

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 591—202×
代替 YS/T 591-2017

变形铝及铝合金热处理

Heat treatment of wrought aluminium and aluminium alloys

(讨论稿 2024. 1. 5)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替YS/T 591-2017《变形铝及铝合金热处理》。与YS/T 591-2017相比，除结构调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 增加了GB/T 32541文件引用（见第2章）；
- 增加了设备鉴定认证的要求（见3.1.6）；
- 增加了2195、2198、2524厚板、5A90、6020、6056、6066板材、6008、6026、6060、7019、7049、7149、7B04共14个合金牌号的固溶工艺要求（见4.2.2.1，表2）；
- 提高了7075轧制环、7075模锻件及自由锻件、6063挤压件的固溶温度上限（见4.2.2.1，表2）；
- 增加了固溶保温时间的注解说明（见4.2.2.2，表3）；
- 增加了固溶保温滞后时间的要求（见4.2.2.3）；
- 增加了5A90淬火介质要求（见4.3.1）；
- 增加了淬火水温的工艺要求（见4.3.2.1.1）；
- 增加了2A11、2A12、2B06、6061、6063、6082、7A04、7B04气垫炉连续淬火工艺要求（见4.3.2.3，表6）；
- 增加了201、6026、6008、6060、6110A、6082、6A02挤压件、2195、5A90、5A90、6A11、6020、6056、7B04锻件和板材、7A62合金的单级时效工艺要求（见4.4.1，表7）；
- 增加了6056、7003、7005挤压件，7049-W51中厚板材、7A62轧环和自由锻件、7A85锻件的双级时效工艺要求（见4.4.2，表8）；
- 增加了1100、1200、1035、1050A、1060、1070A、2014、2017、2117、2219、2024、2A01、2A02、2A04、2A06、2B06、2A10、2A11、2B11、2A12、2B12、2D12、2A14、2A16、2A17、2A50、2B50、2A70、2D70、2A80、2A90、3004、3105、3A21、5005、5050、5052、5652、5154、5254、5454、5056、5456、5457、5083、5086、5A01、5A02、5A03、5A05、5B05、5A06、6005、6053、6061、6063、6066、6A02、7001、7075、7175、7178、7A03、7A04、7A09、7A19、7A33、8A06不完全退火要求；增加了2024、2B06、2D12、2D70、5B02、5052、5083、7B04、7A19、7A33、8A06完全退火要求（见4.5，表9）。
- 增加了1050、1100、1235、2011、2A11、2A12、2014、2A14、2017、2024、2A50、2A04、2A06、2A10、2A50、2B50、2219、2A16、2A70、2A80、2A90、4A11、4032、2618、2618A、2218、3003、3E03、3005、3A06、3A21、3004、5083、5A02、5A03、5A05、5A06、5B06、5A41、5056、5086、5183、5456、5754、5A12、5A13、5A33、5754、5A03、5454、6005、6005A、6061、6063、6082、6A11、7049、7005、7075、7A03、7A04、7A09、7020、7A05、7A52、7475、7A10、7A15、8021、8079共计70个合金均匀化工艺（见4.6）；
- 增加了电导率测试点和波动的要求（见6.3.1，表11注解C）；
- 修改了记录保管年限（见6.6）；
- 增加人员要求（见第7章）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

YS/T 591—202x

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本标准起草单位：东北轻合金有限责任公司、XXX、

本标准主要起草人：XXX、

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2006年首次发布为YS/T 591-2006，2017年第一次修订；

——本次为第二次修订。

变形铝及铝合金热处理

1 范围

本文件规定了变形铝及铝合金热处理的设备、热处理工艺和质量保证、人员要求。
本文件适用于变形铝及铝合金加工产品的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 231.1 金属材料布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 3246.1 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第1部分：显微组织检验方法
- GB/T 7998 铝合金晶间腐蚀测定方法
- GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法
- GB/T 12966 铝合金电导率涡流测试方法
- GB/T 16475 变形铝及铝合金状态代号
- GB/T 16865 变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法
- GB/T 8005.1 铝及铝合金术语 第1部分：产品及加工处理工艺
- GB/T 32541 热处理质量控制体系
- YS/T 876 铝合金挤压在线固溶热处理规范

3 设备

3.1 基本要求

- 3.1.1 所有热处理设备都应配有符合工艺控制要求的温度、时间控制装置及记录仪，记录仪应能正确反映温度、时间控制情况，并可存贮以备查阅。
- 3.1.2 应保证仪表的精确度，并进行定期检定或校准。
- 3.1.3 传感器的位置应由热处理炉的特性决定，并置于能够准确测量产品和加热介质温度的位置。
- 3.1.4 淬火设备和装卸装备的安装位置，应保证淬火转移时间符合要求。
- 3.1.5 需要铺设支承架时，应当最大限度地减少金属的振动或移动。支架、固定装置、底座、吊篮的安装应保证不会对所处理的产品质量产生不良影响。

3.1.6 设备鉴定认证

在热处理生产之前，须对固溶热处理炉/淬火设备以及时效炉设备按 5.3.1 检验项目进行鉴定认证。如鉴定过的设备进行了返修或影响温度变化的更换，须对该设备进行重新鉴定，除非有证据表明该返修或更换对于产品性能不产生影响。

3.2 常用热处理炉

3.2.1 分类

常用热处理炉可分为周期式热处理炉和连续式热处理炉两类。周期式热处理炉具有通用性强，可满足多种热处理工艺要求，常用于一般产品的加热、退火等，但生产效率和热效率低。连续式热处理炉具有机械化、自动化程度高等特点，可满足单一产品的大批量各类热处理工艺要求，生产效率高。

3.2.2 周期式热处理炉

3.2.2.1 空气炉

空气炉以空气为介质，一般加装强制风循环系统，是一种结构最简单的炉型。

3.2.2.2 盐浴炉

盐浴炉是采用熔盐作为加热介质的热处理设备，特点是结构简单，制造容易，加热速度快且温度均匀，便于细长产品悬挂加热和局部加热。

3.2.2.3 辊底式淬火炉

辊底式淬火炉具有被加热金属的温度均匀一致、转移时间短等特点。

3.2.3 连续式热处理炉

连续式热处理炉主要是气垫式连续热处理炉。该类热处理炉具有温控精度高、生产效率高等优点，上下喷嘴喷出气流保证板、带材悬浮在热空气垫上，不与热处理炉接触，处理的板、带材表面质量优异，有利于连续作业。

3.2.4 均匀性及检测要求

3.2.4.1 热处理炉的类别与有效加热区温度均匀性的对应关系见表 1，温度均匀性的检测按照 GB/T 9452 规定的方法进行。

表 1 热处理炉的类别与有效加热区温度均匀性的对应关系

热处理炉类别	有效加热区的温度均匀性/℃
I	±3
II	±5
III	±10
IV	±15
V	±20
VI	±25

3.2.4.2 在所有改变热处理炉的温度均匀性或热处理效能的操作后，或在大修之后，都应重新检测温度均匀性。

3.2.4.3 炉温均匀性检测一般在空载下进行，当要求进行装载检测时，其装炉量不应少于最大装炉量的 50%。

3.2.4.4 固溶及人工时效热处理炉最低类别为 II 类，退火热处理炉最低类别为 III 类，温度范围大于 30℃ 的退火热处理最低类别为 IV 类。

3.3 淬火设备

3.3.1 浸没式淬火设备

3.3.1.1 槽尺寸

淬火槽应具备足够尺寸以保证产品能够完全浸没在淬火介质中。

3.3.1.2 循环

淬火槽应具备内部或外部循环系统，以保证淬火介质流动。

3.3.1.3 加热和冷却

淬火槽应具备足够的加热和冷却能力，以保证淬火介质的温度达到规定的范围。

3.3.1.4 浸没速度

需固溶处理的产品进入淬火介质的速度应保证产品淬火转移时间符合要求。

3.3.1.5 水洗和干燥

盐浴淬火产品所使用的水槽（水聚合物溶液除外），应确保产品表面干燥后不应有目视可见的盐液残留物。

3.3.2 喷淋式淬火设备

使用喷淋系统淬火时，从喷嘴内释放出来的冷却液应具备足够的容量(流量)、压力和温度，以确保所有产品均能达到均匀的淬火效果，设备应装有记录仪以监测喷淋淬火参数。

4 热处理工艺

4.1 基本要求

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 热处理工艺应与热处理设备相匹配，应定期进行产品监测检验，以监测热处理设备的运行情况和工艺的适用性。

4.1.1.2 热处理前产品表面不应有影响产品质量的污染物。

4.1.1.3 变形铝及铝合金的状态代号应符合 GB/T 16475 的规定，热处理的术语和定义应符合 GB/T 8005.1 的规定，常用知识见附录 A。

4.1.2 装炉要求

固溶热处理产品装炉前，应保证加热介质达到合金要求的温度，除非所有仪表均显示热处理炉已达到规定的热处理温度范围（包括较低的温度），才能在降温趋势下装炉，如果热处理炉是自动控制的，而且能确保在装入任何金属前炉温降至保温温度，可随时进行装炉。

