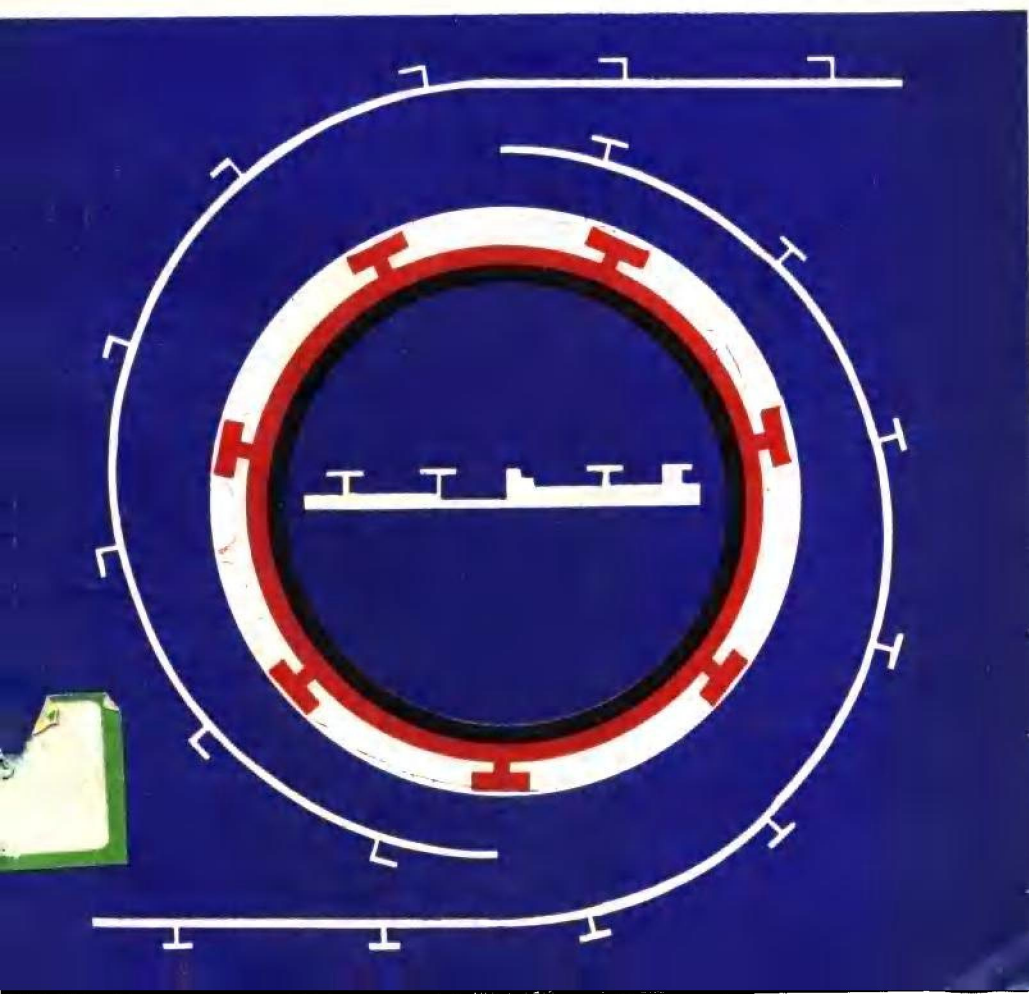


铝合金壁板挤压

〔苏〕 M.3. 叶尔曼诺克 著

李西铭 张淶泉 译



内 容 简 介

《铝合金壁板挤压》一书全面地系统地叙述了铝合金壁板的挤压方法,研究了挤压过程中金属的流动规律,研究了挤压力的计算方法,阐述了壁板挤压中的关键问题。

全书共分五章。第一章,铝合金壁板生产的一般知识;第二章,用圆挤压筒挤压壁板;第三章,用扁挤压筒挤压壁板;第四章,挤压工具;第五章,壁板的矫直。

本书可供航空、航天、冶金、机械、建筑、船舶等部门的工程技术人员、高等院校师生参考。

ПРЕССОВАНИЕ ПАНЕЛЕЙ
ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

М. З. Ермаков

МОСКВА

“МЕТАЛЛУРГИЯ”

