING ROPE IN NAVAL ALUMINUM ALLOYS

ABSTRACT: *The research presented consists of the investigation of the construction suit that consists of an aluminum alloy used in vessels in the attempt of construction, as well as in the area of medium processes of construction and ruptures. Therefore, the objective of this study is to find the probable reason for these attempts. It was made as micro samples of aluminum aluminum alloy through optical research and with the aid of bibliographic research, carried out the naval microhardness tests Coming and Charpy impact tests, thus determining the elements that define these alloys, reaching some conclusions. its resistance in the region of the weld bead and its adjacent areas.*

KEYWORDS: *Welding, mechanical properties, marine aluminum*

INTRODUÇÃO

Na história da indústria naval, desde a confecção de embarcações em períodos antigos, a busca pelo melhoramento e desenvolvimento dos materiais que são utilizados nas construções das embarcações é constante. A escolha da madeira para as embarcações já era um desafio, pois não poderia escolher qualquer madeira, tinha que ser a madeira mais resistente possível. Com essa exigência havia uma limitação a certas espécies de árvores. Não é diferente nos tempos modernos, onde existe a busca para se chegar a uma melhor liga metálica para a construção de embarcações.

Nos primórdios do século XX, os materiais ferrosos eram o tipo de material básico na construção dos meios navais, hoje em dia os materiais ferrosos ainda têm sua parcela nesse ramo, mas novas ligas metálicas já estão sendo utilizadas para esse fim. Material como o alumínio vem ganhando espaço principalmente na construção de embarcações de médio porte, e, por esse motivo ele será objeto deste estudo (Callister, 2018).

A metodologia da pesquisa orientou-se pela pesquisa de estudo de caso, onde foram coletados os materiais utilizados na construção de embarcações navais de médio porte em um estaleiro local e com esses materiais houve a realização dos ensaios de microdureza, impacto e a observação do material submetido a soldagem através do ensaio metalográfico, para obtenção de resultados e com isso serem feitas as devidas análises comparativas.

MATERIAL E MÉTODOS

A liga utilizada para os ensaios mecânicos foi cedida pela INACE. Por meio dos ensaios mecânicos obtidos e pela metalografia que foi realizada, saberemos qual o seu comportamento na região do cordão de solda. Espera-se que a liga de alumínio naval utilizada pela a empresa seja das series 5XXX ou 6XXX, ambas as ligas têm o principal elemento de liga o magnésio. Para a liga de aço naval seja a liga A36 a que mais é utilizada no meio naval e principalmente no casco das embarcações.

Para a realização dos ensaios de impacto Charpy, na máquina de ensaio de impacto Charpy, mostrada na Figura 1, foram confeccionados 5 corpos de prova da liga de alumínio naval estudados de acordo com a norma, utilizando o entalhe tipo A.

Figura 1 – Máquina de ensaio de impacto Charpy



Fonte: O autor

A liga de alumínio naval, teve a sua microestrutura analisada no cordão de solda e nas áreas adjacentes a esta, onde o aporte térmico possui maior influência. O ensaio consistiu em retirar amostras do material para a análise metalográfica. Primeiramente foi cortado em uma cut-off ou policorte da marca Arotec, modelo C-40, com um disco de baixa granulometria para que a abrasão do disco em contato com o material causasse deformação plástica, o que comprometeria a observação metalográfica, para isso o equipamento utiliza um sistema de lubri-refrigeração para não afetar a microestrutura do material, alterando assim as suas propriedades originais. Devido a esse risco o processo de corte tem que ser mantido em uma temperatura abaixo de 100°C. E, além disso, a lubri-refrigeração proporciona um melhor acabamento na amostra reduzindo assim o tempo de lixamento. Devido ao pequeno tamanho das amostras foi realizado um embutimento a quente, para facilitar a observação no microscópio ótico. Para isso utilizou-se uma embutidora a quente de marca Arotec, modelo PRE 30M, garantindo um processo mais prático e eficiente, como visto na Figura 2(a) e 2(b).

Figura 2(a) – Embutidora metalográfica, e, (b) amostra após o embutimento.



Fonte: O autor

Logo em seguida as amostras foram lixadas, com a redução da granulometria da lixa de forma sucessiva, sempre obedecendo a mudança da posição do material em 90° em cada troca de lixa. Foi utilizado uma lixadeira elétrica da marca Arotec, modelo AROPOL 2V, também com sistemas de lubri-refrigeração. A etapa de polimento vem em seguida a de lixamento, com auxílio de pasta diamantada com duas diferentes granulometrias em um pano de polimento, para garantir um melhor acabamento superficial, com isso tem-se melhores condições para analisar as microestruturas do material. Para melhor visualização das microestruturas foi realizado ataque químico com solução de hidróxido de sódio a 10% para o alumínio naval, que em seguida foi levada ao microscópio ótico da marca Sony, onde a imagem da amostra foi ampliada 500X do seu tamanho real. Nesse aumento foi possível visualizar os grãos e os contornos de grão e analisar a composição da microestrutura do

material. A liga de alumínio naval foi submetida ao ensaio de microdureza Vickers, utilizando microdurometro Vickers da marca Shimadzu, apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Microscópio de microdureza Vickers