4.1.3 产品摆放

4.1.3.1 产品宜装架摆放，并保持间距，以保证淬火介质充分进入所有载荷区内。

4.1.3.2 厚度小于或等于 25mm 的锻件，其随机装架或每层最大厚度允许达到 75mm，架层之间最小间距宜为 75mm。厚度大于 25mm 的锻件应彼此分开，其距离大于最厚的截面，或采用能达到充分淬火的专用吊挂。

4.1.4 装炉量

装炉量宜根据产品及工艺要求等合理选择，以保证温度均匀性。对于厚度小于或等于2.5mm盐浴淬火产品装炉量应保证到达最低温度时间不超过10min，厚度大于2.5mm盐浴淬火产品装炉量应保证到达最低温度时间不超过20min。

4.1.5 固定装置

固定装置的定位应避免蒸汽截流，确保淬火液自由循环和淬火效果。

4.2 固溶热处理工艺

4.2.1 在线固溶热处理工艺

挤压在线固溶热处理工艺参照YS/T 876的规定执行。

4.2.2 离线固溶热处理工艺

4.2.2.1 固溶热处理温度

固溶热处理温度参见表2。

表 2 固溶热处理温度

牌号	产品类型	固溶热处理温度/℃ ^a
2011	线材、棒材	507~535
2013	挤压件	539~551
2014	所有制品	496~507
2014A	板材	496~507
2017	线材、棒材	496~510
2017A	板材	496~507
2117	铆钉线	477~510
	其他线材、棒材	496~510
2018	模锻件	504~521
2218	模锻件	504~516
2618	模锻件及自由锻件	524~535
2219	所有制品	529~541
2024	线材（除铆钉线） ^b 、棒材 ^b	488~499
	其他制品	488~499
2124	厚板	488~499
2524	薄板、厚板	488~499
2025	模锻件	510~521
2026	挤压件	488~499
2027	厚板、挤压件	491~502
2048	板材	488~499
2056	薄板	491~502
2090	挤压件	532~543
	板材	524~538
2195	厚板	504~516
2297	厚板	527~538

表 2 固溶热处理温度 (续)

牌号	产品类型	固溶热处理温度/℃ ^a
2397	厚板	516~527
2098	所有制品	516~527
2198	薄板	500~510
2099	挤压件	532~554
2A01	所有制品	495~505
2A02	所有制品	495~505
2A04	所有制品	502~508
2A06 [°]	所有制品	495~505
2B06	板材	500~508
	型材	495~505
2A10	所有制品	510~520
2A11	所有制品	495~505
2B11	所有制品	495~505
2A12 [°]	所有制品	490~500
2B12	所有制品	490~500
2D12	板材	492~500
	型材	490~498
2A14	所有制品	495~505
2A16	所有制品	530~540
2A17	所有制品	520~530
2A50	所有制品	510~520
2B50	所有制品	510~520
2A70	所有制品	525~535
2D70	型材	525~535
2A80	所有制品	525~535
2A90	所有制品	512~522
4032	模锻件	504~521
4A11 [°]	所有制品	525~535
6101	挤压件	515~527
6201	线材	504~516
6010	薄板	563~574
6110	线材、棒材、模锻件	527~566
6013	薄板	563~574
	棒材	560~571
6016	板材	516~579
6020	棒材	543~566
6026	挤压件	515~525
6008		
6060		
6151	模锻件、轧制环	510~527

表 2 固溶热处理温度 (续)

牌号	产品类型	固溶热处理温度/℃ ^a
6351	挤压件	516~543
6951	薄板	524~535
6053	模锻件	516~527
6056	挤压件	544~557
6156	薄板	543~552
6061	轧制环	516~552
	薄板 d、其他制品	516~579
6262	线材、棒材、挤压件、拉伸管	516~566
6063	挤压件	516~543
	拉伸管	516~530
	板材	516~579
6463	挤压件	515~527
6066	挤压件、拉伸管、模锻件、板材	516~543
6070	挤压件	540~552
6082	板材	516~579
	模锻件、挤压件	525~565
6A01	挤压件	515~521
6A02	所有制品	515~525
7001	挤压件	460~471
7010	厚板、锻件	471~482
7019	厚板	458~468
7020	板材	471~482
	挤压件	467~473
7021	板材	465~475
7129	挤压件	476~488
7036	挤压件	466~477
7136	挤压件	466~477
7039	薄板、厚板	449~460 [°]
7040	厚板	471~488
7140	厚板	471~482
7049	挤压件、模锻件及自由锻件	460~474
7049	其他	460~482
7149	挤压件、模锻件及自由锻件	460~474
7149	其他	460~482
7249	挤压件	463~479
7349	挤压件	466~477
7449	厚板、挤压件	460~477
7050	所有制品	471~482
7150	挤压件	471~482
	厚板	471~479

表 2 固溶热处理温度 (续)

牌号	产品类型	固溶热处理温度/℃ ^a
7055	挤压件	466~477
	厚板	460~482
7056	厚板	460~477
7068	挤压件	460~474
7075	薄板 f、厚板 g、线材、棒材 g	460~499
	挤压件、拉伸管	460~471
	轧制环、模锻件及自由锻件	460~482
7175	厚板、挤压件	471~488
	模锻件、自由锻件	465~478
7475	薄板 (包铝合金)	471~507
	其他薄板 (除包铝合金)、厚板	471~521
7076	模锻件及自由锻件	454~488
7178	薄板 ^h	460~499
	厚板 ^h	460~488
	挤压件	460~471
7A03	所有制品	465~475
7A04 ^c	其他薄板 (除包铝合金)、厚板	471~521
7B04	板材、型材	465~475
7A09 ^c	所有制品	465~475
7A19	所有制品	455~465
7B50	厚板	471~482
7A52	板材	465~482
8090	薄板	532~538
	厚板	532~552

^a 表中所列的温度指金属温度, 温度范围最大值和最小值之间的差值超过 11℃时, 只要表中或适用的材料标准中没有特殊要求, 可在表中所示温度范围内采用任意一个 11℃的温度范围 (对于 6061 为 17℃)。

^b 可以采用 482℃的低温, 只要每个热处理批次经过测试表明能满足适用的材料标准的要求, 同时经过对测试数据分析, 证明数据、资料符合标准。

^c 2A06 板材可采用 497℃~507℃; 2A12 板材可采用 492℃~502℃; 7A04 挤压件可采用 472℃~477℃; 7A09 挤压件可采用 455℃~465℃; 4A11 锻件可采用 511℃~521℃。

^d 6061 包铝板的最高温度不应超过 538℃。

^e 对于特定的截面、条件和要求, 也可采用其他温度范围。

^f 在某些条件下将 7075 合金加热到 482℃以上时会出现熔化现象, 应采取措施避免此问题。为最大限度地减少包铝层和基体之间的扩散, 厚度小于或等于 0.5mm 的包铝 7075 合金应在 454℃~499℃范围内进行固溶热处理。大于 0.5mm 的包铝 7075 合金应在 454℃~482℃范围内进行固溶热处理。

^g 对于厚度超过 102mm 的板材和直径或厚度大于 102mm 的圆棒和矩形棒, 建议最高温度为 488℃, 以避免熔化。

^h 在某些情况下, 加热该合金超过 482℃会出现熔化。

4.2.2.2 保温时间

离线固溶热处理的保温时间见表3。当炉料包含不同厚度截面产品时，建议保温时间按其中最大厚度的截面确定。当采用空气循环炉进行固溶热处理时，其保温时间应以工作区内温度最低的一只热电偶达到要求下限温度时开始计时。当采用盐浴炉进行固溶热处理时，应将炉料完全浸入盐液，且当硝盐槽液的温度不低于规定的下限温度时，开始计时。

表3 固溶热处理时的保温时间

规格/mm ^a	保温时间/min ^b					
	板材、挤压件		自由锻件、模锻件		铆钉线和铆钉	
	盐浴炉	空气炉	盐浴炉	空气炉	盐浴炉	空气炉
≤0.5	5~15	10~25	-	-	-	-
>0.5~1.0	7~25	10~35	-	-	-	-
>1.0~2.0	10~35	15~45	-	-	-	-
>2.0~3.0	10~40	20~50	10~40	30~40	-	-
>3.0~5.0	15~45	25~60	15~45	40~50	25~40	50~80
>5.0~10.0	20~55	30~70	25~55	50~75	30~50	60~80
>10.0~20.0	25~70	35~100	35~70	75~90	-	-
>20.0~30.0	30~90	45~120	40~90	60~120	-	-
>30.0~50.0	40~120	60~180	60~120	120~150	-	-
>50.0~75.0	50~180	100~220	75~160	150~210	-	-
>75.0~100.0	70~180	120~260	90~180	180~240	-	-
>100.0~120.0	80~200	150~300	105~240	210~360	-	-
>120.0~200.0	规格每增加 12.7mm 增加 15min	规格每增加 12.7mm 增加 30min	-	-	-	-

