

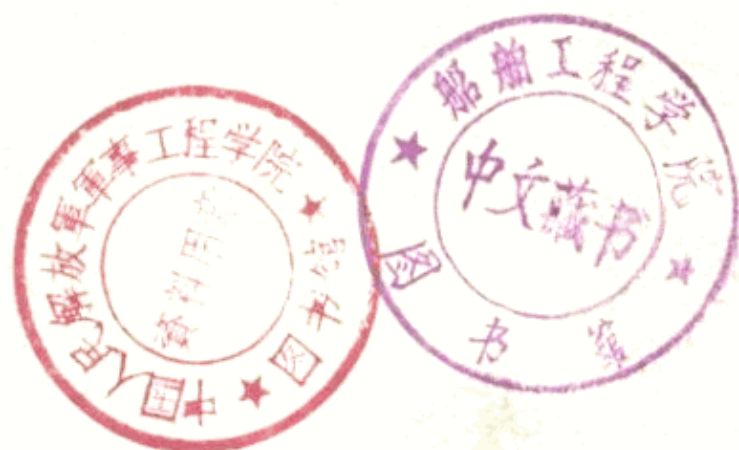
QS-63-903

33799

內部資料
注意保存

鋁 合 金

在造船工业中的应用



第三机械工业部第九总局
技术情报研究所

1963. 3. 25 北京



前言

近几十年来，造船材料发生了很大的变化。尤其是军用舰艇方面，为了提高战斗能力，随着船体钢板强度不断提高，材料的单位强度重量也日益降低。一方面是减轻重量，一方面是提高机械性能，因而世界各国研究出了不少比重小、强度高的造船用的新材料。然而，在工艺方面，高强度合金钢的加工往往是困难很多的，尤其是低磁钢。

最近很多国家在研究试用钛或钛合金做船体材料。

当前，在造船工业中，越来越多地使用铝合金材料。这不仅仅是因为它的比重小，而且它是一种非磁性材料。这方面的成绩是比较显著的。现在，比较小的舰船船体、大型舰船的上层建筑都已采用铝合金建筑，而中型、大型舰船船体采用铝合金的问题，也已经提到日程上来了。世界各国在这方面的科学研究工作也正在大力进行着，而造船工业中采用钢材的范围也逐渐在缩小。

另外，很多小艇已开始使用塑料建造，主要是采用玻璃纤维增强塑料做艇体。这种材料，对舰船制造工业来说是十分重要的，世界各国都在大力进行研究和试验。目前困难的问题是不仅仅要使用它来制造一些舰船的零部件，而且要能用它来建筑上层建筑乃至中小型船体。

最近我们搜集到R.P.哈里逊写的一篇题为“铝合金在造船工业中的应用”论文（摘要）。为了使我国广大造船工业部门及其他有关部门的工程技术人员了解这方面的国外动

志，特全文譯載出來，以資參考。

限于翻譯、技術水平，譯文可能有不妥或錯誤之處，請讀者提出指正、批評。

編 者

1963年3月20日

DV11/10

目 录

前言.....	3
鋁合金在造船工业中的应用.....	3
鋁合金在造船工业中的应用史.....	5
鋁的提炼法.....	9
各种鋁合金.....	12
各种船用鋁合金.....	17
鋁合金的加工.....	19
鋁合金的联接法.....	20
焊接.....	21
熔焊.....	23
气焊.....	23
电阻焊.....	24
金屬极电弧焊.....	24
氬弧焊.....	26
惰性气体保护的金属极电弧焊.....	28
鉚接.....	32
螺栓联接.....	35
胶粘联接.....	36
腐蝕.....	36
鋁合金船舶的设计规范.....	39
甲板艙室.....	41
鈹材.....	43



防撓材与橫梁.....	43
船舶烟囱圍壁.....	45
吊艇杆.....	45
艙口盖.....	45
鋼和鋁合金艙口盖的規範.....	47
救生艇.....	5
船舶舷窗.....	55
結語.....	55
附表:	

图表一: 鍛造鋁合金

图表二: 鍛造鋁合金化学成分一覽

图表三: 鑄造鋁合金

图表四: 鑄造鋁合金化学成分一覽

图表五: 溫度上升, 极限强度下降示意图

目 录

前言	3
鋁合金在造船工业中的应用	3
鋁合金在造船工业中的应用史	5
鋁的提炼法	9
各种鋁合金	12
各种船用鋁合金	17
鋁合金的加工	19
鋁合金的联接法	20
焊接	21
熔焊	23
气焊	23
电阻焊	24
金屬极电弧焊	24
氩弧焊	26
惰性气体保护的金属极电弧焊	28
铆接	32
螺栓联接	35
胶粘联接	36
腐蝕	36
鋁合金船舶的设计规范	39
甲板艙室	41
鈹材	43



