

# 船舶用铝合金材料

## (船用铝合金介绍系列文章之二)

王 珏

(东北轻合金加工厂中心试验室 黑龙江省哈尔滨市 150060)

**摘要:**本文介绍了船用铝合金的种类、特性、状态、用途实例和产品种类。船用铝合金主要分为船体用铝合金和舾装用铝合金,船体用铝合金主要为 Al-Mg 系合金和部分 Al-Mg-Si 系合金,舾装用铝合金为工业纯铝、Al-Mn 系合金、Al-Mg-Si 系合金和 AC 系铸造铝合金,而 Al-Zn-Mg 系合金也可能在造船中得到发展。

**关键词:**船舶 铝合金 种类 状态 产品类型

### 前 言

铝合金材料从 1891 年在船舶上应用以来,经过近百年的研究和发展,在船舶上的应用越来越广泛,并成为造船工业很有发展前途的材料。

最早应用于船舶上的铝合金为 Ni 的 Al-Cu 系合金,继而采用的是 Al-Cu-Mg 系合金,但这些合金主要的缺点是抗腐蚀性能差,因而也限制了在造船中的应用。

19 世纪 30 年代,开始采用 6061-T6 铝合金,并用铆接方法构造船体。40 年代,开发出了可焊、耐蚀的 Al-Mg 系合金,50 年代开始采用 TIG 焊技术,这一时期铝合金在造船上的应用进展很快。60 年代,美国海军先后开发出属于 Al-Mg 系合金的 5086-H32 和 5456-H321 合金板材、5086-H111 和 5456-H111 合金挤压型材,由于采用了 H116 和 H117 调质状态,消除了沿晶沉淀网膜,解决了它们的剥落腐蚀和晶间腐蚀问题,这是 60 年代来船用铝合金的开发取得的重大进步<sup>[1,2]</sup>。随后,由于需要屈服强度更高的材料,于是在造船中又广泛应用了耐海水腐蚀性能良好的 Al-Mg-Si 系合金,在较长的一段时间内,船体用铝合金主要要 Al-Mg 系合金和 Al-Mg-Si 系合金中选择。而原苏联则较多

地选择 Al-Cu-Mg 系合金用于造船,作为快艇壳体材料。近年来对中强可焊的 Al-Zn-Mg 系合金的研究日益增多,并取得一些进展,有可能在未来的造船中得到应用和发展<sup>[3]</sup>。

70 ~ 80 年代以后,船舶结构的合理化和轻量化越来越被重视,大型船舶的上层结构和舾装件开始大量使用铝合金。为此,这一时期开发出许多上层结构和舾装用铝合金,其中包括特种规格的挤压型材、大型宽幅挤压壁板和铸件等。

本文着重介绍船用铝合金的种类、特性、状态和产品种类,关于船用铝合金材料的各种性能将在后续文章中介绍。

### 1 船用铝合金的种类、特性和用途实例

船舶用铝合金按用途可分为船体结构用铝合金、舾装用铝合金和焊接填充用铝合金,其 JIS 标准规定的化学成分如表 1 所示<sup>[1]</sup>。表 2 所示为船体和舾装用铝合金的特性,表 3 为其在船舶上的作用实例<sup>[4]</sup>。

目前,在船壳体结构上用的铝合金主要是 5083、5086 和 5456 这三种合金,它们的机械性能、耐腐蚀性和焊接性能都很好。挪威船协规

定使用 5454 合金,其板材的抗拉强度与 5086 合金的相同。而美国则主要采用 5456 合金,但最近在高速艇上使用 5086-0 合金板材和 5086-H111 合金挤压型材[3]。