^a板材的规格指厚度，挤压棒材的规格指直径或内切圆直径，挤压型材或管材的规格指壁厚，锻件的规格指最大截面线性尺寸，铆钉线和铆钉的规格指直径。
^b保温时间是依据炉料温度传感器读数给出的。如果根据炉子仪器读数起始保温计时的话，那么炉料传感器读数和炉子仪器读数之间的滞后时间应累积到表中所示的保温时间里。

4.2.2.3 固溶热处理料温滞后时间验证

对于厚度或壁厚或直径大于3mm板材、锻件、挤压件、型材、棒材，需进行滞后时间的验证，每年至少开展一次。

4.2.2.3.1 装炉料尺寸

在不超过设备处理能力的情况下，所选合金产品尺寸应足够大。

4.2.2.3.2 镶偶间距

(1) 厚板：从距离一端200~300mm之间任选一位置开始，在宽度方向中心，在长度方向上每隔3.5米镶嵌一支热电偶；长度不足7.5米的，每2米镶嵌一支热电偶；不足2米的，在长度和宽度中心上镶嵌一支热电偶。

(2) 挤压件、棒材：在宽度方向上，每隔1米的位置上镶嵌一支热电偶。

(3) 锻件：镶嵌间隔为1米；如果锻件本身结构形状小于1米，则选择在构件表面的中心处。

4.3 淬火

4.3.1 淬火介质

淬火介质为水、空气、水聚合物溶液、液化气体或油，并为这些介质配备适当的设备。喷淋淬火介质可使用水或水和乙二醇的混合液。5A90材料淬火应采用水或空气，厚度不大于4mm的5A90最终淬火时采用空气。

4.3.2 淬火方式

4.3.2.1 浸没式淬火

4.3.2.1.1 介质温度

淬火介质为水时，淬火水温一般应保持在 10~30℃，淬火完成时的水温宜不超过 40℃，淬火介质为水聚合物溶液时，淬火完成时的溶液温度宜不超过 55℃；为减少变形，形状不规则和厚薄不均以及大型的锻件、挤压件，可采用在 40~80℃的热水中淬火。

4.3.2.1.2 转移时间

淬火产品浸没前所允许的最长转移时间参见表4的规定。交替浸没方式所允许的淬火转移时间，应由晶间腐蚀试验和产品经时效处理达到相应规定状态后进行的力学性能试验决定。

表 4 最长淬火转移时间

厚度/mm	最长时间/s ^{a、b}
≤0.4	5
>0.4~0.8	7
>0.8~2.3	10
>2.3~6.5	15
>6.5	20

^a 在保证制品符合相应技术标准或协议要求的前提下，淬火转移时间可适当延长。
^b 除2A16、2219合金外，如果试验证明整个炉料淬火时温度超过413℃，最长淬火转移时间可延长（如装炉量很大或炉料很长）。对2A16、2219合金，如果试验证明炉料的各个部分的温度在淬火时都在482℃以上，则最长淬火转移时间可延长。

4.3.2.1.3 停留时间

产品在淬火液中的停留时间参见表5。

表 5 产品在淬火液中的停留时间

厚度t mm	淬火液沸腾停止后停留时间 min
≤6.0	0
>6.0	≥t/25×2

注：当t/25不为整数时，应向上修约为整数，如t/25等于1.3，应向上修约为2。

4.3.2.2 喷淋式淬火

4.3.2.2.1 喷淋淬火的条件

淬火区淬火介质的温度和压力应满足工艺规程要求。

4.3.2.2.2 与喷淋液接触时间

采用喷水淬火产品，应保持喷水接触直到产品表面不再有水汽升起时止。采用喷气淬火产品，应与淬火介质保持接触，直到产品表面温度降至不大于100℃时止。

4.3.2.3 气垫式连续固溶淬火

气垫式固溶热处理参数见表 6。

表 6 气垫式固溶热处理参数

合金	板材厚度 mm	固溶热处理温度 ℃	最少保温时间 min	淬火介质
2A11	>0.8~1.5	495~505	2	水
	>1.5~2.5		2	
	>2.5~4.0		2.3	
2A12	>0.3~0.5	490~500	2	水
	>0.5~1.5		2.6	
	>1.5~2.5		2	
	>2.5~4.0		2.3	
2B06	>0.3~0.5	500~508	1.8	水
	>0.5~1.5		2.3	
	>1.5~2.5		2.0	
	>2.5~4.0		2.3	
6061	>0.3~0.5	516~579	0.2	空气
	>0.5~1.5		0.8	水
	>1.5~2.5		1	
	>2.5~4.0		1	
6082	>0.8~1.5	516~579	0.2	空气
	>1.5~2.5		1	水
	>2.5~4.0		2	
6063	>0.8~1.5	516~579	1	空气
	>1.5~2.5		2	水
	>2.5~4.0		2	
7A04	>0.8~1.5	465~475	2	水
	>1.5~2.5		1.1	
	>2.5~4.0		2	
7B04	>0.8~1.5	465~475	2	水
	>1.5~2.5		2	
	>2.5~4.0		2	

4.4 时效热处理制度

4.4.1 典型产品单级时效热处理制度参见表 7。

表 7 单级时效热处理制度

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
2011	W	除锻件	室温	≥96	T4、T42
	T3	挤压件	154~166	13~15	T8
	T4	挤压件	170~180	12~14	T6
2013	T3511	挤压件	185~195	7~9	T6511

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
2014	W	除锻件	室温	≥96	T4、T42
	T4	板材	154~166	17~18	T6
	T4、T42 ^d	除锻件	171~182	9~11	T6、T62
	T451 ^d	除锻件	171~182	9~11	T651
	T4510	挤压件	171~182	9~11	T6510
	T4511	挤压件	171~182	9~11	T6511
	W	自由锻件	室温	≥96	T4
	T4	自由锻件	166~177	9~11	T6
	T41	自由锻件	171~182	5~14	T61
T452	自由锻件	166~177	9~11	T652	
2017	W	所有制品	室温	≥96	T4
2017A	T4	板材	150~165	10~18	T6
2117	W	线材、棒材、铆钉线	室温	≥96	T4
2018	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T41	模锻件	166~177	9~10	T61
2218	W	模锻件	室温	≥96	T4、T41
	T4	模锻件	166~177	9~10	T61
	T41	模锻件	232~243	5~7	T72
	T42	模锻件	166~177	9~11	T62
	T42	模锻件	232~243	5.5~6.5	T72
2618	W	除锻件	室温	≥96	T4
	T41	模锻件	193~204	19~21	T61
2219	W	所有制品	室温	≥96	T4、T42
	T31	薄板	171~182	17~18	T81
	T31	挤压件	185~196	17~18	T81
	T31	铆钉线材	171~182	17~18	T81
	T37	薄板	157~168	23~25	T87
	T37	厚板	171~182	17~18	T87
	T42	所有制品	185~196	35~36	T62
	T351	所有制品	171~182	17~18	T851
	T351	圆棒、方棒	185~196	17~18	T851
	T3510	挤压件	185~196	17~18	T8510
	T3511		185~196	17~18	T8511
	W	锻件	室温	≥96	T4
	T4		185~196	25~26	T6
T352	自由锻件	171~182	17~18	T852	
2024	W	所有制品	室温	≥96	T4、T42
	T3	薄板、拉伸管	185~196	11~12	T81
	T4	线材、棒材	185~196	11~12	T6
	T3	挤压件	185~196	11~12	T81
	T36	线材	185~196	8~9	T86
	T42	薄板、圆棒	185~196	9~10	T62
	T42	薄板	185~196	15~16	T72
	T42	薄板、厚板除外	185~196	15~16	T62
T351	薄板、厚板	185~196	11~12	T851	

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
2024	T361	薄板、厚板	185~196	8~9	T861
	T3510	挤压件	185~196	11~12	T8510
	T3511		185~196	11~12	T8511
	W	模锻和自由锻件	室温	≥96	T4
	W52	自由锻件	室温	≥96	T352
	T4	模锻和自由锻件	185~196	11~12	T6
	T352	自由锻件	185~196	11~12	T852
2124	W	厚板	室温	≥96	T4、T42
	T4		185~196	9~10	T6
	T42		185~196	9~10	T62
	T351		185~196	11~12	T851
2025	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~177	9~10	T6
2048	W	除锻件	室温	≥96	T4、T42
	T42	薄板、圆棒	185~196	9~10	T62
	T351	薄板、厚板	185~196	11~12	T851
2090	T3	挤压件	146~157	29~31	T862
	T3	厚板	158~169	22~24	T832
2195	T34	厚板	149~160	22~40	T82
2297	T37	厚板	155~166	23~25	T87
2397	T37	厚板	155~166	59~61	T87
2098	T351	所有制品	155~166	17~19	T851
	T42	所有制品	155~166	17~19	T62
2A01	-	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2A02	-	所有制品	165~175	15~16	T6
			185~195	23~24	T6
2A04	-	铆钉线材、铆钉	室温	≥240	T4
2A06	-	所有制品	室温	120~240	T4
2B06	W	板材、型材	室温	120~240	T4
2A10	-	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2A11	-	所有制品	室温	≥96	T4
2B11	-	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2A12	-	其他所有制品	室温	≥96	T4
	-	厚度≤2.5mm包铝板	185~195	11~13	T62
	-	壁厚≤5mm挤压型材	185~195	11~13	T62
2B12	-	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2D12	W	板材、型材	室温	≥96	T4
2A14	-	所有制品	室温	≥96	T4

