

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 591—2006

变形铝及铝合金热处理

Heat treatment of wrought aluminium and aluminium alloys

2006-05-25 发布

2006-12-01 实施



中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

前 言

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会提出并归口。

本标准负责起草单位：东北轻合金有限责任公司。

本标准参加起草单位：西南铝业(集团)有限责任公司、中国有色金属工业标准计量质量研究所。

本标准主要起草人：王国军、唐明君、孙强、李晓风、陶志民、凌杲、王涛、葛立新。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会负责解释。

变形铝及铝合金热处理

1 范围

本标准规定了变形铝及铝合金热处理的要求和质量保证措施。

本标准适用于一般工业用变形铝及铝合金产品的热处理。

变形铝及铝合金材料零部件的热处理可参照执行本标准。

2 标准性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法。

GB/T 230 金属洛氏硬度试验

GB/T 231 金属布氏硬度试验

GB/T 3246.1 变形铝及铝合金制品显微组织检验方法

GB/T 7998 铝合金晶间腐蚀测定方法

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

3 要求

3.1 热处理设备

3.1.1 基本要求

3.1.1.1 所有热处理设备都应装有符合工艺控制要求的温度控制设备和记录设备,以确保所有加热区和保温区的温度控制均达到本标准的要求。

3.1.1.2 应保证仪表的精确度,并进行定期检定。

3.1.1.3 传感器的位置应由热处理炉的特性决定,并且传感器应置于能够准确测量工件和加热介质温度的位置。记录应能正确反映温度控制情况,并可存贮以备查阅。

3.1.1.4 淬火设备和装卸装置的安装位置,应保证淬火转移时间不超过表 5 规定的最长淬火转移时间。

3.1.1.5 铺设支承架时,应当最大限度地减少金属在热处理或淬火时的振动或移动。支架、固定装置、底座、吊篮的安装应保证在热处理或淬火时不会对所处理的产品质量产生影响。

3.1.2 设备类型与要求

3.1.2.1 周期性加热炉

周期性加热炉和盐浴槽的设计与建造应满足以下要求:

——在加热和保温期间,炉内任何一点的加热介质的温度都应受到控制;

——金属温度不会超过规定的保温温度范围。

3.1.2.2 盐浴槽

3.1.2.2.1 淬火槽的尺寸

淬火槽具备足够尺寸以保证材料能够完全浸没在淬火介质中,并保证能充分除去待淬火的预期载

荷内的热量。

3.1.2.2.2 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。如果搅拌充分,能保证淬火均匀,同时满足淬火的所有要求,也可采用搅动方式代替盐浴循环。

3.1.2.2.3 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。同时,应配备必要的仪表确保对温度进行控制。该仪表读数与实际温度的偏差应在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 范围内。

3.1.2.2.4 浸没速度

淬火系统应有控制固溶处理部件进入淬火介质速度的方法,如果该控制方法作为所要求的热处理工艺规程的一部分,则应保证部件淬火转移时间不超出本标准规定。

3.1.2.2.5 水洗和干燥

产品淬火所使用的水槽(水聚合物溶液除外),应确保产品表面干燥后不能目测到盐液残留物。水—含水聚合物溶液在所有使用期间内,其含盐量不应超过槽液总重量的6%。

3.1.2.2.6 冲洗设备

根据需要应使用冲洗槽、喷嘴或其他适合的设备,以确保干燥后金属表面没有盐液残留物或膜层存在。

3.1.2.3 连续式加热炉

对于连续式加热炉,当保温区内的所有炉料都达到所规定的温度范围的最低值后,该保温区的加热介质和炉料的温度波动应不大于 10°C 。但6061合金,最大温度波动允许达到 15°C 。

3.1.2.4 气室炉

对于那些在有关热处理炉内进行固溶热处理而实验证明没有气孔产生的产品,可采用燃烧介质与金属接触的气室炉进行热处理。

3.1.2.5 喷淋—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、压力和温度,以确保所有产品均能达到均匀的淬火效果。对于板材和挤压制品,应根据设备检测要求,通过监测进行校验。设备应装有校准的记录仪以监测喷淋淬火参数。

3.1.3 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/乙二醇混合液。

3.2 热处理工艺

3.2.1 基本要求

设备必需建立适合生产合格产品的工艺规程,并须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规程的适用性。当下列情形多次出现时,有必要重新审定工艺规程。

- a) 验收后的热处理设备,更换重要部件、彻底磨损、毁坏或改型需要磨合;
- b) 现有设备的热处理或其工艺操作规程不能满足本标准规定的质量要求;
- c) 在热处理效果监测或定期产品监测过程中测出任何不合格项。

3.2.2 装架和间距

3.2.2.1 一般要求

产品应进行装架,并保持间距,以保证加热和淬火介质充分进入所有载荷区内。装炉量应加以限制,以保证水温或聚合水溶液温度。

3.2.2.2 锻件的装架与间距

除3.2.2.1规定外,锻件应相互间隔开,间距大于其最大截面厚度,或按特殊装架工艺规程规定执行,保证产品经过充分加热或淬火。

3.2.2.3 固定装置

固定装置应保证对加热和淬火产生的影响最小,其定位应避免蒸汽截流,确保淬火液自由循环,防止蒸汽破坏淬火效果。

3.2.2.4 随机装架

厚度小于或等于 25 mm 的锻件,其随机装架或每层最大厚度允许达到 75 mm,架层之间最小间距为 75 mm,这样才能保证采取浸没方式淬火的产品质量。如果产品能达到相应的材料标准的要求,上述情况允许有例外。采用其他情况装架的产品试验结果记录应予以保留。

3.2.3 固溶热处理

3.2.3.1 固溶热处理温度

3.2.3.1.1 变形铝合金产品应按表 1 所规定的金属温度范围进行固溶热处理。

表 1 固溶热处理温度

牌号	产品类型	固溶热处理(金属) 温度/℃ ³⁾	状 态 代 号		
			淬火后 ¹⁾	自然时效后 ²⁾	消除应力后
2A01	所有制品	495~505	W	T4	T451
2A02	所有制品	495~505	W	T4	T451
2A04	所有制品	502~508	W	T4	T451
2A06 ¹⁾	所有制品	495~505	W	T4	T451
2A10	所有制品	510~520	W	T4	T451
2A11	所有制品	495~505	W	T4	T451
2B11	所有制品	495~505	W	T4	T451
2A12 ¹⁾	所有制品	490~500	W	T3 ⁴⁾ 、T361 ⁴⁾ 、T42	T451
2B12	所有制品	490~500	W	—	T451
2014	板材	496~507	W	T3 ⁴⁾ 、T42	T451
	卷材	496~507	W	T4、T42	T451
	厚板	496~507	W	T4、T42	T451
	线材、棒材	496~507	W	T4	T451
	挤压件	496~507	W	T4、T42	T4510、T4511
	拉伸管	496~507	W	T4	—
	模锻件	496~507	W	T4、T41	—
	自由锻件	496~507	W	T4、T41	T452
2A14	所有制品	495~505	W	—	—
2A16	所有制品	530~540	W	—	—
2017	其他线材、棒材	496~510	W	T4	T451
	铆钉线	496~510	W	T4	—
2117	其他线材、棒材	496~510	W	T4	—
	铆钉线	477~510	W	T4	—
2A17	所有制品	520~530	W	—	—
2018	模锻件	504~521	W	T4、T41	—
2218	模锻件	504~516	W	T4、T41	—
2618	模锻及自由锻件	524~535	W	T4、T41	—