Al-Mg-Si 系合金由于在海水中会发生晶间腐蚀,所以主要用于船舶的上部结构。日本

就在船舶的上部结构中使用 6N01-T5 合金。而美国考虑到 6061-T6 合金在战前和战后应用的实际情况,在船壳体结构上使用其大型薄壁挤

压型材,目的是使船体轻量化,但这尚待在实践中检验<sup>[1,3]</sup>。

表 1 JIS 标准规定的船用铝合金化学成分<sup>[3]</sup>

类别	合金	化学成分(余量为 Al,wt%)							
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
船体用	5051	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.10	2.2 ~ 2.8	0.15 ~ 0.25	≤ 0.10	—
	5083	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	0.40 ~ 1.0	4.0 ~ 4.9	0.05 ~ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.15
	5086	≤ 0.40	≤ 0.50	≤ 0.10	0.20 ~ 0.7	3.5 ~ 4.5	0.05 ~ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.15
	5454 <sup>(1)</sup>	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50 ~ 1.0	2.4 ~ 3.0	0.05 ~ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.20
	5456 <sup>(1)</sup>	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50 ~ 1.0	4.7 ~ 5.5	0.05 ~ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.20
	6061	0.40 ~ 0.8	≤ 0.70	0.15 ~ 0.40	≤ 0.15	0.8 ~ 1.2	0.04 ~ 0.35	≤ 0.25	≤ 0.15
	6N01	0.40 ~ 0.9	0.35	≤ 0.35	≤ 0.25	0.4 ~ 0.8	≤ 0.30	≤ 0.25	≤ 0.10
	6082 <sup>(2)</sup>	0.7 ~ 1.3	0.50	≤ 0.10	0.40 ~ 1.0	0.6 ~ 1.2	≤ 0.25	≤ 0.20	≤ 0.10
	舾装用	1050	≤ 0.25	0.40	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	—	≤ 0.05
1200 <sup>(2)</sup>		Si+Fe ≤ 1.0		≤ 0.05	≤ 0.05	—	—	≤ 0.10	≤ 0.05
3203 <sup>(2)</sup>		≤ 0.6	≤ 0.70	≤ 0.05	1.0 ~ 1.5	—	—	≤ 0.10	—
6063		0.20 ~ 0.6	≤ 0.35	≤ 0.10	≤ 0.10	0.45 ~ 0.9	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10
AC4A <sup>(3)</sup>		8.0 ~ 10.0	≤ 0.55	≤ 0.25	0.30 ~ 0.6	0.30 ~ 0.6	≤ 0.15	≤ 0.25	≤ 0.20
AC4C <sup>(3)</sup>		6.5 ~ 7.5	≤ 0.55	≤ 0.25	≤ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤ 0.10	≤ 0.35	≤ 0.20
AC4CH <sup>(3)</sup>		6.5 ~ 7.5	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.10	0.20 ~ 0.40	≤ 0.05	≤ 0.10	≤ 0.20
AC7A <sup>(3)</sup>		≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.10	≤ 0.6	3.5 ~ 5.5	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.20
焊接添加用	4043	4.5 ~ 6.0	≤ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.05	≤ 0.05	—	≤ 0.10	≤ 0.20
	5356	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.05 ~ 0.20	4.5 ~ 5.5	0.05 ~ 0.20	≤ 0.10	0.05 ~ 0.20
	5183	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50 ~ 1.0	4.3 ~ 5.2	0.05 ~ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.15

注: (1) 5454、5456 和 6082 合金的化学成分为国际标准规定的。

(2) 1200 和 3203 合金中 Cu 含量变为 0.05 ~ 0.20% 时,即为 1100 和 3003 合金。

(3) AC4A 和 AC4C 合金中, Ni 和 Pb 在 0.10% 以下, Sn 在 0.05% 以下; AC4CH 和 AC7A 合金中, Ni、Pb 和 Sn 都在 0.05% 以下。

