

LA CONSTRUCTION EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

Le premier bateau de mer en aluminium, un yacht à moteur de 12m, "le Mignon", aurait été construit en France en 1891. En Angleterre en 1931, un yacht à moteur de 55 pieds le Diana II fut le premier construit avec des alliages modernes à haute résistance.

Ce navire fut utilisé par la Royal Navy pendant la seconde guerre mondiale et était toujours en service dans les années soixante.



Aujourd'hui, ce matériau qui présente de nombreux avantages, est largement utilisé dans le monde entier et notamment aux USA et en Hollande pour la construction de yachts à moteur et à voile de toutes tailles. Pour l'heure, il n'est utilisé que pour les yachts réalisés à l'unité, son grand rival restant le polyester pour la construction en série. L'aluminium ou plus exactement les alliages d'aluminium utilisés dans la construction navale ont des propriétés mécaniques élevées et une bonne résistance à la corrosion. Ils sont disponibles dans une grande gamme d'épaisseurs de tôles et de formes de profilés obtenus par laminage, filage ou tréfilage. Ce matériau qui vient de fêter son centenaire, va certainement connaître encore de nombreux développements dans les années à venir.

Dossier construction...

Les alliages de la construction navale

Les alliages les plus utilisés en construction navale contiennent en plus de l'aluminium, 3 à 4 % de magnésium et d'autres métaux en faible quantité. Leur teneur en cuivre est beaucoup plus faible que celle d'autres alliages aux propriétés mécaniques supérieures mais trop sensible à la corrosion pour être utilisés en milieu marin. Les nuances d'alliage les plus courantes en construction navale appartiennent aux séries 5000 et 6000.

Les propriétés mécaniques des alliages les plus utilisés, 5083, 5086 et 6061, peuvent être augmentées de façon substantielle par des traitements thermiques désignés par des indices tels qu'H111, H32, H341 ou encore T4, T6. Ces références indiquent le degré de dureté et de traitement thermique de l'alliage. Cependant, il est important de savoir que l'élévation en température du métal lors des opérations de soudure, entraîne une réduction de ces propriétés dans la zone traitée. Cette diminution est particulièrement sensible (voir tableau suivant) pour l'alliage 6061 T6 notamment utilisé pour le filage de profilés des mats de voilier.

Nuance	RUPTURE		LIMITÉLASTIQUE	
	Rr	Rrw	LE	LEw
5083 H111	275	268	165	144
5083 H321	300	275	210	165
5083 H341	345	275	269	165
5086 H111	248	262	144	124
5086 H32	275	241	193	131
5086 H34	303	241	234	131
6061 T6	262	165	241	137

Source: Lloyd's Register of Shipping, valeurs en N/mm²

Rr: Résistance à la rupture à l'état brut

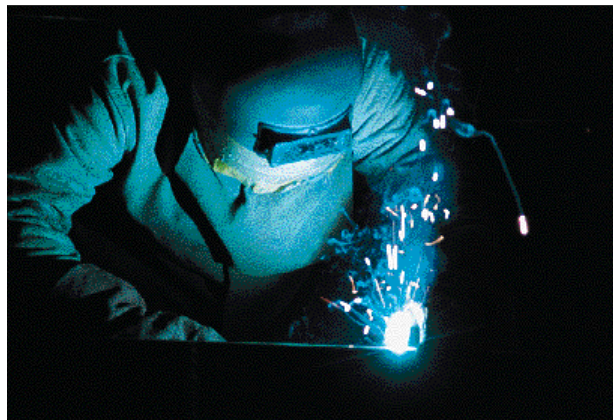
Rrw: Résistance à la rupture après soudage

LE: Limite élastique à l'état brut

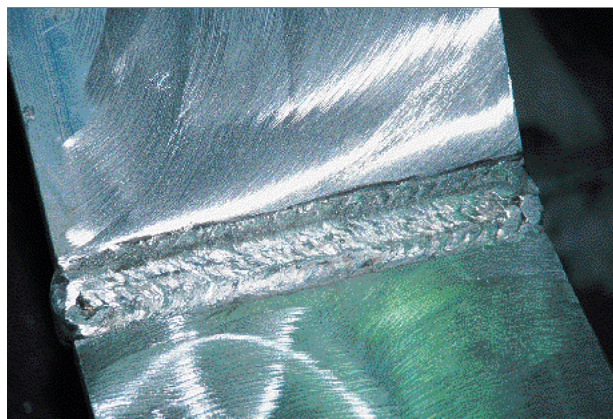
LEw: Limite élastique après soudage

Fabrication et assemblage

Le poids spécifique et les propriétés mécaniques de l'aluminium permettent une fabrication et un formage relativement aisés avec un outillage assez simple. Des sous-ensembles de taille relativement importante peuvent être préfabriqués et manutentionnés sans nécessiter de gros moyens de levage. Plusieurs modules peuvent être ainsi fabriqués parallèlement avant d'être assemblés, réduisant de la sorte sensiblement le total de fabrication pour des unités importantes. Les premiers bateaux en aluminium étaient



La soudure a fait totalement oublier le rivetage.



