

武恭 姚良均 李震夏 彭如清 赵祖德 等编

铝及铝合金材料手册

科学出版社



铝及铝合金材料手册

武 恭 姚良均 李震夏 等编
彭如清 赵祖德



(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了铝及铝合金加工及铸造产品的现代化生产过程,详细列出了每一种合金牌号的名称、标准规范、化学成分、典型用途、机械性能、热性能、电性能、磁性能等。此外,本书还介绍了铝粉末冶金产品。

本书对我国有关技术人员详细了解国外铝产品及其加工水平和促进我国铝加工企业按国际标准进行生产,提高产品质量,进而打入国际市场具有很大的参考价值。

本书可供从事铝及其合金工业生产的工程技术人员,以及机械、电子、航空、航天等研究的科技人员及高等院校有关专业的师生参考。

铝及铝合金材料手册

姚良均 李震夏 等编
武恭 彭如清 赵祖德

责任编辑 董安齐 何舒民

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1994 年 3 月 第 一 版 开本: 78×1092 1/16

1994 年 3 月 第一次印刷 印张: 30 1/2

印数: 1-3 000 字数: 723 000

ISBN 7-03-003861-4/TF·22

定价: 30.00 元



前 言

为适应改革开放的需要，给铝加工企业、研制部门、检测机构、使用单位制定和修订产品标准及检验方法提供世界铝金属材料的最新生产技术，中国有色金属工业总公司计划部委托其规划办公室组织有关专家，对美国铝及其合金的现状进行了调查，并编成本书。

本书列出了铝及其合金的每一种牌号的标准规范、化学成分、典型用途、机械性能（包括拉伸强度、抗压强度、剪切强度、冲击强度、延伸率、硬度、弹性模量、蠕变断裂特性）、热性能（液相线温度、固相线温度、线膨胀系数、比热容、热导率）、电性能（电导率、电阻率）、磁性能、化学性能（耐蚀性）、加工特性（可机加工性、可锻性、可成型性、可焊性）等。应当指出，以上诸多性能的测定乃是有色金属工业部门的基础工作，工程浩繁，需要花费大量的人力和物力，而对每一种牌号的合金进行性能测定的工作，在我国尚不完整、规范，因此，本书的内容可供我国相关领域科研、生产部门借鉴。

本书还列出了每种合金牌号的用途，指明其用于何种设备或机器的哪一类部件，非常具体、明确，这对于沟通我国铝加工企业与用户之间的关系，有针对性地为用户提供他们尚不了解或不十分了解的产品，扩大铝加工产品的品种及应用范围，将起到一定的参考作用。

此外，本书还对世界尤其是美国铝工业的现状和生产过程作了详尽的介绍，其中不乏一些先进的技术和方法。因此，本书是一本了解和研究美国铝工业难得的著作。我们将此书推荐给国内从事铝及铝合金工业生产的工程技术人员，以及机械、电子、汽车、航空、航天、民用工业等科技人员。我们相信，本书的出版不仅有利于国内有关人员了解国外铝产品及其加工水平，而且对于促进我国铝加工企业按国际标准组织生产，扩大品种及应用范围，使产品质量达到国际先进水平，进而打入国际市场，参与国际竞争，将产生积极作用。

参加本书编写工作的还有于新兴、刘有锡、刘志敏、邬彦如、郝静、陈佑华、徐锦、杜校平、罗海基、王顺昌、兰兴华、刘敏、陈芳流和高京龙。

在编写本书过程中得到了中国有色金属工业总公司长远规划领导小组和计划部的大力协助，刘有锡对本书的编写工作给予了具体指导和帮助，在此一并致以谢意。

由于我们水平有限，加之时间仓促，书中不足之处在所难免，恳请广大读者不吝指教。

目 录

前言

第一章 导论	(1)
第一节 铝的生产	(2)
第二节 铝合金	(3)
第三节 加工成材	(6)
第四节 加工特征	(11)
第五节 产品分类	(13)
第二章 铝及其合金的合金、状态代号标示系统	(23)
第一节 变形铝及其合金的代号标示系统	(23)
第二节 铸造铝及其合金的代号标示系统	(24)
第三节 试验合金的代号标示	(25)
第四节 变形铝及其合金产品的成分对照	(25)
第五节 铝及其合金的状态代号系统	(42)
参考文献	(47)
第三章 铝加工厂和设计的压力加工产品	(48)
第一节 变形合金产品系列	(48)
第二节 铝加工厂加工产品类别	(55)
第三节 型材设计	(59)
第四节 物理冶金	(62)
第五节 变形铝合金的性能	(92)
参考文献	(117)
第四章 变形铝及其合金的性能	(118)
第一节 1050 (99.5Al _{min})	(118)
第二节 1060 (99.60Al _{min})	(119)
第三节 1100 (99.00Al _{min} -0.12Cu)	(121)
第四节 1145 (99.45Al _{min})	(125)
第五节 1199 (99.99Al _{min})	(126)
第六节 1350 (99.50Al _{min})	(128)
第七节 2011 (5.5Cu-0.4Pb-0.4Bi)	(130)
第八节 2014, 包铝 2014 (4.4Cu-0.85Si-0.8Mn-0.5Mg)	(132)
第九节 2017 (4.0Cu-0.6Mg-0.7Mg-0.5Si)	(138)
第十节 2024, 包铝 2024 (4.4Cu-1.5Mg-0.6Mn)	(140)
第十一节 2036 (2.6Cu-0.45Mg-0.25Mn)	(145)
第十二节 2048 (3.3Cu-1.5Mg-0.40Mn)	(150)
第十三节 2124 (4.4Cu-1.5Mg-0.6Mn)	(154)
第十四节 2218 (4.0Cu-2.0Ni-1.5Mg)	(158)
第十五节 2219, 包铝 2219 (6.3Cu-0.3Mn-0.18Zr-0.10V-0.06Ti)	(161)

