



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MJSP - POLÍCIA FEDERAL
COORDENAÇÃO DE SEGURANÇA PORTUÁRIA - CONPORTOS/DPA/PF

ESTUDO Nº 2 SOBRE O ALUMÍNIO NAVAL

ESTUDO Nº 2 ALUMÍNIO NAVAL

O primeiro registro do uso do alumínio na indústria naval data de 1891, na França, quando o iate a vela de 12 metros batizado de “Mignon” foi construído. Já a primeira embarcação motorizada foi a “Diana”, de 17 metros, feito para a Marinha Real Britânica, utilizada na Segunda Guerra Mundial e que esteve a serviço até a década de 1960. Apresentando uma série de vantagens em relação a outros materiais, o alumínio é amplamente utilizado na fabricação de iates e embarcações de serviços em todo o globo.

“Os principais estaleiros de embarcações de lazer da Europa priorizam o alumínio para construção de iates acima de 100 pés. Além disso, o alumínio é o material mais utilizado na fabricação de embarcações comerciais e militares de alto desempenho e tecnologia no mundo”, diz Demien Chaves, engenheiro projetista e diretor da MCP Yachts, estaleiro localizado no Guarujá (SP) e que produz iates e embarcações de serviço. O alumínio tem peso específico inferior a um terço do peso do aço e é um dos metais de menor densidade – 2,7 g/cm³ contra 7,8 g/cm³ para o aço. “Um casco e uma superfície de alumínio, tipicamente, pesam menos da metade de seus equivalentes em aço e oferecem a mesma resistência estrutural”, diz Chaves, que explica que quando comparado ao GPR (compósitos laminados de fibra de vidro), um iate de alumínio possui resistência estrutural muito superior, mesmo sendo aproximadamente 15% mais leve. “Outras vantagens incluem o fato de o alumínio não ser inflamável, não absorver água e não delaminar ou deformar como a fibra de vidro, por exemplo. Os cascos feitos de alumínio são extremamente duráveis, não sofrem fadiga estrutural com o passar dos anos e têm baixo custo de manutenção.”

Vantagens na fabricação

A leveza do alumínio também proporciona vantagens no processo de fabricação das embarcações. Stump e Vantakuk (2010 - A construção naval em liga de alumínio, Universidade Mackenzie) ressaltam que subconjuntos de tamanhos relativamente grandes podem ser pré-fabricados, permitindo que vários módulos possam ser produzidos paralelamente antes de entrar na montagem. Isso reduz sensivelmente o tempo de montagem para unidades maiores. Já Eduardo Keller, gerente comercial da ETP, estaleiro carioca que produz embarcações de médio porte em alumínio e também em aço, destaca a simplificação de processos. “Construir uma embarcação com aço demanda o uso de pontes e guindastes, já que as peças são muito pesadas”, explica. “Já com o alumínio, o manuseio das chapas e estruturas pode ser feito manualmente, o que simplifica bastante o processo de construção.”

O alumínio tem se transformado no material estrutural de escolha na fabricação dos mais modernos iates. Esta tendência é vista também em embarcações de serviço de alta performance, construídas em alumínio naval. Com peso específico aproximado de um terço do peso do aço, um casco e uma superestrutura de alumínio, tipicamente, pesam menos da metade de seus equivalentes em aço e oferecem a mesma resistência estrutural. Esta leveza se traduz em maior capacidade, maior velocidade ou maior economia de combustível com consecutivo maior alcance. Quando comparado ao GPR (plástico reforçado com fibra de vidro), um iate de alumínio possui resistência estrutural muito superior mesmo sendo aproximadamente 15% mais leve que um barco de mesmo porte em fibra. Outras vantagens incluem o fato de o alumínio não ser inflamável, não absorver água, delaminar ou deformar como a fibra de vidro.

Por serem extremamente duráveis, não sofrerem fadiga estrutural com o passar dos anos e terem baixo custo de manutenção, cascos de alumínio tem alto valor de revenda chegando este em muitos casos, a ser igual ou superior ao valor de compra.

As ligas de alumínio utilizadas (5083 - 20795260 - Esta liga é de soldagem mais fácil do

que as ligas da série 6xxx e é mais previsível em termos de resistência pós-soldagem. A liga 5083 se destaca na resistência à corrosão em um ambiente de água salgada e é, portanto, o material ideal para aplicações de estrutura de casco naval. e 6082 - 20795258) são específicas para construção naval e uma excelente resistência à corrosão. Com uma microestrutura projetada para sobreviver a ambientes marinhos severos, os cascos de alumínio podem ser mantidos sem pintura ou outros tipos de tratamentos anticorrosivos. Além disso, as chapas quando soldadas mantêm sua elevada resistência, tornando o casco extremamente rígido e facilmente reparável.

