

铝合金挤压半成品的粗晶环

一七二厂理化试验室

一、前言

铝合金挤压半成品由于挤压变形的不均匀,在淬火加热过程中周边上形成环状的粗大晶粒,一般称作粗晶环。粗晶环对合金性能有较大影响,因此有关标准中对粗晶环的深度有一定要求。

为使读者进一步了解粗晶环的特性及其对性能的影响,本文整理了我室历次试验结果。

有关,在一般情况下,用单孔模挤压的棒材粗晶环为园环形,而用多孔模挤压的棒材粗晶环为月牙形。型材的粗晶环一般沿周边分布,形状随制品断面形状而定,尖角处较深,见图1。粗晶环沿压出制品长度方向上的分布规律是从尾端向尖端深度逐渐减少。

挤压状态的制品,其低倍组织经浸蚀后周边上呈现一无光泽的细晶区,此区称作潜在粗晶环区,见图2。

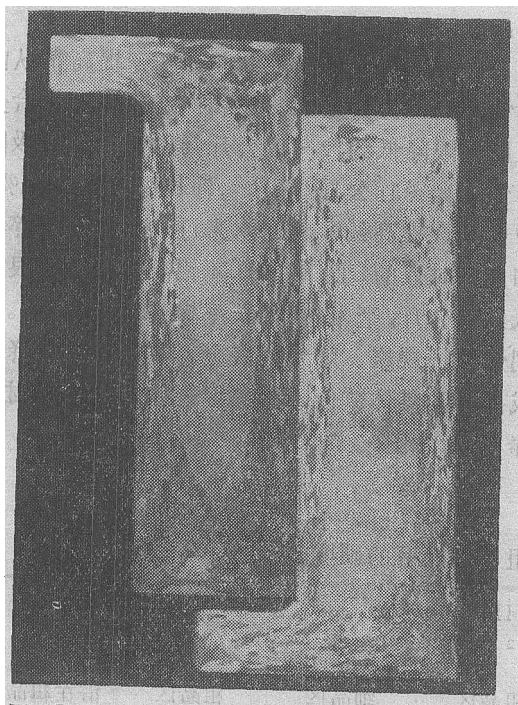


图1 LY12 铝合金型材经热处理后形成的粗晶环

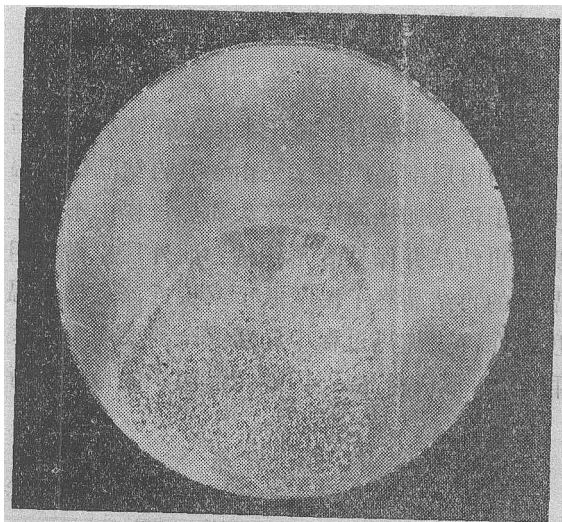


图2 LF3 铝合金挤压状态的潜在粗晶环区

二、粗晶环的形状分布与组织特性

粗晶环的形状分布与挤压方法和挤压条件

对可热处理强化的挤压件进行淬火或对软合金挤压件进行退火,在潜在区的晶粒发生了聚集再结晶而剧烈长大形成粗晶环区,见图3。

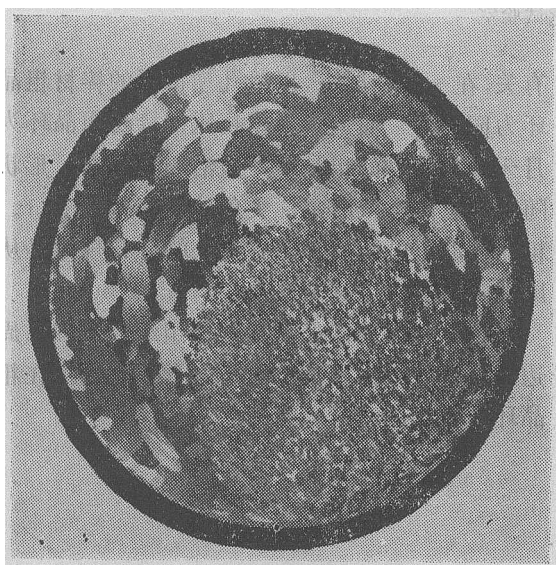


图3 LF3 铝合金经热处理后形成的粗晶环区

由于变形特点，挤压半成品在淬火加热后得到的内层细晶组织，是由于其再结晶终了温度高于淬火加热温度，淬火加热过程中不产生聚集再结晶并保持变形织构；而外层原潜在粗晶区的再结晶终了温度低于或接近淬火加热温度，在淬火加热过程中局部或全部要产生聚集再结晶，形成粗晶环。因此粗晶组织的最本质特