C'est sur ce type de travail que l'on juge de la qualité.



L'aluminium permet d'alléger les structures.



Grâce à l'utilisation de profilés, le gain de temps au montage est très important.

...l'alliage d'aluminium

construits avec des assemblages rivetés. Le développement des méthodes et des équipements modernes de soudure sous gaz inerte permet maintenant d'assembler par ce procédé, même les tôles de faible épaisseur. La soudure des alliages d'aluminium se fait généralement sous argon afin d'éviter la formation d'alumine qui nuirait à la pénétration du métal d'apport et donc à la qualité de la soudure. Il existe deux techniques de soudure connues sous les noms de T.I.G. et M.I.G. La soudure T.I.G. (Tungsten Inert Gas) est utilisée pour les tôles minces et autres assemblages fins. Le soudeur utilise une baguette de métal d'apport tenue à la main et portée en fusion par l'arc électrique d'une électrode en tungstène. Le soudage M.I.G. (Metal Inert Gas) est le plus utilisé, il est aussi le plus rapide pour le gros œuvre. Le métal est automatiquement déposé en fusion par un pistolet qui diffuse également de l'argon dans la zone soudée.

Les soudeurs doivent être qualifiés et expérimentés afin d'éviter les nombreux défauts parfois constatés (manque de pénétration, manque de fusion, inclusions, porosités, etc.). Les séquences de soudure doivent être définies et respectées afin de limiter les distorsions tant locales que générales. En effet, les contraintes thermiques peuvent provoquer des déformations (torsion ou flexion) de plusieurs centimètres sur la longueur d'une coque.

Les assemblages mécaniques par boulonnage ou rivetage sont également utilisés lors de la construction de yachts en aluminium. Ils doivent respecter les règles de prévention imposées par les phénomènes de corrosion galvanique.

En dehors de toutes considérations esthétiques, l'aluminium pourrait rester non peint. Il est en effet protégé par un film d'alumine qui apparaît dès lors que le métal est mis en contact avec un milieu oxydant (eau, air, etc.).

La demande des armateurs et des constructeurs a permis le développement de systèmes d'enduit et de peinture qui permettent d'obtenir une finition parfaite des structures en alliage d'aluminium. Les systèmes de peinture comportent généralement les phases suivantes :

1. Nettoyage et dégraissage soigneux,
2. Ponçage ou sablage pour élimination de l'alumine,
3. Application d'un primer epoxy anticorrosion,
4. Application et ponçage d'enduit en fonction de l'état de surface,
5. Application de 2 couches de primer epoxy,
6. Application de 2 à 3 couches de laque sur les œuvres mortes,
7. Application de 2 couches d'antifouling sur les œuvres vives.



Dossier construction...

Prévention et protection contre les risques de corrosion

La conception, la construction, la maintenance et donc la durée de vie d'une coque en alliage d'aluminium demandent une bonne compréhension des phénomènes de corrosion par l'architecte, le constructeur et l'utilisateur. Il existe deux principaux types de corrosion : la corrosion galvanique et la corrosion électrolytique.

Corrosion galvanique

Elle est créée par la différence de potentiel entre deux métaux en contact et plongés dans l'eau de mer, et qui forment ainsi une pile électrique. Le métal au potentiel le plus faible (l'anode) se corrode au profit de celui au potentiel le plus élevé (la cathode). Ce phénomène ne peut se déclencher que si les deux métaux sont en contact, le circuit électrique est alors fermé. Le potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence en Argent/Chlorure d'Argent (Ag/AgCl) immergée dans l'eau de mer et reliée à un voltmètre. L'autre borne est connectée à l'élément métallique considéré (vanne, passe coque, chaise d'arbre ou même bordé de coque). Certains experts utilisent ce type de mesures pour rechercher l'origine et identifier des phénomènes de corrosion ou vérifier l'efficacité d'un système de protection cathodique sur un bateau à flot.

Facile à découper et à souder, l'aluminium permet des réparations plus aisées qu'avec le polyester.



Du bateau de pêche au yacht, tout est réalisable.

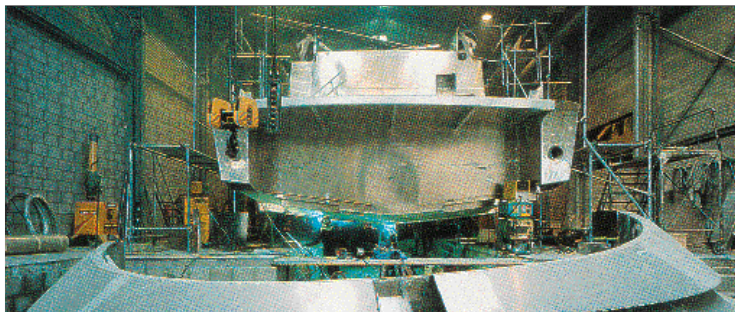
Le tableau suivant indique les potentiels de différents métaux immergés dans l'eau de mer et mesurés par rapport à une électrode de référence (Ag/AgCl).