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
2A14	-	所有制品	155~165	4~15	T6
2A16	-	其他所有制品	室温	≥96	T4
			160~170	10~16	T6
			205~215	11~12	T6
	-	厚度 1.0mm~2.5mm 包铝 板材	185~195	17~18	T73
-	壁厚 1.0mm~1.5mm 挤压 型材	185~195	17~18	T73	
2A17	W	所有制品	180~190	15~16	T6
2A19	W	所有制品	160~170	17~18	T6
2A50	-	所有制品	室温	≥96	T4
	-	所有制品	150~160	6~15	T6
2B50	-	所有制品	150~160	6~15	T6
2A70	-	所有制品	185~195	8~12	T6
2D70	W	型材	190~200	12~21	T6
	T351	板材	180~195	10~16	T651
2A80	-	所有制品	165~175	10~16	T6
2A90	-	挤压棒材	155~165	4~15	T6
	-	锻件、模锻件	165~175	6~16	T6
4032	W	模锻件	室温	≥96	T4
4032	T4	模锻件	165~175	9~11	T6
4A11	-	所有制品	165~175	8~12	T6
5A90	T1	板材	115~125	5~12	T6
	T1	型材	165~175	7~12	T6
6101	T1	挤压材	175~185	5~6	T6
6101B	T1	挤压材	175~185	5~6	T6
6201	T3	线材	154~165	4~5	T81
6005	T1	挤压件	171~182	8~9	T5
6005A	T1	挤压件	171~182	8~9	T5
6105	T1	挤压件	171~182	8~9	T5
6106	T1	挤压材	175~185	5~6	T6
6010	W	薄板	171~182	8~9	T6
6110	T4	线材、棒材	187~199	8~9	T9
	T4	模锻件	173~185	6~10	T6
6110A	T4	挤压件	171~195	6~9	T6
6111	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^d
6A11 6008 6060	T4	挤压材	170~185	8~12	T6

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
6013	T4	除锻件	185~196	4~5	T6
	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
6014	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
6016	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
6020	W	棒材、挤压件	176	8~10	T6511
	T3	棒材、挤压件	176	8~10	T8
6022	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
6026	-	挤压件	171~182	8~9	T6
6151	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~182	9~10	T6
	T452	轧环	166~182	9~10	T652
6351	T1	挤压件	171~183	8~9	T5
					T51
	115~127		9~10	T54	
	T4		171~183	8~9	T6
6951	W	除锻件	室温	≥96	T4、T42
	T4	薄板	154~166	17~18	T6
	T42		154~166	17~18	T62
6053	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~177	9~10	T6
	T4	线材、棒材	174~185	8~9	T61
6056	T4	挤压件	190	2~6	T62
6156	T4	薄板	185~195	4~6	T62
6061	W	除锻件	室温	≥96	T4、T42
	T1	圆棒、方棒、型材	171~182	8~9	T5
	T4	板、带材、锻件	154~166	17~18	T6
	T451	挤压件	154~166	17~18	T651
	T42		154~166	17~18	T62
	T4		171~182	8~9	T6
	T42		171~182	8~9	T62
	T4510		171~182	8~9	T6510
	T4511		171~182	8~9	T6511
	W		模锻和自由锻件	室温	≥96
	T41	模锻和自由锻件	171~182	8~9	T61
T452	轧环和自由锻件	171~182	8~9	T652	
6262	W	除锻件	室温	≥96	T4
	T4	挤压件	172~183	11~12	T6
	T4510				T6510
	T4511				T6511
T4	所有其他	166~178	8~9	T6	

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
6063	W	挤压件	室温	≥96	T4、T42
	T1	除锻件	177~188	3~4	T5、T52
	T1	除锻件	213~224	1~2	T5、T52
	T4	除锻件	171~182	8~9	T6
	T4	除锻件	177~188	6~7	T6
	T42	除锻件	171~182	8~9	T62
	T42	除锻件	177~188	6~7	T62
	T4510	除锻件	171~182	8~9	T6510
T4511	除锻件	171~182	8~9	T6511	
6463	T1	挤压件	198~210	1~2	T5
	T4	挤压件	171~183	7~8	T6
6066	W	挤压件	室温	≥96	T4、T42
	T4	除锻件	171~182	8~9	T6
	T42	除锻件	171~182	8~9	T62
	T4510	除锻件	171~182	8~9	T6510
	T4511	除锻件	171~182	8~9	T6511
	W	模锻件	室温	≥96	T4
T4	模锻件	171~182	8~9	T6	
6181	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
6082	T4	板、带材	154~166	12~18	T6
	T451	板、带材	154~166	12~18	T651
6082	T4	模锻件、挤压件	173~185	7~9	T6
	T4	挤压件	155~165	7~9	T6
6A01	T4	挤压件	155~165	7~9	T6
6A02	—	所有制品	室温	≥96	T4
	—		155~165	8~15	T6
6A16	T4	板、带材	60~120	3~10	T4P ^e
7001	W	挤压件	116~127	23~24	T6
	W510		116~127	23~24	T6510
	W511		116~127	23~24	T6511
7020	W	挤压材	105~115	9~10	T6
			155~165	3~4	
7021	W	板、带材	110~125	10~18	T6
7116	W	挤压件	97~108	4~5	T5
			161~173	4~5	
7129	W	挤压件	97~108	>5	T5
			155~166	4~5	
7129	W	挤压件	97~108	>5	T6
			155~166	4~5	
7149	W	模锻和自由锻件	室温	>48	T4
7068	W	挤压件	115~125	23~25	T6
7075	W ^f	所有制品	116~127	23~24	T6、T62
	W51 ^g	所有制品	116~127	23~24	T651
	W510 ^f	挤压件	116~127	23~24	T6510
	W511 ^f		116~127	23~24	T6511
	T6 ^h	薄板	157~168	24~30	T73

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
7075	T6 ^h	线材、圆棒、方棒	171~182	8~10	T73
	T6 ^h	挤压件	171~182	6~8	T73
			154~166	18~21	T76
	T651 ^h	厚板	157~168	24~30	T7351
			157~168	15~18	T7651
	T651 ^h	线材、圆棒、方棒	171~182	8~10	T7351
	T6510 ^h	挤压件	171~182	6~8	T73510
			154~166	18~21	T76510
	T6511 ^f	-	171~182	6~8	T73511
154~166			18~21	T76511	
W	锻件	116~127	23~24	T6	
W52	自由锻件	116~127	23~24	T652	
7175	W52	自由锻件	116~127	23~24	T652
7475	W51	厚板	116~127	23~24	T651
	W	薄板(包铝合金)	121~157	3~4	T61
7076	W	模锻件和自由锻件	129~141	13~14	T6
7178	W	除锻件	116~127	23~24	T6、T62
	W51	厚板	116~127	23~24	T651
	W510	挤压件	116~127	23~24	T6510
	W511	挤压件	116~127	23~24	T7651
	T6、T62	挤压件	155~166	18~20	T762
	T6、T62	板材	158~169	16~18	T762
7A03	-	铆钉线材	95~105	2~3	T6
	-	铆钉	163~173	3~4	T6
7A04	-	包铝板材	115~225	22~24	T6
	-	挤压件、锻件及非包 铝板材	135~145	15~16	T6
	-	所有制品	115~125 155~165	3~4	T6
7B04	T4	板材	115~125	23~25	T6
	T4	型材	115~125	23~25	T6
	T4	自由锻件、模锻件	135~145	15~17	T6
	W51	板材	135~145	15~17	T651
7A09	-	板材	125~135	8~16	
	-	挤压件、锻件	135~145	16	
7A19	-	所有制品	115~125	2~3	T6
7A62	T4	自由锻件	130~140	8~24	T6
8090	W	薄板、厚板	165~175	8~48	T8
6005	在线风淬	挤压件	180~200	4~8	T5
	在线水淬T4	挤压件	180~190	6~10	T6
6060	在线风淬	挤压件	190~210	2.5~3	T5
	在线水淬T4	挤压件	180~200	3~6	T6
6061	在线水淬T4	挤压件	180~190	6~10	T6
6063	在线风淬	挤压件	190~210	2.5~3	T5
	在线水淬T4	挤压件	180~200	3~6	T6
6063A	在线风淬	挤压件	190~210	2.5~4	T5

