

LY12铝合金淬火过烧的研究

余应梅

摘要

通过对飞机上广泛使用的LY12变形铝合金淬火过烧的研究,揭示了淬火过烧的规律及其对性能的影响。确定了板材淬火过烧初期的轻微过烧组织特征,突破了不论轻重程度有烧组织就要报废的规定,为正确制定零件的热处理质量检验标准提供了依据。

一、前言

变形铝合金零件热处理质量的主要检验项目是用光学显微镜检查材料的显微组织有无淬火过烧,所谓过烧是指零件在淬火加热时超过了规定温度的上限致使合金中低熔点共晶熔化。不同的铝合金由于低熔点共晶的熔点不同,开始过烧的温度也不一样。由于LY12合金淬火加热温度(495~503℃)接近合金中存在的低熔点三元共晶($\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{CuMgAl}_2$)的熔点507℃^[1]。因此该合金在热处理时容易发生过热。另外由于LY12合金在飞机上应用很广,机身和机翼的蒙皮,翼肋、长桁、框架等受力结构件都采用它。在LY12合金半成品和零件的许多技术标准中明确规定不允许有过烧,但有关过烧特征的判断以及对材料性能的影响报导不多,特别是轻微过烧对材料性能的影响研究更少。为此对LY12合金淬火过烧的显微组织特征及其对性能的影响进行研究。