防撓材与橫梁.....	43
船舶烟囪圍壁.....	45
吊艇杆.....	45
艙口盖.....	45
鋼和鋁合金艙口盖的規範.....	47
救生艇.....	5
船舶舷窗.....	55
結語.....	55
附表:	

图表一: 鍛造鋁合金

图表二: 鍛造鋁合金化学成分一覽

图表三: 鑄造鋁合金

图表四: 鑄造鋁合金化学成分一覽

图表五: 溫度上升, 极限强度下降示意图

鋁合金在造船工業中的應用

作者：〔英國〕 R. P. 哈里遜

緒 言

長久以來，大家都早已熟知各種形式的鋁製品了。但是，鋁首次從其他金屬中分離出來，且得到廣泛的應用，還不過是近一百年來的事情。從這一百年間的展覽會上，足以看出在普遍採用鋁及其合金方面的進展是很大的。最近二十五年來，它已作為船用材料，在造船工業中被廣泛利用。

1954年以來，許多報導和小冊子一再介紹了採用鋁合金作船用材料的好處。然而，鋁及其合金有一個很大的缺點，即：用它們製成的金屬板及型材，成本昂貴；因此，不解決成本問題，鋁和鋁合金的廣泛應用將會受到限制。鋁還有一些其他的缺點：容易腐蝕、熔點低、膨脹系數高、難以聯接等等。但是，這些缺點對於設計者來說，總要比價格問題容易解決。

人們希望隨著原子動力的日益發展，能夠提供一種廉價的電能，來經濟地煉取鋁合金。這樣，鋁合金就能大量地用來代替一般的常用金屬了。

應該看到，造船界很早就預見到廣泛應用這種金屬的可能性。早在19世紀末葉，就有幾艘幾乎是純鋁質的小艇，在瑞士淡水湖里作過成功的試驗。

为提高铝的强度，造船界采用了一种铜铝合金。关于这种合金的使用情况，1895年的英国造船工程学会会刊上，曾对一艘长18.3米、用含铜量6%的铝合金制成的鱼雷艇作过引人注意的介绍。值得注意的是在这篇论文的讨论部分中，介绍关于小艇的建造方法时，估计会产生腐蚀的麻烦。船级社的主任验船师在讨论时，曾表示他很欣赏新材料的若干优点，但是，他还是坚决主张用钢材作造船材料。

经过这次早期的失败以后，直到本世纪二十年代的最后几年，出现了抗蚀性铝镁合金，才重新激起了人们研究船用铝材的兴趣。大概从1932年起，才广泛地采用轻金属建造救生艇和小型船只。而在本世纪三十年代，这种材料开始用来建造大型船只上的小型甲板舱室。

1930年，一个生产铝的大型公司修建了一个试验性的小艇建造厂，生产了一艘55呎（16.764米）长的汽艇“Diana II”。该艇于1931年建成，它是在船级社入级的第一艘轻金属船只。但在此后，直到1939年的八年期间，尽管用轻金属建造的船只很多，类型也不少〔从小的划艇起，一直到65呎（19.507米）长的巡逻艇〕，然而却均未在船级社入级。

第二次世界大战期间，铝的使用很少发展，或者说根本没有发展。但在战后，由于制铝业的发展，造船工业中铝的使用量也就相当迅速地增加了。质量检验也成为迫切需要解决的问题。英国船级社在与海军部及铝金属开发协会研究后，在1947年提出了试用性的铝合金规范草案；这些规范除了小部分略有更改外，其大部分到现在还是适用的。这说明了当时制订的草案是比较完善的。

1948年，船级社编制了被认可的一批铝合金生产厂的名

册。目前，在欧洲和加拿大已有三十多家这类工厂被列入这个名册中。

在船級社提出材料规范及认可一批生产厂后，由劳氏船級社定級的或由該社監造的小型鋁合金船只的数量大大增加了，这說明船級社的工作是搞得很好的。

在本論文的后部分，将进一步介紹鋁及其合金的使用情况，将簡單叙述甲板艙室、艙口盖、救生艇、舷窗等的联接方法和設計步驟。附录內包括有关各种船用鋁合金的“英国标准”的摘录。