O desempenho de um material no estaleiro é tão importante quanto na água, assim o alumínio é o material de escolha para a fabricação de iates com designs inovadores já que é versátil, fácil de utilizar, cortar, curvar e moldar nas mais diferentes formas. Com alta eficiência estrutural e rigidez, as embarcações de alumínio proporcionam uma navegação tranquila e em segurança em mar aberto, seja em travessias oceânicas, navegações noturnas ou qualquer condição de tempo.

Vantagens do alumínio

“A redução de peso aumenta a capacidade de carga e diminui a potência requerida para mover a embarcação”, explica Diego Sarzosa, Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, do curso de Engenharia Naval. Isso se traduz, automaticamente, em economia de combustível, melhor performance e redução na emissão de poluentes. O peso reduzido ainda ajuda no controle da estabilidade e, também, demanda uma menor solicitação mecânica ao navegar por mares revoltos. Sarzosa ainda cita outra vantagem fundamental. “O alumínio também possui uma excelente resistência a corrosão, o que é altamente desejável na indústria naval”.

As vantagens do alumínio são atestadas por Amyr Klink, uma das maiores autoridades no assunto. Comandante de embarcações com inúmeras expedições por diferentes partes do globo desde o início dos anos 80 – sua primeira viagem foi a travessia solitária a remo do Atlântico Sul. “Quando você constrói em aço ou qualquer outro metal ferroso é necessário tratá-lo”, explica, referindo-se à aplicação dos produtos anticorrosivos. Já o alumínio é protegido por uma camada nanométrica de Al_2O_3 , que surge no momento em que o metal é exposto a um meio oxidante, como ar ou água.

Redução de peso

A substituição do casco em fibra de vidro pelo casco em alumínio naval resulta em casco mais leve e rústico. Consequentemente, o planeio da embarcação acontece mais facilmente/rapidamente, concorrendo para uma economia de combustível e aumento da vida útil dos motores (menos exigidos).

Baixo momento de inércia

Um baixo momento de inércia é um requisito importante para peças com movimentos lineares ou rotacionais e acelerações e desacelerações rápidas, como é o caso de lanchas, robôs e equipamentos de transporte de alta velocidade.

Bom balanceamento

Uma bobina de suporte da linha de uma máquina têxtil que guia linha a altas velocidades requer uma construção extremamente leve com um balanceamento perfeito. Quando feita por estampagem profunda em chapa de aço, a bobina não atendeu a esses requisitos. O problema foi resolvido por uma liga de Silafont-35 (AlSi10Mg), fundida a alta pressão, com proteção superficial a plasma contra desgaste, com Al_2O_3 e TiO_2 .

Absorção de vibração

Juntas de metal-borracha de peças móveis de uma engrenagem motora de veículo, que absorve vibrações da estrada, têm o núcleo do rolamento feito de alumínio, pois suportam os esforços. Eles substituíram o ferro (ferro com ferro) e melhoraram substancialmente a absorção de vibrações. Devido às altas forças de compressão e tendo em vista o grande volume requerido, esses núcleos são feitos de Unifont-94 (AlZn10Si8Mg) e fundidos a alta pressão. A liga é auto-envelhecida e reassume a sua resistência original após a vulcanização.

Resistência à fadiga

Porcas de plástico para acoplamentos de mangueiras têm 80 milímetros de diâmetro interno. Elas se quebravam depois da montagem e foram substituídas por fundidos de Silafont-09 (AlSi9),

fundidos a alta pressão. Os acoplamentos plásticos para máquinas de lavar frequentemente se tornam quebradiços e estão sendo substituídos por fundidos de alumínio a alta pressão feitos de Peraluman-90 (AlMg9).

Ductibilidade

O fundido de alumínio dúctil automaticamente reduz os picos de tensão produzidos pela tensão de impacto. Uma caixa de controle de elevador sujeita a uma pressão pulsante de até 400 bar, que era feita a partir de um fundido de ferro, foi substituída por um fundido feito em molde permanente com o material Unifont-90 (AlZn10Si8Mg).

Resistência dinâmica

Os fundidos de alumínio são apropriados para peças que estejam sujeitas a tensões de vibração sobre tração. Por essa razão, todas as peças de aço de transporte de carga em vagões ferroviários podem ser substituídas por fundidos de alumínio. Uma locomotiva, com a marca de Aludrive (movida a alumínio), contém 750 quilos de fundidos de alumínio, que dão uma economia em peso de 500 quilos. A unidade motora e o corpo do vagão repousam longitudinalmente sobre uma suspensão a ar com braços em balanço, em forma de caixa do rolamento de assentamento da roda. Devido ao alto esforço no braço, que serve também como câmara de ar para a suspensão, é utilizada uma liga de baixo ferro Alufont-52 (AlCu4Ti), envelhecida artificialmente.

