

美国波音飞机公司

金属材料手册



国外航空编辑部

1977.5

国外航空技术专题资料
美国波音飞机公司
金属材料手册

•
国外航空编辑部
北京市1652号信箱
内部发行

1977年5月 编号：(外)81

1.00元



美国波音飞机公司

金属材料手册

目 录

21.1 引言	1
21.11 材料的技术条件	1
21.12 技术条件索引	1
21.2 通用资料	2
21.21 参见波音公司的技术条件和文件	2
21.22 金属材料的物理性能	2
21.23 应力腐蚀裂纹	2
21.24 标识锻件和标识零件的控制及图纸要求	5
21.3 设计和使用资料	8
21.31 铝及其合金	8
21.32 镁及其合金 (原文缺)	
21.33 合金钢	49
21.34 钛	67
21.35 铜及其合金	81

第21章 合金材料

21.1 引言

本章讲述金属材料。内容包括每种材料的应用范围、各材料的试验和热处理以及图纸中对材料所提出之各种技术要求的一系列的相应图表。图表 21.3143 到 21.3193 用于铝，21.326 用于镁，21.3323 到 21.3342 用于钢，21.349 用于钛，21.355 用于铜，以上的图表均包括有公司的容许设计值，但另有注明者除外。

这些要求适用于根据生产定型图纸设计的所有金属零件，其中既包括波音公司设计的，也包括供货方设计的（供货方的“10号零件”除外）。

21.11 材料的技术条件

A. 材料的技术条件和工艺文件是控制材料和成品件质量的。大部分标准材料均包括在一种或多种这种技术条件中。关于这些材料标准的详述见 PM 94 第 10 节。

B. 经双方同意，凡是未包括在技术条件号中的商用材料，均要标明通用的商品名称，同时还要注明材料制造商的名称和地址；可能的话，对于结构材料还应给出化学成分或以其他方式给以完整的标记。至于一些不包括在技术条件中的其它材料的选用，则需要取得材料工艺部门的同意。

C. BAC 5005 “代用材料和同类材料的技术条件”中列出了不需经技术审定或图纸更改而能确定的材料代用范围。在 BAC 5005 中所给出之代用材料不列入图纸。

D. 为了查出不包括在第 21 章中的有关材料的图纸要求数据，参见 DM 81 第 23 节。

21.12 技术条件索引

- A. 国防部技术条件和标准目录；
- B. NASA（美国国家航空及宇宙航行局）技术条件、标准和工艺程序索引；
- C. 海军档案局技术条件和标准目录；
- D. NASA 技术标准手册；
- E. 美国材料及试验学会标准索引；
- F. 宇航材料技术条件。SAE（美国自动车工程师学会）索引；
- G. 包括有标准件设计数据、材料和工艺过程的 BAC 标准、技术条件、工艺规范及手册。

1. BAC 标准(D-590)，即 BAC R15 AY；
2. 波音公司材料技术条件 (D-18888)，即 BMS 7-10；
3. 波音公司工艺规程 (D-18888)，即 BAC 5004；
4. 波音公司工艺文件，即 D-13169；
5. 设计手册 D-5000，第 81、82、84、和 86 B 1 卷；
6. 工艺程序、手册 D-4900，第 94 卷；

21.2 通用资料

21.21 参见波音公司的技术条件和文件

除联邦政府的技术条件以外, 还有波音公司的各种工艺规程和文件通常也都列在图纸上。

21.211 一般检验

D-10875 铝合金锻件的检验;

D-13169 铸件的检验;

D-15391 钢模锻件横向机械性能的检验程序;

D6-1276 标识零件 (锻件和机械加工件) 的生产;

D6-17781 标识零件 (锻件除外) 的材料和性能鉴定。

21.212 非破坏性试验

非破坏性试验方法用以测定材料有无缺陷。图纸上对于非破坏性试验的要求和项目均列于 DM 81 第 20 节中。

21.213 热处理-参见波音公司的工艺规程

BAC5602 铝合金的热处理;

BAC5611 铜及铜合金的热处理;

BAC5613 钛及钛合金的热处理;

BAC5616 镍基和钴基超级合金的热处理;

BAC5617 合金钢的热处理;

BAC5618 合金钢的碳化和氮化;

BAC5619 抗腐蚀钢的热处理;