表 1(续)

牌号	产品类型	固溶热处理(金属) 温度/℃ ³⁾	状 态 代 号		
			淬火后 ¹⁾	自然时效后 ²⁾	消除应力后
2219	薄板	529~541	W	T31 ⁴⁾ 、T37 ⁴⁾ 、T42	—
	厚板	529~541	W	T31 ⁴⁾ 、T37 ⁴⁾ 、T42	T351
	铆钉线	529~541	W	T4	—
	其他线材、棒材	529~541	W	T31 ⁴⁾ 、T42	T351
	挤压件	529~541	W	T31 ⁴⁾ 、T42	T3510、T3511
	模锻及自由锻件	529~541	W	T4	T352
2024	平板	488~499	W	T3 ⁴⁾ 、T361 ⁴⁾ 、T42	—
	卷材	488~499	W	T4、T42、T3 ⁴⁾	—
	铆钉线	488~499	W	T4	—
	厚板	488~499	W	T4、T42、T361 ⁴⁾	T351
	其他线材、棒材	488~499 ⁵⁾	W	T4、T36 ⁴⁾ 、T42	T351
	挤压件	488~499	W	T3 ⁴⁾ 、T42	T3510、T3511
	拉伸管	488~499	W	T3 ⁴⁾ 、T42	—
	模锻及自由锻件	488~499	W	T4	T352
2124	厚板	488~499	W	T4、T42	T351
2025	模锻件	510~521	W	T4	—
2048	板材	488~499	W	T4、T42	T351
2A50	所有制品	510~520	W	—	—
2B50	所有制品	510~520	W	—	—
2A70	所有制品	525~535	W	—	—
2A80	所有制品	525~535	W	—	—
2A90	所有制品	512~522	W	—	—
4A11 ^{1D)}	所有制品	525~535	W	—	—
4032	模锻件	504~521	W	T4	—
6A02	所有制品	515~525	W	—	—
6010	薄板	563~574	W	T4	—
6013	薄板	563~574	W	T4	—
6151	模锻件	510~527	W	T4	—
	轧制环	510~527	W	T4	T452
6951	薄板	524~535	W	T4、T42	—
6053	模锻件	516~527	W	T4	—
6061	薄板	516~579 ⁶⁾	W	T4、T42	—
	厚板	516~579	W	T4、T42	T451
	线材、棒材	516~579	W	T4、T42	T451

表 1(续)

牌号	产品类型	固溶热处理(金属) 温度/℃ ³⁾	状 态 代 号		
			淬火后 ¹⁾	自然时效后 ²⁾	消除应力后
6061	挤压件	516~579	W	T4、T42	T4510、T4511
	拉伸管	516~579	W	T4、T42	—
	模锻及自由锻件	516~579	W	T4、T41	T452
	轧制环	516~552	W	T4、T41	T452
6063	挤压件	516~529	W	T4、T42	T4510、T4511
	拉伸管	516~527	W	T4、T42	—
6066	挤压件	516~543	W	T4、T42	T4510、T4511
	拉伸管	516~543	W	T4、T42	—
	模锻件	516~543	W	T4	—
7001	挤压件	460~471	W		W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
7A03	所有制品	465~475	W	—	—
7A04 ¹¹⁾	所有制品	465~475	W	—	—
7A09 ¹¹⁾	所有制品	465~475	W	—	—
7010	厚板	471~482	W	—	W51 ¹⁾
7A19	所有制品	455~465	W	—	—
7039	薄板	449~460 ⁷⁾	W	—	—
	厚板	449~460 ⁷⁾	W	—	W51 ¹⁾
7049	挤压件	460~474	W		W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
7149	模锻及自由锻件	460~474	W	—	W52 ¹⁾
7050	薄板	471~482	W	—	—
	厚板	471~482	W	—	W51 ¹⁾
	挤压件	471~482	W	—	W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
	线材、棒材	471~482	W	—	—
	模锻及自由锻件	471~482	W	—	W52 ¹⁾
7150	挤压件	471~482	W	—	W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
	厚板	471~479	W	—	W51 ¹⁾
7075	薄板	460~499 ⁸⁾	W	—	—
	厚板 ⁹⁾	460~499	W	—	W51 ¹⁾
	线材、棒材 ⁹⁾	460~499	W	—	W51 ¹⁾
	挤压件	460~471	W		W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
	拉伸管	460~471	W	—	—
	模锻及自由锻件	460~477	W	—	W52 ¹⁾
	轧制环	460~477	W	—	W52 ¹⁾

表 1(续)

牌号	产品类型	固溶热处理(金属) 温度/℃ ³⁾	状 态 代 号		
			淬火后 ¹⁾	自然时效后 ²⁾	消除应力后
7475	薄板	471~521	W	—	—
	厚板	471~521	W	—	—
	薄板(包铝合金)	471~507	W	—	—
7076	模锻及自由锻件	454~488	W	—	—
7178	薄板 ¹⁰⁾	460~499	W	—	—
	厚板 ¹⁰⁾	460~488	W	—	W51 ¹⁾
	挤压件	460~471	W	—	W510 ¹⁾ 、W511 ¹⁾
1) 该状态是不稳定的,通常不用。 2) 仅适用能自然时效达到充分稳定状态的合金。 3) 表中所列的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(但对于 6061 合金,此差值为 17℃)。 4) 在固溶热处理之后时效之前进行必要的冷加工。 5) 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。 6) 6061 包铝板的最高温度不应超过 538℃。 7) 对于特定的截面、条件和要求,也可采用其他温度范围。 8) 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 0.5 mm 的带包铝板的 7075 合金应在 454℃~499℃范围内进行固溶热处理。 9) 对于厚度超过 102 mm 的板材和直径或厚度大于 102 mm 的圆棒和矩形棒,建议最高温度为 488℃,以避免熔化。 10) 在某些情况下,加热该合金超过 482℃会出现熔化。 11) 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℃。					

3.2.3.1.2 喷淋淬火用挤压材加热温度

喷淋淬火用挤压材的加热温度应符合表 2 规定。

表 2 喷淋淬火用挤压材的加热温度

牌 号	加热温度/℃	
	高温点	低温点
6005、6005A、6105	552	427
6061	557	454
6060、6063、6101、6463	552	427
6351	543	468
7004、7005	510	377
7029、7046、7116、7129、7146	538	454
注 1: 根据挤压比、截面形状和其他挤压参数的不同,温度范围可能会在很大程度上缩小。 注 2: 当对拉伸试验数据的统计分析证明材料符合拉伸性能的要求时,可对这些温度值适当调整。		