Alta deformação

Peças de segurança muito tensionadas não devem se quebrar sem deformação, o que destrói energia e evita a fratura quebradiça. A liga dúctil Alufont e as ligas de baixo ferro AlSi, como Silafont e Anticorodal, são usadas para peças de segurança. Em motores de carros, por exemplo, as aplicações incluem: sistemas de freios, suportes transversais de eixos dianteiros e traseiros e rodas de carros. A peça de freio mostrada foi mudada de um fundido de ferro maleável para um fundido de alumínio de uma liga de Alufont-47 (AlCu4TiMg), envelhecida naturalmente.

Resistência à trinca e evolução lenta da trinca

Elementos de construção em ligas de alumínio dúcteis de alta resistência com boa resistência à trinca são indispensáveis para projetos de engenharia calculados para durar mais de 40 anos. Ligas dúcteis de alumínio de alta resistência possibilitam construções leves que não apenas simplificam projetos tradicionais, mas também possibilitam funções adicionais. A estrutura completamente fabricada em aço de um truque de vagão ferroviário, por exemplo, pode ser reduzida a uma liga de Alufont-52 (AlCu4Ti), do suporte transversal principal, artificialmente envelhecida e acoplada às extremidades.

Ausência de fragilização a temperaturas muito baixas

Materiais de ferro apresentam uma queda expressiva na ductibilidade em baixas temperaturas, mas os fundidos de alumínio não mostram essa fragilização a temperaturas extremamente baixas. Dessa forma, eles são usados em condutores elétricos de ferrovias montanhosas, aviões e sistemas de transporte de gases liquefeitos.

Boa formação de bordas

Fundidos dúcteis de alumínio podem ser facilmente conformados nas bordas, facilitando o projeto de construções mistas como carcaças de amortecedores. Um disco de aço é colocado na matriz da máquina de fundição de alumínio a alta pressão e ao seu redor é fundida a borda de alumínio, e a superfície da borda suporta todas as forças. A liga Silafont-09 (AlSi9) atende a esses requisitos.

Estabilidade de Forma

Mesmo fundidos a alta pressão com paredes muito finas oferecem excelente estabilidade de forma e, por isso, substituem peças de plástico e de aço. Capas de plástico de motores de carros e algumas capas de plástico de refletores traseiros de carros não têm a necessária estabilidade de forma. Elas têm sido substituídas pelo material Silafont-09 (AlSi9), em fundidos a alta pressão. A estrutura da base de um computador precisa garantir uma estabilidade de forma que não pode ser conseguida por uma chapa de aço. Uma alta estabilidade de forma é requerida porque os eixos, que são montados nos furos, apenas permitem desvios mínimos de paralelismo entre si durante o serviço, que inclui trabalho entre temperaturas de 20 a 70 °C. Fundidos de Silafont-09 (AlSi9) atendem a estas condições.

Resistência ao desgaste

Em motores a combustão, peças de ferro fundido estão sendo substituídas por ligas de alumínio hipereutéticas de alta resistência ao desgaste, tais como o Silafont-70 (AlSi12CuNiMg), o Silafont-90 (AlSi17Cu4Mg) ou o Silafont-92 (AlSi18CuNiMg). Fundidos de ferro sujeitos a desgaste também estão sendo substituídos por fundidos de alumínio, sempre que a zona de desgaste é protegida por um spray de plasma, como as extremidades de garfos de mudança de engrenagens. As bombas para o sistema de servodireção foram modificadas de ferro fundido para o material Silafont-90 (AlSi17Cu4Mg), reduzindo o seu peso em 65%. Além disso, a pressão de serviço pode ser aumentada em 55%.

Distribuição de tensões

Devido à distribuição favorável da tensão em um fundido de alumínio sob esforço, praticamente não existem os picos de tensão que ocorrem em construções soldadas. Por essa razão, uma peça de um dispositivo de salvamento foi mudada de um projeto com aço St52 para o material Alufont-52 (AlCu4Ti), fundido em areia e envelhecido artificialmente. Além disso, o peso foi reduzido de 8,9 quilos para 3 quilos e o custo de produção foi reduzido em 28%.