*

铝 合 金 壁 板 挤 压

〔苏〕 М. З. 叶尔曼诺克 著

李西铭 张淦泉 译

责任编辑 余发棣

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168¹/₃₂ 印张77/8 207千字

1988年9月第一版

1988年9月第一次印刷

印数: 0, 001— 1, 580册

ISBN 7-118-00146-5/TG13 定价: 4.70元

译者的话

整体壁板是现代航空工业上制造大型和高速飞机所必需的一种重要结构件。采用整体壁板能减轻飞机的重量，缩短飞机制造工时，改善飞机的结构性能，能提高飞机的气密性。在现代航空工业中，壁板的规格品种已达 250 多种。对壁板的需要量也在不断增长。

《铝合金壁板挤压》一书全面地系统地叙述了铝合金壁板的挤压方法，研究了挤压过程中金属的流动规律，提供了挤压力的计算方法，详细阐述了壁板挤压生产中的关键问题——挤压模具和多层套挤压筒的设计计算方法。书中引用了在壁板挤压生产方面一些新的科研成果。本书内容丰富实用，对我国航空材料的科研、教学和生产很有参考价值。

本书可供航空、航天、冶金和机械工业的工程技术人员和工人参考使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

本书由张淦泉（第一、二章）和李西铭（第三、四、五章）同志合译。由于我们的水平有限，书中难免有错误之处，希望广大读者批评指正。

译者

序 言

苏联的机器制造业，特别是航空工业、造船工业、汽车工业、运输工业、建筑工业的一个重要发展方向是制造具有最小重量的高强度结构，即具有最大比强度的结构。为了制造这种结构，必须采用整体的半成品零件来代替复杂的装配式部件。在这种半成品零件中，最重要的一种是带筋整体壁板，它是蒙皮与加强筋条的结合物。

铝合金带筋整体壁板，作为一种结构材料来说，与装配式的铆接结构和焊接结构相比具有极其重要的优点。这些优点是：重量大大减轻，结构强度高，比较可靠，减少了部件加工的劳动量，这是由于显著减少了铆接、螺栓连接或焊接的数量，因此提高了结构的气密性。铝合金整体壁板的上述优点使它在各个工业部门中获得了广泛的应用。

在1969年冶金工业出版社出版的《铝合金整体壁板生产》一书中，介绍了壁板生产中的主要问题及研究工作的成果，介绍了1967年以前所进行的工艺和设计方面的改进，建立壁板成套生产工艺的基础。最近五、六年来，在生产挤压壁板的实践中发生了一些重大变化：壁板的品种显著增加；采用新合金生产壁板，掌握了用反向挤压法挤压实心壁板及空心壁板的工艺方法；制定了新型的工具装备；进行了精确地确定挤压时金属流动运动学的研究，研究了主要工艺参数对壁板的厚度变化的影响等。

由于上述原因和考虑到本书第一版的有些内容已经过时，于是出版了第二版。在第二版出版之前，做了重大修改，补充了反映生产实践的最新成果以及理论和实验研究的资料。更广泛地介绍了有关挤压工具的材料；叙述了制造挤压工具用的钢材，挤压壁板用的工具装备，模具的结构以及设计问题，挤压筒的结构

以及理论计算的问题。把这些材料写成了专门的一章，在本书中占用了相当大的篇幅。

与此同时，在本书中删去了叙述壁板的热处理和修整的章节。因为上述过程不仅对壁板的生产具有重要的意义，而且对其它冶金半成品（型材、棒材、管材）的生产也具有重要意义，所以他们应该列为专门出版的课题。

鉴于有关挤压过程的材料在本书中占有大量的篇幅，所以也相应地改变了本书的名称。

第四章的第2、3和4节由М.З.叶尔曼诺克（Ерманок）、Н.В.莫兹加列夫（Мозгалеv）和М.Ф.扎哈罗夫（Захаров）执笔；第四章的第6节由Л.Ю.马克西莫夫（Максимов）执笔；其余的章节由М.З.叶尔曼诺克执笔。

作者们在撰写本书时，利用了自己的研究材料，国内外文献中所公布的有关资料以及Р.И.巴尔巴涅利[●]（Барбанель）和И.В.叶高罗夫[●]（Егоров）候补博士论文的资料。