表 7 单级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	单级时效制度 ^a		时效硬化热处理 后状态的代号
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
6063A	在线水淬T4	挤压件	180~200	4~8	T6
6463	在线风淬	挤压件	190~210	2.5~3	T5
	在线水淬T4	挤压件	180~200	3~6	T6
6463A	在线风淬	挤压件	190~210	2.5~3	T5
	在线水淬T4	挤压件	180~200	3~6	T6

^a 为了消除制品残余应力状态, 固溶热处理W 状态金属在时效前, 宜进行拉伸或压缩变形。

^b 当规定温度范围间隔超过11℃, 只要在本标准中或适用材料标准中没有其他规定, 就可任选整个范围内11℃作为温度范围。

^c 在时效时宜快速升温使金属达到时效温度, 时效时间从金属温度全部达到最低时效温度开始计时。

^d 对于薄板和厚板, 也可采用152℃~166℃下加热18h的制度来代替。

^e T4P状态为产品固溶淬火后经过特殊时效处理, 在一定时间内, 产品强度稳定在一个较低值的状态。

^f 对于挤压件, 可采用三级时效处理来代替, 即先在93℃~104℃下加热5h, 随后在116℃~127℃下加热4h, 接着在143℃~154℃下加热4h。

^g 对于厚板, 可采用在91℃~102℃下进行4h处理, 随后进行第二阶段的152℃~163℃下加热8h的时效制度来代替。

^h 由任意状态时效到T7状态, 铝合金7079、7050、7075和7178时效要求严格控制时效实际参数, 如时间、温度、加热速率等。除上述情况外, 将T6状态经时效处理成T7状态系时, T6状态材料的性能值和其他处理参数是非常重要的, 它影响最终处理后T7状态合金组织性能。

4.4.2 典型产品双级时效热处理制度参见表 8。

表 8 双级时效热处理制度

牌号	时效前状态	产品类型	双级时效制度 ^a				时效硬化热处理 后状态的代号
			一级时效		二级时效		
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
2099	挤压件	T33	115~125	10~14	155~165	42~54	T83
6056	挤压件	T4	175	4~8	190	11~15	T72
7003 7005	挤压件	T4	100~110	6~8	145~155	8~10	T73
7010	W51	厚板	116~127	6~24	166~177	6~15	T7651
			116~127	6~24	166~177	9~18	T7451
			116~127	6~24	166~177	15~24	T7351
	W	厚板、锻件	116~127	6~24	166~177	19~21	T732
			116~127	6~24	166~177	13~15	T742
7020	W	板材	105~115	12~18	145~155	6~10	T76
7039	W	薄板	74~85	15~16	154~166	13~14	T61
	W51	厚板	74~85	15~16	154~166	13~14	T64
	W	锻件	115~125	23~25	159~169	11~13	T73
7040	W	板材	115~125	4~28	160~170	10~16	T7451
7140	W	板材	115~125	6~12	150~160	20~30	T7451
7049	W511	挤压件	116~127	23~25	160~166	12~14	T76510 T76511
			116~127	23~25	163~168	12~21	T73510 T73511
	W W52	模锻件、自由 锻件	116~127	23~25	160~166	10~16	T73 T7352
	W511	模锻件、自由 锻件	116~127	23~25	144~155	12~21	T73511

表 8 双级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	双级时效制度 ^a				时效硬化热处理 后状态的代号
			一级时效		二级时效		
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
7049	W51	中厚板材	116~127	23~25	165~171	10~16	T7351
7149	W511	挤压件	116~127	23~25	160~166	12~14	T76510 T76511
	W511		116~127	23~25	163~168	12~21	T73510 T73511
	W52	锻件	116~127	23~24	160~171	10~16	T73 T7352
7349	W	挤压件	115~125	4~28	151~161	9~13	T76511
7449	W	板材	115~125	4~28	155~165	8~12	T7651
			115~125	4~28	145~155	15~19	T7951
		挤压件	115~125	4~28	145~155	15~19	T79511
7050	W51 ^d	厚板	116~127	3~6	157~168	12~15	T7651
			116~127	3~8	157~168	24~30	T7451
			116~127	4~24	172~182	8~16	T7351
	W510 ^d	挤压件	116~127	3~8	157~168	15~18	T76510
	W510 ^d		116~127	23~24	171~183	12~15	T73510
	W510 ^d		116~127	23~24	165~178	8~12	T74510
	W511 ^d		116~127	23~24	171~183	12~15	T73511
	W511 ^d		116~127	23~24	165~177	8~12	T74511
	W511 ^d		116~127	3~8	157~168	15~18	T76511
	W ^d		线材、圆棒	118~124	≥4	177~182	≥8
	W	模锻件	116~127	3~6	171~182	6~12	T74
W52	自由锻件	116~127	3~6	171~182	6~8	T7452	
7150	W510 W511	挤压件	116~127	7~8	154~166	4~6	T6510 T6511
	W51	厚板	116~127	23~24	149~160	11~12	T7651
	W	挤压件	116~127	4~6	155~166	11~12	T74511
7055	W	挤压件	116~127	4~6	155~166	6.5~7.5	T76511
			116~127	4~6	155~166	6.5~7.5	T76511
7056	W	板材	115~125	19~29	145~155	11~21	T7651
7075	W ^{d,e}	薄板和厚板	102~113	6~8	157~168	24~30	T73
	W ^d		116~127	6~8	157~168	15~18	T76
	W ^{d,f}	线材、圆棒和方棒	102~113	6~8	171~182	8~10	T73
	W ^{d,e}	挤压件	102~113	6~8	171~182	6~8	T73
	W ^d		116~127	3~5	154~166	18~21	T76
	W51 ^{d,e}	厚板	102~113	6~8	157~168	24~30	T7351
	W51 ^d	厚板	116~127	3~5	157~168	15~18	T7651
	W51 ^{d,f}	线材、圆棒、方棒	102~113	6~8	171~182	8~10	T7351
	W510 ^{d,e}	挤压件	102~113	6~8	171~182	6~8	T73510
	W511 ^{d,f}		102~113	6~8	171~182	6~8	T73511
	W510 ^{d,e}		116~127	3~5	154~166	18~21	T76510
	W511 ^{d,e}		116~127	3~5	154~166	18~21	T76511
	W ^d		-	102~113	6~8	171~182	8~10

表 8 双级时效热处理制度 (续)

牌号	时效前状态	产品类型	双级时效制度 ^a				时效硬化热处理 后状态的代号
			一级时效		二级时效		
			金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	金属温度/℃ ^b	时效时间/h ^c	
7075	W51、W52 ^d	锻件	102~113	6~8	171~182	6~8	T7351、T7352
	W51	轧环	102~113	6~8	171~182	6~8	T7351
	W	模锻件和自由锻件	102~113	6~8	171~182	6~8	T74
7175	W52	模锻件、自由锻件	102~113	6~8	171~182	6~8	T7452
	W	模锻件、自由锻件	102~113	6~8	171~182	6~8	T74
7475	W	薄板	116~127	3~4	157~163	8~10	T761
7178	W ^d	薄板	116~127	3~5	157~168	15~18	T76
	W ^d	挤压件	116~127	3~5	154~166	18~21	T76
	W51 ^d	厚板	116~127	3~5	157~168	15~18	T7651
	W510 ^d	挤压件	116~127	3~5	154~166	18~21	T76510
	W511 ^d	挤压件	116~127	3~5	154~166	18~21	T76511
7B04	W	板材	110~120	5~10	160~170	14~24	T74
	W51	板材	110~120	5~10	160~170	14~24	T7451
	W51	板材	110~120	5~10	160~170	25~35	T7351
7B05	-	-	90~110	1~8	140~160	10~20	-
7A09	-	锻件	105~115	6~8	172~182	8~10	T73
	-	-	105~115	6~8	160~170	8~10	T74
7A19	-	所有制品	95~105	9~10	175~185	2~3	T73
			95~105	9~10	150~160	10~12	T76
7A62	-	轧环、自由锻件	115~125	5~7	145~155	10~12	T76
7A85	-	模锻件、自由锻件	115~125	7~9	150~160	14~16	T7452 T74

^a 为了消除制品残余应力状态, 固溶热处理W 状态金属在时效前, 宜进行拉伸或压缩变形。在许多实例中列举了多级时效处理, 金属在两级时效步骤之间无需出炉冷却, 可连续升温。