Soldando fundidos de alumínio com ferro e cobre com elementos intermediários de ligação

Com elementos intermediários de ligação, materiais de natureza tão diferentes como o aço e o alumínio podem ser soldados. Os elementos intermediários são seções ou placas de compostos de alumínio-aço produzidos por extrusão ou laminação. Aqui está apresentado um elemento de junção intermediária com a peça de aço, depois de um ensaio de dobramento. Apesar da alta deformação, a camada de união não foi destruída.

Soldagem de fundidos de alumínio com outros materiais de alumínio

A empresa Alusuisse desenvolveu uma liga Aluman-16 (AlMn1,6) para a soldagem do alumínio. Devido ao alto intervalo de solidificação (645–660 °C), os fundidos de Aluman-16 são convenientes para serem soldados em fornos de banho de sal em produções de alto volume. Essas conexões de radiadores de automóveis asseguram a produção econômica dos radiadores.

Insertos fundidos

Peças de uma embreagem hidráulica de automóvel, fundida em ferro, foram reduzidas em número com a aplicação de fundidos a alta pressão no material Silafont-09 (AlSi9) com insertos fundidos com núcleo de aço nitretado. Eles precisam manter uma precisão de rotação de 0,2 milímetros após a fundição.

Economias de projetos com fundidos de alumínio

Os fundidos de alumínio frequentemente são bons substitutos de projetos com rebites, usinagens, parafusos e montagens. Por exemplo, o suporte dos flaps de aterrissagem de um avião Airbus 320 é um fundido de precisão que substituiu um projeto com rebites composto de várias peças. Os custos de produção foram reduzidos em mais de 60%. Além disso, os custos de proteção contra corrosão e de manutenção foram eliminados. O suporte para os porta-bagagens centrais dos Airbus A300 e A310 foram usinados a partir de uma placa de alumínio esticada, mas agora foram substituídos por um fundido em molde permanente em Anticorodal-72 (AlSi7Mg0,6), artificialmente envelhecido. Os custos de produção foram reduzidos em 65%.

Condutividade térmica

Ligas de fundição de alumínio são usadas em motores a combustão devido à sua alta condutividade térmica. Essa propriedade também tem possibilitado outras aplicações. A carcaça do resfriador de um retificador elétrico tem que simultaneamente remover calor e assegurar a estanqueidade de um alto vácuo. Anteriormente era um conjunto soldado de cromo-níquel-aço, hoje é um fundido feito em areia a baixa pressão em Anticorodal-70 (AlSi7Mg0,3), envelhecido artificialmente. O novo fundido resultou em uma melhoria de 55% no efeito de resfriamento, dessa forma o resfriador adicional, que era necessário no projeto anterior, foi eliminado. Devido à melhor estanqueidade, o vácuo pode ser reduzido em 0,01 para 0,0000001 bar. O custo foi reduzido em 22% e o peso em 35%.

Capacidade térmica

Os moldes para artigos de plástico, vidro e pneus são principalmente de alumínio devido à sua alta capacidade térmica, que é relativamente pequena em outros materiais. O alumínio tem substituído ligas de ferro e zinco em tais aplicações. Um molde de ferro fundido foi substituído por um de Anticorodal-70 (AlSi7Mg0,3), envelhecido artificialmente.

Não inflamável

Diferentemente do magnésio, o alumínio não é inflamável. Por essa razão é usado em aquecedores estacionários de carros modernos, em que o alumínio está em contato direto com a chama do maçarico. O fundido a alta pressão usado é feito de Silafont-09 (AlSi9), uma liga que não requer tratamento térmico.

Condutividade elétrica

Ligas de alumínio de Anticorodal-04 e de Anticorodal-71, superenvelhecidas, estão substituindo elementos em condutores da classe cobre e fundidos em cromo-cobre para sistemas de alta voltagem e para disjuntores. Um condutor para sistemas de alta voltagem em Anticorodal-04 (AlSi0,5Mg) e um suporte de contato para interruptores em Anticorodal-71 (AlSi7Mg0,3).

Resistência ao curto-circuito

Para aplicações em novos condutores aéreos, a empresa alemã de ferrovias federais está especificando fundidos e extrudados de alumínio, no lugar de fundidos de ferro maleável e de aço estrutural. A resistência ao curto-circuito de fundidos de alumínio é muito importante devido às correntes de curto-circuito extremamente altas, que ocorrem em seções de túneis onde partes das estruturas são aquecidas. Com fundidos de ferro maleável, um aumento de curta duração de temperatura até 350 °C é permissível. No caso do alumínio, o permissível é de apenas 125 °C. A corrente de curto-circuito leva duas vezes o tempo para o alumínio do que ela leva para o ferro maleável, para alcançar o limite permissível. O risco de perda de resistência mecânica, desta forma, é mais reduzido para os fundidos de alumínio do que para os de ferro maleável. Um curto-circuito de 35 kA e duração de 120 milissegundos produz marcas nas conexões entre fundidos de ferro maleável e de aço, mas não afeta as peças de alumínio. Nos fundidos de ferro maleável os fios metálicos dos cabos se tornam recozidos, mas isso não ocorre nos fundidos de alumínio. São apresentados fundidos em moldes permanentes na liga Anticorodal-70 (AlSi7Mg0,3), parcialmente sub-envelhecida, que estão substituindo moldes fundidos de ferro maleável branco.