第十六节	2319 (5. 3Cu-0. 3Mn-0. 18Zr-0. 15Ti-0. 10V)	(168)
第十七节	2618 (2. 3Cu-1. 6Mg-1. 1Fe-1. 0Ni-0. 18Si-0. 07Ti)	(169)
第十八节	3003, 包铝 3003 (1. 2Mn-0. 12Cu)	(172)
第十九节	3004, 包铝 3004 (1. 2Mn-1. 0Mg)	(177)
第二十节	3105 (0. 55Mn-0. 50Mg)	(181)
第二十一节	4032 (12. 2Si-1. 0Mg-0. 9Cu-0. 9Ni)	(182)
第二十二节	4043 (5. 2Si)	(185)
第二十三节	5005 (0. 8Mg)	(186)
第二十四节	5050 (1. 4Mg)	(188)
第二十五节	5052 (2. 5Mg-0. 25Cr)	(190)
第二十六节	5056, 包铝 5056 (5. 0Mg-0. 1Mn-0. 1Cr)	(193)
第二十七节	5083 (4. 4Mg-0. 7Mn-0. 15Cr)	(195)
第二十八节	5086, 包铝 5086 (4. 0Mg-0. 4Mn-0. 15Cr)	(197)
第二十九节	5154 (3. 5Mg-0. 25Cr)	(199)
第三十节	5182 (4. 5Mg-0. 35Mn)	(202)
第三十一节	5252 (2. 5Mg)	(203)
第三十二节	5254 (3. 5Mg-0. 25Cr)	(205)
第三十三节	5356 (5. 0Mg-0. 12Mn-0. 12Cr)	(207)
第三十四节	5454 (2. 7Mg-0. 8Mn-0. 12Cr)	(208)
第三十五节	5456 (5. 1Mg-0. 8Mn-0. 12Cr)	(211)
第三十六节	5457 (1. 0Mg-0. 30Mn)	(213)
第三十七节	5652 (2. 5Mg-0. 25Cr)	(214)
第三十八节	5657 (0. 8Mg)	(216)
第三十九节	6005 (0. 8Si-0. 5Mg)	(218)
第四十节	6009 (0. 80Si-0. 60Mg-0. 5Mn-0. 35Cu)	(219)
第四十一节	6010 (1. 0Si-0. 8Mg-0. 5Mn-0. 35Cu)	(220)
第四十二节	6061, 包铝 6061 (1. 0Mg-0. 6Si-0. 30Cu-0. 20Cr)	(222)
第四十三节	6063 (0. 7Mg-0. 4Si)	(225)
第四十四节	6066 (1. 4Si-1. 1Mg-1. 0Cu-0. 8Mn)	(229)
第四十五节	6070 (1. 4Si-0. 8Mg-0. 7Mn-0. 3Cu)	(230)
第四十六节	6101 (0. 6Mg-0. 5Si)	(231)
第四十七节	6151 (0. 9Si-0. 6Mg-0. 25Cr)	(233)
第四十八节	6201 (0. 7Si-0. 8Mg)	(235)
第四十九节	6205 (0. 8Si-0. 5Mg-0. 10Mn-0. 10Cr-0. 10Zr)	(236)
第五十节	6262 (1. 0Mg-0. 6Si-0. 3Cu-0. 09Cr-0. 6Pb-0. 6Bi)	(237)
第五十一节	6351 (1. 0Si-0. 6Mg-0. 6Mn)	(238)
第五十二节	6463 (0. 40Si-0. 7Mg)	(239)
第五十三节	7005 (4. 6Zn-1. 4Mg-0. 5Mn-0. 1Cr-0. 1Zr-0. 03Ti)	(240)
第五十四节	7039 (4Zn-2. 8Mg-0. 25Mn-0. 20Cr)	(243)
第五十五节	7049 (7. 6Zn-2. 5Mg-1. 5Cu-0. 15Cr)	(246)
第五十六节	7050 (6. 2Zn-2. 3Mg-2. 3Cu-0. 12Zr)	(248)
第五十七节	7072 (1. 0Zn)	(254)
第五十八节	7075, 包铝 7075 (5. 6Zn-2. 5Mg-1. 6Cu-0. 23Cr)	(255)

第五十九节	7076 (7.5Zn-1.6Mg-0.55Mn-0.65Cu)	(262)
第六十节	7175 (5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu-0.23Cr)	(262)
第六十一节	7178, 包铝 7178 (6.8Zn-2.7Mg-2.0Cu-0.3Cr)	(265)
第六十二节	7475 (5.7Zn-2.3Mg-1.5Cu-0.22Cr)	(268)

第五章 铝铸造产品..... (276)

第一节	合金体系	(276)
第二节	结构控制	(298)
第三节	铸造工艺	(307)
第四节	铝铸造合金的性能	(318)
	参考文献	(336)

第六章 铸造铝合金性能..... (337)