^b 当规定温度范围间隔超过11℃, 只要在本标准中或适用材料标准中没有其他规定, 就可任选整个范围内11℃作为温度范围。

^c 在时效时宜快速升温使金属达到时效温度, 时效时间从金属温度全部达到最低时效温度开始计时。

^d 由任意状态时效到T7状态, 铝合金7079、7050、7075和7178时效要求严格控制时效实际参数, 如时间、温度、加热速率等。除上述情况外, 将T6状态经时效处理成T7状态系时, T6状态材料的性能值和其他处理参数是非常重要的, 它影响最终处理后T7状态合金组织性能。

^e 只要加热速率为14℃/h, 就可用在102℃~113℃下加热6h~8h, 随后在此163℃~174℃下加热14h~18h的双级时效处理来代替。

^f 只要加热速率为14℃/h, 就可用在171℃~182℃下加热10h~14h制度来代替。

4.5 成品退火工艺

成品的退火制度参见表 9。

表 9 成品的退火工艺

牌 号	完全退火			不完全退火		
	金属温度 /℃ ^a	保温时间 /h	冷却速度 /(℃/h)	金属温度 /℃ ^a	保温时间 /h	冷却速度 /(℃/h)
1××× (铝箔)、8××× (铝箔)	170~240	10~200 (根据厚度、宽度、卷径选择时间)	4~20	-	-	-

表9 成品的退火工艺 (续)

牌 号	完全退火			不完全退火		
	金属温度 /℃ ^a	保温时间 /h	冷却速度 /(℃/h)	金属温度 /℃ ^a	保温时间 /h	冷却速度 /(℃/h)
1100、1200、1035、1050A、1050、 1060、1070A、3004、3105、3A21、 5005、5050、5052、5652、5154、5254、 5454、5056、5456、5457、5083、5086、 5A01、5A02、5A03、5A05、5B05、5A06、 5182、5754、6061、8A06	310~410 ^b	按金属直径或厚度确定保温时间，但保温时间不宜过长，以晶粒度满足标准为宜	镁含量大于5%的5×××合金采用空冷，其他合金采用水冷、空冷或循环风机冷却。	120~300	2~3	空冷
2024	410~440	1~3	退火消除固溶热处理的影响，以不大于28℃/h冷却速度随炉冷却至260℃以下出炉空冷	-	-	-
2036	325~385	1~3	退火消除固溶热处理的影响，以不大于30℃/h	-	-	-
3003	355~415	1~3	的冷却速度随炉至260℃以下出炉空冷。	220~290	1~3	60℃后空冷
2014、2017、2117、2219、2024、2A01、 2A02、2A04、2A06、2A10、2A11、2B11、 2A12、2B12、2A14、2A16、2A17、2A50、 2B50、2A70、2A80、2A90、6005、6053、 6061、6063、6066、6A02	350~410	1~3	退火消除固溶热处理的影响，以不大于30℃/h	350~380	≤3mm: 2 >3mm: 3	空冷
2B06、2D12、2D70	380~420	0.17~3	的冷却速度随炉至260℃以下出炉空冷。	250~280	1~4	空冷或水冷
5052、5083	305~325	1~3		275~295	1~3	空冷
7001 ^c 、7075 ^c 、7175 ^c 、7178 ^c 、7A03、 7A04、7A09、7A19、7A33	320~380	1~3		290~320	≤3mm: 2 >3mm: 4	空冷
5B02	310~420	≤1.5	空冷或水冷	-	-	-
7B04	380~430	0.17~3	退火消除固溶热处理的影响，以不大于28℃/h冷却速度随炉冷却至150℃以下出炉空冷	-	-	-
^a 退火炉内金属温度宜控制在±10℃。 ^b 3A21 允许在盐浴槽470℃~500℃退火。1070A、1060、1050A、1035、1200 板材可选用320℃~400℃，5A01、5A02、5A03、5A05、5A06、5B05、3A21 可选用300℃~350℃。 ^c 可不用控制冷却速率，在空气中冷却至205℃或低于205℃，随后重新加热到230℃，保温4h，最后在室温下冷却，通过这种退火方式可消除固溶热处理的影响。						

4.6 均匀化工艺

均匀化工艺参见表10。

表 10 均匀化工艺

合金	产品类型	均匀化温度 ℃	均匀化时间 ^a h
1050	方铸锭	490~600	2
1100、1235	方铸锭	520~600	2
2011、2A11、2A12、2014、2A14、2017、2024、2A50	所有	480~495	8
2A04、2A06	所有	475~490	24
2A10	所有	500~515	20
2A50、2B50、2219、2A16	圆铸锭	515~530	12
2A70、2A80、2A90、2618、2618A、2218、4A11、4032	所有	485~500	16
3003、3E03、3005、3A06、3A21	所有	600~615	7
3004	方铸锭	560~600	10
5083	所有	450~520	10
5A02、5A03、5A05、5A06、5B06、5A41、5056、5086、5183、 5456、5754	所有	460~480	20
5A12、5A13、5A33	所有	445~460	24
5754、5A03	方铸锭	450~460	18
5454	方铸锭	520~540	8
6005	圆铸锭	560	6
6005A	方铸锭	430~565	16
6061	圆铸锭	520~570	4
6063	圆铸锭	530~565	4
6082	圆铸锭	515~530	16
6A11	圆铸锭	560	11
7049	圆铸锭	400~468	20
7005、7075、7A03、7A04、7A09、7020、7A05、7A52、7475	所有	450~470	12
7A10、7A15	所有	465~480	12
8021、8079	方铸锭	500~600	8
a - 最少保温时间			

5 质量保证

5.1 过程控制

热处理过程所有重要影响因素应控制在作业指导文件规定范围之内,在实际操作时可应用控制图进行监控,确保各参数处于可控状态,相应数据应有记录。控制因素如下:

- a) 产品加热温度;
- b) 保温时间;
- c) 转移时间;
- d) 冷却介质流量和压力。

5.2 重复固溶热处理

5.2.1 重复固溶热处理次数应不超过两次,包铝材料重复固溶热处理次数应不超过表 11 规定。

表 11 包铝材料重复固溶热处理

厚度/mm	允许重复固溶热处理的最多次数
≤0.5	0
>0.5~3.0	1
>3.0	2

5.2.2 重复固溶热处理的保温时间，可缩短至表 3 规定时间的一半。

5.2.3 若连续式热处理炉加热速度足够快，只要不出现严重的包铝层扩散，则允许在表 9 基础上增加一次重复固溶热处理。

5.2.4 未经供方同意，不准许需方对下列状态产品进行重复固溶热处理：

- a) T451、T651、T7×51状态；
- b) T4、T6、T7×状态。

5.2.5 2A11T4 和 2A12T4 薄板重复固溶热处理温度宜采用表 2 的规定，保温时间可缩短至表 3 规定时间的一半。也可采用比表 2 低的固溶热处理温度但不低于下限值的 3℃，且适当延长保温时间。

5.2.6 意外故障处理：已达到固溶热处理温度而中途因故障出炉的制品应进行淬火，应认定为出故障的炉批进行了一次固溶热处理。未达到固溶热处理温度的制品可以进行空冷。

5.3 定期检验

5.3.1 检验周期

为确保热处理工艺稳定，应每年对产品至少一次检验，检验项目按表12规定。

表 12 检验项目

产品	力学性能 ^a	硬度	晶间腐蚀 ^b	包铝层扩散（仅包铝合金）	过烧和气孔	电导率 ^c
厚板、薄板	√	f	√ ^d	√ ^e	√	√
棒材、线材	√	f	√ ^d	—	√	√
型材	建筑型材	f	—	—	—	—
	其他型材	√	√ ^d	—	√	√
锻件	√	f	—	—	√	√
管材	√	f	—	—	√	√
铆钉线	√	f	√	—	√	√

注：“√”表示需检验的项目，“—”表示不检验项目。

^a 按相应的材料标准的规定。

^b 仅适用于不包铝或包铝的2×××、6×××和7×××合金产品。

^c 产品厚度或壁厚或直径（或对边距离）不小于6.5mm的产品每月进行一次电导率检验，其余产品每6个月进行一次最大厚度电导率检验。电导率有效测试点间隔为1米，波动不超过3%。

^d 仅要求厚度小于6.0mm的产品。

^e 仅要求厚度大于0.5mm的产品。

^f 根据产品或工艺要求，可以进行布氏硬度或洛氏硬度检验。

5.4 试验方法

5.4.1 力学性能

力学性能的试验方法按GB/T 16865的规定进行。

5.4.2 晶间腐蚀

晶间腐蚀试验方法按GB/T 7998的规定进行。

5.4.3 包铝合金扩散

从代表一个批次或一炉料的轧制产品上切下的各部分试样按GB/T 3246.1进行显微检查，检查应在放大100到1000倍的金相显微镜下进行，以确定合金成分通过包铝层扩散的程度。也允许采用溶液电位测量方法分析包铝层的扩散情况，条件是要提供有关该方法与光学方法之间相互关系的文件以备查阅。