3.2.3.2 保温时间

炉料已达到要求的固溶热处理温度范围后,应当在该温度范围内进行必要的保温,以确保合金元素尽可能固溶,并保证产品时效后的性能。在连续式加热炉内,产品通过工作区的速度应适宜,以确保保温充分,保证产品进行时效后能达到该产品所适用的标准要求。推荐保温时间见表 3,当炉料包含不同厚度的截面的产品时,推荐保温时间按其中最大厚度的截面确定。

表 3 ,固溶热处理时的推荐保温时间

厚度/mm	保 温 时 间/min					
	板材、挤压件		锻件、模锻件		铆钉线和铆钉	
	盐浴槽	空气炉	盐浴槽	空气炉	盐浴槽	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	—	—

3.2.3.3 炉料操作要求

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炉子已达到表 1 所规定的温度范围(包括较低的温度),才能在降温趋势下装炉,如果炉子是自动控制的,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。

3.2.3.4 重复固溶热处理

3.2.3.4.1 包铝材料重复热处理次数不应超过表 4 的规定。

表 4 包铝合金重复固溶热处理

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

3.2.3.4.2 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。

3.2.3.4.3 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 4 的基础上增加一次重复固溶热处理。

3.2.3.4.4 未经供方同意,需方不应对供方提供的下列状态产品进行重复固溶热处理或退火。

- a) HX6、HX4、T451、T651、T7X51 状态(通常由供方提供,需方无法获得);
- b) T4、T6、T7X 状态(重复固溶热处理后,其抗拉强度会降低 10 MPa~20 MPa)。

3.2.3.4.5 2A11-T4 和 2A12-T4 薄板重复固溶热处理温度低于原先的热处理温度,则抗腐蚀性能降

低。采用较长的保温时间能克服这一损失,对这些合金重复固溶热处理时,建议仍用表 1 的温度,保温时间可缩短一半。若采用比表 1 低的固溶热处理温度时,最多允许降低 3℃,并采用比表 3 的平均时间长的保温时间。

3.2.3.5 包铝薄板的固溶热处理

包铝薄板进行固溶热处理时的最长恢复时间(开始装料时到炉温恢复到规定温度最小值时的时间):

- 厚度小于 1.2 mm 的板材,时间为 30 min;
- 厚度等于或大于 1.2 mm,且小于 2.5 mm 的板材,时间为 60 min;
- 厚度等于或大于 2.5 mm 的薄板,时间为 120 min。

注:如果炉料由一组厚度各异的包铝薄板组成,那么炉料的最长恢复时间则应按其中厚度最小或截面最小的工件的限定时间执行。

3.2.4 淬火

3.2.4.1 浸没淬火

3.2.4.1.1 浸没淬火时介质温度

水槽容积和水循环一般应保证完成淬火时的水槽温度不超过 40℃。使用水聚合物溶液时,溶液的容积和循环均应保证任何时候水温不超过 55℃。

3.2.4.1.2 浸没淬火的转移时间

淬火产品浸没前所允许的最长转移时间应符合表 5 规定,按产品截面厚度对应转移时间执行。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的规定状态后进行的力学性能试验决定。

表 5 建议最长淬火转移时间(浸没淬火时)

厚度/mm	最长淬火转移时间/s ^{1) 2)}
<0.4	5
≥0.4~0.8	7
≥0.8~2.3	10
≥2.3~6.5	15
>6.5	20
1) 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。 2) 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。	

3.2.4.1.3 产品在淬火液中停留时间

采用浸没淬火的产品,在淬火液中停留时间,按其厚度或其中最厚截面部分计算,每 25 mm 厚度不得少于 2 min。或者,沸腾停止后,产品在淬火液中的浸没时间不少于 2 min。

3.2.4.1.4 浸没淬火产品的监控

3.2.4.1.4.1 装架或间隔记录

应保留图纸或其他相应形式的文件以保证正确装架。所保留的每个装架计划记录应说明所生产出来的材料满足相应材料标准要求,如果合同或订单中另有规定,装架计划应由用户审定认可。

3.2.4.1.4.2 定期检验

装架计划还应包括通过测试电导率、硬度而对轧制产品进行的定期检验,以及通过测试力学性能而对产品进行的日常检验,以确认淬火一直很充分。应记录检验的频率和结果,并保留记录。

3.2.4.1.4.3 检验装架的可靠性

除非另有规定,可通过对适量的轧制产品进行电导率测定来确定装架的可靠性。

3.2.4.1.4.4 锻件的测试

锻件应在一个 50 mm 的栅格上进行电导率的测试。当尺寸限制使之无法按此方法进行测试时,应在试样坯件上选取足够数量点进行测量,以检验淬火是否充分。或者每个检验批次选取一个试样坯件,经淬火达到要求的状态时,然后将其截断为几个用于力学性能测试的测试坯件。

3.2.4.1.4.5 挤压件测试

应沿挤压件截面周边最大间距 50 mm、长度方向最大间距 600 mm 范围内进行电导率的测量,除非挤压件的形状不允许。厚度小于 10 mm 的任何实心型材,只需要检测一面电导率;不需要检测挤压型材的两个或多个连接面相对的表面电导率。

3.2.4.1.4.6 厚板的测试

对于厚板,应在厚度方向为 100 mm、长度方向为 600 mm 的范围内进行电导率的测量,至少有一块试样应在料或料架的中间处截取,另两块则随机取。

3.2.4.2 挤压材的喷淋淬火

3.2.4.2.1 喷淋淬火条件

对于整个淬火区来说,管路内淬火液的温度和压力应保持在工艺规程建立时确定的范围内。

3.2.4.2.2 挤压材喷淋淬火的时间要求

挤压材从挤压模具到淬火区入口之间的时间(时间间隔)应满足表 6 要求。

表 6 时 间 间 隔

厚度/mm	时间间隔/s 不大于
≤1.6	45
>1.6~3.8	50
>3.8~6.4	60
>6.4	90
注 1: 淬火区边界应满足表 7 中的最小冷却速率的极限。 注 2: 对于最薄的挤压材,通常控制在最长允许时间间隔对应的厚度范围内。如果此挤压材最薄处不需要考虑性能,除非其代表此挤压材的最后的冷却部分,通常可不考虑其时间间隔限制。 注 3: 仅当整个挤压固溶热处理文件,包括辅助的力学性能统计资料,能证明增加的时间间隔没有负面效应时,才可采用更长的时间间隔。	

3.2.4.2.3 挤压材喷淋淬火冷却速率

挤压材喷淋淬火时,淬火区的最小冷却速率应符合表 7 的要求。

表 7 淬火区最小冷却速率

牌 号	冷却速率/(℃/s)
6005、6005A、6105	2
6061、6351	8
6060、6063、6101、6463、7004、7005	1
7029、7046、7116、7146	6
注 1: 冷却速率定义为,在稳定的冷却系统中,挤压材初始温度降至 204℃时的平均温降。 注 2: 允许在冷却至 204℃的过程中,环境空气不流动。 注 3: 如果有工艺文件记载,并且统计数据确认可满足材料的技术要求时,可采用较低的冷却速率。	