(4) 舾装用铝合金还包括 5052 合金。

在舾装铝合金中,经阳极氧化处理的 6063-T5 合金挤压型材主要用于框架结构, H14、H24 状态的工业纯铝和 3203 合金等的板材主要用于舱室内壁等内装结构,铸造性能优良的 AC4A 和 AC4C 合金铸件主要用于舾装件。AC7A 合金具有很强的抗腐蚀性能,可望在船舶中应用,但它的铸造性能较差。至于锻件,一般来说成本很高,在船舶上的使用例子

较少<sup>[3]</sup>。

中强 Al-Zn-Mg 系合金热处理后的强度和工艺性能比 Al-Mg 系合金还优越,并且可焊和有一定的抗蚀性,对造船业有很大的吸引力<sup>[2]</sup>。例如舰艇的上层结构可以用 7004 合金,压挤结构可以用 7004 和 7005 合金,装甲板可以用 7039 合金,此外该系合金还可以被用来制做涡轮、引导装置、容器的顶板和侧板

表 2 船用铝合金的特性和用途<sup>(1)</sup>

类别	合金	品种和状态			特 性	用 途
		板材	型材	铸件		
船 体 用	5052	0 H14 H34	H112 0		中等强度,耐腐蚀性和成形性好,有较高的疲劳强度。	上部结构,辅助构件,小船船体。
	5083	0 H32	H112 0		典型的焊接用合金,在非热处理型合金中,强度最高,焊接性、耐腐蚀性和低温性能好。	船体主要结构。
	5086	H32 H34	H112		焊接性和耐腐蚀性与 5083 相同,强度稍低,挤出性有所改善。	船体主要结构(薄壁宽幅挤压型材)。
	5454	H32 H34	H112		强度比 5052 高 22%,抗腐蚀性和焊接性好,成形性一般。	船体结构,压力容器,管道等。
	5456	0 H321	H116		类似 5083,但强度稍高,有应力腐蚀敏感性。	船底和甲板。
	6061	T4 T6	T6		热处理可强化的耐蚀合金,强度高,但焊接缝强度低,主要用于不与海水接触的螺接、铆接结构。	上部结构,隔板结构,框架等。
				T5	中强挤压合金,强度比 6061 合金低,但耐腐蚀性和焊接性好。	上部结构(薄壁宽幅挤压型材)。
船 装 用	1050 1200	H112 0 H12 H24	H112		强度低,加工性、焊接性和耐腐蚀性好,表面处理性高。	内装。
	3003 3203	H112 0 H12	H112		强度比 1100 高 10%,成形性、焊接性和耐腐蚀性好。	内装,液化石油气罐的顶板和侧板。
	6063		T1 T5 T6		典型的挤压合金,强度低于 6061 合金,但挤压性能优良,可挤出截面形状复杂的薄壁型材,耐腐蚀性和表面处理性能好。	容器结构,框架,桅杆等。
	AC4A			F T6	Al-Si-Mg 系热处理可强化铸造合金,具有高强度和高韧性,铸造性、耐腐蚀性和焊接性好。	箱类和发动机部件。
	AC4C AC4CH			F T5 T6 T61	Al-Si-Mg 系热处理可强化铸造合金,具有良好的强度、韧性、耐腐蚀性和可焊性。	油压部件,箱类、发动机和电器部件。
	AC7A			F	Al-Mg 系铸造合金,有良好的耐腐蚀性和阳极氧化性能,有较高的强度和韧性,铸造性较差。	舷窗,把手及其它船用部件。
	AC8A			F T5 T6	Al-Si-Cu-Ni-Mg 系铸造合金,具有良好的强度、耐热性、耐磨性和铸造性,热膨胀系数小。	船用堵塞。

等。但无铜 Al-Zn-Mg 系合金的缺点是对 SCC 较为敏感,而且焊接接缝对 SCC、剥落腐蚀和存放裂纹也较为敏感,这是该系合金在海船应用方面必须优先解决的问题。