上述某些項目如作为个人論文題目的話，还是值得商榷的。因此，并不准备詳細地談述它們，而只准备就英国国内存在的一般情况，扼要地介紹一下。

鋁合金在造船工业中的应用史

造船界对鋁的潜在力量相当敏感。1891年在瑞士苏黎世已建造过鋁质汽艇。

据說这类小艇后来又建造了几艘，供在瑞士的湖泊上航行。首批具有相当尺寸的鋁制航海艇，是在1895年由 Messrs. Yarrow 公司为法国政府建造的几艘18.3米长的魚雷艇。

在建造这些魚雷艇以前所进行的鋁合金材料的試驗工作情况，以及这些艇本身的某些性能，在1895年的造船工程学会会刊中介绍得很詳細。但这一資料却没有提及采用含銅6%的鋁合金所产生的腐蝕現象，这使早期的工作遭到了損失。

当时虽然建造了很多小艇，但却始終无法解决腐蝕問題，

也无法找到一种具有較高强度的第二种适于船用的鋁合金。这也許是其后許多年間避免应用鋁的主要原因。

二十世紀二十年代后期，出現了一种抗蝕的鋁鎂合金，才敢于設想“Diana II”号艇的建造。“Diana II”号艇是一艘双螺旋桨汽油机动力的游艇，尺度为 $16.75 \times 3.66 \times 1.74$ 米。該艇1931年8月在騷塞姆頓建成，并在船級社入級。該艇使用鋁合金的部件有：船体外板、肋骨、上层建筑、燃油箱、水箱及其它各种舾装件。构架联結全部采用冷鋸接。在航行过程中，人們对它是否能經受得起考驗曾表示怀疑，但結果却証明相当良好。經過24年左右時間的使用后，于1955年6月在倫敦鋁金屬展覽会展出了这艘艇，而它的情况还是相当良好的。

鋁鎂合金小艇盛行时期，另一些較成功的小艇有巡邏艇“Interceptor”号，該艇长19.8米，航速为18节，是1934年替加拿大皇家騎警建造的；另一艘是1940年建造的，长30米以上的瑞典“Edi”号汽艇，其航速为28节。

此外还必须提一下“Gulvain”号和“Four Freedoms”号两艘游艇。前者在1949年建成并入級，以多次航行的業績建立了它的声誉。后者是很聞名的，因为它在最后一次Spithead檢閱时，与鋼制拖网漁船相撞后，仍保持了良好的水密性。

所有上述这些船只的联接，都采用鋸接法。直至1959年才出現了一艘全部用焊接法建成的鋁合金游艇。該艇名为“Morag Mhor”，长22米，是一艘按照船級社的規範建成的双螺旋桨机帆船。各种船舶杂志曾經对“Morag Mhor”号大談特談，因此本文不拟在这里再描述它的建造情况了。

这里应该指出的一点是该艇主要结构，是用自调电弧的焊接工艺来联接的。

大约在1934年，建造了一艘轻金属救生艇。经过许多次试航，证明是成功的。毫无疑问，这就导致了大批轻金属救生艇的生产与使用。据最近的消息，自上次大战结束到现在，建成了约3,500艘这样的小艇。

铝材质轻这一优点，对于驳船很重要，特别是对于吃水受到限制的浅水河中的驳船。在热带河流中，木质船会受到海蛆（Marine borer）的严重蛀蚀，钢质船会产生严重腐蚀现象，因此镁合金的抗蚀性能，就非常引人注意。此外，作为驳船来说，总要考虑和其它船碰撞的问题，这样，这种弹性模数低的材料就格外引人注意了。

用铝建造小型船只，仅仅是造船工业中应用铝的开始。1938年，一艘丹麦船上用轻金属建造了一间小型甲板舱室，这可能是铝合金用于这类结构的开端。次年，一艘载重9000吨的挪威船“Fernplant”号上的甲板舱室也曾用轻金属制造。在这只挪威船上，据估计，用14吨的轻合金材料共代替了40吨的钢材。二次世界大战结束后，用来建造商船上层建筑的轻金属数量不断增长，并且达到了新的阶段，即某些大型客船的多层舱室也都用铝合金来建造。如“Antilles”、“Bluenose”、“Cristoforo Colombo”、“Flandre”、“Santa Maria”、“Vera Cruz”和“United States”等船只。

上述最后一艘船，以其铝合金的使用数量来说，是非常突出的。虽然有关该船的资料有限，但据透露，约2,000吨左右的轻合金的使用情况如下：183米长的上层建筑用量为1,000吨；救生艇、烟囱和桅杆用量为400吨；内部隔壁和