第一节	201.0 (4.6Cu-0.7Ag-0.35Mn-0.35Mg-0.25Ti)	(337)
第二节	204.0 (4.6Cu-0.25Mg-0.17Fe-0.17Ti)	(341)
第三节	206.0, A206.0 (4.5Cu-0.30Mn-0.25Mg-0.22Ti)	(342)
第四节	208.0 (4Cu-3Si)	(345)
第五节	238.0 (10.0Cu-4.0Si-0.3Mg)	(347)
第六节	242.0 (4Cu-2Ni-2.5Mg)	(347)
第七节	295.0 (4.5Cu-1.1Si)	(350)
第八节	296.0 (4.5Cu-2.5Si)	(353)
第九节	308.0 (5.5Si-4.5Cu)	(354)
第十节	319.0 (6Si-3.5Cu)	(356)
第十一节	332.0 (9.5Si-3.0Cu-1.0Mg)	(357)
第十二节	336.0 (12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu)	(358)
第十三节	339.0 (12.0Si-1.0Ni-1.0Mg-2.25Cu)	(360)
第十四节	354.0 (9Si-1.8Cu-0.5Mg)	(360)
第十五节	355.0, C355.0 (5Si-1.3Cu-0.5Mg)	(364)
第十六节	356.0, A356.0 (7Si-0.3Mg)	(369)
第十七节	357.0, A357.0 (7Si-0.5Mg)	(374)
第十八节	359.0 (9Si-0.6Mg)	(376)
第十九节	360.0, A360.0 (9.5Si-0.5Mg)	(378)
第二十节	380.0, A380.0 (8.5Si-3.5Cu)	(380)
第二十一节	383.0 (10.5Si-2.5Cu)	(381)
第二十二节	384.0, A384.0 (11.2Si-3.8Cu)	(382)
第二十三节	390.0, A390.0 (17.0Si-4.5Cu-0.6Mg)	(383)
第二十四节	413.0, A413.0 (12Si)	(386)
第二十五节	443.0, A443.0, B443.0, C443.0 (5.2Si)	(387)
第二十六节	514.0 (4Mg)	(389)
第二十七节	518.0 (8Mg)	(391)
第二十八节	520.0 (10Mg)	(392)
第二十九节	535.0, A535.0, B535.0 (7Mg)	(393)
第三十节	712.0 (5.8Zn-0.6Mg-0.5Cr-0.2Ti)	(395)
第三十一节	713.0 (7.5Zn-0.7Cu-0.35Mg)	(396)
第三十二节	771.0 (7Zn-0.9Mg-0.13Cr)	(398)

第三十三节 850.0 (6.2Sn-1Cu-1Ni)	(399)
第七章 铝锂合金	(401)
第一节 物理冶金	(401)
第二节 合金研制	(406)
第三节 工业铝锂合金	(411)
参考文献	(444)
第八章 高强度的粉末冶金铝合金	(447)
第一节 铝粉末冶金技术的优点	(447)
第二节 铝粉末冶金加工	(450)
第三节 合金设计研究	(455)
第四节 常规压制与烧结的粉末冶金铝合金	(469)
参考文献	(477)



第一章 导 论

铝是地球上含量极丰富的金属元素，其蕴藏量在金属中居第2位。至19世纪末，铝才崭露头角，成为在工程应用中具有竞争力的金属，且风行一时。航空、建筑、汽车三大重要工业的发展，要求材料特性具有铝及其合金的独特性质，这就大大有利于这种新金属——铝的生产和应用。

当1886年 Charles Hall 在美国俄亥俄州和 Paul Heroult 在法国各自独立地将溶解在熔融冰晶石中的氧化铝 (Al_2O_3) 的电解还原技术开发成功之时，世界上首批以内燃机为动力设备的车辆问世，随之而来的便是作为汽车业需用的、具有越来越大的工程价值的材料——铝及其合金对汽车工业的发展开始起重要的作用。电气化也要求将大量质轻的导电金属——铝用于长距离输电，用于建造支撑架空电缆网络所需的塔架，以便从发电厂传输电能。在以后的几十年内，美国 Wright 兄弟使一项崭新的工业问世，这一新工业伴随着铝工业的发展而成长，结构可靠、强度大、耐断裂的铝及其合金的零件用来作为飞机机身和发动机，甚至用作导弹弹体、燃料箱和卫星组件。

铝工业的发展还不只限于上述内容。铝在商业上应用于诸如镜框、门牌和餐用托盘之类的新颖物品。铝制的炊事用具也成为市场上的一类商品。现在，铝已发展成具有各种各样用途的材料，其范围之广足以使现代生活的各个侧面直接或间接地受到铝的影响。

铝的最显著的特点是它的多功能性，已有三百多种铝合金在工业界是公认的。铝的变形合金和铸造合金的成分见本书第二章“铝及其合金的合金、状态代号标示系统”。

铝及其合金的优良特点是其外观好、质轻，可机加工性、物理和力学性能好，以及抗腐蚀性好，从而使铝及铝合金在很多应用领域中被认为最为经济实用。

铝的密度只有 $2.7g/cm^3$ ，约为钢、铜或黄铜的密度（分别为 $7.83g/cm^3$ ， $8.93g/cm^3$ ， $8.53g/cm^3$ ）的 $1/3$ 。在大多数环境条件下，包括在空气、水（或盐水）、石油化学和很多化学体系中，铝能显示优良的抗腐蚀性。铝的耐腐蚀性可详见由美国金属学会国际部出版的《金属手册》(Metals Handbook) 第9版第13卷。

铝的表面具有高度的反射性。辐射能、可见光、辐射热和电磁波都能有效地被铝反射，而阳极氧化和深色阳极氧化的表面可以是反射性的，也可以是吸收性的。抛光后的铝在很宽波长范围内具有优良的反射性；因而具有各种装饰用途及具有反射功能性的用途。