二、试验条件

1. 试验用料

选择了冶金工厂生产,航空工厂用量较多的2mm厚的退火板材。其化学成分符合GB 3190-82。同时还选择了XC111-6型材和2mm厚的冷轧板材。

2. 热处理

淬火加热温度选用500、505、507、510、515、520、525℃,试验料在硝盐槽中保温10分钟,实际淬火转移时间约5秒,冷却水温低于

30℃,自然时效四昼夜以上。

3. 性能测验

测试了退火板材经不同淬火温度处理并自然时效后试样的性能,包括有弯曲角、室温拉伸、周期疲劳、应力腐蚀。板材取样方向均为横向。

三、金相试验结果

退火板材经不同温度淬火的组织特征,见图1~4。

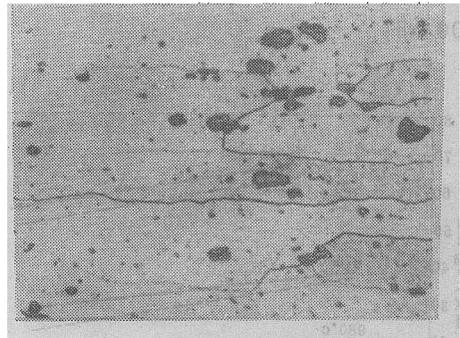


图1 500℃淬火 500×

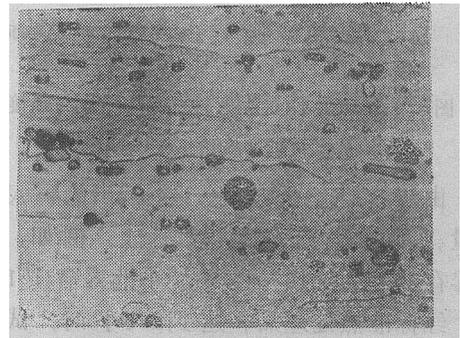


图2 507℃淬火 500×

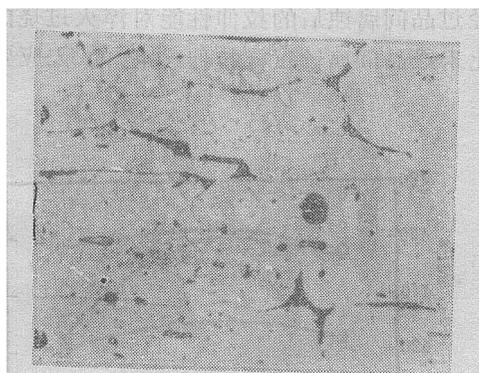


图 3 510°C 淬火 500×

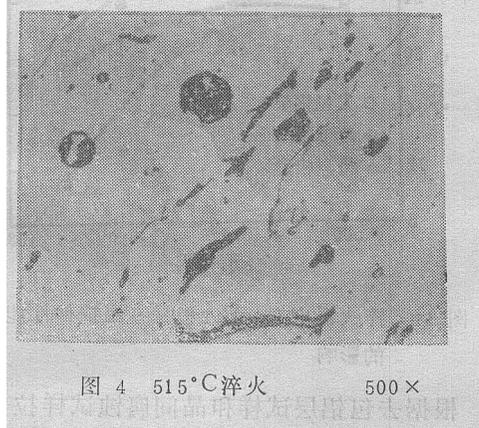


图 4 515°C 淬火 500×

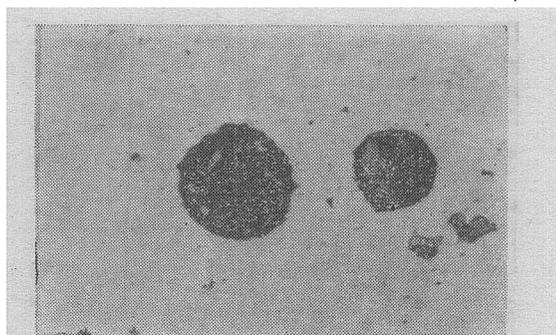


图 5 520°C 淬火 1200×

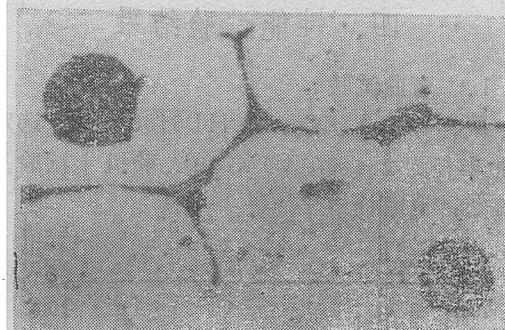


图 6 520°C 淬火 1000×

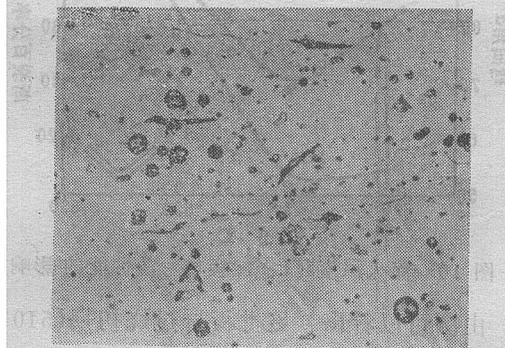


图 7 型材 510°C 淬火 250×

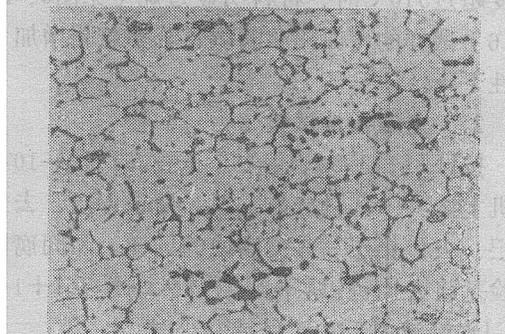


图 8 冷轧板 520°C 淬火 320×

由图可以看出，退火板材淬火加热开始过烧温度是507℃，这与文献[1,2]介绍相同。开始过烧的金相组织特征仅仅是在晶粒内部出现少量的低熔点共晶复熔球，没有其它过烧组织特征，图2的视场只有一个共晶复熔球。当淬火温度升高到510℃时，共晶复熔球增多，同时还出现了晶界加粗和晶界三角形的过烧组织特征(图3)。当淬火温度继续升高时，没有发现新的过烧特征(图4)，只是过烧特征数量增多，体积增大。由图5、6可以看到共晶复熔球和晶界加粗、晶界三角形的内部组织。