作者对科学技术博士Л.Г.斯切潘斯基（Степанский）在评阅本书时所提出的宝贵意见，对候补科学技术博士В.П.柯兹洛夫斯卡雅（Козловская）仔细审查了有关生产壁板所用铝合金的章节表示深深感谢。

作者对Л.А.波莫加叶娃（Помогаева）、Н.А.雷若娃（Рыжова）、Ю.И.苏达连科夫（Сударенков）、А.А.乌达洛夫（Удалов）和В.И.费依金（Фейгин）在原稿准备出版时所给予的很大帮助致以谢意。

● Р.И.巴尔巴涅利 平板形带筋壁板的挤压过程和热处理的研究与制定。学位论文，莫斯科，1962。

● И.В.叶高罗夫 АМГ6合金两端带大头的壁板挤压过程的研究及其工艺的制定。学位论文，莫斯科，1970。

目 录

绪论	1
第一章 生产铝合金壁板的一般知识	6
§ 1 生产壁板用的铝合金	6
§ 2 壁板的生产方法	31
§ 3 壁板的挤压方法	37
§ 4 挤压壁板的工业品种	47
第二章 用圆挤压筒挤压壁板	51
§ 1 挤压时的金属流动	52
§ 2 挤压时的受力条件	73
§ 3 挤压工艺	96
§ 4 两端带大头的带筋管的挤压特点	104
§ 5 空心壁板的挤压特点	108
第三章 用扁挤压筒挤压壁板	113
§ 1 挤压时的金属流动	113
§ 2 挤压时的受力条件	127
§ 3 挤压工艺	135
§ 4 阶段变断面壁板的挤压特点	138
§ 5 空心壁板的挤压特点	140
第四章 挤压工具	144
§ 1 制造挤压工具用的钢材	144
§ 2 挤压壁板用的工具装配方法	151
§ 3 模具部件的结构	158
§ 4 模具的设计部分	167
§ 5 挤压筒	177
§ 6 挤压筒的计算与设计	189
§ 7 挤压轴	228
§ 8 挤压针	229
第五章 壁板矫直	235
§ 1 带筋管壁板的矫直	235
§ 2 用扁挤压筒挤压壁板的矫直	241
参考文献	242

绪 论

国外在 1953 年开始掌握了带筋整体壁板的生产。1954 年施劳曼 (Schloemann) 公司^[1]制造的 122.5 MN (12500 tf) 挤压机投产以后, 阿尔考 (Alcoa) 铝业公司在拉法叶特工厂进行了大量的工作。为了组织壁板和重型型材的大规模工业生产, 美国于 1951 年通过了制造大吨位挤压机的政府特殊计划, 对航空工业提供足够的挤压制品 (空军大型挤压机计划)^[2,3]。根据该计划曾制造了四台 70.5 MN (7200 tf) 挤压机、两台 106 MN (10800 tf) 挤压机和一台 122.5 MN (12500 tf) 挤压机, 供给凯撒铝和化学公司、哈维铝业公司、柯蒂斯—莱特及阿尔考铝业公司。现在, 这些挤压机已制成并投入生产使用。

在参考文献 [4,5] 中指出, 根据美国空军部的要求, 设计了一台 176.4 MN (18000 tf) 挤压机。1957 年 5 月多乌化学公司的一个工厂 (麦吉松) 内有一台海德腊伍利克公司^[6]制造的 117.6 MN (12000 tf) 挤压机已投入生产。在 1966 年, 报导了该厂又安装了一台 137.2 MN (14000 tf) 挤压机^[7]。

最初用圆形挤压筒挤压平板形壁板, 但是采用这种挤压方案时, 壁板的宽度受到了限制, 不能超过挤压筒工作内套孔道直径的 80~95%。此外, 用圆形挤压筒挤压平板形壁板时, 挤压系数很高, 引起了很大的金属流动的不均匀性。这样就很难生产出尺寸公差要求严、纵向和横向几何形状符合规定的壁板。为了减小挤压系数, 即降低所需要的单位挤压力, 就必须增加壁板的底板和筋条的厚度, 这样就增加了以后机械加工的工作量。