铝通常显示出优良的电导率和热导率，具有高电阻率的一些特定铝合金也已经研制成功，这些合金可用于如高转矩的电动机中。铝由于它的优良电导率而常被选用。在重量相等的基础上，铝的电导率近于铜的两倍。使用长线路、高电压的钢芯铝输电缆线可满足对高电导率和高机械强度的要求。铝合金的热导率大约是铜的 $50-60\%$ ，这对制造热交换器、蒸发器、加热电器、炊事用具，以及汽车的缸盖与散热器皆为有利。

铝是非铁磁性的，这对电气工业和电子工业而言是一重要特性。铝是不能自燃的，这

对涉及装卸或接触易燃易爆材料的应用来说是重要的。铝无毒性，通常用于制造盛食品和饮料的容器。它的自然表面状态具有宜人的外观。它柔软、有光泽，而且为了美观，还可着色或染上纹理图案。

一些铝合金在强度上超过结构钢材，但是纯铝及某些铝合金的强度和硬度极低。

第一节 铝的生产

所有铝的生产均基于 Hall-Heroult 法。将从铝土矿制得的氧化铝溶于冰晶石电解液，其中加有几种氟化物的盐类以控制电解液的温度、密度、电阻率以及铝的溶解度。然后，通入电流电解已熔的氧化铝。这样，氧在碳阳极上生成并与后者起反应，而铝则在阴极上作为金属液层而聚集。已分离出的金属可以定时用虹吸法或真空法移出到坩埚中，然后将铝液转移到铸造设备中浇铸成锭。

冶炼出来的铝含有的主要杂质是铁与硅，锌、镓、铊、钒也通常作为微量杂质存在。国际上铝的最低纯度是以确定的成分及其数值作为基本标准的。在美国，已形成的常规做法是将铁与硅的相对浓度作为更重要的标准来考虑。未合金化的金属级别，可由其纯度来决定，如含铝量为 99.70% 的铝，或者由美国铝协会制定的方法来决定，该法规定以 Pxxx 级别为标准。在后一种情况下，字母 P 后的数字表明硅与铁各自的最大的百分之零点几数值。例如，P1020 是冶炼产生的未合金化的金属，其硅含量不大于 0.10%，铁含量不大于 0.20%。P0506 的硅含量不大于 0.05%，铁含量不大于 0.06%。普通的 P 级别范围从 P0202 至 P1535。为了实现控制质量的目的，以上每一个级别皆还有另外附加规定的杂质范围。

现在已有了为达到更高纯度的精炼方法，例如 99.99% 的纯度可通过分步结晶法或 Hoopes 电解槽作业来获得。后一种方法是一个三层次的电解方法，它使用比熔融状态纯铝的密度更大的熔盐。在高度专业化的应用中，可将这两种方法结合起来使用，使纯度达到 99.999%。

生产统计数字 1988 年全世界原生铝产量总数为 $17.304 \times 10^6 \text{Mg}$ (见图 1-1)。

自 1978 年至 1988 年，世界铝产量增加了 22.5%，年增长率为 1.6%。图 1-2 示出美国的铝产量占 1988 年世界产量的 22.8%，而欧洲占 21.7%。其余 55.5% 的铝由亚洲 (5.6%)、加拿大 (8.9%)、拉丁美洲 (含南美洲) (8.8%)、大洋洲 (7.8%)、非洲 (3.1%) 和其他地区 (21.3%) 生产。美国在 1988 年的总供应量为 7 533 749Mg，原生铝产量占总供应量的 54%，进口占 20%，而再生铝产量占 26% (图 1-3)。

再生铝生产的来源是各类废铝及冶炼中撇渣与除渣处理的产物。原生铝生产与再生铝生产两者在整体上是相关的，而且是相互补充的。很多加工合金和铸造合金的成分的规定是基于反映受控的元素污染的影响，这种污染是由于利用废铝所致。最近的一个趋势是原铝加工厂与再生铝生产厂合作利用废铝和增加废铝用量来生产出各种压力加工产品，包括罐用薄板。