家俱的用量为 600 吨。构件的联接全部采用铆接，铆钉用量约为 1,200,000 个。

“United States”号由于采用铝合金，排水量减少了 15~20%，但上层建筑材料的成本却高于用钢材建造时的成本。然而由于排水量的减少，该船的总造价却较全部用钢材建成的为低。应当指出，在“United States”号上，轻合金上层建筑内有承受主强度的钢质构架。

挪威客船“Bergensfjord”号所以著名，不仅是因为上层建筑部分大量采用了铝合金，更是由于它几乎全部以焊接取代了其他的联接方法。

在谈到这些建有大型轻合金甲板舱室的船只时，也不应忽视许多甲板舱室较小的船只。在这些船上，铝合金绝大部分被用在罗经室的周围，其主要原因，与其说是为了减轻船舶的上部重量，倒不如说是为了利用它的低磁性能。

在拖网渔船和捕鲸船一类的小船上，以及船舶上部需要增添附加结构的时候，都可利用铝材。有一艘鲸鱼加工船，经过数年工作之后，最近按装了供一架直升飞机使用的轻金属起飞甲板和飞机库。

在 1954 年建成的载重 12,825 吨的加拿大船“Sunrip”号上，使用铝合金制成的部件是很多的，计有：船艏部与船艉部的焊接舱室、烟囱、舱口活动梁和盖板、救生艇、吊艇杆、通风筒、舷窗框架、扶梯、船蓬架、机舱室地板、格子板和管系等。管系包括通风管、传声管、舱底水及压载水系统；机舱室内部的管系还是需要用普通材料来制造。

“Sunrip”号的建成，证明了多方面采用铝合金来建造船只是完全可能的。作为已定级的船舶，在定期检查的时候，

合金本身及其防腐方法等弊病，也都是能够檢驗出来的。

在建造該船时，人們特別注意各种艙口梁和艙口盖，因为鋁制品較之于同样的木材和鋼材制品要輕巧得多。有一、二艘船，装了鋁合金艙口盖，通过实际使用，証明了这些艙口盖是良好的。

鋁合金还用来建造拖网漁船的魚艙（这样，魚在接触到金屬时不会变坏）、雷达平台、吊貨杆和舷門，由此而得到的重量減輕是很可观的。鋁合金也用来制造加热盘管。以前用鉄制造的加热盘管，腐蝕很严重。

鋁合金用于民船的情况已經談得很多，現在談談用于軍艦的情况。1922年华盛頓海軍条例对新造战艦的排水量作了限制后，輕金屬立刻就被采用来制造舾装件了。1925年左右，驅逐艦“伏兵”号的桥楼結構采用了硬鋁合金。由于这是一种含銅合金，所以結果产生了腐蝕。

在各种軍用小艇上，在某些近代艦船的上层建筑部分，在某些扫雷艇和巡邏艇的混合結構●的构架部分、以及潜水艇上的流綫型上层建筑部分，都采用了具有抗蝕性能的鋁鎂合金作材料，其应用情况都很良好。

海軍单位最近試造了一艘全焊、全鋁高速巡邏艇，无疑地，这种艇的使用經驗会令人感到兴趣。

鋁的提炼法

从鉄矾土內提炼鋁，有两种截然不同的方法；这两种方

● 混合結構是指艇体用两种以上不同材料制成的船体結構，用得較为普遍的有鉄构架木壳混合結構和鋁构架木壳混合結構，这里系指鋁构架木壳混合結構。——編者

法已各有 60 年历史了，变化极少。

第一个方法是将鉄矾土轉化成矾土（氧化铝），此法是由貝約（Bayer）发明的。它的过程如下：首先将压碎的鉄矾土和碳酸鈉混合在一起，然后将混合物置于蒸气包围的密闭容器〔通常称为“蒸桶（Kiers）”的容器〕内，在压力下加热。这样，氢氧化鋁分解，形成鋁酸鈉，而其他一些渣滓則留于悬胶液内。通过过滤和沉淀，渣滓就結成了“紅色块状物”。这时，杂质就可以完全除去。

将滤出液用抽水机抽进沉淀箱内，在那里結晶成純粹的晶粒状氢氧化鋁，不断搅动溶液，使已分解的氢氧化鋁沉淀下来。当 $3/4$ 氢氧化物沉淀了的时候，其化学反应逐漸緩慢，最后就完全停頓。沉淀箱内的溶液进行过滤后，能收集到优质氢氧化鋁晶粒。而稀薄了的溶液在蒸发箱内濃縮后，又能重复使用。