将壁板挤压成  形、 形、 形和  形可以增加壁板底板的宽度^[8,9]。在这些文献中列举了在挤压各种不

同形状的壁板时可能达到最大宽度的数据:

—形, 650mm,  形, 915mm;  形, 1300mm;

 形, 1450mm;  形, 1520mm。

用圆挤压筒生产复杂形状的壁板时, 壁板展开和矫直有困难。采用爆炸能^[8]矫直的方法使复杂形状壁板矫平的过程得到了一定的改善。哈维铝业公司托连斯工厂在 122.5MN(12500tf) 挤压机上用直径为 800mm 的挤压筒挤压了宽度达 965mm^[10]的 V 形壁板, 而阿尔考铝业公司的工厂挤压了宽度达 1020mm 的壁板^[3]。在参考文献[11]中指出, 当挤压 V 形壁板时, 其宽度可以比其外接圆直径大 60%。

扁挤压筒在工业性生产中应用以后, 使挤压壁板的生产工艺得到了很大的改进。在 1955 年 6 月发给了伊利湖机器制造公司(美国●布法洛)工程师 K. 斯温松 (Свенсон) 扁挤压筒的专利权。

在参考文献[12]中引用了国外使用扁挤压筒挤压壁板实践的详细数据。在该文献中给出了由 19.6MN(2000tf) 到 137MN(14000tf) 挤压机所推荐的挤压筒尺寸。同时指出, 在 137MN(14000tf) 挤压机上用扁挤压筒所挤压的 Д16 和 B95 合金壁板的最大宽度为 915mm。

参考文献[13、14]在分析国外数据的基础上指出, 在 156.8MN(16000tf) 挤压机上采用扁挤压筒可以生产出宽度在 965mm 以下的硬铝合金壁板, 和宽度在 1400mm 以下的软铝合金壁板。在 176.4MN(18000tf) 挤压机上采用扁挤压筒可以挤压出壁板的最大宽度分别为 1025 和 1450mm。

在参考文献中也刊登了有关凯撒铝和化学公司海尔考皮工厂^[15、16]挤压壁板的资料。在 70.6MN(7200tf) 挤压机上采用扁挤压筒挤压出宽度达 815mm、断面高度(筋条高度与底板厚度

● 美国专利, №2867321, 1955年。

之和) 为 75mm 以下的壁板。用 B 95 合金所生产的壁板的最小壁厚为 2.3mm; 壁板的横向弯曲为 1.2%; 挤压壁板的最大重量为 118kg。

采用扁挤压筒并通过组合模(舌型模)可挤压空心壁板。美国哈维铝业公司托连斯工厂在 105.8MN(10800tf) 挤压机上挤压了 AB 合金的空心壁板, 其断面的外形尺寸为 $615 \times 63\text{mm}$ 。该壁板有六个孔, 每个孔的断面尺寸为 $93 \times 50.5\text{mm}$ ^[7]。

也可以用圆挤压筒挤压带内孔的壁板。例如, 美国阿尔考铝业公司拉法叶特工厂在 122.5MN(12500tf) 挤压机上用直径为 600mm 的挤压筒挤压出了具有 24 个孔的宽度达 490mm 的壁板^[1]。这些壁板用于制造电子设备的冷却部件^[114]。

1971 年 8 月瑞士阿路苏依斯公司希皮斯工厂有一台由施劳曼公司制造的、可自动控制的 70.6MN(7200 tf) 管-型挤压机投入生产, 该设备装备有单独的油压传动装置^[80, 81]。该挤压机除了配备有直径为 405 和 500mm 的圆挤压筒外, 还配备有孔道断面尺寸为 $660 \times 240\text{mm}$ 的扁椭圆形挤压筒。由于孔道的断面高度(240mm) 比较大, 可以挤压带高纵向筋条的壁板及空心壁板。在该挤压机上可以挤压各种铝合金的宽度达 600mm, 断面高度达 180mm 的实心断面壁板及宽度达 520mm, 断面高度达 100 毫米的空心壁板。