3.2.4.2.4 挤压材喷淋淬火效果的拉伸试验分析测试

3.2.4.2.4.1 测试用产品

分别取 W 状态的 2×××系和 7×××系合金最小和最大挤压截面的挤压制品,通过喷水淬火处

理。测试材料可以是任何宽度的挤压制品,并且要有足够多的试验坯料同时进行淬火以便能够充分计算炉子和淬火室的有效空间。应记录下淬火液管路内的温度和压力并保留记录。

3.2.4.2.4.2 测试用试样

在测试挤压件上截取试样,通过分析喷水淬火和时效硬化后试样的拉伸性能可确定淬火效果。在挤压过程中,纵轴平行于挤压头运行方向的试样毛料,应在喷水淬火料的每一端、沿着淬火宽度方向,间距 152 mm 处截取,为确定淬火能力,使厚度最大部分能够达到理想的淬火,试样毛料应沿宽度或厚度方向的几个位置截取,其中之一在厚度的 1/2 位置截取,以符合横截面的尺寸匹配和尺寸要求。试样毛料应为能够加工成拉力试样的薄板,以符合尺寸匹配和尺寸要求。任何测试挤压件的毛料切割深度都不应高于底面(淬火过程中)的 0.64 mm。如果在数据文件中允许有一定的偏差,应与标准尺寸匹配。截取的试样应和完整的一批模拟生产料一起时效硬化,达到车间产品的一个代表状态。拉伸试样应由时效硬化后的毛料加工而成。加工后的试样尺寸应符合 GB/T 16865,并根据 GB/T 228 进行拉伸试验。

3.2.4.2.4.3 测试效果

试样的拉伸性能应符合相应的产品标准规定。

3.2.4.3 板材的喷淋淬火

3.2.4.3.1 板材喷淋淬火的条件

对于整个淬火区来说,管路内淬火液的温度和压力应保持在工艺规程建立时确定的范围内。

3.2.4.3.2 板材喷淋淬火效果的拉伸试验分析测试

3.2.4.3.2.1 测试用产品

分别取 W 状态的 2×××系和 7×××系(最好是 7075)合金最小和最大厚度的板材通过喷淋淬火生产进行处理。测试板材的尺寸应达到通过它完全能够计算出炉子和淬火室的有效空间的程度。测试淬火过程中应记录淬火液管路内的温度和压力并保留记录。

3.2.4.3.2.2 测试用试样

在测试板材上截取试样,通过分析喷水淬火和时效硬化后试样的拉伸性能可确定淬火效果。截取下来的试样毛料的数量和位置应遵照图 1 和图 2(适用于所测试的板材厚度)。根据图 1 截取的试样毛料从每一个固溶热处理和喷淋淬火后的测试板材上截取的。这些试样应同测试板材的其余部分一同时效或经试验室用炉的处理达到可代表产品的状态。时效后,应根据图 2 从测试板材上截取一块试样毛料。试样应由时效后的毛料加工而成。加工后的试样尺寸应符合 GB/T 16865,并根据 GB/T 228 进行拉伸试验。

3.2.4.3.2.3 测试效果

试样的拉伸性能应符合相应的产品标准规定。

3.2.4.4 板材喷水淬火的电导率监控

3.2.4.4.1 产品监控的频率

板材厚度不小于 6.5 mm 的产品由符合规定的设备进行淬火时,每月应进行一次产品电导率的检测。此外,至少每 6 个月应检测一次热处理生产线上最大厚度产品的电导率。

3.2.4.4.2 测试用产品

测试用产品应为符合规定的 7075 合金产品,除非设备不能生产该种产品或在检测时不能提供 7075 合金产品。出现这种情况时,符合规定的其他合金产品也可用于测试,条件是该合金具有足够的淬火敏感性,并且已确定该产品在特定状态下的电导率范围,以便分析设备的性能。

3.2.4.4.3 测量电导率

确定电导率的测试步骤应符合电导率的测量对象是 W 状态产品,在淬火后的 10 h 以上,人工时效前,电导率稳定后进行。板材的电导率测试,应在长度最大间距 600 mm,宽度最大间距 100 mm 的范围内测量。