## 2 船用铝合金的状态

铝合金的状态标志着材料的加工方法、内部组织和机械性能等,一般工程上根据用途不同而采用不同状态的材料。下面着重介绍船用铝合金的状态代号表示的含义。

表 4 所示为铝合金的基本状态,船体结构用的 5000 系合金采用 O 和 H 状态,6000 系合金采用 T 状态,AC 系铸造合金采用 F 和 T 状

态<sup>[3]</sup>。表3 铝合金在船舶上的用途实例<sup>(4)</sup>

用途	合金	产品类型
船侧、船底外板 <sup>(1)</sup>	5083, 5086, 5456, 5052	板、型材 <sup>(3)</sup>
龙骨	5083	板
肋板、隔壁	5083, 6061	板
肋骨	5083	型材、板
发动机台座	5083	板
甲板 <sup>(1)</sup>	5052 <sup>(2)</sup> , 5083, 5086, 5456, 5454, 7039	板、型材 <sup>(3)</sup>
操纵室	5083, 6N01, 5052	板、型材 <sup>(3)</sup>
舷墙	5083	板、型材
烟筒	5083, 5052	板
舷窗	5052, 5083, 6063, AC7A	型材、铸件
舷梯	5052, 5083, 6063, 6061	型材
桅杆	5052, 5083, 6063, 6061	管、棒、型材
海上容器的 结构材料	6063, 6061, 7003	型材
海上容器的 顶板和侧板	3003, 3004, 5052	板
发动机及其 它船舶部件	AC4A, AC4C, AC4CH, AC8A	铸件

注：(1)日本渔船协会规定，船长大于12m的船外板和露天甲板只限使用5000系合金。

(2)渔船所使用的A5052P-H112合金花纹板。

(3)大型宽幅挤压型材。

表4 铝合金的基本状态代号和定义

代号	定义与内容
F	原加工状态。如热轧状态、热挤压状态，以及铸造状态等。适用于不控制热状态或加工硬化的成形加工产品，对其机械性能不加以限制。
O	退火状态。适用于退火得到最低强度的变形产品和用退火改善塑性和尺寸稳定性的铸件。
H'	加工硬化状态。适用于用加工硬化来提高强度，随后进行或不进行会降低部分强度的辅助热处理的产品。
T	通过固溶处理与时效处理的稳定状态。适用于通过固溶热处理，随后进行或不进行辅助加工硬化都能达到稳定状态的产品。

\*:(1)H1n—只冷作硬化状态；H2n—冷作硬化加

部分退火；H3n—冷作硬化加稳定化处理。

(2)n=2为1/4硬状态，n=4为1/2硬状态，n=6为3/4硬状态，n=8为全硬状态，n=9为超硬状态。

船体结构用5000系合金采用H状态的细目如表5所示，这是按日本JIS标准规定列出的。在日本，渔船一般使用A5083P-O和A5083S-H112合金，高速艇等使用A5083P-H32合金<sup>[3]</sup>。

表5 船体结构用5000系合金H状态代号的细目<sup>(3)</sup>

代号	内容
H111 <sup>(1)</sup>	退火后，进行冷加工（轧制或矫直）。
H112	挤压状态或热轧后的原始状态。但对材料的力学性能有要求，需做力学性能实验。
H116 <sup>(2)(3)</sup>	冷加工低温退火，以改善材料的抗剥落腐蚀性能。
H14	抗拉强度介于O状态和H18状态之间（1/2硬状态）。
H311	H31加小的冷加工状态。
H32	抗拉强度介于O状态和H34状态之间（冷加工后，进行稳定化处理。1/4硬状态）。
H321 <sup>(1)</sup>	H32加小的冷加工状态。
H323 <sup>(3)</sup>	特殊的加工状态，改善了H32的抗应力腐蚀开裂能力（1/4硬状态）。
H34	抗拉强度介于O状态和H38状态之间（冷加工后，进行稳定化处理。1/2硬状态）。
H343 <sup>(3)</sup>	特殊的加工状态，改善了H34的抗应力腐蚀开裂能力（1/2硬状态）。