BAC5620 航空钢的感应热处理。

21.22 金属材料的物理性能

为了进行比较, 在表 21.22-1 中列出了所选用之金属和非金属材料的物理性能。没有列出特种合金的性能。有关特种合金的数据可查看文件 D-16103-1。室温机械性能列述于 21.3 节中。关于高温应用, 需要查阅 DM 第 84 卷和咨询材料工艺部门。

21.23 应力腐蚀裂纹

应力腐蚀裂纹是当金属存在拉应力时由于受腐蚀环境的影响而在金属中所产生的一种延迟破裂现象。所有的金属合金, 尤其是高强度铝合金及合金钢, 均对应力腐蚀裂纹具有不同程度的敏感性; 当设计、加工、合金选择和防护处理的当时, 应力腐蚀裂纹是能够防止的。

21.232 影响因素

A. 应力: 所存留的拉应力会加速应力腐蚀裂纹; 压应力可使应力腐蚀裂纹延缓。拉应力一般是由于热处理、成形、焊接、装配或不同心度的结果而造成的。这些拉应力能够达到如此大的数值, 以致在无外加应力的情况下就足以能够引起应力腐蚀裂纹 (见表 21.232-1)。

表 21.22-1

所选用之工业用纯元素、金属材料及陶瓷的物理性能

材 料	比热(英制 电热量单 位/并/°F @68°F)	熔点 (°F)	沸点 (°F)	溶解热 (英制 热量单 位/磅)	导热系数		热膨胀 系数 (微时/ 时/°F)	音 速 (呎/ 秒)	磁化率 (10 ⁻⁶ 电磁单 位)	电阻系 数(微 欧/厘 米)	弹性张力 模量 (10 ⁶ 磅/ 时 ²)	密度# /时 ³ @ 68°F
					K	10 ⁻⁶ 英制热量单位·时 时 ² ·秒 ² ·F @75°F						
铝	0.22	1220	4440	170		3040	13.1	16740	0.65	2.65	9	0.096
铍	0.45	2332	5020	470		2460	6.4	—	-1.0	4	42	0.067
碳化硼	0.23	—	—	—		370	1.73	—	—	—	42	0.090
铬	0.11	3407	4830	173		1270	3.4	—	3.49	12.9	36	0.260
钴	0.10	2723	5250	105		925	7.7	15500	—	6.24	30	0.322
铌	0.065	4474	8900	124		603	4.1	—	1.5	13.4	—	0.310
铜	0.092	1981	4700	19		5430	9.2	11670	-0.086	1.67	16	0.324
金	0.031	1940	5380	90		4000	7.9	6890	-0.15	2.35	11.6	0.698
石墨	0.17	6740	8730	—		1800	1.15	—	-3.5	78	0.7	0.021
Inconel	0.109	2600	—	—		200	6.4	—	—	98.1	—	0.300
铁	0.11	2798	5330	118		946	6.5	16410	—	9.71	28.5	0.284
铅	0.031	620	3140	11.3		392	16.3	4026	—	20.65	2	0.410
低合金钢	0.13	2740	—	—		630	—	—	—	—	29	0.280
镁	0.25	1202	2025	158		2100	15	15100	1.550	4.45	6.35	0.063
锰	0.115	2273	3900	115		—	12.2	—	9.9	185	23	0.270
汞	0.033	-37	645	5.0		—	—	—	—	—	—	0.490
钼	0.066	4730	10040	126		1835	2.7	—	0.04	5.9	47	0.369
Monel	0.127	2400	—	—		390	7.8	—	—	48.2	18.5	0.310
镍	0.11	2847	4950	133		873	7.4	16320	—	6.84	30	0.322
铈	0.059	3571	8130	—		1160	4.6	—	1.11	4.51	42.5	0.447
碳化硅	0.31	4710	—	—		390	1.95	—	—	—	—	0.100
银	0.056	1761	4010	45		5600	10.9	8553	-0.20	1.59	11	0.379
不锈钢	0.125	2650	—	—		350	-9.0	—	—	—	29	—
钽	0.034	5425	9800	68		774	3.6	—	0.87	12.5	27	0.600
锡	0.054	449	4120	26		879	13.0	8200	—	71.5	6.3	0.263
钛	0.124	3035	5900	188		230	4.7	—	1.25	42	16.8	0.163
钨	0.33	6170	10710	70		2100	2.6	—	0.28	5.5	50	0.700
碳化钨	—	5190	—	—		880	6	—	—	—	102	0.697
钒	0.12	3450	6150	—		400	4.6	—	1.4	26	19	0.220
锌	0.09	787	1660	43		1512	22	12140	-0.157	5.9	●	0.258
锆	0.67	3366	6470	110		290	3.2	—	-0.45	40	13.7	0.234
碳化锆	—	6370	—	—		280	—	—	—	63	—	0.220