3.2.4.4.4 电导率测试结果评定

电导率测试结果应符合相应产品标准的规定。

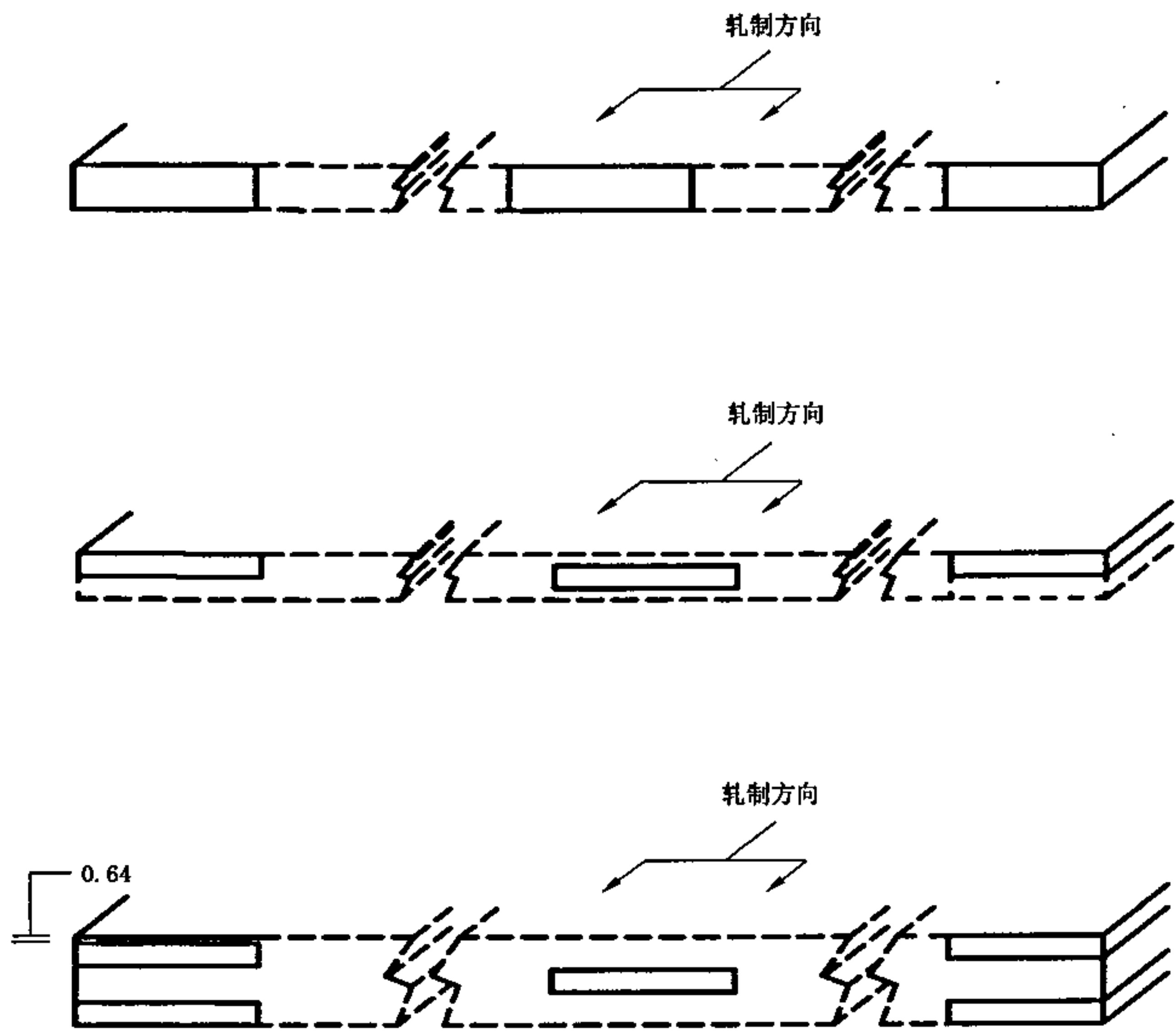
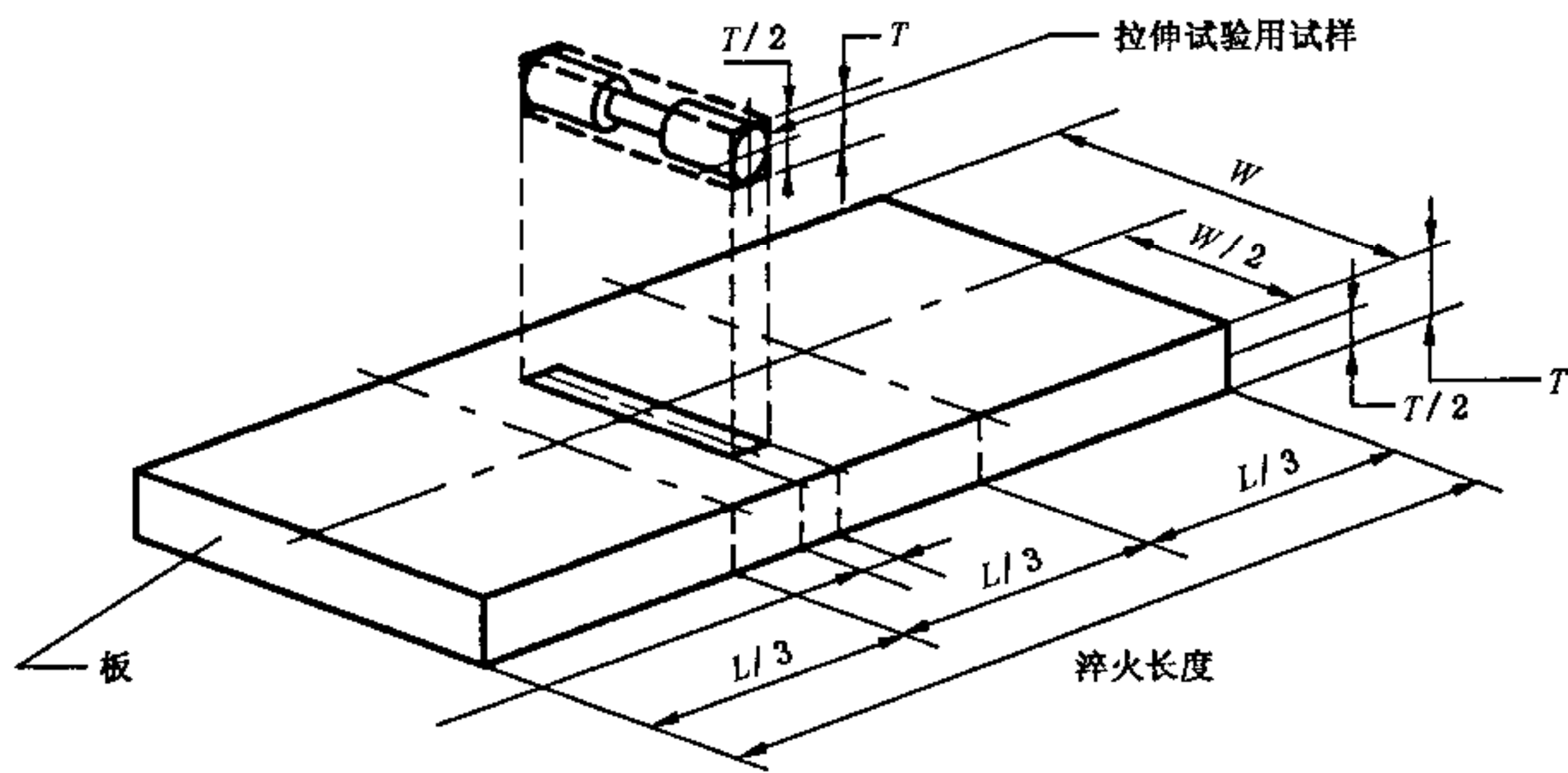


图 1



试样宽度可以从 L 中间范围内任意截取(淬火长度)

T ——厚度；

L ——淬火长度；

W ——宽度。

图 2

3.2.5 建议的时效热处理制度

表 8 所列为典型的时效处理制度,但对于某些特定产品而言,此典型制度并非最佳。

表 8 建议的时效热处理制度

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
2A01	—	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2A02	—	所有制品	165~175	16	T6
			185~195	24	T6
2A04	—	铆钉线材、铆钉	室温	≥240	T4
2A06	—	所有制品	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≤2.5 mm 包铝板	185~195	12	T62
	—	壁厚≤5 mm 挤压型材	185~195	12	T62
				6~12	T6
2B12	—	铆钉线材、铆钉	室温	≥96	T4
2014	W	除锻件外	室温	≥96	T4、T42
	T4	板材	154~166	18	T6
	T4、T42 ³⁾	除锻件外	171~182	10	T6、T62
	T451 ³⁾	除锻件外	171~182	10	T651
	T4510	挤压件	171~182	10	T6510
	T4511	挤压件	171~182	10	T6511
	W	自由锻件	室温	≥96	T4
	T4		166~177	10	T6
	T41		171~182	5~14	T61
	T452		166~177	10	T652
2A14	—	所有制品	室温	≥96	T4
			155~165	4~15	T6
2A16	—	其他所有制品	室温	≥96	T4
			160~170	10~16	T6
			205~215	12	T6
	—	厚度 1.0 mm~2.5 mm 包铝板材	185~195	18	—
		壁厚 1.0 mm~1.5 mm 挤压型材	185~195	18	—