注：(1)ASTM B 221M-89规定的5083、5086和5456合金的挤压型材、管、棒和线。

(2)ASTM B 209M-89a规定的5083、5086和5456合金板材；美国暂定联邦标准QQ-A-00250/19 (Nany-ships)规定的5086合金板材。

(3)同上(5083,5456合金)以及JIS H4000规定的5083合金板材。

(4)美国暂定联邦标准QQ-A-00250/20 (Navy-ships)规定的5456合金板材。

美国采用“形变退火法”生产5083和5456合金，即将热轧和退火的合金在某一温度下进行冷变形和低温退火，以保证β相的均匀分解。利用这种工艺可分别生产出H321、H323、H343、H116和H117调质状态的Al-Mg4

~ 8%) 合金, 其生产方案为<sup>[2]</sup>:

- (1) 在 425 ~ 565 °C 间均匀化退火;
- (2) 在 315 ~ 425 °C 间热轧和退火;
- (3) 冷却后在 260 °C 以下冷变形 ( $\epsilon > 20\%$ );
- (4) 冷作后在 205 ~ 275 °C 间退火 2 ~ 24h, 使  $\beta$  相均匀沉淀;
- (5) 为了提高强度还可以进行 10 ~ 80% 冷变形。

船舶上部结构和隔壁结构用的 6000 系合金以及舾装用的铸造合金所用的状态代号如表 6 所示<sup>[3]</sup>。

表 7 所示为各国船体结构用铝合金的状态比较, 其中包括日本渔船协会正在申请中的铝合金结构基准、挪威船协标准(NV)、美国海

表 6 船用6000系合金和 AC 系铸造合金的状态代号<sup>(3)</sup>

状态代号	定义 和 内容
T1	高温热加工冷却后, 自然时效状态。适用于热挤压的不进行冷加工的材料, 或矫直等冷加工对其标定力学性能影响很小的产品。
T4	固溶处理后, 自然时效状态。适用于固溶处理后不进行冷加工产品, 或冷矫直加工对其标定力学性能影响很小的产品。
T5	高温热加工后, 人工时效状态。适用于高温成形后不进行冷加工的产品, 或矫直冷加工对其标定力学性能影响很小的产品。
T6	固溶处理后, 人工时效状态。适用于固溶处理后不进行冷加工, 或矫直等作业对其标定力学性能影响很小的产品。
T61	在热水中进行 T6 处理, 适用于铸件。

军舰艇用的暂定联邦标准和美国小型船舶使用的状态<sup>[1]</sup>。

表 7 各国船舶用铝合金的状态比较<sup>(1)</sup>

合 金	日本渔船协会		挪威船协		美国联邦暂定标准 QQ-A-00250/19,20	美国小型船舶	
	板材	型材	板材	型材	板 材	板材	型材
5052	0 H14 H34	H112 0	—	—	—	H34	—
5083 (AlMg4.5Mn)	0 H32	H112 0	A <sup>(1)</sup> B <sup>(1)</sup>	H 112	—	H116, H321	—
5086 (AlMg4)	—	H112	A <sup>(1)</sup> B <sup>(1)</sup>	H112	0, H112, H116, H34, H36, H38	H112, H116, H112 H32, H34	—
5454 (AlMg3Mn)	—	—	A <sup>(1)</sup> B <sup>(1)</sup>	H112	—	—	—
5456	—	—	—	—	0, H112, H116, H323 <sup>(2)</sup> , H343 <sup>(2)</sup>	—	—
6061	—	T6	—	—	—	T4, T6	T6
6N61	—	T5	—	—	—	—	—
6082 (AlMgSi1)	—	—	T4 T6	T4 T6	—	—	—