5.4.4 过烧和气孔

固溶热处理导致的过烧和气孔检验方法按GB/T 3246.1的规定进行。

5.4.5 电导率

电导率的测定按GB/T 12966的规定进行。

5.4.6 硬度

5.4.6.1 洛氏硬度的测试方法按GB/T 230.1的规定进行。

5.4.6.2 布氏硬度的测试方法按GB/T 231.1的规定进行。

5.5 检测结果不合格的处理

5.5.1 当检测结果出现不合格时，应查明原因。若试验表明热处理设备或工艺不能用于铝合金热处理，应排除故障和调整工艺、重新进行检测直到检测的项目达到合格时止。对于已生产的可疑制品要进行检验，分合格及不合格进行处理。

5.5.2 制品在原先试验合格的炉内热处理后发现不合格时，应根据试验结果予以报废或在另一合格的炉内重复固溶热处理。

5.5.3 经热处理的制品，当力学性能和晶间腐蚀不合格时，可在本文件允许的范围内进行重复固溶热处理。而过烧及合金元素从基体严重扩散穿过包铝层的制品为不合格，并不允许重复固溶热处理。

5.6 检查记录的保管

5.6.1 除非另有规定，否则从检查之日起5年内检查记录都应归档，且可随时供审查。

5.6.2 建立工艺规程和工艺规程重新审定的记录，应当归档保存直至废除或更换。

5.6.3 本文件所要求的所有试验的结果至少应保存5年（从试验之日算起）。

5.6.4 本文件要求的生产过程记录都应从产品检验之日起至少归档保存5年，且可随时供审查。

5.6.5 应保存每台热处理炉和淬火设备的记录，以证明符合本文件的规定。这些记录包括：炉号或热处理炉名称、工作区容量、使用的温度范围、是否用于固溶热处理、时效热处理或二者兼有、设备大修日期或更换元件型号，这些记录应归档保存以备随时查阅，一直保存到工艺规程重新审定后2年。

6 人员要求

从事热处理的人员需进行初期和定期培训，并取得相应岗位资格证，并按GB/T 32541执行。

附录 A
(资料性附录)
铝合金热处理常用知识

A.1 盐浴槽特点

熔融的盐浴槽与气室炉相比，使产品达到既定温度的时间更短，更易保持温度的均匀性。在熔融盐浴槽中进行固溶热处理时，产生气孔的危险性大大降低。在长期使用后，分解了的化合物氯化钠在淬火水中固溶时会侵蚀铝合金。在盐浴槽中，每吨硝酸盐添加 350g 的重铬酸钠或重铬酸钾可以阻止这种侵蚀。硝盐槽有爆炸的危险，使用中必须注意安全。

A.2 气室炉特点

在处理大体积的产品时，气室炉更灵活、更经济。当固溶热处理某些特定的铝合金时，必须控制炉内气氛以避免气孔的产生。这种气孔会降低铝合金的力学性能，并且使产品表面出现大量的小砂眼，严重时造成产品淬火时断裂。

A.3 固溶热处理

A.3.1 固溶热处理的特点

固溶热处理，是将合金加热到适当的温度（见表 2），并在此温度下保温，以使可溶组分有足够的时间充分进入固溶体中，随后通过在适当的淬火介质中快速冷却，使可溶组分以过饱和状态保留在固溶体中的处理过程。

A.3.2 保温时间

A.3.2.1 推荐的保温时间

为使可溶组分能充分进入固溶体中所需的时间。保温时间随着金属厚度的增加而增加，通过测试金属试样，并确认所需的力学性能已得到充分提高后，才能确定最短的保温时间。表3所推荐的保温时间在实际工业应用中已确认是很充分的。

A.3.2.2 防止氢气孔的产生

当在空气炉内固溶热处理时，过长的保温时间会增加氢气孔产生的危险性，这种现象以前被称为“高温氧化”。但是通过对炉内气氛的适当控制，可安全采用比表 3 时间长的保温时间。

A.3.2.3 防止包覆产品的扩散

包覆产品的保温时间应尽可能最短，即确保力学性能达到所需的要求时即可。较长的保温时间会使基体金属向包覆层扩散。出现该情况时，会对抗腐蚀性能产生不利影响。因此，对于包覆产品，应尽可能使保温时间达到最短以避免扩散。

A.3.3 不当的固溶热处理温度

如果超过了规定的最高温度，会有局部过烧的危险，并可能降低合金的力学性能。过烧会导致产品出现严重的气孔。如果温度低于规定的最低温度，固溶不充分，力学性能达不到要求，对抗腐蚀性能也会产生不利影响。

A. 3.4 二次固溶热处理对2017T4和2024T3、2024T4产品抗腐蚀性能的影响

2017T4 或 2024T3、2024T4 产品，二次固溶热处理的温度低于首次热处理的温度时，会导致抗腐蚀性能的降低。采用较长的均热时间往往可以解决这一问题，所以在二次固溶热处理上述合金中的每一种合金时，建议保温时间应长于平均时间，并且固溶热处理温度应在常规最大温度的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 之内。

A. 3.5 将锻件热处理到O1状态

这是用于特殊目的锻件的一种高温退火，例如增强对超声波的敏感度或获得尺寸的稳定性。为进行这种退火，产品所处的温度和时间与固溶热处理大致相同，但此种情况下产品要缓慢地冷却到室温。这种退火处理状态一般不作为产品的最终交货状态。

A. 3.6 用于提高抗腐蚀能力的淬火

对于某些状态的 2117 合金产品，不包铝及包铝的 2024、7075 合金产品，需要进行快速淬火以使产品获得最好的抗腐蚀能力。随着淬火速率的降低，这些合金对晶间腐蚀变得越发敏感，在出现腐蚀状况后，会导致力学性能的过度降低。

A. 4 包铝板

包铝板，是由单面或双面的铝或铝合金板完整地焊合到基体金属的表面构成的产品。总体上讲，包铝板的力学性能稍低于同一厚度的不包铝板材。但是不包铝板材的抗腐蚀能力通过包铝能够得以提高。

A. 5 退火处理

A. 5.1 热处理可强化铝合金的不完全退火

当热处理状态下的 2XXX、6XXX、7XXX 系铝合金在 340°C 下加热并冷却后，就是经过了不完全退火。产品通过不完全退火得以优化，得到了适当的强度并以利于成形。要将铝合金恢复到首次热处理状态须进行彻底的二次固溶处理。

A. 5.2 热处理可强化铝合金的完全退火

当所有的 2XXX、6XXX、7XXX 系铝合金按表 8 所建议的总体条件进行完全退火时，可达到最低的强度和最佳的成形性。若要改善性能，仍需要一个完整的热处理（固溶热处理、淬火和时效）过程。

A. 6 时效

A. 6.1 时效可使合金元素由固溶体内析出，提高合金的强度。这种情况通常在室温下（自然时效）缓慢发生或在温度升高（人工时效）的过程中进行。

A. 6.2 时效硬化后在室温条件下正常冷却。通常用“析出”一词代替“时效硬化”。对于大截面或大块产品，建议时效硬化采用相对较长的时间和较低的温度以改善所需的性能，提高性能的均匀性。对其他产品，如果对材料的所有要求均满足，可以较短时间、在成比例的较高温度下进行处理。

A. 7 人工时效

A. 7.1 人工时效能提高材料的强度

例如，将不包铝和包铝的 2024 铝合金在固溶热处理和自然时效（T4 状态）后，再升温加热（但

要大大低于退火温度)得到的抗拉强度和规定非比例延伸强度大大高于该合金在室温下长时间时效后的强度值,但材料的断后伸长率有所下降。该过程被称为“升温析出热处理”或“人工时效”。

A.7.2 对人工时效产品冷了加工的作用

经时效处理所达到的力学性能取决于人工时效后对材料进行的冷加工程度。因此,力学性能的提高都取决于加工产品时成形操作的强度,该点决定了所使用的坯料状态的选择。例如,对于经过一定程度冷加工处理的2024T36或2024T361材料,其时效后产品的力学性能要高于2024O或2024T3材料。成形操作中对产品冷加工处理的程度会影响到坯料金属,因此,与经过同样时效处理的坯料材料相比,时效后成形产品通常有更高的抗拉强度和规定非比例延伸强度,以及较低的断后伸长率。

A.7.3 对冷加工材料热处理的作用

退火或固溶热处理可消除任何冷加工对材料的影响。对退火材料随后进行固溶热处理和人工时效,只要材料在时效前不进行二次加工,即可以达到T6状态。只有在自然时效或人工时效之前完成一定量的冷加工才能达到更高的强度。例如:为达到T81、T84和T861状态,在固溶热处理之后和自然、人工时效之前,应将材料相应地冷加工到约1%、4%和6%。