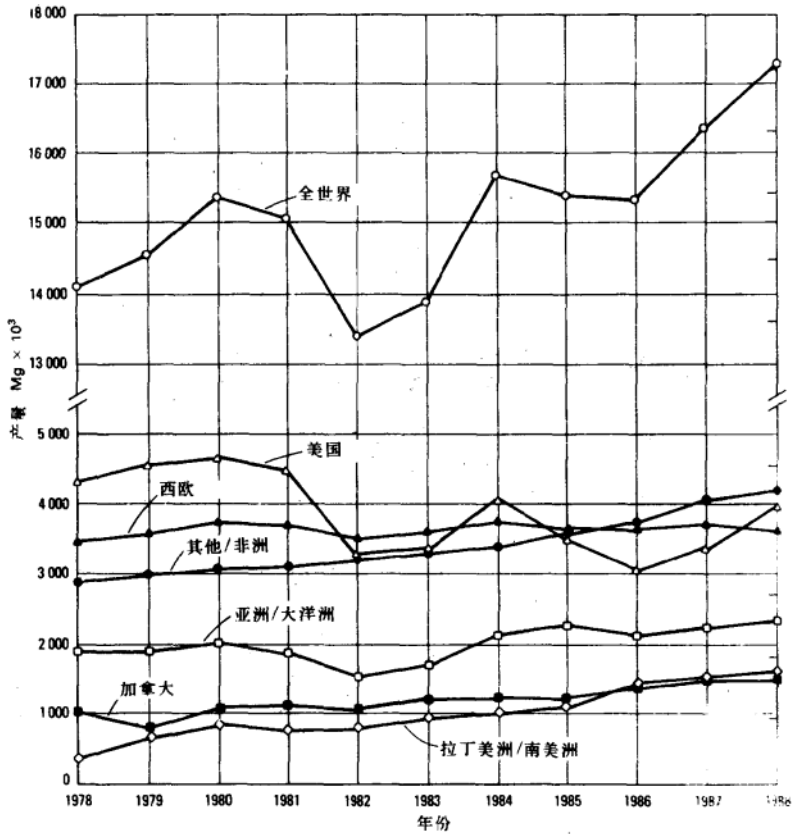


图 1-1 世界原生铝年产量
(取自美国铝协会资料)

第二节 铝合金

可以很方便地将铝合金划分为两大类：铸造合金与变形合金。每一类的进一步划分是基于改善性能的主要机理，如很多合金性能改善是基于互溶度的热处理，包括固溶热处理、淬火、析出（沉淀）或时效与硬化。上述的合金，无论是铸造合金类的，还是变形合金类的，皆称之为可热处理合金（即热处理可强化合金）。然而很多其他变形合金依靠经轧制的加工硬化（通常与各种退火作业相结合）以改进合金性能。这些合金被称为加工硬化合金。有些铸造合金实质上是热处理不可强化的合金，而仅在其原来铸造状态下使用或在与固溶或固溶体析出（沉淀）的效果无关的热处理条件下使用。

铸造合金与变形合金的命名法业已制定。美国铝协会制定的代号标示系统在美国普遍被人接受。他们的合金鉴别系统对铸造合金和变形合金分别采用不同的代号标示法，为了简化起见，将合金划分为系列（详见本书第二章“铝及其合金的合金、状态的代号标

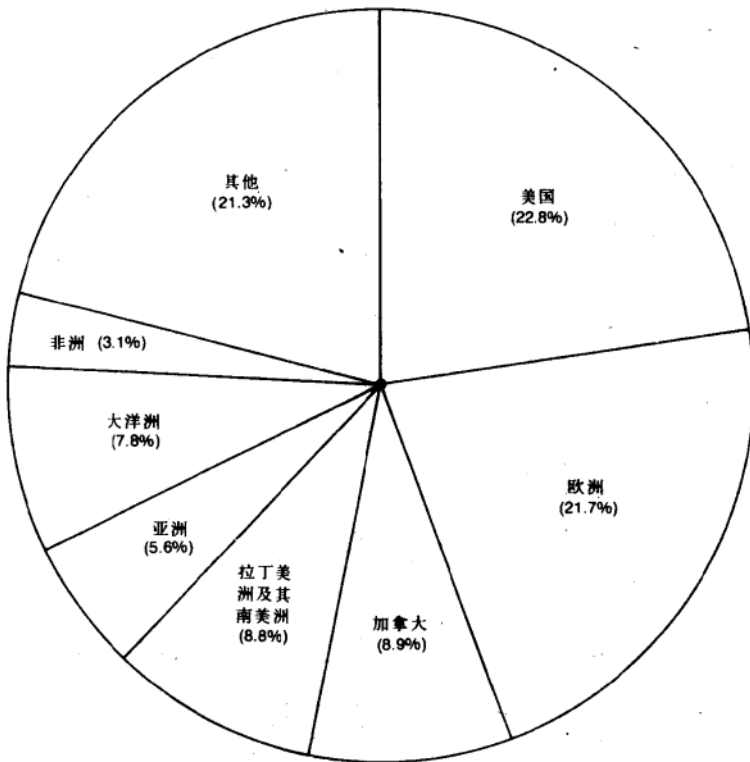


图.1-2 1988年世界原生铝产量的百分比分布
(取自美国铝协会资料)

示系统”)。对于变形合金，他们采用了一个四位数系统，从而提出了下面的加工合金成分系列：

- 1) 1xxx 表示未合金化（即纯铝）的控制成分。
- 2) 2xxx 合金中铜是主要的合金元素，其他元素，特别是镁，可以规定一定含量。
- 3) 3xxx 合金中锰是主要的合金元素。
- 4) 4xxx 合金中硅是主要的合金元素。
- 5) 5xxx 合金中镁是主要的合金元素。
- 6) 6xxx 合金中镁与硅是主要的合金元素。
- 7) 7xxx 合金中锌是主要的合金元素，其他元素如铜、镁、铬和锆，可以规定一定含量。
- 8) 8xxx 合金中包括锡及锂的成分，表示不属上述各系列的合金成分。
- 9) 9xxx 留用。