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
2017	W	所有制品	室温	≥96	T4
	T4	所有制品	—	—	—
	T451	所有制品	—	—	—
2A17	W	所有制品	180~190	16	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	10	T61
2218	W	模锻件	室温	≥96	T4、T41
	T4	模锻件	166~177	10	T61
	T41	模锻件	232~243	6	T72
2618	W	除锻件外	室温	≥96	T4
	T41	模锻件	193~204	20	T61
2A19	W	所有制品	160~170	18	T6
2219	W	所有制品	室温	≥96	T4、T42
	T31	薄板	171~182	18	T81
	T31	挤压件	185~196	18	T81
	T31	铆钉线材	171~182	18	T81
	T37	薄板	157~168	24	T87
	T37	厚板	171~182	18	T87
	T42	所有制品	185~196	36	T62
	T351	所有制品	171~182	18	T851
	T351	圆棒、方棒	185~196	18	T851
	T3510	挤压件	185~196	18	T8510
	T3511		185~196	18	T8511
	W	锻件	室温	≥96	T4
	T4		185~196	26	T6
	T352	自由锻件	171~182	18	T852
2024	W	所有制品	室温	≥96	T4、T42
	T3	薄板、拉伸管	185~196	12	T81
	T4	线材、棒材	185~196	12	T6
	T3	挤压件	185~196	12	T81
	T36	线材	185~196	8	T86
	T42	薄板、圆棒	185~196	9	T62
	T42	薄板	185~196	16	T72

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
2024	T42	薄板、厚板除外	185~196	16	T62
	T351	薄板、厚板	185~196	12	T851
	T361		185~196	8	T861
	T3510	挤压件	185~196	12	T8510
	T3511		185~196	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	12	T6
	T352	自由锻件	185~196	12	T852
2124	W	厚板	室温	≥96	T4、T42
	T4		185~196	9	T6
	T42		185~196	9	T62
	T351		185~196	12	T851
2025	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~177	10	T6
2048	W	除锻件外	室温	≥96	T4、T42
	T42	薄板、圆棒	185~196	9	T62
	T351	薄板、厚板	185~196	12	T851
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
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
4A11	—	所有制品	165~175	8~12	T6
4032	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	165~175	10	T6
6A02	—	所有制品	室温	≥96	T4
			155~165	8~15	T6
6010	W	薄板	171~182	8	T6
6013	T4	除锻件外	185~196	4	T6

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
6151	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~182	10	T6
	T452	轧环	166~182	10	T652
6053	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	166~177	10	T6
6061	W	除锻件外	室温	≥96	T4、T42
	T1	圆棒、方棒、型材和挤压件	171~182	8	T5
	T4	挤压件除外	154~166	18	T6
	T451		154~166	18	T651
	T42		154~166	18	T62
	T4	挤压件	171~182	8	T6
	T42		171~182	8	T62
	T4510		171~182	8	T6510
	T4511		171~182	8	T6511
	W	模锻和自由锻件	室温	≥96	T4
	T41	模锻和自由锻件	171~182	8	T61
	T452	轧环和自由锻件	171~182	8	T652
6063	W	挤压件	室温	≥96	T4、T42
	T1	除锻件外	177~188	3	T5、T52
	T1	除锻件外	213~224	1~2	T5、T52
	T4	除锻件外	171~182	8	T6
	T4	除锻件外	177~188	6	T6
	T42	除锻件外	171~182	8	T62
	T42	除锻件外	177~188	6	T62
	T4510	除锻件外	171~182	8	T6510
	T4511	除锻件外	171~182	8	T6511
6066	W	挤压件	室温	≥96	T4、T42
	T4	除锻件外	171~182	8	T6
	T42	除锻件外	171~182	8	T62
	T4510	除锻件外	171~182	8	T6510
	T4511	除锻件外	171~182	8	T6511
	W	模锻件	室温	≥96	T4
	T4	模锻件	171~182	8	T6

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ²⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
6951	W	除锻件外	室温	≥96	T4、T42
	T4	薄板	154~166	18	T6
	T42		154~166	18	T62
7001	W	挤压件	116~127	24	T6
	W510		116~127	24	T6510
	W511		116~127	24	T6511
7A03	—	铆钉线材	95~105	3	T6
		铆钉	163~173	3	
7A04	—	包铝板材	115~225	24	T6
	—	挤压件、锻件及非包铝板材	135~145	16	T6
	—	所有制品	115~125 155~165	3	T6
7A09	—	板材	125~135	8~16	T6
	—	挤压件、锻件	135~145	16	T6
	—	锻件、模锻件	105~115 172~182	6~8 8~10	T73
			105~115 160~170	6~8 8~10	T74
7A19	—	所有制品	115~125	2	T6
			95~105 175~185	10 2~3	T73
			95~105 150~160	10 10~12	T76
7010	W51	厚板	116~127 166~177	6~24 6~15	— T7651
			116~127 166~177	6~24 9~18	T7451
	W51	厚板	116~127 166~177	6~24 15~24	T7351
7039	W	薄板	74~85 154~166	16 14	T61
	W51	厚板	74~85 154~166	16 14	T64
7049 7149	W511	挤压件	室温 116~127 160~166	>48 24 12~14	T76510 T76511
			室温 116~127 163~168	>48 24 12~21	T73510 T73511

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
7049	W W52	模锻和自由锻件	室温	>48	T73 T7352
			116~127	24	
			160~166	10~16	
7149	W	模锻和自由锻件	室温	>48	—
	W52	锻件	116~127 160~171	24 10~16	T73 T7352
7050	W51 ⁸⁾	厚板	116~127 157~168	3~6 12~15	T7651
			116~127 157~168	3~8 24~30	T7451
	W510 ⁸⁾	挤压件	116~127 157~168	3~8 15~18	T76510
	W511 ⁸⁾		116~127 157~168	3~8 15~18	T76511
	W ⁸⁾	线材、圆棒、铆钉线	118~124 177~182	≥4 ≥8	T73
	W	模锻件	116~127 171~182	3~6 6~12	T74
	W52	自由锻件	116~127 171~182	3~6 6~8	T7452
	W510 W511	挤压件	116~127 154~166	8 4~6	T6510 T6511
		厚板	116~127 149~160	24 12	T7651
	W ⁷⁾	所有制品	116~127	24	T6、T62
7075	W ^{5) 8)}	薄板和厚板	102~113 157~168	6~8 24~30	T73
	W ⁸⁾		116~127 157~168	6~8 15~18	T76
	W ^{6) 8)}	线材、圆棒和方棒	102~113 171~182	6~8 8~10	T73
	W ^{5) 8)}	挤压件	102~113 171~182	6~8 6~8	T73
	W ⁸⁾		116~127 154~166	3~5 18~21	T76