型材淬火过烧组织特征与退火板材相似(图7)。

冷轧板材淬火过烧只有晶界特征，没有发现晶粒内部的共晶复熔球(图8)。

冷轧板经退火后再淬火过烧，晶粒长大，出现的过烧组织特征与退火板材相同(图9)。

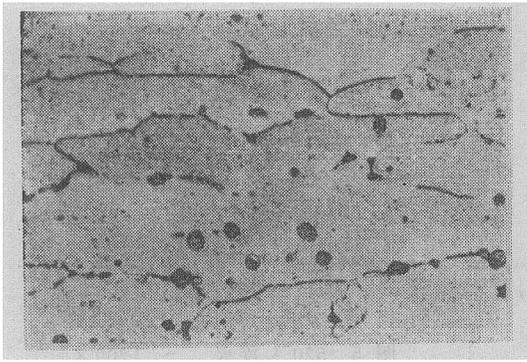


图9 冷轧板退火后于520°C淬火 320×

四、性能试验结果

1. 弯曲试验

试样除去包铝层，按HB5180—81，选定弯曲半径为2 mm在ZDM-10试验机上试验。试验结果见图10。

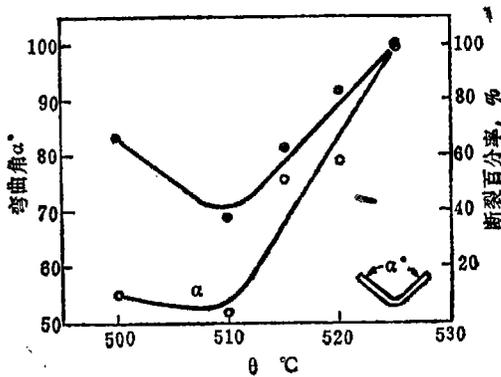


图10 淬火温度对LY12板材弯曲性能的影响

由图可以看出，该批板材过烧初期(510°C以下)，弯曲角和试样断裂百分率小。当淬火温度超过510°C时，材料明显过烧(见图3、4、5、6)试样的弯曲角和断裂百分率急骤增加，塑性下降。

2. 室温拉伸试验

按HB5143-80采用短形试样在ZDM-10拉力机上试验。试验分为三组：带包铝层、去包铝层、去包铝层后晶间腐蚀的试样。晶间腐蚀试验是将去掉包铝层的试样放入3%NaCl+1% HCl水溶液中于30°C保持24小时。

将试验结果绘成曲线(图11)。可以看出试

样经过晶间腐蚀后的拉伸性能对淬火过烧的反应比未经晶间腐蚀试样拉伸性能的反应要敏感。

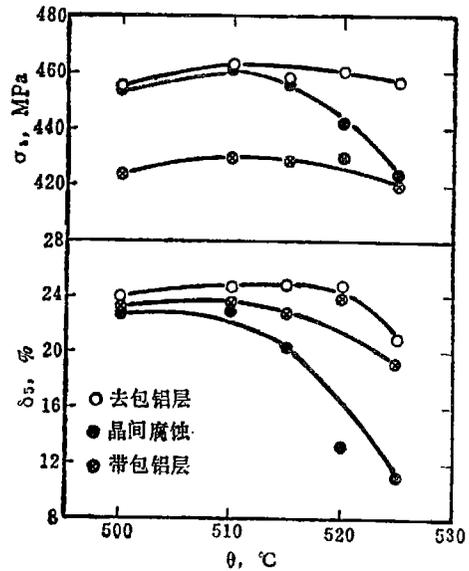


图11 淬火温度对LY12板材室温拉伸性能的影响

根据去包铝层试样和晶间腐蚀试样拉伸性能对比结果绘制成强度和延伸率损失率的曲线图(见图12)，可以更清楚地看出，510°C淬火过烧后性能恶化，特别是延伸率的损失率更为明显。