点是消除了变形织构并产生聚集再结晶。

粗晶组织的第二个特点是铸造的枝晶组织破碎程度较大，第二相多分布在晶内。而细晶组织第二相的破碎程度较小，多分布于晶界上。规格越大的型材或棒材，其特点越明显。当淬火温度偏高发生轻微过烧时，粗晶区与细晶区过烧特征是不同的（细晶区先出现晶界熔化，粗晶区先出现液相球）。

粗晶组织的第三个特点是固溶化程度可能较高，表现在宏观硬度上粗、细晶区相近。而显微硬度值粗晶区和潜在粗晶区要比细晶区高。这是由于显微硬度是晶粒内固溶强化和弥散强化的直接反映，宏观硬度则是晶内与晶界硬度的综合反映，通常晶界硬度要比晶内硬度高，见表1。

三、粗晶组织对机械性能的影响

积累的试验数据见表2、3。从表中可以看出：

1. 粗晶组织降低了纵向强度，提高了纵向塑性和韧性。对淬火和自然时效的LY12铝合金强度极限降低约12~17公斤/毫米²，屈服极限降低约13~16公斤/毫米²，伸长率提高2~6%，冲击韧性提高约0.8公斤·米/厘米²。对于淬火和人工时效的LD10和LC4铝合金强度极限降低约15公斤/毫米²，伸长率提高约5~10%。不同炉次、规格、牌号的合金，其机械性能降低或提高的具体数值不同，但规律相似。型材与棒材规律相似。

表1 LY12、LD5 铝合金棒材粗、细晶区的硬度数值

合金牌号	供应状态	直 径 毫米	批 号	布氏硬度 HB 公斤/毫米 ²		显微硬度 H _μ 公斤/毫米 ²		
				细晶区	粗晶区	细晶区	粗晶区	潜在粗晶区
LD5	CS	28	813	—	—	75.5~89	119~130	112~130
LY12	CZ	80	139	129~138	121~138	85~107	119~150	—
				—	—	114~136	130~162	131~158