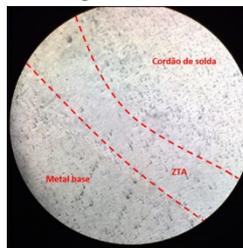
Fonte: O autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de impacto Charpy na liga de alumínio naval em todos os ensaios apresentaram absorção de energia de 4 joule, demonstrando que a liga de alumínio naval possui uma característica frágil já que a sua tenacidade é baixa. Uma possível explicação para essa característica da liga de alumínio naval ter essa baixa tenacidade é se observar o que ocorre em sua microestrutura. Devido ao tratamento de envelhecimento gerar uma grande quantidade de precipitados fazendo com que haja um endurecimento na liga por precipitação, ocorrendo assim, um carregamento excessivo de magnésio em sua estrutura cristalina, isso aumenta a resistência do material, no entanto, devido a essa sobrecarga de magnésio, a estrutura fica com pouco espaço intersticial dentro da rede para haver deslocamento, e por isso a liga consegue absorver pouca energia, pois, o seu espaço intersticial é pequeno e não permite um maior deslocamento da rede. Com essa precipitação de magnésio na estrutura cristalina, gera um aumento de tensão no interior da mesma, devido ao acúmulo de energia. Uma estrutura cristalina com excesso de energia não tem como absorver muita energia provenientes de fontes externas, pois, o deslocamento da rede em sua estrutura cristalina é muito limitado (Garcia, 2018).

Foi realizada a metalografia da liga de alumínio naval para a análise de sua microestrutura e principalmente identificar como essa estrutura se comporta em um processo de soldagem, onde a análise metalográfica foi realizada abrangendo o cordão de solda, a zona termicamente afetada (ZTA) e o metal de base que não foi afetado pelo calor durante a soldagem, apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Metalografia da liga de alumínio naval no cordão de solda e áreas adjacentes



Fonte: O autor

A metalografia da liga de alumínio naval sofreu uma demarcação para o reconhecimento das áreas que a formam, que são o cordão de solda, a ZTA e o metal de base, com o objetivo de uma análise de cada área e sua correlação com a dureza que cada uma possui e que isso implica na resistência final de toda a liga.

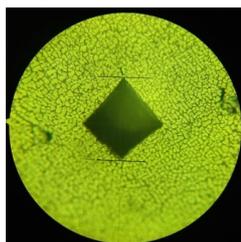
Observando as demarcações, nota-se que as áreas do cordão de solda e do metal de base possuem um elevado nível de precipitação de magnésio que pode ser identificado por esses pontos enegrecidos presentes na matriz da liga que é o alumínio. Como a quantidade de precipitados está diretamente proporcional a dureza que a liga de alumínio naval apresenta, pois, ela só possui essa

resistência por conta do tratamento de envelhecimento que ocasiona essa precipitação, devido a essa quantidade elevada de precipitados em ambas áreas, elas são as áreas que apresentam as maiores durezas e conseqüentemente a melhor resistência mecânica. A zona termicamente afetada (ZTA) apresentou um baixo nível de precipitados de magnésio, acarretando em uma menor dureza sendo a mais baixa de toda a extensão da liga, fazendo com que seja a área que venha sofrer trincas, gerando assim a ruptura da liga, por conta das solicitações de esforços ao qual está sujeita no ambiente marítimo, como as cargas hidrodinâmicas e hidrostáticas.

Mas o que gerou essa redução da dureza e conseqüentemente da resistência mecânica da zona termicamente afetada? Esse fato é a conseqüência do aporte térmico gerado durante o processo de soldagem, que resultou na retirada de uma boa parte do tratamento de envelhecimento. Como a liga foi submetida a uma temperatura bem acima da que ocorre o tratamento de envelhecimento, este por sua vez teve a quantidade de precipitados gerados sendo retirados, ou seja, foram dissolvidos na matriz da liga novamente, devido a quantidade de calor que a mesma foi submetida. A zona termicamente afetada se transformou em um ponto de concentração de tensão de toda a liga, acarretando assim que toda a propagação de trincas, falhas ou fraturas, venham a ter a sua origem na ZTA (Colpaert, 2008).

A liga de alumínio naval foi submetida ao ensaio de microdureza Vickers, através da amostra que foi realizada a metalografia. Foram realizadas endentações nas áreas do cordão de solda, zona termicamente afetada e no metal de base, analisando assim a dureza e conseqüentemente a resistência mecânica de cada área respectivamente, apresentadas na Figura 5, com seus resultados mostrados na Tabela 1.