● 锌的弹性模量不明确规定

B. 腐蚀环境：应力腐蚀裂纹的产生并不需要广泛的非表面的腐蚀。在恶劣的环境中会很快出现裂纹，但温和的环境比如潮湿的大气也能够引起应力腐蚀裂纹的产生。

C. 截面的几何形状：由厚截面加工的零件比由薄截面加工的零件对应力腐蚀裂纹较为敏感。厚截面的中心部分对应力腐蚀裂纹一般比表层更为敏感，任何时候都要避免对厚截面进行广深的机械加工，因为这关系到应力腐蚀裂纹问题。

D. 流线方向：短横向的流线方向对应力腐蚀最为敏感，而纵向的流线方向对应力腐蚀的敏感性则最小。流线方向乃是影响抗应力腐蚀能力的较重要的因素（与应力值有关）之一（见表 21.232-2）。

表 21.232-1

不同产品支承面在综合考虑工作应力、装配应力和残余应力情况下的拉伸应力极限

形式	流线方向	F_{ly} %		合金和状态	
		极限应力	最大承受应力		
铝合金					
薄板	纵向 长横向	100	50	2014-T4, -T6, -T451, -T651 2024-T3, -T4, -T42 -T351, -T3511 7075-T6, -T651, -T6511 -T652 7178-T6, -T651, -T6511	
		75	38		
厚板	纵向 长横向 短横向	75	38		
		50	25		
		12	6		
锻件 挤压件	纵向 长横向 短横向	75	38		
		25	13		
		12	6		
全部	全部	75	38	2024-T81, -T851, -T851170 75-T73, -T7351, -T7352, -T73511, 7049T73	
		56	28	7175-T736	
铸件	全部	近似值 = F_{ly}	45	355-T6, 356-T5, -T6 C355-T61, A356-T61357-T61, A360-F, 380-F	
镁合金					
薄板 厚板 棒 锻件 浪压件	全部	25	13	全部	
铸件	—	25	13	全部	
合金钢					
全部	纵向	200- KS1	90	45	4330M, 4335M, 4340, 4340M, H-11
		200- 240 KS1	75	38	
		260 KS1	55	27	
	长横向	75	38		
		60	30		
	短横向	30	15		
		75	38		
	50	25			
	25	13			

E. 材料和产品的形式：根据合金和状态的不同，在对应力腐蚀裂纹的敏感性方面差异是很大的。一般，锻件和挤压件比板材较为敏感；铝铸件抗应力腐蚀的能力则相当强。

注：至于这方面的更详尽资料，请参阅 D6-15858 TN“应力腐蚀裂纹”。

21.233 设计考虑

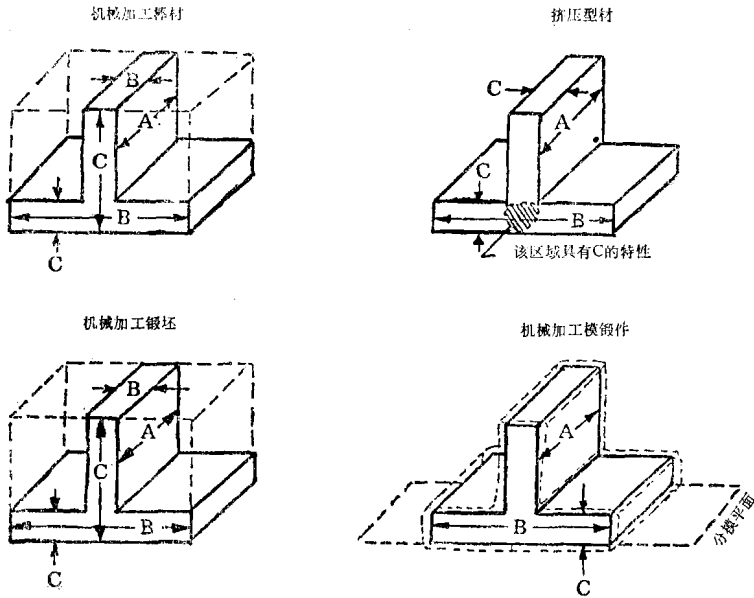
A. 应对支承表面拉应力进行调节（即压入配合等。见 DM81 第 598.08 节“关于用垫片的调节”）。列于表 21.232-1 中的最大表面拉应力应视为极限值。