壁板的底板和筋条的最小厚度取决于其宽度和高度, 最大尺寸的壁板为 $4.5 \sim 5\text{mm}$ ^[80, 81]。

在吨位不大的挤压机上同样可以采用扁挤压筒。例如, 在阿尔考铝业公司的某个工厂中安装了一台 17.6MN(1800tf) 挤压机, 专门设计采用扁挤压筒挤压^[17]。由于挤压机机座上两根立柱之间的距离比较大, 可安装工作孔道断面为 $110 \times 370\text{mm}$ 的扁挤压筒。挤压壁板的最大宽度为 305mm。如果采用圆挤压筒挤压这样宽的壁板时, 则需要采用 49MN(5000tf) 的挤压机。

尽管用扁挤压筒挤压壁板具有无可怀疑的优点, 但是用这种方法挤压壁板的宽度, 对于大型蒙皮制品来说(大型客机、船舶、

车厢、特殊容器等) 还是不够的。用挤压带筋管材的方法挤压壁板, 随后沿母线切开, 展开和矫平, 可以大大增加壁板的宽度。在参考文献[9]中指出, 美国哈维铝业公司托连斯工厂在 105.8 MN(10800tf) 挤压机上挤压出直径为 635mm 的带筋管, 而后将其展开和矫平, 制成了宽度达 1900mm 的平板形壁板。多乌化学公司麦吉松工厂在 122.5MN(12500tf) 挤压机上挤压出了直径为 530~620mm 的带筋管^[1,18]。

近几年来, 发表了相当大数量的关于美国掌握挤压钛合金壁板, 特别是 Ti—6Al—4V 合金壁板的报导。该合金与苏联的 BT6 合金^[18]相似。

钛壁板主要用于航空和宇航技术。在参考文献[20、21]中指出, 当飞机的速度超过 2~2.5 马赫数时, 钛合金是制造飞行器蒙皮的最好材料。

超音速客机“波音—747”的结构主要是用钛合金制造的, 而用高强度钢制造的结构零件的重量则不超过 10%^[22]。飞行速度超过 3 个赫数的美国军用飞机 A11 的机身完全是用钛合金制造的^[23,24]。柯蒂斯—莱特公司在挤压钛合金壁板方面获得了十分巨大的成就。该公司掌握了挤压“洛克希德”超音速飞机蒙皮用的扁平壁板。在 117.6MN(12000tf) 挤压机^[25~28]上挤压出宽度为 409 和 559mm, 长度由 6 到 15m 的壁板。

苏联从 1956 年开始在挤压壁板的生产方面获得了广泛的工业性发展。用扁挤压筒挤压成带筋管, 随后再沿母线切开、展开及矫平^[29], 这是生产壁板的主要方案。但是, 在个别情况下, 采用“—”字形扁挤压筒来挤压宽度比较小而底板厚度比较大的平板形壁板。

制造和掌握 117.6MN(12000tf) 和 196MN(20000tf) 挤压机、专用加热炉、退火炉和淬火炉以及修整设备, 可以生产宽度 1000mm 以下(用扁挤压筒挤压时) 和 2100mm 以下(用圆挤压筒挤压成带筋管) 的带筋整体壁板^[30,32]。目前, 已经为生产宽度 2500mm 以下的壁板创造了前提, 关于这方面的情况在

А.Ф. 别洛夫 (Белов) 和 Ф.И. 柯瓦索夫 (Квасов) 的文献[31、32、33]中已经作了报导。

在П.П. 莫恰洛夫 (Мочалов) 的领导下, 掌握了在 196MN (20000tf) 挤压机上用反向挤压法挤压带筋管材的复杂技术, 使壁板的生产工艺得到了显著的改善, 大大地提高了成品率、挤压机的生产效率, 改善了壁板的质量。

第一章 生产铝合金壁板的一般知识

§ 1 生产壁板用的铝合金

变形铝合金可按照以下几个主要特征进行分类:

1) 按照抗拉强度的高低分为: 低强度: $\sigma_s < 294 \text{ MN/m}^2$ (30 kgf/mm^2), 中等强度: $\sigma_s = 294 \sim 441 \text{ MN/m}^2$ ($30 \sim 45 \text{ kgf/mm}^2$) 和高强度: $\sigma_s > 441 \text{ MN/m}^2$ (45 kgf/mm^2)^[34];

2) 按照热处理强化程度分为: 热处理强化铝合金和热处理不强化铝合金;