MÉTAL	POTENTIEL (VOLT)
Graphite	0.27
Titane	0.02
Acier inox 316 (passivé)	-0.03
Monel	-0.06
Acier inox 304 (passif)	-0.06
Argent	-0.10
Nickel	-0.13
Bonze d'aluminium	-0.16
Plomb	-0.20
Bonze cupnickel	-0.25
Laiton	-0.30
Cuier	-0.31
Étain	-0.31
Acier inox 316 (actif)	-0.39
Acier inox 304 (actif)	-0.49
Acier doux	-0.63
Alliage d'aluminium (marine)	-0.75
Zinc	-1.00
Acier galvanisé	-1.10
Magnésium	-1.60

Un métal est efficacement protégé par la protection cathodique lorsque son potentiel mesuré par rapport à l'électrode de référence est inférieur de 0.20 V à 0.25 V par rapport aux valeurs du tableau, soit environ - 1.00 V pour les alliages d'aluminium. Une protection trop forte peut provoquer la formation d'alcali et d'oxygène qui peuvent attaquer les peintures. Il est donc important de respecter ces règles ou de faire appel à un spécialiste pour ces problèmes.

...l'alliage d'aluminium

Par ailleurs, il est fondamental de respecter certaines règles dans le choix et l'assemblage des autres matériaux utilisés à bord afin d'éliminer les risques de corrosion galvanique. Par exemple, les vannes en bronze ou en acier inoxydable et les pompes en acier doivent être soigneusement isolées de la coque ou des éléments de structure en aluminium, par des inserts ou des supports en matériaux isolants. Mieux encore, elles peuvent être remplacées par des matériels équivalents, fabriqués en matériaux synthétiques.

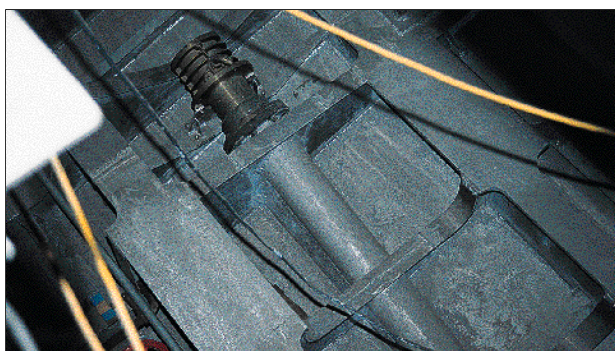


Même sur une coque en acier, l'aluminium est souvent utilisé pour la construction des superstructures.

Protection cathodique

La première forme de protection cathodique est bien connue, elle consiste à installer, à différents endroits de la carène et des appendices, des anodes sacrificielles généralement en zinc (les américains appellent d'ailleurs ces anodes des "zincs"). Ce métal est choisi car il est anodique par rapport à tous les autres métaux utilisés en construction navale, son potentiel électrochimique est de -1.0 V (voir le tableau). Le positionnement et le montage de ces anodes doivent respecter des règles précises afin d'assurer une protection efficace. Ces anodes doivent être vérifiées régulièrement, tant pour leur consommation que pour l'efficacité de leur montage. Le nombre et la masse des anodes doivent être adaptés à la taille de la coque. Une consommation anormalement rapide des anodes indique un problème qui devra être identifié et corrigé dans les meilleurs délais.

L'aluminium permet le travail par tâche.



Une mise à la masse du presse étoupe sera nécessaire pour éviter la corrosion.

Il est également possible d'assurer la protection cathodique d'une structure en alliage d'aluminium à l'aide d'un système dit "par courant imposé". Ce procédé consiste à transformer en cathode la structure même à protéger, par l'émission d'un courant inverse à l'aide d'une anode inerte. Un système de mesure permanent permet de contrôler et de réguler ce courant en fonction de la différence de potentiel mesurée.

La corrosion électrolytique

Sur tous les bateaux, mais encore plus sur ceux construits en aluminium, les "bricolages" électriques peuvent avoir des conséquences dramatiques. Les fuites de courant continu ou alternatif provoquent rapidement des détériorations importantes par corrosion électrolytique. Elle est provoquée par l'apparition d'une différence de potentiel souvent due à une fuite de courant liée à un défaut d'isolation d'un conducteur ou d'un appareil électrique.

C'est pourquoi les installations électriques doivent être réalisées avec le plus grand soin et dans le respect des règles de l'art. Elles doivent notamment comporter des isolations et des protections efficaces. Les câblages doivent être réalisés en bifilaires, les conducteurs doivent être soigneusement fixés dans des goulottes placées en hauteur pour éviter tout contact avec l'eau des fonds. Tous les coupe-circuits, interrupteurs et disjoncteurs doivent être bipolaires, les appareils doivent être isolés et étanches. Les prises de quai doivent être reliées à des transformateurs d'isolement avec mise à la terre.

De nombreux chantiers spécialisés dans la construction en aluminium ont acquis une parfaite maîtrise des méthodes de construction, de finition et de protection contre la corrosion. Ils construisent des unités toujours plus grandes et performantes dans ce matériau qui possède de nombreuses qualités.

Texte : Eric A. Ogden

Photos : Jules Malrieux & D.R.