B. 当残余应力可以预见时，下列的建议措施将会减少应力腐蚀裂纹的可能性。

铝：

1. 选用能够提供良好抗应力腐蚀裂纹能力的状态，7075-T73、7049-T73 或 7175-T736 规定用于锻件，7075-T73511 用于挤压件，7075-T7351 用于厚板、棒材及杆材。

由各种加工方法所引起的流线方向的例子



A = 纵向……抗应力腐蚀性能好
 B = 长横向……抗应力腐蚀性能较好
 C = 短横向……抗应力腐蚀性能差

2. 当 7075-T73 系列的铝合金不能选用时, 可选用机械性能几乎与 7079-T6 等相的 7049-T73 或者具有较高特殊机械性能的 7175-T 736。

铝和钢:

1. 专门规定热处理前进行粗加工, 使由于加工而造成的残余应力减至最小值。粗加工后的尺寸应尽可能接近成品尺寸, 最好留小于 0.125 吋的加工余量。

2. 要按照由于机械加工而显露出最小量的横截面流线末端 (短横向流线方向) 的原则设计零件。

3. 模锻件的设计应尽可能接近零件的最终外形, 以使机械加工量最小。

4. 设计零件时应充分利用纵向流线方向所固有的抗应力腐蚀能力。

5. 采用喷丸强化以获得有益的压应力 (见 DM 81, 第 35 节)。孔必须进行喷丸强化处理。

6. 选用适当的防护处理 (见 DM 81, 第 14 节)。

7. 采用真空熔炼钢。

C. 通过以下方法使组装件的装配应力减至最小值:

1. 必要时用薄垫片进行调节, 并在图纸上予以注明 (见 DM 81, 第 8.08 节)。

2. 要求给出组件的适当公差, 以减小不同心度。在装配件上钻固定孔;

3. 凡是采用压配合的地方应尽量减小公盈。可能的话也可采用其它的固定方法。

21.24 标识锻件和标识零件的控制及图纸要求

21.241 按 D6-1276 控制的标识锻造零件

21.2411 定义

- A. 由于代用而导致极高的装配费用的零件，如隔框、垂直安定面与机身的接头件等。
- B. 由于破裂而引起飞机损失或飞机严重破坏的零件。

21.2412 目的

通过对锻造和随后的工艺连续控制保证所选用的锻件具有最大同一性。

21.2413 控制

- A. 从首批锻件中取一个锻件进行冶金分析。
 - B. 分析锻件供货方的生产计划。
 - C. 分析机械加工件供货方（转订合同或波音公司）的生产计划。
- 由波音商用飞机分部，材料工艺机构负责控制。

21.2414 零件的选择

A. 由 D6-1276 所控制的零件（锻件和机械加工件）的选择，是由设计（结构）和强度工程师在材料工艺部门的冶金师协助下根据 21.2411 决定。对于由 D6-1276 所控制之锻件的机械加工件也要由 D6-1276 控制。

- B. 锻件兰图必须发到材料工艺部门，以便给宏观组织磨片和拉力试块确定位置。
- C. 材料工艺部门还应协助计划和安排锻件及其机械加工件上锻件序号的标志部位。
- D. 凡是由 D6-1276 所控制的不能用来满足生产要求的锻件和由锻坯、自由锻件、厚板或棒材机械加工的零件，则机械加工件必须按 D6-1276 控制。见 21.2415 (d) 中注释。

21.2415 图纸要求

由 D6-1276 控制的所有“标识零件”的图纸应包括如下特殊图注。D6-1276 的要求在 PM 94 的材料表中也应有说明。

- A. 锻造和机械加工图纸都应有关于 D6-1276 总的注释。
- B. 所有锻造的、并经过机械加工的零件应编有锻件序号。在图纸上必须注出准备打锻件序号钢印的地方（凸台上或受力低的地方），并应严格注意其位置，以便不损坏成品零件的完整性。
- C. 所有的锻件应有锻件图所规定的宏观组织磨片（用于检查流线方向）和拉伸试块位置。这些磨片和试块位置需要标出尺寸。每一磨片和试块都有适当的旗号注。