注: (1) A 为 1/2 硬状态, B 为 1/4 硬状态。

(2) ASTM B 209-89 没有规定。同标准规定 5456 合金的状态有 O, H321, H112, H116 和 F5 种。

### 3 船舶结构用铝材的主要品种

#### 3.1 船用铝合金的产品种类

船用铝合金产品按板、型材、管、棒、锻件和铸件的分类如表 8 所示。

表8 船用铝合金的产品种类<sup>(3)</sup>

类别	合金	产品种类					
		板材	型材	管材	棒材	锻件	铸件
船体用	5052	✓	✓	✓	✓	✓	—
	5083	✓	✓	✓	✓	✓	—
	5086	✓	✓	—	—	—	—
	6061	✓	✓	✓	✓	✓	—
	6N01	—	—	—	—	—	—
舾装用	1050	✓	—	✓	✓	—	—
	1200	✓	✓	✓	✓	✓	—
	3203	✓	✓	✓	(3003)	—	—
	6063	—	✓	✓	✓	—	—
	AC4A	—	—	—	—	—	✓
	AC4C	—	—	—	—	—	✓
	AC4CH	—	—	—	—	—	✓
	AC7A	—	—	—	—	—	✓

注: (1) 舾装也使用 5052 合金, 品种有板、管和棒。

(2) 5083、5086 和 6N01 合金可生产出宽幅薄壁挤压型材。

### 3.2 板材

板材的使用厚度是由船体结构、船舶规格和使用部位等所决定, 从船体轻量化角度考虑, 一船尽量采用薄板, 但还应考虑在使用时间内板材腐蚀的深度。通常使用的板材有 1.6mm 以上的薄板和 30mm 以上的厚板。为减少焊缝, 常使用 2.0m 宽的铝板, 大型船则使用 2.5m 宽的铝板, 长度一般是 6m, 也有按造船厂合同使用一些特殊规格的板材。为防滑, 甲板采用花纹板。

### 3.3 型材

船舶上用的型材有以下几种[5,6]:

- (1) 高 40 ~ 300mm 的对称圆头扁铝;
- (2) 高 40 ~ 200mm 的非对称圆头扁铝;
- (3) 厚 3 ~ 80mm, 宽 7.5 ~ 250mm 的扁铝;
- (4) 高 70 ~ 400mm 的同向圆头角铝;
- (5) 高 35 ~ 120mm 的反向圆头角铝;
- (6) 15mm × 15mm ~ 200mm × 200mm 的等边角铝;
- (7) 20mm × 15mm ~ 200mm × 120mm

的非等边角铝;

(8) 凸缘 25mm × 45mm, 腹板 40mm × 250mm 的槽铝;

(9) 60 × 200 × 8/5, 60 × 150 × 5/4 左右的 T 型铝。

除上述的一些常规型材外, 船舶上也使用一些特殊型材。船舶上还使用把加强筋与板材轧制(或挤压)成一个整体壁板, 它可以轧成平面形状或挤压成管状, 管状可沿母线切开, 然后拉成平面状。船舶上使用的整体挤压壁板同飞机上用的相比, 筋高筋间距大, 宽度 1 ~ 2m, 长 4 ~ 6m, 最长可达 15m。采用整体壁板, 可以调整外板和纵梁上的厚度, 使应力分布最合理, 从而得到合理的结构, 减轻重量, 减少焊接缝数量和减小焊接后翘曲程度<sup>[7]</sup>。

### 4.4 管、棒及其他

在船舶上, 通常用小直径铝合金管材做管道, 而大直径管材则用做船体、上层结构、桅杆上的各种构件、梁柱(中空圆筒柱、中空角形柱)等<sup>[6]</sup>。常用的管材外径 16 ~ 150mm, 管壁厚 3 ~ 8mm。在对管路用管进行厚度选择时, 既要考虑强度, 又要注意腐蚀介质的影响程度。