Figura 5 – Imagem da impressão Vickers na área do cordão de solda da liga de alumínio naval



Fonte: O autor

Tabela 1 – Valores de microdureza Vickers nas áreas de solda que compõem a liga de alumínio naval

Cordão de solda (HV)	ZTA (HV)	Metal de base (HV)
66,1	55,5	68,1
65,6	54,7	67,7
66,9	54,2	68,9
66,9	54,1	68
62,5	52,4	70

Fonte: O autor

Os valores foram convertidos para a dureza Brinell, apresentados na Tabela 2, utilizando valores de conversão de dureza.

Tabela 2 – Valores de dureza Brinell

Cordão de solda (HB)	ZTA (HB)	Metal de base (HB)
62,8	53	65
62,3	52	64,3
63,5	51,4	65,5
63,5	51,4	64,6
59,4	49,8	66,5

Fonte: O autor

Para se chegar ao valor de resistência a tração do material é necessário realizar uma conversão com a equação; $\sigma_B = \alpha \times HB$, onde σ_B é o valor de resistência a tração do material, α é o fator de conversão para cada liga ou constante experimental e HB é o valor da dureza Brinell encontrada nos ensaios. Valores de resistência a tração das áreas da liga de alumínio naval, após os cálculos utilizando a equação de conversão estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de resistência a tração

Cordão de solda (MPa)	ZTA (MPa)	Metal de base (MPa)
251	212	260
249,2	208	257,2
267,6	205,6	262
267,6	205,6	258,4
250	199,2	266

Fonte: O autor

Os valores de dureza apresentados nas áreas do cordão de solda e do metal de base obtiveram os valores mais altos de dureza no ensaio, enquanto que a zona termicamente afetada (ZTA), apresentou os valores mais baixos. Isso dá maior credibilidade de que a dureza da ZTA diminuiu por conta do aporte térmico gerado no processo de soldagem, que acarretou na diminuição de precipitados, tendo o tratamento de envelhecimento sido bastante retirado da liga. Sendo assim, reforçando já o que fora dito neste trabalho. A resistência mecânica a tração foi maior nas áreas do cordão de solda e no metal de base e teve os seus menores valores na zona termicamente afetada. Como a dureza da ZTA foi afetada, conseqüentemente a resistência mecânica também, sendo que essa diminuição foi em decorrência da quantidade de calor que o material foi submetido no processo de soldagem (Silva, 2006).

CONCLUSÃO

Com a realização de ensaios de tração e dureza observou-se que os resultados destes ensaios com a relação à resistência mecânica da liga de alumínio naval e da liga de aço naval, não sofreu grandes variações, os valores foram aproximados um dos outros, o que indica a confiabilidade deste estudo. A resistência mecânica da liga de alumínio naval mostrou-se um pouco menor do que a liga de aço naval, salientando assim que a liga de alumínio naval, possui uma boa resistência mecânica em projetos de embarcações, sendo melhor ainda devido ao seu menor peso do que a liga de aço naval. No entanto, o emprego da liga de alumínio naval, só é viável em embarcações de médio porte ou para uso em embarcações militares, onde ambas, necessitam desenvolver maiores velocidades, sendo o fator peso é fundamental para se ter essa característica. O ensaio de impacto Charpy demonstrou que a liga de alumínio naval possui uma característica frágil, absorvendo pouca energia de impacto, desenvolvendo fratura de uma certa forma rápida e os fragmentos dos corpos de provas comprovaram essa fragilidade devido ao cisalhamento abrupto da liga. Esse fato se dá pela grande quantidade de precipitados de magnésio contidos no espaço intersticial na estrutura cristalina do material, restringindo significativamente o deslocamento da rede para absorção de impacto. O ensaio metalográfico mostrou a grande quantidade de precipitados de magnésio presente na liga, o que corroborou com a explicação do fato que a liga de alumínio naval tem a sua resistência elevada significativamente, mas acaba perdendo na mesma proporção a sua tenacidade e plasticidade.

REFERÊNCIAS

- Callister Jr., William D.; Rethwisch, David G.. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- Colpaert, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, Tradução de André Luís V. da Costa e Silva. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- Garcia, Amauri; Spim, Jaime Alvares; Santos, Carlos Alexandre dos. Ensaios dos Materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.
- Silva, Andre Luis da C.; Mei, Paulo. Aços e Ligas Especiais. 2. ed. São Paulo: Eletrometal S.A, 2006.
- Garcia, A.; Goulart, P.; Bertelli, F.; Spinelli, J. E.; Cheung, N. Hypoeutectic Al Fe Alloys: Formation and Characterization of Intermetallics by Dissolution of the Al Matrix Editora: CRC Press – 2018.