D. 图注

铝

锻件图纸

- 必须按 D6-1276 生产锻件；
- 检查流线方向的宏观组织磨片，按 D6-1276；
- 机械性能试块，按 D6-1276；
- 按 BAC 5307 打上或用振动刻印法刻上锻件序号，只能在此部位内。

机械加工零件图纸

- 必须按 D6-1276 生产机械加工零件；
- 按 BAC-5307 打上锻件序号，只能在此部位内。

钢

锻件图纸

○ 必须按 D6-1276 生产锻件；

○ 按美国(联邦)试验标准 NO.151 的 211.1 方法,用试样 R3,检查首批生产炉次的锻件中一个锻件的机械性能。试样热处理到 $x \times x$, $x \times x - x \times x$, $x \times x$ 磅/吋², 最小断面收缩率应为 $x \times \%$ 。

○ 根据 D6-1276 的要求所规定的供流线方向审定用的宏观组织磨片,应从用空气熔炼法生产的低碳钢锻件(用真空熔炼锻件所用的标准生产程序进行生产的)中选取；

○ 按 BAC-5307 打上锻件序号,只能在此部位内。

机械加工零件图纸

○ 必须按 D6-1276 生产机械加工零件；

○ 按 BAC-5307 打上锻件序号钢印,只能在此部位内。

钛

锻件图纸

○ 必须按 D6-1276 生产锻件；

○ 按 BAC-5307 打上锻件序号钢印,只能在此部位内。

○ 检查流线方向的宏观组织磨片,按 D6-1276；

○ 按美国(联邦)试验标准 NO 151 的 211.1 方法,用试样 R3,在首批生产的锻件中检查一个经粗加工(按标准生产程序)、固溶处理和时效处理锻件的机械性能。其最小的机械性能应按○。

机械加工零件图纸

○ 必须按 D6-1276 生产机械加工零件；

○ 按 BAC-5307 打上锻件序号钢印,只能在此部位内。

21.242 由 D6-17781 控制的其他标识零件

21.2421 定义

A. 由于更换零件将导致很高的装配费用的零件；

B. 由于零件的故障将引起飞机失事或严重损坏的零件。

21.2422 目的

通过对加工程序的不断控制来保证所选择零件有最大的同一性。

21.2423 控制

A. 在规定的时间内,根据材料工艺部门的计划,在首批生产的零件中进行材料分析；

B. 分析生产计划。

由波音公司民用飞机分部、材料工艺部门负责控制。

21.2424 零件选择

由 D6-17781 所控制的零件的选择,应由设计和强度工程师在材料工艺部门的协助下,根据第 21.2421 节确定。

21.2425 图纸要求

由 D6-17781 所控制的全部“标识零件”的图纸应包括如下特殊图注。

○ 需按 D6-17781 的要求鉴定材料。

21.3 设计和使用资料

21.30 有毒材料

21.301 水银

注意：水银及其蒸气可以引起结构合金的严重的液态金属脆化。

助长水银脆化的条件：与水银的接触、拉应力（施加的或残余的）和时间。在这些条件的某种结合的情况下，则破坏几乎会立即发生。

当铝合金处于水银和湿气同时存在的场合时，也容易受到迅速、严重的腐蚀。

切忌不可把任何含有水银或水银蒸汽的装置放入铝、钛结构飞行器所用任何部件的设计中去。

水银能够危害人的身体健康。

除非水银及其蒸汽的存在对人的健康和引起结构脆化的危害是在规定之内，否则含有水银及其蒸汽的装置在任何场合应不采用。除了铝和钛合金以外，水银亦能腐蚀其他合金并使之脆化。

关于这方面的更多资料，可查阅适当的工业危害控制通报和操作规程或认询材料工艺部门。

21.31 铝及其合金

铝及其合金具有优越的强度重量比、抗腐蚀性能、很好的导热和导电性以及高的反射率等特性。此外，这些合金无磁、无毒、和其他金属相击不产生火花，大多数变形铝合金易于加工，并且能容易切削、拉制、锻造和成形。许多铸造铝合金可用于砂型铸造、永久铸型铸造和压力铸造。铝合金的物理性能列于图 21.31-1。