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
7075	W51 ^{5) 8)}	厚板	102~113 157~168	6~8 24~30	T7351
	W51 ⁸⁾	厚板	116~127 157~168	3~5 15~18	T7651
	W51 ⁹⁾	所有制品	116~127	24	T651
	W51 ^{6) 8)}	线材、圆棒、方棒	102~113 171~182	6~8 8~10	T7351
	W510 ⁷⁾	挤压件	116~127	24	T6510
	W511 ⁷⁾		116~127	24	T6511
	W510 ^{5) 8)}	挤压件	102~113 171~182	6~8 6~8	T73510
	W511 ^{5) 8)}		102~113 171~182	6~8 6~8	T73511
	W510 ^{5) 8)}		116~127 154~166	3~5 18~21	T76510
	W511 ^{5) 8)}		116~127 154~166	3~5 18~21	T76511
	T6 ⁸⁾	薄板	157~168	24~30	T73
	T6 ⁸⁾	线材、圆棒、方棒	171~182	8~10	T73
	T6 ⁸⁾	挤压件	171~182	6~8	T73
			154~166	18~21	T76
	T651 ⁸⁾	厚板	157~168	24~30	T7351
			157~168	15~18	T7651
	T651 ⁸⁾	线材、圆棒、方棒	171~182	8~10	T7351
	T6510 ⁸⁾	挤压件	171~182	6~8	T73510
			154~166	18~21	T76510
	T6511 ⁸⁾		171~182	6~8	T73511
			154~166	18~21	T76511
	W	锻件	116~127	24	T6
	W ⁸⁾		102~113 171~182	6~8 8~10	T73
	W52	自由锻件	116~127	24	T652
	W52 ⁸⁾	锻件	102~113 171~182	6~8 6~8	T7352
	W51	轧环	102~113 171~182	6~8 6~8	T7351
	W	模锻件和自由锻件	102~113 171~182	6~8 6~8	T74

表 8(续)

牌 号	时效前的状态	产品类型	时效制度 ¹⁾		时效硬化热处理后 状态的代号
			金属温度 ⁴⁾ /℃	时效时间 ²⁾ /h	
7175	W52	自由锻件	116~127	24	T652
	W	模锻和自由锻件	102~113 171~182	6~8 6~8	T74
7475	W	薄板	116~127 157~163	3 8~10	T761
	W51	厚板	116~127	24	T651
7076	W	模锻件和自由锻件	129~141	14	T6
7178	W	除锻件外	116~127	24	T6、T62
	W ⁸⁾	薄板	116~127 157~168	3~5 15~18	T76
	W ⁸⁾	挤压件	116~127 154~166	3~5 18~21	T76
	W51	厚板	116~127	24	T651
	W51 ⁸⁾		116~127 157~168	3~5 15~18	T7651
	W510	挤压件	116~127	24	T6510
	W510 ⁸⁾	挤压件	116~127 154~166	3~5 18~21	T76510
	W511	挤压件	116~127	24	T7651
	W511 ⁸⁾	挤压件	116~127 154~166	3~5 18~21	T76511

1) 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,要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。

2) 在时效时要迅速升温使金属达到时效温度,时效时间是从金属温度全部达到最低时效温度开始计时,金属温度在时效温度范围内所保持的时间。

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

4) 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。

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

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

7) 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 5 h,随后在 116℃~127℃下加热 4 h,接着在 143℃~154℃下加热 4 h。

8) 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。

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

3.2.6 推荐的退火工艺

表 9 列出了加工硬化变形铝合金的推荐退火制度。对于特定产品要达到预期的结果,需确定最佳退火制度。为避免晶粒生长,退火温度不应超过 415℃。

表 9 推荐变形铝及铝合金的退火工艺

牌 号	金属温度 ¹⁾ /℃	保温时间/h	冷却速度
1070A、1060、1050A、1035、1100、1200、3004、3105、3A21、5005、5050、5052、5056、5083、5086、5154、5254、5454、5456、5457、5652、5A01、5A02、5A03、5A05、5A06、5B05 ⁴⁾	350~410	按金属的直径或温度确定保温时间。但保温时间不宜过长,以晶粒度满足有关标准为宜。冷却速度并不重要	对于镁含量大于 5% 的 5×××合金采用空冷,其他合金采用水冷或空冷
2036	325~385	1~3	以不大于 30℃/h 的冷却速度随炉至 260℃ 以下出炉空冷 ³⁾
3003	355~415	1~3	
2014、2017、2024、2117、2219、2A01、2A02、2A04、2A06、2B11、2B12、2A10、2A11、2A12、2A16、2A17、2A50、2B50、2A70、2A80、2A90、2A14、6005、6053、6061、6063、6066、6A02	350~410 ²⁾	1~3	
7001、7075、7175、7178、7A03、7A04、7A09	320~380 ³⁾	1~3	
1) 退火炉内金属温度应控制在±10℃。 2) 退火消除固溶热处理的影响。以冷却速度 30℃/h,从退火温度降到 260℃,随后的冷却速度不重要。 3) 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 4 h,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) 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℃。			

4 质量保证措施

4.1 检查职责

除合同或订单中另有规定外,供方应负责履行本标准规定的所有检验。必要时需方有权对标准所述的任一检验项目进行检查。

4.2 合格责任

所有产品的热处理必须符合本标准要求。若合同中包括本标准未规定的要求,供方还应该保证提交验收的制品符合合同要求。

4.3 型式检验

应每年进行一次对炉子负荷能力的测试。如果需要更高的测试频率,则需制定一个测试计划,其中包括增加后的测试频率。型式检验时,如果当日内没有该种类型的产品进行热处理,则测试料应从经过热处理的产品类型中选取,通过这种方式,应全部覆盖表 10 所要求的测试范围。对空气炉热处理的不包铝制品(锻件除外)还应做多孔性试验,积累试验数据,可不作为检验依据。

表 10 型式检验项目

材 料	力学性能 ¹⁾	晶间腐蚀 ²⁾	包铝层扩散(仅包铝合金)	过烧和气孔
厚板、薄板	√	√ ³⁾	√ ⁴⁾	√
杆、棒、线和型材	√	√ ³⁾	—	√
锻件	√	—	—	√
管材	√	—	—	√
紧固件、铆钉线	√	√	—	√
注：“√”表示需检验的项目。				
1) 按相应的材料标准的规定。				
2) 仅适用于不包铝或包铝的 2×××、6×××和 7×××合金系列。				
3) 仅要求厚度小于 6.0 mm 的金属。				
4) 仅要求厚度大于 0.5 mm 的金属。				

4.4 检测方法

4.4.1 力学性能的测试方法

4.4.1.1 除非每一热处理批次都进行测试,否则应制取 9 个试样进行拉伸试验,所选取的试样应有充分的代表性,这些产品同每月的生产测试料一起是经过热处理炉(槽)处理过的。如果采用了其他经过批准的测试步骤,则应由使用方授权的代表机构许可免于该项测试,拉伸试样应包括由最慢速淬火部分所选取的试样,该部分经最高和最低固溶热处理温度的处理,对于热处理后的形状不规则的产品,试样的选取位置应包括最厚到最薄的不同截面。

4.4.1.2 对于热处理后的轧制产品,当试样制取不可行时,拉伸试样应从与生产料一同热处理的产品中制取。应对试样的厚度、合金和它们在炉料中的位置进行选择,以代表在之前的月份进行热处理的产品,应选取经过了最低淬火速度的那部分产品,且经过了最高和最低固溶热处理温度的处理。

4.4.1.3 试样应符合 GB/T 16865,试验方法按 GB/T 228。

4.4.2 晶间腐蚀试验方法

对力学性能检测中,检测出非比例延伸强度最低的拉伸试样进行晶间腐蚀试验,腐蚀试验方法按 GB/T 7998 规定进行。

4.4.3 包铝合金的扩散试验

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 倍~1 000 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。