铸造合金的成分可用一个三位数系统后跟一个小数点数字来表示。小数.0 在所有情况下均指铸造合金极限值。小数.1 和.2 涉及铸锭成分，在铸锭熔化和加工后在化学成

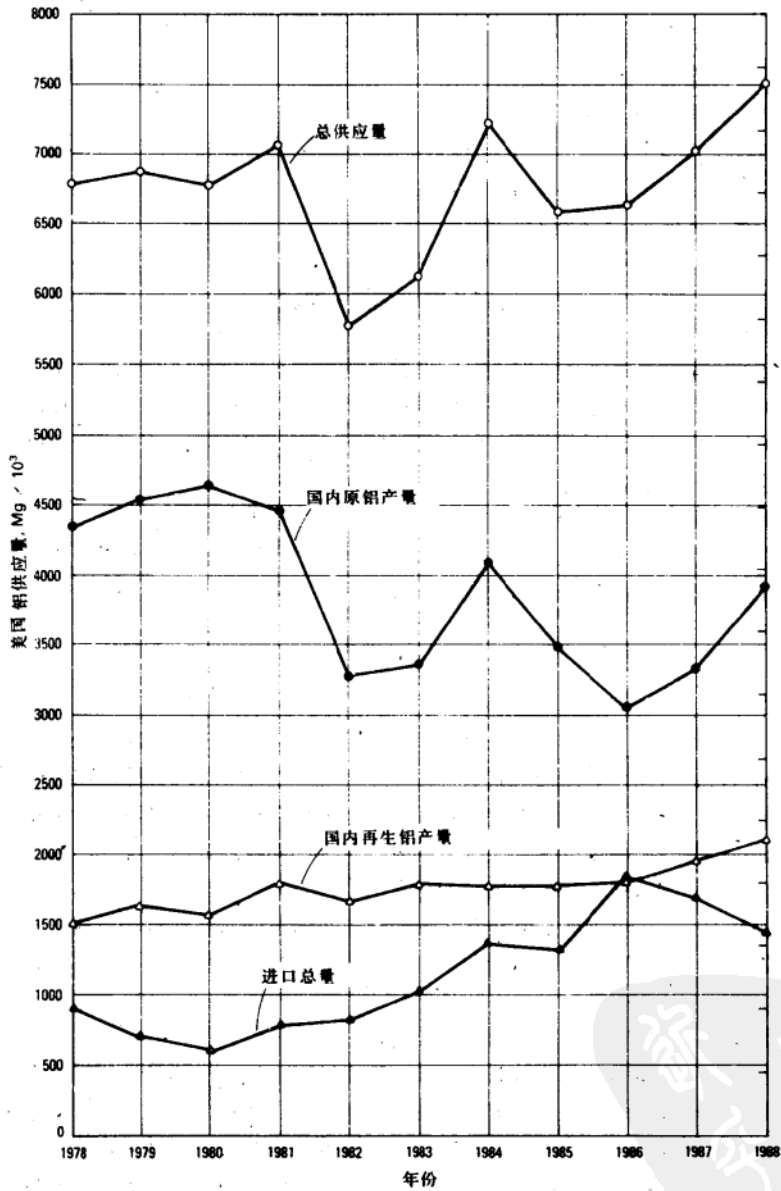


图 1-3 美国铝产量与供应量的统计
(取自美国铝协会资料)

分上应符合铸造规范的要求。铸造合金成分系列如下：

- 1) 1xx.x 表示未合金化铝（即纯铝）的控制成分，特别适用于电机转子制造。
- 2) 2xx.x 合金中铜是主要的合金元素，可以规定其他合金元素。
- 3) 3xx.x 合金中硅是主要的合金元素，可以规定其他合金元素，如铜和镁。
- 4) 4xx.x 合金中硅是主要的合金元素。
- 5) 5xx.x 合金中镁是主要的合金元素。
- 6) 6xx.x 未使用。
- 7) 7xx.x 合金中锌是主要的合金元素，可规定其他合金元素，如铜和镁。
- 8) 8xx.x 合金中锡是主要的合金元素。
- 9) 9xx.x 未使用。

第三节 加工成材

铝及其合金可以用已知的所有方法浇铸成铸件或加工成材。铝及其合金的加工产品可划分为两类：一类是通用产品，包括薄板、厚板、箔、棒材、线材、管材以及结构型材，其中棒材可细分为圆棒和非圆形棒，其中管材可细分为标准圆管和非标准圆形管。另一类是非通用的产品，这是为了某个特定用途而设计的产品，包括挤压型材、锻件、冲挤件、铸件、冲压件、粉末冶金（P/M）零件、机加工件和铝基复合材料。图 1-4 示出了主要铝产品类型百分比分布。各种铝加工或铸造的产品形状可参阅本书第三章“铝加工厂及设计压力加工产品”和第五章“铝铸造产品”。

一、标准产品

轧制板带产品 其包括厚板（厚度等于和大于 6.25mm 或 0.25in）、薄板（厚度为 0.15mm 至 6.25 mm，或 0.006in 至 0.25in）和箔材（厚度小于 0.15mm 或 0.006in）。这些产品是通过铸锭的热轧或冷轧使其厚度依次发生缩减而成为矩形横截面的半制品。以加工硬化状态表示的性能是通过冷轧、不完全或完全退火和使用稳定化退水处理来加以控制的。可热处理强化的厚板、薄板和箔材可予以固溶热处理、淬火、析出（或称之为沉淀）硬化以及用加热方法或机械方法来消除应力。

薄板和箔 它们可以轧制成具有波纹的表面。用特制的轧辊对薄板或厚板进行压花可生产花纹板。通过轧制成形，薄板可以制成波纹状外形或其他异型外形，用于盖屋顶、覆墙板、做管子和沟槽等。

虽然绝大多数轧制板带产品是用常规的轧机生产的，但现在已有连续作业法，可将熔融状态的合金直接初轧至再轧制时所需的规格（图 1-5），带状铸坯使用相对转动的水冷转筒或轧辊来凝固金属，分别加工成卷坯作联机的再轧制坯料。双皮带或移动滑轮设计的铸造厚板坯通常为 19mm（0.75in）厚，可由联机的热轧机压薄其厚度，以生产成卷板坯供再轧制。可以预计，连续作业法的先进技术与操作的进一步发展将对板带产品制造工业发展产生全球性的影响。