铝 合 金 的 物 理 性 能												
合 金	2014	2024	2219	3003	5052	6061	7049	7075	7175	7178	355 C 355	356 A 356
密度(在68°F)磅/时 ³	0.101	0.100	0.102	0.099	0.097	0.098	0.102	0.101	0.101	0.102	0.098	0.097
比热(在212°F)BTU/磅/°F	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
导热系数(在77°F) BTU/呎 ² /呎/小时/°F	90	70	T4-65 T6-65 0-98	H14 -83 H-18 -89	80	T4-90 T6-76 0-90	89	-T6X 76 -T73 90	-T736 90	72	88	88
热膨胀系数(68°~212°F) 10 ⁻⁶ /时/时/°F	12.5	12.6	12.4	13.3	13.2	13.0	13.0	12.9	12.9	13.0	12.4	11.9

图表 21.31-1

注 除了内部装饰附属物或其他非结构用途外，可热处理合金所制零件不可在“O”状态进行装配和应用。

231.11 材料标识

主要变形铝合金分类列入表 21.311-1，关于四位数识别法的补充资料可查阅 MIL-STD-192。

变 形 铝 合 金 分 类		
铝	99% 以上或99% 以下	1XXX
以主要合金元素分类的铝合金	主要合金元素	
	铜	2
	锰	3
	硅	4
	镁	5
	镁和硅	6
	锌	7
	其他元素	8
未曾用的系列		9

图表 21.311-1

关于铸造铝合金的识别没有特殊的标识法，典型的铸造铝合金标识是 356-T6, A 356-T 61, 360-F 等。

21.312 状态标识

用于铝和铝合金的有四种基本状态。它们是：-O 表示退火；-F 表示加工；-H 表示变形硬化；-T 表示热处理。除此之外，符号-W 表示类淬火时效状态，并在固溶热处理和人工或自然时效之间周期的时间内应用于所有可热处理的材料（举例：2024 要求 96 小时自然时效以达-T4 状态）。最常用的变形处理或热处理的方法列入以下章节。补充资料见 MIL-STD-192。合金状态的标识是放在合金标识的四位数之后，并由破折号隔开，如 2024-T6。

A. -O 表示退火。变形铝合金的最软状态。

B. -F 表示加工。加工之后不进行热处理、退火或变形硬化。

C. -H 表示变形硬化。（仅指变形制品）这应用于通过变形硬化来增加强度的产品。-H 后面也允许是二位数或有时是三位数。第一位数表示基本的工序或联合工序，如下所述：

-H1 仅表示变形硬化，只用于变形硬化，而不要求补充热处理的制品。

-H 111 用于变形硬化低于 H 11 状态所控制的要求量的制品。例如：5456-H 111 轧制变厚度的薄板，在矫平的时候才会有变形硬化，而材料的硬度比-O 状态时稍硬些。