表2 粗晶、细晶组织的机械性能数据

合金 牌号	供应 状态	规 格 毫米	批 号	细 晶 区				粗 晶 区				部份粗晶区			
				σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	a_k	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	a_k	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	a_k
				公斤/毫米 ²	公斤/毫米 ²	%	公斤·米/厘米 ²	公斤/毫米 ²	公斤/毫米 ²	%	公斤·米/厘米 ²	公斤/毫米 ²	公斤/毫米 ²	%	公斤·米/厘米 ²
LY12	CZ	φ80	139	55.5 ~57	39.7 41.4	16.4 ~17.6	2.60 ~3.00	37.1 40.7	24.2 ~27.2	20.2 ~23.8	3.12 ~3.94	42.0 45.9	28.4 33.8	14.2 ~22.8	2.88 ~3.68
		φ76	2729	57.1 ~59.7	40.7 42.3	17 ~17.6	—	39.9 ~42.7	24.8 ~27.2	18.4 ~26.8	—	—	—	—	—
		φ40	3611	55.5 ~56.8	42.0 43.2	11.8 ~13.2	—	43.8 ~45.2	27.2 31.1	13.3 ~16.3	—	45.0 47.1	28.2 32.8	13.2 ~15.6	—
		φ82	6246	58.2	—	11.8	—	52.0*	—	18.6*	—	—	—	—	—
		LX721	254	55.5 ~54.6	43.2 44.9	13.2 ~17.6	—	39.8 41.4	30.3 32.6	16.8 ~25.6	—	—	—	—	—
LD5	CS	HK1212	3628	55.5 ~55.9	40.5 40.8	16.0 ~18.0	—	41.2 42.8	28.5 29.5	13.2 ~24.0	—	—	—	—	—
		φ35	698	53.9	—	12.8	—	37.6 ~38.7	—	15.4 ~21.2	—	41.5 ~43.6	—	12.2 ~17.2	—
		φ70	130	50.0 ~51.5	—	11.8 ~13.7	—	35.5 ~36	—	19.3 ~25.5	—	35.2	—	14.5	—
		φ45	221	51.0	—	13.7	—	47.5*	—	16.5*	—	49.2**	—	14.0**	—
LD10	CS	φ80	946	55.2 ~57.0	—	10.5 ~11.3	—	41.2 ~41.8	—	16.5 ~19.3	—	42.3	—	15.3	—
LC4	CS	LX712	0243	62.8 ~64.3	57.0 ~58.9	5.6 ~9.6	—	61.5* ~63	55.9 ~59.8	7.2 ~9.0	—	60.9** ~64.8	55.5** ~59.8	6.8** ~8.0	—

*为潜在粗晶区数据。

**为部分潜在粗晶区数据。

2.从表2中还可看出,细晶组织的性能数据分散性小于粗晶组织。

3.部分粗晶区试样的机械性能介于粗晶和细晶区组织之间,伸长率数据的分散性较大,个别试样比细晶区组织的还要低。

4.潜在粗晶区与细晶区相比,强度略有降低,伸长率稍有提高,总的来说差别不大。

5.为了验证上述结果,我们统计、分析了40批厚度小于5毫米的淬火和自然时效的LY12铝合金型材入厂试验结果,将不同强度极限的试样按组织分类,见表3。从表3看出,粗晶组织的试样强度极限比细晶组织的低10~15公斤/毫米²,这差值比棒材测试结果略小一些。

6.从表4可看出粗、细晶区横向性能差异

表3 LY12型材不同组织的强度分布

供应状态	试样组织特征	试样 总数	不同强度的试样数, 片															
			公斤/毫米 ²															
		片	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
CZ	细晶组织	19										2	5	2	8	1	1	
	部分粗晶组织	37				2	7	7	2	4	8	5	2					
	粗晶组织	23	2	3	10	7	1											

不大,但粗晶区数据的分散性较大。

7.粗晶组织不降低材料的剪切强度,但增加数据的分散性。对于淬火和自然时效的LY12

铝合金加工成直径为8毫米的试样,细晶组织的剪切强度为26.6~27.0公斤/毫米²,粗晶组织的为25.9~28.8公斤/毫米²。

表4 LY12铝合金不同组织的横向性能

试样状态	直 径 毫米	批 号	细 晶 区		粗 晶 区	
			σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %
CZ	80	139	39.7~44.7	5.9~9.0	37.3~45.4	3.0~4.0

四、粗晶组织对晶界腐蚀倾向的影响

表5列出了淬火和自然时效的LY12铝合金不同组织的晶界腐蚀倾向。从表5看出,同样的

腐蚀条件下,在同一块试样上,粗晶组织往往比细晶组织耐腐蚀,而潜在粗晶区容易发生晶界腐蚀。这是由于晶界上第二相的分布、数量及晶界能量等差异所决定的。

表5 LY12CZ 铝合金不同组织的晶界腐蚀倾向

腐 蚀 条 件	直 径 毫米	批号	晶界腐蚀深度, 毫米		
			细晶区	粗晶区	潜在粗晶区
30克NaCl+10毫升 HCl+1000毫升蒸 馏水溶液腐蚀24小时	40	3611	0	0	0.31~0.44
	76	2729	0.58~0.92	0	—
			0.17~0.36	0	—
	80	139	0.32~0.77	0	—
			0.23~0.72	0	—