A.8 残余拉应力对腐蚀性能的影响

一些热处理要素,如淬火介质和时效处理能够极大程度地影响产品中残余拉应力的程度,并影响材料的应力腐蚀性能。这些热处理要素可将残余拉应力减至最小。

A.9 电导率、硬度和状态的关系

表A.1和表A.2提供了有关包铝和不包括铝合金电导率、硬度和状态之间关系的典型值,仅供参考。电导率测定可受所用仪器探头的操作特性影响。

表 A.1 铝合金(未包铝)硬度及相应状态的电导率的典型值

牌号	状态 ^a	布氏 ^b 典型最小值	洛氏 ^c , 典型最小值				典型电导率 ^d %IACS
			B	E	H	15T	
1100	O	-	-	-	50	-	57.0~62.0
2014	O	-	22 ^e	70	95	-	43.5~51.5
	T3	100	65	95	-	82	31.5~35.0
	T4	100	65	95	-	82	31.5~35.0
	T6	125	78	102	-	86	35.0~41.5
2024	O	-	22	70	95	-	46.0~51.0
	T3	110	69	94	-	82	27.5~32.5
	T4	100	63	94	-	82	27.5~34.0
	T6	125	72	98	-	84	34.0~44.0
	T8	120	74	99	-	85	35.0~42.5
2048	T8	120	72	98	-	-	35.0~42.5
2124	T3	110	69	97	-	-	27.5~32.5
	T8	120	74	99	-	-	35.0~42.5

表 A.1 铝合金（未包铝）硬度及相应状态的电导率的典型值(续)

牌号	状态 ^a	布氏 ^b 典型最小值	洛氏 ^c ，典型最小值				典型电导率 ^d %IACS
			B	E	H	15T	
2219 ^f	O	—	22	70	95	—	44.0~49.0
	T3	98	60	92	—	79	26.0~31.0
	T37	100	62	93	—	81	27.0~31.0
	T4	100	58	90	—	78	28.0~32.0
	T6	110	62	93	—	81	32.0~36.0
	T8	115	71	98	—	83	31.0~35.0
	T87	125	75	100	—	84	31.0~35.0
3003	O	—	—	—	65	—	44.5~50.5
5052	O	—	—	70 ^e	95	—	34.0~37.0
6013	O	—	—	90	—	—	—
	T4	—	40	—	—	—	37.0~39.0
	T6	—	61	96	—	—	40.0~43.0
6061	O	40 ^e	—	—	75	—	42.0~50.0
	T4	50	—	60	—	64	35.5~43.0
	T6	80	42	85	—	78	40.0~50.0
6063	O	—	—	—	70	—	57.0~65.0
	T1	—	—	37	—	53	48.0~58.0
	T4	—	—	40	—	54	48.0~58.0
	T5	—	—	44	—	57	50.0~60.0
	T6	60	—	70	—	68	50.0~60.0
6066	O	—	—	40	—	—	42.0~47.0
6066	T4	—	—	85	—	76	34.0~41.0
	T6	100	65	95	—	82	38.0~50.0
7010	O	—	22	70	95	—	44.0~50.0
	T3	134	85	104	—	85	40.0~44.0
	T4	140	82	105	—	86	40.0~44.0
	T6	142	84	106	—	87	39.0~44.0
7049	O	—	22 ^e	70 ^e	95 ^e	—	44.0~50.0
	T73	135	81	104	—	85	40.0~44.0
7050	O	—	22 ^e	70 ^e	95 ^e	—	44.0~50.0
	T73	135	81	104	—	85	41.0~44.0
	T74	135	82	105	—	86	40.0~44.0

表 A.1 铝合金（未包铝）硬度及相应状态的电导率的典型值(续)

牌号	状态 ^a	布氏 ^b 典型最小值	洛氏 ^c ，典型最小值				典型电导率 ^d %IACS
			B	E	H	15T	
7050	T76	140	84	106	—	87	39.0~44.0
7075	O	—	22 ^e	70 ^e	95 ^e	—	44.0~48.0
	T6	135	84	106	—	87	30.5~36.0
	T73	125	78	102	—	85	40.0~43.0
	T76	130	82	104	—	86	38.0~42.0
7149	T76	140	84	106	—	87	38.0~44.0
7150	O	—	22	70	95	—	44.0~50.0
	T61	145	87	108	—	—	29.0~33.5
	T73	135	81	104	—	85	41.0~44.0
	T74	135	82	105	—	86	40.0~44.0
	T76	140	84	106	—	87	39.0~44.0
7178	O	—	—	—	95 ^e	—	43.5~47.0
	T6	145	87	108	—	88	29.0~34.0
	T76	140	84	106	—	87	38.0~42.0
7475	T73	—	—	103	—	—	40.0~44.5
	T76	—	—	105	—	—	38.0~42.0

^a 仅显示了基础状态。硬度值还适用于消除应力TX51、TX52、TX54、TX510或TX511状态和用户热处理T42、T62状态。

^b BHN, 500kg, 10mm球。

^c 退火(O)条件下的硬度值是典型的最大值,所有其他的硬度值是典型的最小值。15T值适用于0.8mm或小于0.8mm厚材料,还可用于不显示铁砧效应的最薄材料。

^d 典型电导率以国际标准退火铜(IACS)的电导率百分数表示。

^e 典型最大值。

^f 电导率不像冶金状态下硬度测试会影响2219合金强度那样易于受到影响。

表 A.2 热处理后的铝合金（包铝）硬度及相应状态的电导率的典型值

牌号	状态 ^a	薄板厚度 ^b mm	洛氏, 典型最小值 ^c			典型电导率 ^d %IACS
			B	E	15T	
2014	T6	<1.5	76	102	85	35.5~44.0
		≥1.5	75	101	—	35.5~44.0
2024	T3	<1.5	57	91	79	28.5~35.0
		≥1.5	60	93	—	28.5~35.0
	T4	<1.5	57	91	79	28.5~35.0
		≥1.5	60	93	—	28.5~35.0
	T6	<1.5	60	93	82	35.0~45.0

表 A.2 热处理后的铝合金（包铝）硬度及相应状态的电导率的典型值(续)

牌号	状态 ^a	薄板厚度 ^b mm	洛氏，典型最小值 ^c			典型电导率 ^d %IACS
			B	E	15T	
2024	T6	≥1.5	62	94	—	35.0~45.0
	T8	所有	65	97	82	35.0~45.0
2219 ^e	T6	<1.5	61	92	80	32.0~37.0
		≥1.5	60	91	—	32.0~37.0
	T8	<1.5	64	96	82	31.0~37.0
		≥1.5	63	95	—	31.0~37.0
6061	T6	所有	—	84	74	40.0~47.0
7075	T6	<0.8	78	103	86	30.5~36.0
		0.8~1.6	76	102	—	30.5~36.0
		≥1.6	75	101	—	30.5~36.0
	T76	<0.8	76	102	84	38.0~42.0
		0.8~1.6	75	101	—	38.0~42.0
		≥1.6	74	100	—	38.0~42.0
7178	T6	<1.0	79	104	86	29.0~34.0
		1.0~1.6	78	103	—	29.0~37.0
		≥1.6	76	102	—	29.0~37.0

^a 仅显示了基础状态。硬度值还适用于消除应力TX51、TX52、TX54、TX510或TX511状态和用户热处理T42、T62状态。

^b 这些数值适用于包铝薄板，对于大于2.3mm厚的包铝薄板，包覆层厚度是产生硬度值错误读数的原因。可去除局部包覆层，以便得到真实硬度读数。

^c 退火(O)条件下的硬度值是典型的最大值，所有其他的硬度值是典型的最小值。15T值适用于0.8mm或小于0.8mm厚材料，还可用于不显示铁砧效应的最薄材料。

^d 典型电导率以国际标准退火铜(IACS)的电导率百分数表示。

^e 电导率不像冶金状态下硬度测试会影响2219合金强度那样易于受到影响。

A.10 热处理

A.10.1 热处理统称

本标准中所使用的“热处理”一词是本标准所包含的所有热处理的总称，例如：固溶热处理、时效硬化热处理、稳定化处理和退火等。

A.10.2 热处理批次

A.10.2.1 利用加热炉热处理时，同一热处理批次是指同一合金、状态、规格的产品，在同一时间于同一热处理炉内进行的热处理。

A.10.2.2 利用盐浴槽热处理时，同一热处理批次是指同一合金、状态、规格的产品，在同一时间于同一盐浴槽内连续进行的热处理。

A. 10. 2. 3 利用在线热处理时，同一热处理批次是指同一合金、状态、规格的产品，在同一在线热处理设备（如：喷淋淬火、连续热处理炉）上连续生产并进行的热处理。

A. 10. 3 工作区

工作区是指在热处理工艺的加热及保温过程中，热处理设备被产品或原材料所占据的部分封闭空间。该区通常（但不总是）占据整个封闭空间的大部分。

A. 10. 4 固溶热处理造成的砂眼和气孔

这种情况在过去被称为高温氧化。现已公认，在固溶热处理过程中，进入到铝合金中的氢是造成表面砂眼和表层下面气孔出现的原因。