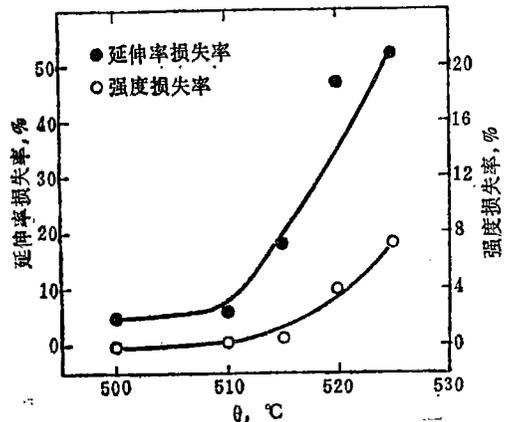


图12 淬火温度对LY12板材强度和延伸率损失率的影响

3. 周期疲劳试验

采用工作部分宽25 mm中心孔径4 mm的试样,除去包铝层后按HCS151-73金属室温低循环拉伸疲劳试验方法,用等应力进行试验。由于不同淬火温度试样的缺口强度相差很小(最小值410 MPa,最大值417 MPa),K值相近约为0.8,试验频率10次/分,最大试验应力 $\sigma_{max}=328\text{ MPa}$, $\sigma_{min}/\sigma_{max}=0.1$ 。试验结果绘制成图(见图13)。

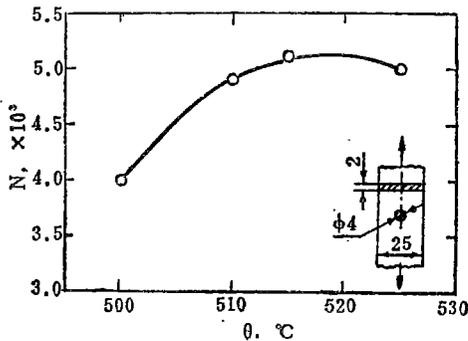


图13 淬火温度对LY12板材周期强度的影响

由图可以看出,随着淬火温度升高,循环次数增加,超过515°C后开始下降,但循环次数仍比500°C淬火的试样高。由此看来周期强度对淬火过烧的反应不如弯曲角、强度损失率、延伸率损失率敏感。

4. 应力腐蚀试验

采用环形试样,将板条除掉包铝层后弯成环形,参照HC130-60将试样放在转轮上,在3% NaCl溶液中进行交替腐蚀,每小时浸蚀1次,每次10分钟。每天检查试样表面,直到出现裂纹或断裂时为止(图14),记录试样开始

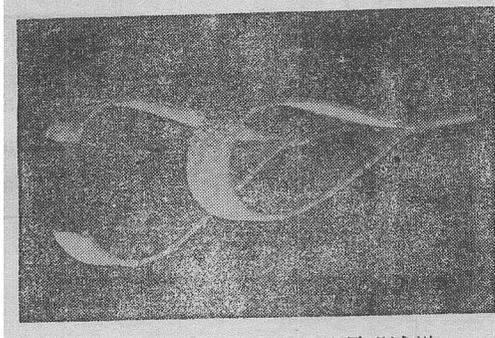


图14 应力腐蚀试验后的环形试样

出现裂纹或者断裂的时间即表示试样的应力腐蚀寿命。整个试验周期101天,试验结果列入表1。尽管应力腐蚀试验结果分散性大,但仍可看出,淬火过烧从515°C附近开始(超过510°C)应力腐蚀性能明显下降。

表1 淬火温度对应力腐蚀的影响

淬火温度 °C	试样数 个	试样寿命 天	裂纹试样百分数 %
500	5	56	20
510	5	未裂	0
515	5	19、22、22、56	80
520	5	19、60、60、60	80