-H2 表示变形硬化和局部退火。用于先硬化超过所需值，然后通过局部退火去降低强度到所需值的制品。

-H3 表示变形硬化和稳定处理。用于先变形硬化，然后通过低温加热稳定处理以增加韧性和防止应力腐蚀的制品（仅用于含镁的合金）。

第二位数表示变形硬化的最后程度，当变形硬化时由第二位数字 1-8 号规定硬度增加的程度，举例如下：

- H14 表示变形硬化到 1/2 硬
- H16 表示变形硬化到 3/4 硬
- H28 表示变形硬化全硬
- H14 表示变形硬化和局部退火到 1/2 硬。

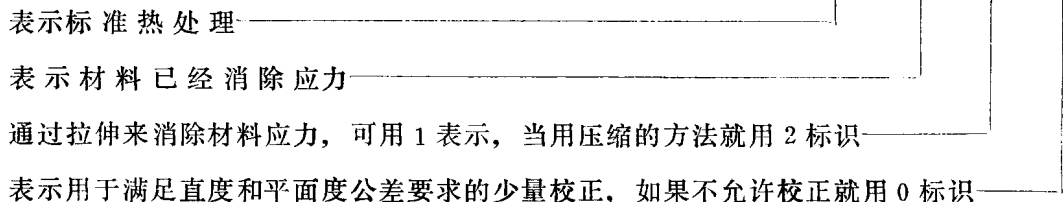
如果采用第三位时则表示状态有所不同，但在它所加的二位数所标识的状态范围内。

D. -T表示热处理。应用于要求或者不要求补充应变硬化以便稳定硬化的热处理制品。-T 后面有一位数或多位数字表示特殊热处理。新的 MIL-STD-192 状态标识适用于经热处理和消除应力的厚板、杆材、棒材、挤压型材和锻件。厚板、棒材和挤压件在固溶热处理后，但在时效前通过拉伸来消除应力。简单模锻件都依靠压缩变形来消除应力，这两种工序所降低了的翘曲度，比由通常热处理所引起的翘曲度小。

标识方法举例说明如下：

1. 把通过拉伸来消除应力的-T6 厚板和轧制棒材标识规定为-T651。
2. 把通过压缩来消除应力的-T6 锻件标识规定为-T652。
3. 把通过拉伸来消除应力的-T6 挤压棒材、杆材和型材标识解释为：

-T6 5 1 1



通常专用热处理标识如下：

-T2：退火，仅用于铸造制品。

-T3：固溶热处理，然后冷作硬化。适用于那些在现行技术条件承认具有拉伸校平或矫正效应的材料，只有供货厂提供的材料可有这种状态。在完全自然时效后室温下铆接的铆钉除外。

-T31：固溶热处理，然后通过矫平拉伸来进行冷作硬化。应用于按 MIL-A-8920 所规定的 2219 薄板和厚板。也应用于在固溶热处理或冷贮存后，以冷态下立即铆接的铆钉。2024 铆钉是一种典型的应用。

-T351：固溶热处理，并通过拉伸消除应力。这种状态与-T4状态相当。它应用于按 MIL-A-8920 的 2024 厚板和轧制棒材和 2219 厚板。

-T3511：固溶热处理，通过拉伸来消除应力，并允许略加矫直。这种状态与-T4状态

相当。它应用于 2024 挤压型材。

-T36：固溶热处理，然后通过 6% 的变形程度来冷作硬化。应用于 2024 薄板和厚板。

-T37：固溶热处理，然后通过 8% 的变形程度来冷作硬化。应用于 2219 薄板和厚板。

-T4：固溶热处理和自然时效到基本稳定状态。应用于固溶热处理后不需要冷作硬化的制品。也应用于供货方的和波音公司固溶热处理的材料。2014、2024 以及只有通过机械热处理（变形后立即淬火-译校者）获得优良特性的 6061 厚板和挤压型材除外。

-T42：由用户进行固溶热处理和自然时效到基本稳定的状态，用于由波音公司从退火状态进行热处理的 2014-0、2024-0 和 6061-0 薄板、厚板、棒材和挤压型材。也适用于由用户已重复热处理过的 2014、2024 和 6061 的热处理形式。

-T411：供锻件作超声检验用的特种热工艺。它仅用于 7000 系列合金，是在热处理到所要求的状态之前采用。（注：这种工艺并非为最终热处理或最终热处理前的中间热处理。）

-T451：固溶热处理，通过拉伸来消除应力。这种状态与-T4 状态相当。它应用于厚板，轧制棒材，但 2024 和 2219 除外。

-T4511：固溶热处理，通过拉伸来消除应力，允许略加矫直。这种状态与-T4 状态相当。它应用于所有挤压型材，但 2024 和 2219 除外。

-T5：仅人工时效。应用于高温下迅速冷却的加工工艺之后才进行人工时效的制品。

-T51：人工时效或不需要先行固溶热处理的稳定处理。举例：356-T51。

-T6：固溶热处理并随后人工时效，冷作硬化所产生的影响不大。对于大多数材料，把-W和-T4状态进行人工时效到-T6。

-T61：固溶热处理并随后人工时效，用于接受沸水淬火以避免内部淬火应力的锻件。

与有关使用这种状态的材料工艺部门协商。也适用于固溶热处理和人工时效需多次时效的特殊合金铸件。

-T611：固溶热处理和人工时效。仅应用于在 175 °-185 °F 水中淬火的 7079 锻件。

-T62：由用户固溶热处理和随后人工时效。应用于 2014 和 2024 合金，或由用户已热处理和时效的任何状态，且该状态获得的机械性能不同于-T6 状态的机械性能。