Resistência à corrosão

Na indústria de equipamentos e aparatos de combate ao fogo, as ligas de Anticorodal e Peraluman têm substituído ligas de ferro e de cobre devido à sua boa resistência à corrosão. A figura mostra uma tampa de poço de aeroporto, feita com Anticorodal-70 (AlSi7Mg0,3), envelhecido artificialmente, para uma carga permissível de 100 toneladas. Ela substituiu um fundido de ferro. O problema de corrosão foi resolvido e ficou possível o seu manuseio por um único homem.

Resistência à água do mar

Fundidos de Peraluman (ligas de baixo ferro e isentas de cobre de AlMg) são usadas na construção naval. A âncora de um iate de navegação oceânica é fundida em Anticorodal-72 (AlSi7Mg0,6), envelhecido artificialmente, e em Anticorodal-78 (AlSi7Mg), parcialmente sub-envelhecida e polida a tambor.

Superfícies decorativas

Depois de polidos, os fundidos anodizados ou anodizados em cores – particularmente para as ligas de AlMg – produzem um efeito ótico especial. Como resultado, os fundidos de alumínio são preferidos para acabamentos de construção e de mobílias, instrumentos óticos, utensílios domésticos e objetos de arte. Exemplos são elementos fundidos de cortinas de parede e placas fundidas, que são os preferidos de muitos arquitetos em relação a materiais de pedra. Por razões decorativas as câmeras de cinema são montadas com fundidos de alumínio.

Capacidade de reflexão

Fundidos de alumínio em ligas livres de silício, como Peraluman e Alufont, oferecem uma alta reflexão e calor, com uma correspondente baixa absorção. Como resultado, as indústrias de aparatos de refletores e de aquecimento estão usando fundidos de alumínio.

Não toxicidade

Porque o alumínio não é tóxico, ligas de alumínio isentas de cobre com 0,5% de Fe, 0,05% de Cu e 0,05% de Ni são usadas nos equipamentos das indústrias alimentícias e estão substituindo ligas de aço inox em peças das indústrias de peixes e carnes. Outro exemplo é o fundido de uma rosca de transporte de uma prensa de manteiga no material Anticorodal-50 (AlSi5Mg). O fundido atendeu a todas as exigências de higiene e de ausência de toxicidade.

Os valores máximos permitidos pela norma europeia EN 601 na área de alimentação são Fe 2,0%, Cu 0,6% e Ni 3,0%, mas eles são muito altos e provocam corrosão quando em contato com alimentos. Além disso, 0,2% de antimônio (que é tóxico) são permitidos.

Qualidades de fresagem

Em operações de fresagem, o alumínio tem vantagens econômicas importantes sobre materiais de ferro, devido à maior velocidade de corte e um tempo de máquina menor. Uma peça de rolamento fundida em Anticorodal-70 (AlSi7Mg0,3), envelhecida artificialmente, substituiu uma peça fundida de ferro. Ela reduziu o tempo de fresagem em 39% sobre o que era necessário com o ferro. O tempo por peça é de 6,32 minutos para a peça de alumínio e de 16,13 minutos para o fundido de ferro.

Fácil reciclagem

O alumínio pode ser facilmente separado do material retalhado. Com um material retalhado muito misturado, ainda assim é possível preparar ligas para as aplicações menos exigentes em especificações. Além disso, a fusão da sucata de alumínio requer somente 5% da energia necessária para produzir o alumínio primário.

Fonte: Central da Fundição, ABAL - Associação Brasileira do Alumínio.

CONCLUSÃO

De tal forma, podemos concluir que o material alumínio naval possui características relevantes para produção de embarcações de uso policial e/ou militar. Sendo assim, a opção adequada quanto a material deste estudo técnico preliminar.



Documento assinado eletronicamente por **GUTEMBERG DE JESUS RODRIGUES SILVA**, **Agente de Polícia Federal**, em 01/08/2025, às 14:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei4.pf.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0&cv=141316454&crc=FE01DD90.
Código verificador: **141316454** e Código CRC: **FE01DD90**.