线材、棒材（包括圆棒） 它们是用挤压、轧制或这两种方法联合加工铸坯而生产的。线材可具有任何横截面，横截面的两个平行边或对边之间的距离小于 9.4mm

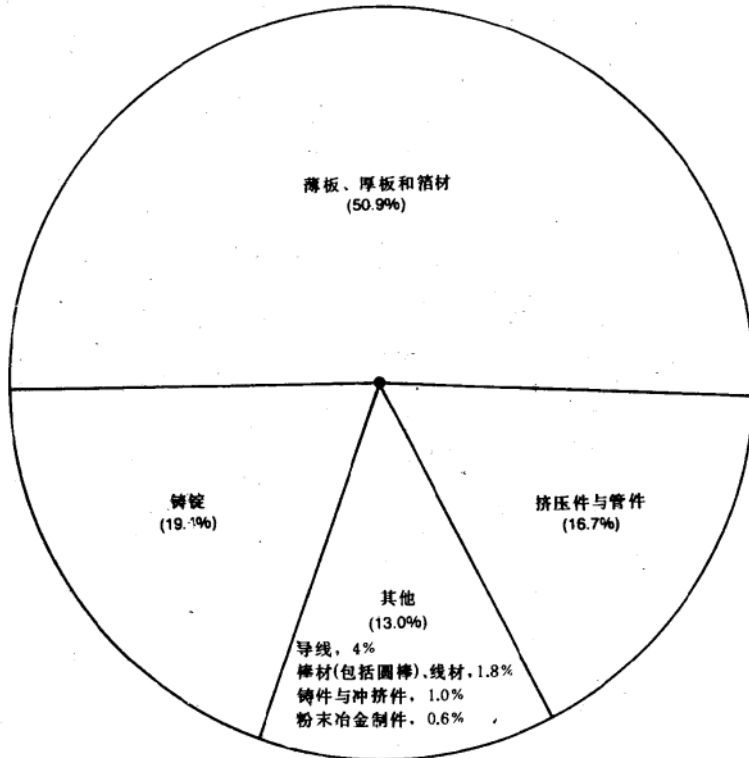


图 1-4 1988 年主要铝产品的百分比分布
(取自美国铝协会资料)

(0.375in)。圆棒的直径超过 9.4mm，而非圆形棒可具有正方形、矩形、正六角形或正八角的横截面，它的任何两个平行边或对边之间的距离大于 9.4mm (0.375in)。

由连续作业流程生产出的棒（包括圆棒）材、线材的产量越来越多。在该作业流程中，熔融金属于水冷却转轮或结晶器内铸成具有连续长度的固态棒材，然后将棒材轧制成直径约为 9.4—12mm (0.375—0.50in) 的圆形棒材。

二、非标准设计产品

铝合金铸件 其一般是通过使用压力型、永久（硬）型、湿砂型、干砂型、熔模、石膏型铸造生产的。图 1-6 示出了铸件装运量的统计数字。生产工艺的一些改进包括真空铸造、低压铸造、离心铸造和与型模有关的方法如失泡沫法。铸件是将熔融的铝注入铸模而生产出来的，可用于制造具有复杂外形和中空区或空心区的产品。为了获得最终形状的产品，常选择铸件而不选用其他的产品形式。对于要求具有加强肋、内部孔道或复杂设计特征的加工产品则常用合适的型模、铸模和压铸予以制得，而若对压力加工产品再

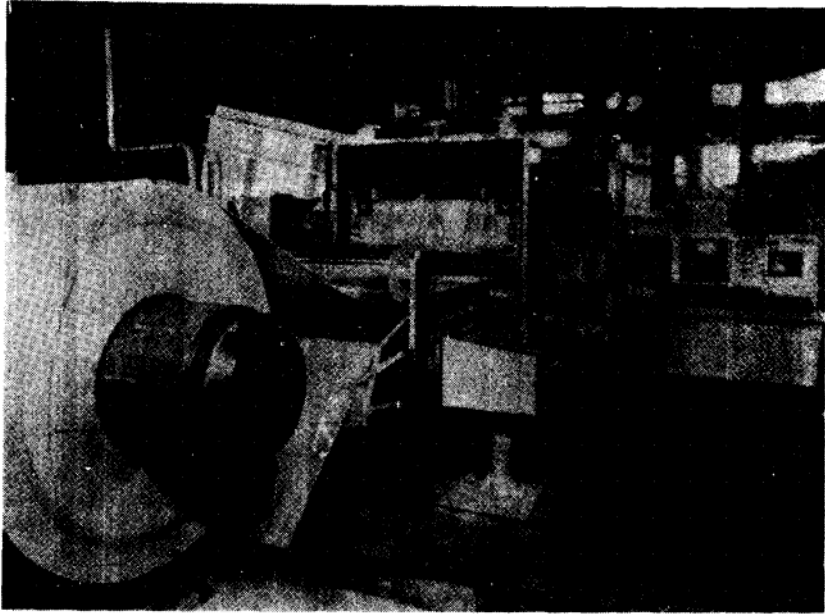


图 1-5 直接从熔融铝生产薄铝板再轧件的设备

进行机加工，则费用昂贵。优良工程铸件具有极好的整体性、严密的尺寸公差和稳定的机械性能。这种性能对于所选定的合金与状态而言，属于现有高强度性能产品的上乘。

挤压件 其是挤压固体金属通过开孔模而生产出来的。具有轴对称的设计件特别适合于用挤压形式生产。使用现行的工艺，也能挤压复杂的、有心轴的和不对称的外形。精密挤压可显示出非同寻常的严格尺寸和表面光洁度，工件的主要尺寸通常不需要机加工；挤压后产品的精度可容许用简单的切割、钻孔、扩孔和其他少量的机加工来达到。挤压、挤压与拉拔结合生产的无缝管可与机械制造的有缝管和焊接管相匹敌。