3) 按照焊接性能分为: 可焊铝合金在熔化焊接时, 能够保持或者稍微改变其机械性能; 不可焊铝合金在熔化焊接时, 合金的强度性能显著降低^[34];

4) 按照抗腐蚀性能分为: 高抗蚀性(在大气条件下和在海水中抗一般腐蚀性能和抗应力腐蚀性能高)、中等抗蚀性、低抗蚀性。

上述分类方法在很大程度上是有条件的, 因为某些合金根据变形条件和热处理制度的不同可以划分为不同类型。例如, 一次挤压的Д16合金半成品, 淬火和自然时效以后要保持未再结晶组织, 其强度大于 441 MN/m^2 (45 kgf/mm^2), 属于高强度铝合金。但经过二次挤压或用轧制方法生产的Д16合金则具有完全的或者部分的再结晶组织, 其抗拉强度低于 441 MN/m^2 (45 kgf/mm^2), 属于中等强度合金。在淬火和人工时效状态下的AB合金半成品, 其强度高于 294 MN/m^2 (30 kgf/mm^2), 属于中等强度合金, 而在淬火和自然时效状态下, 其抗拉强度低于 294 MN/m^2 (30 kgf/mm^2), 属于低强度铝合金。

还涉及到其它性能(抗蚀性、可焊性)。例如, АМr5和АМr6

合金根据变形条件和最终退火温度的不同，其抗应力腐蚀性能可能有高有低。

虽然有上述的例外情况，但是合金的分类方法仍然可以根据变形和热处理条件、使用性能、使用范围接近的合金分组，合金的分类具有重要的意义。

低强度铝合金（工业纯铝、AM_ц、AM_{г1}、AM_{г2}、AM_{г3}、AM_{г4}）热处理后不强化，其半成品在退火状态下和冷作硬化后使用。某些铝—镁—硅合金，例如 АД31、АД33，也属于低强度铝合金。但是这些合金热处理后强化。这些合金的型材在淬火和人工时效或自然时效后使用。这些合金具有良好的可焊性和高的抗蚀性。上述合金在冷作硬化状态下进行熔焊时，焊缝区和靠近焊缝区的强度明显降低。因此，对于制造等强度的结构来说，焊接区的壁板部分应该加厚。

中等强度的合金可以分为两组：热处理不强化铝合金—AM_{г5}、AM_{г6}、AM_{г6-1}和热处理强化铝合金—AB、Д1、1915、1925、B92、M40、AK4、AK4-1、Д19、Д20。第一组合金的半成品只是在退火状态下使用，具有良好的可焊性和高抗蚀性。第二组合金的半成品在淬火和自然时效或人工时效后使用。该组合金的抗蚀性和可焊性是不同的。铜含量限制在0.1%以下的AB合金、1915和B92合金属于高抗蚀性和可焊性合金，M40合金具有中等抗蚀性和可焊性，而AK、1925和Д1合金的抗蚀性和可焊性则低。

高强度铝合金B93、B95、B96、BAД23、Д16在热处理时可急剧强化。B93、B95、B96、BAД23合金的半成品在淬火和人工时效后使用，而Д16合金半成品通常在淬火和自然时效后使用。这组合金的抗蚀性不高，必须采用专门的保护方法（包铝、阳极氧化、涂油漆层）。B93、B95、B96合金的一般抗蚀性比Д16合金略微高一些。但是Д16合金具有很高的塑性性能和热强性^[84]。

该组合金中的BAД23合金具有最高的热强性。此合金可在

热水（开水）中进行淬火而不降低其机械性能。大大减小半成品中的内应力和消除在机械加工过程中产生变形。此外，BAД23合金在任何半成品中和任何热处理状态下都没有应力腐蚀现象。这是它与Д16和B95合金不同的一个优点。但是BAД23合金也有一系列主要缺点：抗腐蚀性能低（因含铜量高）；在交变载荷作用下具有缺口敏感性；在人工时效状态下塑性低^[34]。此外，该合金铸造工艺性能差，很难生产挤压壁板所需要的大型铸锭。上述情况限制了利用BAД23合金挤压壁板的可能性。