-T651：固溶热处理。通过拉伸来消除应力和人工时效。这种状态与-T6 状态相当。它应用于厚板和轧制棒材，但 2219 合金除外。

-T6510：固溶热处理。通过拉伸来消除应力和人工时效（时效后不需人工矫直）这种状态用于挤压的棒材、杆材和型材，但 2024 合金除外。

-T6511：固溶热处理，通过拉伸来消除应力，人工时效略加矫直。这种状态与-T6 状态相当。它应用于挤压的棒材、杆材和型材，但 2024 合金除外。

-T652：固溶热处理。通过压缩变形来消除应力，人工时效。这种状态与-T6 状态相当。它应用于自由锻造的正方块、矩形块和简单形状的模锻件，但 2219 除外。

-T7: 固溶热处理并随后稳定处理。用于稳定处理后使硬度降到最大硬度值以下的制品, 以便能够控制应力增长或者控制残余应力。

-T73: 固溶热处理和特殊人工时效。这种状态应用于已经特殊时效处理而使之具有抗应力腐蚀破裂性能的 7049 和 7075 合金。

-T 7352: 固溶热处理和特殊人工时效。这种状态应用于 7075 合金锻件。这些合金锻件已经压缩来消除应力和特殊时效处理, 从而使材料具有抗应力腐蚀破裂的能力。

-T 7351: 固溶热处理。通过拉伸来消除应力, 并特殊人工时效。这种状态应用于 7075 合金的杆材、棒材和厚板。这些制品已经供货方特殊时效处理, 从而使合金具有抗应力腐蚀破裂的能力。相当于-T 73。

-T73511: 固溶热处理。通过拉伸来消除应力和特殊人工时效。这种状态应用于 7075 合金挤压型材, 这些挤压型材已经特殊时效处理, 从而使合金具备抗应力腐蚀破裂的能力; 相当于-T 73。

-T 736: 固溶热处理和特殊人工时效。这种状态应用于 7175 合金, 这些合金已经特殊时效处理, 从而具有高的性能和抗应力腐蚀破裂能力。

-T8: 固溶热处理, 冷作硬化, 并随后人工时效。应用于冷作硬化以提高强度的制品, 或者应用于那些通过矫平或矫直所致冷作硬化效应在飞行技术条件得到认可的制品。

-T 81: 固溶热处理, 冷作硬化, 然后人工时效。例如: 2024 -T3 人工时效到 2024 -T 81。

-T 851: 固溶热处理, 通过拉伸来消除应力, 人工时效。这种状态相当于-T 81 状态。它应用于厚板, 轧制棒材和杆材, 2024 -T851。

-T8511: 固溶热处理。通过拉伸来消除应力, 人工时效。应用于 2024 挤压型材和 2219。2024 -T3511 人工时效到 2024 -T 8511。

-T 86: 固溶热处理, 减少 6% 厚度的冷作硬化, 然后人工时效。应用于 2024 薄板和厚板。2024 -T 36 人工时效到 2024 -T 86。

-T 87: 固溶热处理, 减少 8% 厚度的冷作硬化, 然后人工时效。应用于 2219 薄板和厚板。2219-T 37 人工时效到 2219-T 87。

-T9: 固溶热处理, 人工时效, 然后冷作硬化。应用于通过冷作硬化来提高强度的制品。

-T 10: 人工时效并随后冷作硬化。应用于从高温迅速冷却的加工工艺 (诸如: 铸造或挤压) 之后进行人工时效, 然后冷作硬化以提高强度的制品。

21.3121 热处理流程图表

图 21.3121-1~21.312-4 示出常规处理过程以取得四种普通铝合金的各种状态。对于成形后要求处理 (热处理, 人工时效) 的零件, 其所用材料应在这些处理过程完成之前供货。如果由于成形需要, 必须退火的话, 通常不应以-T_c或T_c状态供货。然而对挤压件在-O 状态这个问题应予注意。因为以后热处理会降低性能。某些中间成形工序能在热处理状态下按BAC5300 完成 (见DM81.1 节和 2 节)。这些图表是为了帮助选择最好的供应条件而设计的, 以便最后产生出成本最低的零件。其它情况可谘询工艺材料部门。

表 21.3121-1