棒材用直径 12 ~ 100mm 的 5052、5056 和 5083 合金棒。锻件和铸件在船舶上的用量相对较少, 主要用做一些机器构件。

## 4 结束语

我国船用铝合金的研究起步不晚, 水平也不低, 50 年代开始规划, 60 年代以后形成船艇及装甲板用的铝合金系列, 如 LF 系、LD30、LD31、919 合金、147 合金、北航研制的 4201 合金(与含 7%Mg 的 5090 合金相当)和东北轻合金加工厂研制的 180 合金(也称 2103 合金, 与 5456 相当)等。目前我国在船体结构上主要使用 180 合金, 但这种合金轧制生产难度较大, 成品率较低。

我国进行船用铝合金研制的单位有东北轻合金加工厂、北航、东北大学材料系、六机部七院七二五研究所和七机部七〇三所等。近些年东北轻合金加工厂对 Al-Mg 系合金的研究较多,例如“5052-H38 铝板的工艺研究”、“提高 LF6M 板材屈服点的研究”、“稳定化处理制度对 LF<sub>6</sub>Y<sub>2</sub> 合金板材腐蚀性能的影响”、“LF5 合金板材 H3 状态的研究”和“5086-H32 铝板的工艺研究”等等,这些研究工作都取得了一定的进展。目前,国外一是在选择材料和产品品种上有专门研究;二是对铝合金的应力腐蚀、断裂韧性、疲劳和疲劳裂纹的传播、铝合金的强度和焊接性能等都着重进行研究。而我国与之相比,其差距很大。因此,我国还应很好规划,重点投资,集中力量把

船用铝合金尽快搞上去,达到国际水平,这样才能扩大铝合金在船舶上的应用。

### 5 参考文献

- [1] 竹内 腾治,《轻金属》[日],1991.11,P787.
- [2] 林肇琦,《几种船用铝合金研究工作的进展》,东北大学,1981.内部资料.
- [3] 金子 幸雄、竹内 腾治,《轻金属溶接》[日],1991.10P20.
- [4] 李念奎,《轻合金加工技术》,1993.8P1.
- [5] 王祝堂、田荣璋主编,《铝合金及其加工手册》,中南工业大学出版社,1989P1010~1014.
- [6] 金子 幸雄、竹内 腾治,《轻合金溶接》[日],1992.4.P166.
- [7] 顾纪清编著,《铝合金船体及上层建筑施工》,国防工业出版社,1983P8.

### 提高能效一倍的全铝小轿车

美国福特汽车公司于去年推出的“合成 2010”型轿车被评为 1993 年度的世界重要科技产品一百项之一,从车身到轮毂,从传动轴到内部装饰件,凡是可用铝合金制造的都用上了铝,因而被称为“全铝”小轿车。据称,这种全铝的中型小轿车的外表象镜子一样锃亮,其重量仅相当于同一级别小轿车重量的三分之二,从而其能效提高了约一倍,达到了 1 升汽油可行驶 17 公里。这种小轿车的车身是用 5000 系合金板制造的,前后保险杠为 7000 系挤压型材,轮毂为铝合金铸件。铸造铝合金的用量约占铝材总用量的 55%。

[王祝堂 供稿]

### 你知道 sialon 吗?

sialon 一词,恐怕很多英汉科学技术字典尚未收入,但在一些科技文献中已不时地出现,其实它是 Si-Al-O-N 的习惯写法,其含意是硅-铝-氧-氮高技术工程陶瓷,可译为西阿伦陶瓷。在美国,已用这种陶瓷制成了种种零部件,主要生产者为纽约州布法罗 (Bufflo) 市的本奇马克 (Benchmark) 结构陶瓷公司。西阿伦陶瓷具有耐热性高、抗热震性强、耐腐蚀性能好等特点,可用它制造与熔融金属接触的零部件与工具、炉窑构件、舟皿、坩埚、罐瓶、耐火材料,以及其他在严酷环境中工作的器材与工件等。

[王祝堂 供稿]