晶粒需进行洗滌，以除去殘留的碳酸鈉。然后，为了将氢氧化物轉化为氧化物，在一个大型轉炉内将晶粒加热到 $1100^{\circ} \sim 1500^{\circ}\text{C}$ ，以蒸气形式除去其中的結晶水份，从而得到非常純粹的白色氧化铝晶体状粉末。最后一道手續俗称“煨燒”。采取貝約的方法，据估計氧化铝的純度可达 99.5%。生产一吨氧化铝大概需要两吨鉄矾土和 76 公斤碳酸鈉。

第二种将氧化铝分化成为鋁及氧化物的方法是由霍耳（Hall）和赫罗尔特（Hérault）发明的。值得注意的回忆是，在 1955 年 3 月的金屬协会杂志上刊登了这样的文章，談到最近 60 年来为改进操作方法以进行大量生产所作的各种努力，文章的結尾指出，从經濟角度来看，霍耳—赫罗尔特和貝約法是最好的，其他方法都不能与之相比。

在大多数的工厂内，霍耳—赫罗尔特法是在許多不相連的还原槽或熔炉内进行的。还原槽或熔炉由許多鋼质容器組成，鋼质容器内面衬有适当的絕热体和能形成这些电解槽内阴极（或負极）的适当量的碳精。在战末时期，这种鋼质容器的平均尺寸为 $4.57 \times 2.44 \times 0.915$ 米；而周圍碳质内衬的厚度則約为 305 毫米。操作时，先在还原槽内放滿含 5 % 氧化铝的冰晶石溶液以及其他一些能降低熔点的物质。阳极由在还原槽上方挂在汇流条（busbar）上的消耗性碳精棒組成。低压高安培数的直流电由接近表面的阳极通过电解质流至还原槽的碳质内衬。不断輸入强电流，使熔炉的溫度保持在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 左右，并将溶液中的氧化铝分解成熔化鋁和氧气。較冰晶石溶液密度大的鋁沉到了还原槽的底部，从这里鋁可被吸出或开槽引出。与此同时，氧气升到了溶液的表面，与阳极碳精棒結合在一起，变成一氧化碳气体而逸出。若干一氧化碳在电解溶液表面时即燃燒成二氧化碳，最后，这两种气体就一起逸出而混入空气中。

在这过程中，冰晶石的变化不大。因此，要使熔炼过程持續进行，只需加入同熔化金屬量相当的氧化铝就行了。

那些由碳精、焦油和瀝青制成的并为增加强度和耐久性而經過烘烤的阳极电棒，必須按規定的時間常常調換。碳质内衬的使用年限較长，一般在三年左右。

因为氧化铝的含氧量約为 50 %，所以生产一吨鋁就需要二吨氧化铝。在这一还原过程中，大約要消耗掉 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ 吨的阳极碳精棒。

从还原炉内所提取到的鋁，經過再熔化，除去杂质后鑄成錠块。

假使对鋁的純度要求相当高的話，可以将已获得的鋁再进行一次电解提炼。

在造船工业中，很少以純鋁作材料，通常总是加入一些必要的其他金屬，使其成为鋁合金。鎂可以以其原有的金屬形式直接加入，但錳与銅等金屬在加入以前，則必須先制成为中間体的“凝固物”。

鋁的高昂价格与这种合金生产时用剩的廢弃材料的龐大数量有密切关系。因为可以从廢弃材料中取得各种合金，必須有相应的方法将一个厂內生产的一切材料加以鉴别，这样廢弃材料就容易得到还原和重复使用。

船級社認可鋁合金工厂时，和認可鋼鐵厂一样，考虑的問題基本上是相同的，其次是对各种材料建立了檢驗工作，以便始終保証鋁合金的质量。

各种鋁合金

由于鋁有可能获得較大的比强度[●]，人們进行了持續不断的研究来改进它的結構性质和它的鑄造特性。达到这目的的方法大家都已知道，即将鋁与其他各种金屬混合，以求得性质的改进。現在将目前与鋁构成合金的若干主要元素的作用概述如下。

銅——能导致合金对热处理敏感，使在常溫和高溫时都具有高强度性能。但是会降低合金的抗蝕能力，尤其是內晶界的腐蝕。

鎂——能提高合金在海洋环境中的抗蝕性能和增加合金

● 比强度是指强度与重量之比。——編者