五、试验结果分析

1. 过烧特征分析

LY12属Al-Cu-Mg系合金,按其铜镁含量范围已位于极限溶解度内外,当在半连续铸造水冷的不平衡条件下结晶时,铸锭呈亚共晶组织(见图15),铸锭中的共晶当加热温度超过其熔点时,形成的共晶复熔球(见图16)与铸锭经压力加工后的过烧复熔球很相似(见图3~6),这说明淬火过烧就是不平衡冷却条件下形成的共晶的复熔。合金开始过烧阶段是低熔点三元共晶 $\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{CuMgAl}_2$ 于507°C熔化,当加热温度继续升高到510~520°C时可能还有Al-CuMgAl₂-Mg₂Si三元共晶和Al-CuMgAl₂两元共晶熔化。因此淬火过烧的温度愈高,复熔的共晶也就愈多。



图15 半连续铸锭铸态组织 320×



图 16 铸镁520°C淬火过烧组织 320×

2. 板材状态对淬火过烧特征的影响

退火板材淬火过烧后有复熔球出现，而冷轧板材晶粒破碎细小，过烧特征基本上在晶界上(图8)。将冷轧板退火：400°C保温1小时，随炉冷5小时到200°C出炉。再经520°C淬火过烧就出现了晶内复熔球和晶界加粗(图9)。从铝铜镁系溶解度曲线^[1]可以得知，合金在退火温度下溶解度很小，这样就使得CuAl₂相、CuMgAl₂相析出和聚集，同时发生再结晶使晶粒长大。这样就具备了淬火过烧形成晶内复熔球的条件。

3. 过烧组织与性能的关系

LY12合金退火板材过烧初期只出现晶内复熔球，可称之为轻微过烧(本试验料出现在507~510°C的范围内)。这时材料的弯曲角、室温拉伸、周期疲劳和腐蚀性能均有所提高。这是由于复熔球很小，相当点缺陷，对性能影响不大。而随着淬火温度的提高，强化相充分溶解，这样时效后增加的强化效果超过了过烧复熔球带来的不利影响，因此仅仅有复熔球的组织，并不影响使用。而当合金中同时还出现晶界过烧特征时，尽管开始(如本批的510°C)还看不出对性能的影响，但超过510°C淬火时，强度、延伸率损失率明显增加，抗应力腐蚀及弯曲性能开始下降。严重过烧时还会出现晶间裂纹(图17)。裂纹沿着晶界过烧处扩展而不穿过晶内复熔球。因此晶界过烧特征是不允许的。

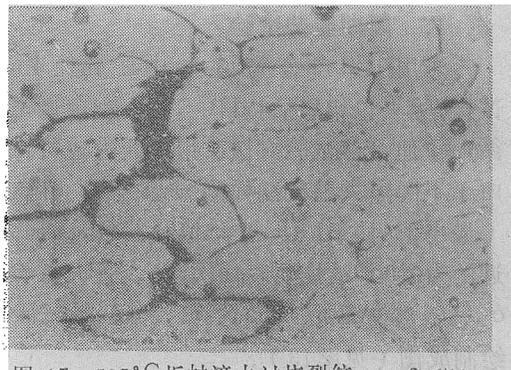


图 17 525°C板材淬火过烧裂纹 340×

六、论 结

1. LY12合金退火板材和挤压型材的淬火过烧显微组织特征是晶界三角形、晶界加粗和晶内复熔球。冷轧薄板淬火过烧只有晶界过烧特征。

2. LY12合金退火板材淬火加热开始过烧时通常仅仅出现复熔球，开始过烧温度507°C。

3. LY12合金退火板材淬火后，只有共晶复熔球，不影响材料的性能，不能作为报废的依据。

参 考 资 料

- [1] Mondolfo, L.F., Aluminum Alloys: Structure and Properties, 1976, P498, P717.
- [2] Колобнев, ЦФ., Термическая обработка алюминиевых сплавов. 1961.

×*× ×*× ×*×

勘误表(1987年第2期第40页)

位 置	误	正
第14行	1.37MPa	13.7MPa
倒第5行	1.42MPa	14.2MPa
倒第2行	2.79MPa	27.9MPa