锻件 其是应用动力、机械力或液压力使金属在封闭模或开口模内作塑性流动变形而生产出来的。手工锻件有简单的几何形状，可在平板模之间或稍有构形的开口模诸如矩形、圆柱形（多面的圆形）、盘形（饼形）或这几种形状的有限变化的锻模之间锻成。这类锻件可以满足工业上经常使用的需求；只要求提供有限件数或尚待验证而只要有限的样品设计件。

大多数铝锻件是在封闭模内生产出来的，产出的部件具有良好的表面光洁度、尺寸控制及优良的完好程度与性能。精密锻造注重于得到接近最终形状的、减少压缩量及更精准的尺寸。通过锻造可获得如同轧制的圆环或通过芯棒锻制可获得圆环的锻件。

冲压 其是在一个封闭模内形成的，模内放一个经润滑的冲压环，它通常是冷的，受到通过一个金属冲头施加的一次冲击力，使金属围绕此冲头和（或）通过冲头或模子中的开孔而流通。这种方法能以较高的生产率和按照严格的质量与尺寸标准生产出精密的零件。冲压是冷挤压与冷锻的结合，两种方法的优点兼而有之。

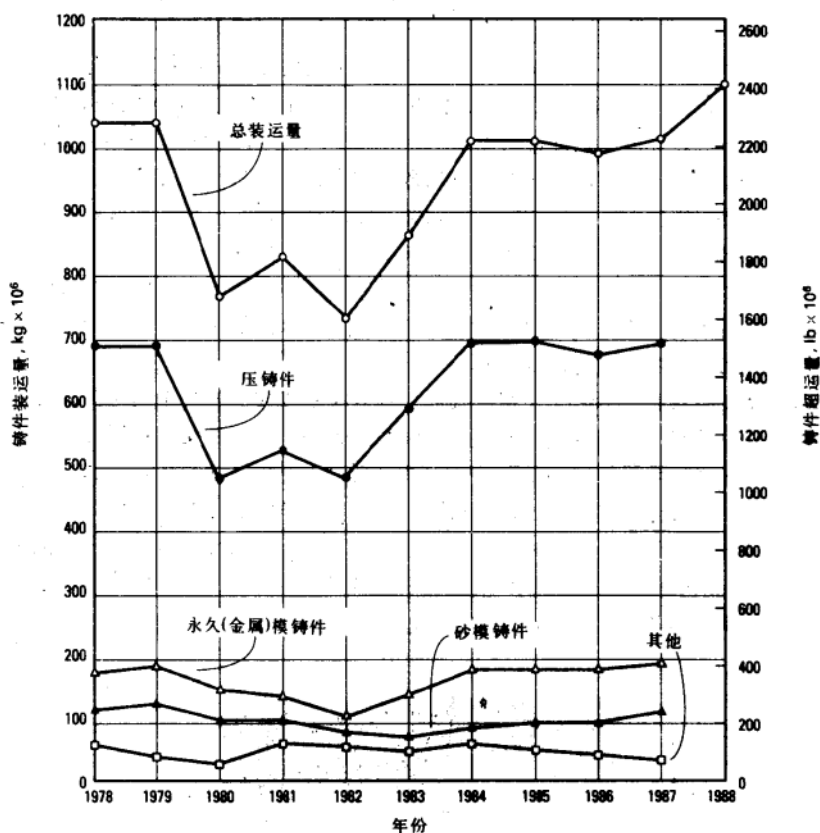


图 1-6 1978 年至 1984 年美国铝铸件装运量
(取自美国铝协会资料)

冲压成型有三种基本类型，即反向冲压、正向冲压和这两者的结合，其中每一类都可用于铝加工制造。反向冲压可用于制造壳体，带有一个锻制的壳底和挤压的壳壁。冲压坯放在一个模腔内，由一个冲头施加冲击，使金属冲压坯通过冲头与模子间的开口围绕冲头回流（即向上流动），从而形成一个简单的壳体。正向冲压有点像常规挤压。在冲头的作用下，金属被迫通过模子内的一个开孔沿着施加压力的方向流动。冲头与模子间可限制飞边的生成。使用平板冲头的正向冲压可制出圆形、异形、直的和有肋的圆棒。采用一个制止锻坯前冲的冲头，可在模壁形成一端开口或两端开口的薄壁管子，管壁平行或呈锥形。使用结合法时，冲头小于开孔模，结果金属同时作反向和正向流动。

粉末冶金 (P/M) 零件 粉末冶金零件的制造有很多工艺方法。对于要求性能不高的零部件来说，将金属粉末在一个型模内压实以形成压坯。然后，压坯在具有保护气氛的高温下进行烧结即扩散粘结，在烧结中压坯得以固结与强化。烧结后压坯的密度可通过复压予以提高。当复压主要是为了提高尺寸的准确性时，这种复压称作“尺寸精压”，而当主要用于改变外形时，这种复压称作“外形精压”。复压后还可进行再烧结，这可消除