当焊接热处理强化铝合金时，其焊缝和靠近焊缝区的强度大大减弱，其抗蚀性下降。所以这些合金是属于不可焊的。这些合金的结构装配采用铆接，而很少采用螺栓连接^[35, 36]。

B95、Д16以及Д19合金主要用于制造承力结构所需要的壁板。

用B95合金制造的结构可在不超过100℃的温度下长期工作。例如，飞机的蒙皮、桁条、隔框、大梁，建筑上用的铆接承力构架等^[34~37]。

利用Д16合金制造在150℃以下温度长期工作的结构。如飞机蒙皮、桁条、隔框、大梁，建筑上用的承力构架，载重汽车的框架、车身^[34]，铁路车厢的骨架和地板等。

利用Д19合金制造在150~250℃温度下工作的型材结构。Д19合金的大型型材和壁板在淬火和自然时效状态下，与Д16合金不同，它没有晶间腐蚀和腐蚀破裂现象。

Д19合金可用于制造蒙皮、大梁、隔框，在使用时承受剧烈加热的其它结构零件。

AK4-1、AB、AMr5、AMr6合金主要用于制造承受中等负荷结构的壁板；AK4-1和AB合金在淬火和人工时效后使用，AMr5和AMr6合金在退火后使用。可用这些合金制造铁路车厢的框架和车身、焊接油箱（用AMr5和AMr6合金）、建筑物上承受载荷的吊棚、隔板、船舶的甲板、上层建筑和隔板等^[34~37]。

采用淬火和自然时效状态下的AB和AD31合金壁板制造和

装饰民用建筑结构。在这种状态下，上述合金具有高抗蚀性，能很好的抛光和阳极化处理。此外，在个别情况下，利用AMr6和AMr3 合金制造民用建筑结构。

在个别情况下，采用AД1 工业纯铝和AMu合金 壁板制造建筑结构用的装饰部件。

制造壁板所采用的铝合金的化学成分如表 1 所示，其物理性能如表 2 所示。

下面叙述制造壁板所用的主要合金的性能及主要工艺因素对性能的影响。

一、AД1 合金

AД1 合金是含 0.7% 以下杂质的工业纯 铝，其中 主要杂质是铁和硅。铁和硅以及某些其它金属杂质能略微提高强度，但却显著地降低合金的塑性和导电性能⁽⁸⁸⁾。

表 1 制造壁板用铝合金的化学成分（以铝为基）

合金 牌号	主 要 成 分，%									
	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Si	Zn	Ti	Cr	Be
AД1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AMu	—	—	1.0 ~1.6	—	—	—	—	—	—	—
AMr6	—	5.8 ~6.8	0.5 ~0.8	—	—	—	—	0.02 ~0.10	—	0.0002~ 0.005
AД31	—	0.4 ~0.9	—	—	—	0.3 ~0.7	—	—	—	—
AB	0.1 ~0.5	0.45 ~0.90	0.15 ~0.35	—	—	0.5 ~1.2	—	—	—	—
Д16	3.8 ~4.9	1.2 ~1.8	0.3 ~0.9	—	—	—	—	—	—	—
AK4-1	1.9 ~2.5	1.4 ~1.8	—	0.8 ~1.3	0.8 ~1.3	—	—	0.02 ~0.10	—	—
Д19	3.8 ~4.3	1.7 ~2.3	0.5 ~1.0	—	—	—	—	0.02 ~0.10	—	0.0002~ 0.005
B95	1.4 ~2.0	1.8 ~2.8	0.2 ~0.6	0.1	—	—	5.0 ~7.0	—	0.1 ~0.25	—

(续)

合金牌号	杂 质, % (不 大 于)									
	Fe	Si	Cu	Mn	Ni	Zn	Ti	Mg	其它杂质	
									每种	总和
AД1	0.30	0.30	0.05	0.025	—	0.1	0.15	0.05	0.02	0.05
AMu	0.7	0.6	0.2	—	—	0.1	0.2	0.05	0.05	0.1
AMr6	0.4	0.4	0.1	—	—	0.2	—	—	0.05	0.1
AД31	0.5	—	0.1	0.1	—	0.2	0.15	—	0.05	0.1
AB	0.5	—	—	—	—	0.2	0.15	—	0.05	0.1
Д16	0.5	0.5	—	—	0.1	0.3	0.1	—	0.05	0.1
AK4-1	—	0.35	—	0.2	—	0.3	—	—	0.05	0.1
Д19	0.5	0.5	—	—	—	—	—	0.1	0.05	0.1
B95	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	0.05	0.1