4.4.4 过烧和气孔的检验方法

固熔热处理导致的过烧和气孔检验方法按 GB/T 3246.1 进行。

4.4.5 电导率的测定

电导率的测定按 GB/T 12966 进行。

4.4.6 硬度测定

需要进行硬度测定时,产品硬度的测试方法按 GB/T 230 或 GB/T 231 规定进行。

4.5 试验结果不合格的处理

4.5.1 当试验结果出现不合格时,应查明原因。若试验表明热处理设备和工艺不能用于铝合金热处理,应排除故障和调整工艺、重新进行试验直到试验的项目达到合格为止。对于已生产的可疑制品要进行检验,分成合格及不合格并进行处理。

4.5.2 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。

4.5.3 经热处理的制品,当力学性能和晶间腐蚀不合格时,可在本标准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。

4.6 检查记录的保管

4.6.1 除非另有规定,否则从检查之日起3年内检查记录都应归档,以备查阅。

4.6.2 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。

4.6.3 本标准所要求的所有试验的结果都应保存3年(从试验之日算起)。

4.6.4 本标准要求的生产过程记录都应从产品检验之日起归档保存3年,以备查阅。

4.6.5 应保存每台热处理炉和淬火设备的记录,以证明符合本标准的规定。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查阅,一直保存到工艺规程重新审定后2年。

附 录 A
(资料性附录)
铝合金热处理常用知识

A.1 盐浴槽的优点

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,分解了的化合物氮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 350 g 的重铬酸钠或重铬酸钾可以阻止这种侵蚀。

A.2 气室炉的优点

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

固溶热处理,是将合金加热到适当的温度(见表 1),以使可溶成分有足够的时间进入到固溶体中,通过在适当的淬火介质中快速冷却,使可溶成分以过饱和状态存在于固溶体中。

A.3.1 保温时间

为使固溶体达到一定程度所需的保温时间。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 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.3.3 包覆产品的扩散

包覆产品的保温时间尽可能最短,力学性能达到所需的要求即可。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.3.4 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.3.5 二次固溶热处理对 2017-T4 和 2024-T3、T4 抗腐蚀性能的影响

2017-T4 或 2024-T3、T4 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会克服这一问题,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.3.6 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。这种退火处理一般用于产品固溶热处理和时效到所需状态前需加工的产品。

A.4 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.5 状态代号

本标准所使用的状态代号符合 GB/T 16475 规定。

A.6 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.7 退火处理

A.7.1 热处理可强化铝合金的不完全退火

当热处理状态下的 2×××、6×××、7×××系铝合金在 340℃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.7.2 热处理可强化铝合金的完全退火

当所有的 2×××、6×××、7×××系铝合金按表 9 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.8 时效

A.8.1 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)的过程中更迅速地发展。

A.8.2 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.8.3 人工时效

A.8.3.1 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.8.3.2 对人工时效产品冷加工的作用

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 2024-T36 或 2024-T361 材料,其时效后部件的力学性能要高于 2024-O 或 2024-T3 材料部件。成形操作中对部件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,时效后成形部件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.8.3.2.1 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.9 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部件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.10 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 ¹⁾	布氏 ²⁾ 典型最小值	洛氏 ³⁾ 典型最小值				典型电导率 ⁴⁾ / % IACS
			B	E	H	15T	
1100	0	—	—	—	50	—	57.0~62.0
2014	0	—	22 ⁵⁾	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	0	—	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
2219 ⁶⁾	0	—	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	0	—	—	—	65	—	44.5~50.5
5052	0	—	—	70 ⁵⁾	95	—	34.0~37.0

表 A. 1(续)

牌 号	状态 ¹⁾	布氏 ²⁾ 典型最小值	洛氏 ³⁾ 典型最小值				典型电导率 ⁴⁾ / % IACS
			B	E	H	15T	
6013	0	—	—	90	—	—	—
	T4	—	40	—	—	—	37.0~39.0
	T6	—	61	96	—	—	40.0~43.0
6061	0	40 ⁵⁾	—	—	75	—	42.0~50.0
	T4	50	—	60	—	64	35.5~43.0
	T6	80	42	85	—	78	40.0~50.0
6063	0	—	—	—	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	0	—	—	40	—	—	42.0~47.0
	T4	—	—	85	—	76	34.0~41.0
	T6	100	65	95	—	82	38.0~50.0
7010	0	—	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	0	—	22 ⁵⁾	70 ⁵⁾	95 ⁵⁾	—	44.0~50.0
	T73	135	81	104	—	85	40.0~44.0
7050	0	—	22 ⁵⁾	70 ⁵⁾	95 ⁵⁾	—	44.0~50.0
	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
7075	0	—	22 ⁵⁾	70 ⁵⁾	95 ⁵⁾	—	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	0	—	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

表 A.1(续)

牌 号	状态 ¹⁾	布氏 ²⁾ 典型最小值	洛氏 ³⁾ 典型最小值				典型电导率 ⁴⁾ /% IACS
			B	E	H	15T	
7178	0	—	—	—	95 ⁵⁾	—	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
1) 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。 2) BHN,500 kg,10 mm 球。 3) 退火(0)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 0.8 mm 或小于 0.8 mm 厚材料,还可用于不显示铁砧效应的最薄材料。 4) 典型电导率以国际标准退火铜(IACS)的电导率百分数表示。 5) 典型最大值。 6) 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 ¹⁾	薄板厚度 ²⁾ /mm	洛氏典型最小值 ³⁾			典型电导率 ⁴⁾ /% 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
		≥1.5	62	94	—	35.0~45.0
	T8	所有	65	97	82	35.0~45.0
		所有	65	97	82	35.0~45.0
2219 ⁵⁾	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

表 A. 2(续)

牌 号	状态 ¹⁾	薄板厚度 ²⁾ /mm	洛氏典型最小值 ³⁾			典型电导率 ⁴⁾ /% IACS
			B	E	15T	
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

1) 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。

2) 这些数值适用于包铝薄板,对于大于 2.3 mm 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。

3) 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 0.8 mm 或小于 0.8 mm 厚材料,还可用于不显示铁砧效应的最薄材料。

4) 典型电导率以国际标准退火铜(IACS)的电导率百分数表示。

5) 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. 11 定义

下列术语、定义适用于本标准。

A. 11.1 热处理

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:时效硬化热处理、稳定化处理和退火。

A. 11.2 热处理批次

A. 11.2.1 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. 11.2.2 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. 11.2.3 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,在同一时间于同一在线热处理设备(如:喷淋淬火、连续热处理炉)上进行的热处理。

A. 11.3 工作区

工作区是指在一个热处理工艺的保温过程中,热处理设备被部件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. 11.4 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。

中华人民共和国有色金属
行 业 标 准
变 形 铝 及 铝 合 金 热 处 理
YS/T 591—2006

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.bzcbs.com

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 58 千字
2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月第一次印刷

*



YS/T 591-2006

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533