工业纯铝在许多介质中都具有高化学稳定性，超过了其它高标准电位的金属。铝的化学稳定性高是因为在铝的表面上产生一层薄而致密的氧化膜。

铝中杂质含量越少（特别是铁和硅），其抗蚀性越高。实际上只有镁和锰不降低铝的抗蚀性^[38]。

AД1 合金的半成品在退火和热挤压状态下供应。但是，不管什么样供应状态，挤压型材的最后加工工序是拉伸矫直，可在辊式矫直机上矫直。矫直时，强度性能略有提高，但塑性剧烈降低。如图 1 所示，以 3 % 的变形率矫直时，抗拉强度和屈服强度分别提高 9.8 和 19.6MN/m²(1 和 2 kgf/mm²)，而伸长率几乎降低到 3 /13。

此外，在冷变形时合金的导电性能^[39]稍有提高。因此在型材性能要求严格时，则需要考虑矫直时上述性能的变化。

表 2 制造壁板用铝合金的物理性能

性 能	合 金 牌 号								
	АД1	АМп	АД31	АВ	АМГ6	АК4-1	Д10	Д16	В95
密 度 g/cm³	2.71	2.73	2.71	2.70	2.64	2.8	2.76	2.78	2.85
在下列温度范围内的热线膨胀系数 (×10 ⁻⁶), °C:	22	21.6	—	—	—	—	—	21.4	22
	24	23.2	23.4	23.5	24.7	19.6	—	22.7	23.1
	24.7	24.3	24.3	24.3	25.8	21.0	—	23.8	24.1
	25.6	25.0	25.8	25.4	26.5	22.0	—	24.7	26.2
	—	—	26.7	—	27.4	—	—	—	—
导热系数, kW/m·°C cal/(cm·s·°C)	2.26	1.80	1.88	1.76	1.17	1.42	1.30	1.17	1.55
	[0.54]	[0.43]	[0.45]	[0.42]	[0.28]	[0.34]	[0.31]	[0.28]	[0.37]
	—	1.80	1.88	1.80	1.20	1.46	1.38	1.30	1.59
	—	[0.43]	[0.45]	[0.43]	[0.29]	[0.35]	[0.33]	[0.31]	[0.38]
	—	1.80	1.88	1.84	1.25	1.50	1.50	1.46	1.63
比导电阻, 与纯铜导电率之百分比, %	—	[0.43]	[0.45]	[0.44]	[0.30]	[0.36]	[0.36]	[0.35]	[0.39]
	—	1.84	1.88	1.88	1.30	1.59	1.72	1.63	1.63
	—	[0.44]	[0.45]	[0.45]	[0.31]	[0.38]	[0.41]	[0.39]	[0.39]
	—	1.88	1.88	—	1.38	1.63	—	—	1.59
	—	[0.45]	[0.45]	[0.45]	[0.33]	[0.39]	—	—	[0.38]
比电阻率, 欧姆·毫米²/米	59	50	—	45	27	—	—	30	—
	—	—	0.344	0.037	0.0673	0.055	0.061	0.0476	0.042
	0.945	1.085	0.92	0.795	0.92	0.795	0.880	0.795	—
	[0.266]	[0.26]	[0.22]	[0.19]	[0.22]	[0.19]	[0.21]	[0.22]	—
	—	1.165	0.965	0.880	1.005	0.840	0.965	1.045	—
比热, kJ/°C cal/(g·°C)	—	[0.28]	[0.231]	[0.21]	[0.24]	[0.20]	[0.23]	[0.25]	—
	—	1.285	1.005	0.965	1.045	0.925	1.045	1.130	—
	—	[0.31]	[0.24]	[0.23]	[0.25]	[0.22]	[0.25]	[0.27]	—
	—	1.285	1.045	1.085	1.085	0.965	1.085	—	—
	—	[0.31]	[0.25]	[0.26]	[0.26]	[0.23]	[0.26]	—	—