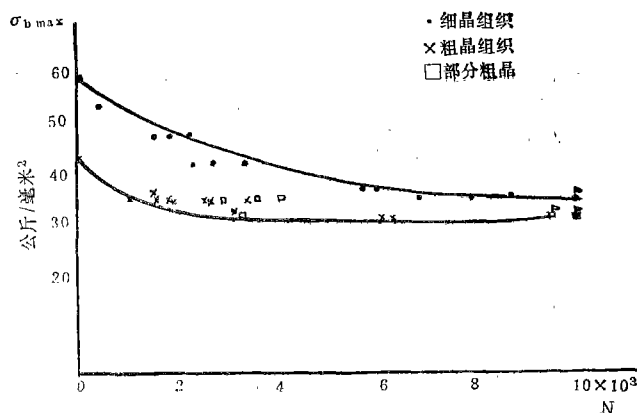


图4 LY12CZ(淬火+自然时效状态)铝合金棒材不同组织的周期强度

五、粗晶组织对周期强度的影响

LY12 铝合金棒材不同组织的纵向周期强度见图4。试样分别从直径为80毫米和76毫米的棒材不同部位上切取，试验频率为8次/分，最大载荷与最小载荷之比为10:1。从图4看出，在负荷相同（最大应力相同）时，粗晶组织的循环数次远低于细晶组织，而部份粗晶的循环次数介于两者之间。

细晶组织周期强度试样断口上的疲劳区呈规则的半月形沿边缘分布（见图5），且疲劳

区的深度与试样的寿命成正比。图6为粗晶组织周期强度试样断口，其疲劳区的分布没有一定规则。

六、粗晶环对板状弯曲疲劳性能的影响

LY12 铝合金型材不同组织的纵向、横向板状弯曲疲劳试验结果见表6。从表6可知，粗晶组织大大降低型材板状弯曲疲劳寿命。在同样循环应力条件下，疲劳寿命降低40%以上，而部分粗晶试样介于两者之间。（下转第16页）

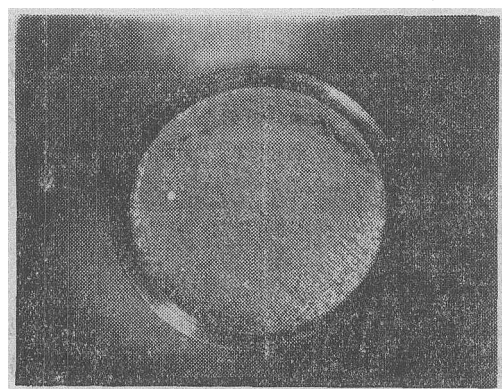


图5 细晶组织周期强度试样断口 ×4
(LY12C2棒材)

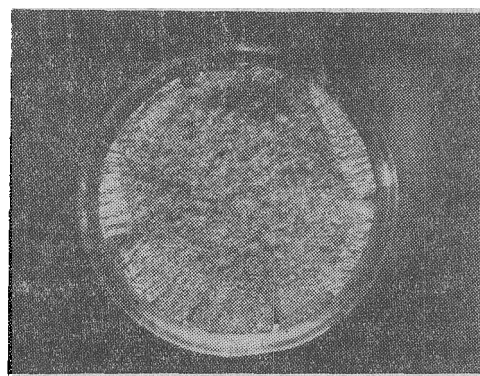


图6 粗晶组织周期强度试样断口 ×4.5
(LY12C2棒材)

用不同的胶料进行试验,才能更准确地确定K值。

6. XM-28 密封胶在常温下达到正硫化点,需要很长时间,前面已经提及。但在较短的时间里(一般在三星期内,随温度而异),密封胶即可达到足够的物理-机械强度。当然,促进剂用量过少,温度过低,这个时间还得延长。实际上,在飞机零部件制造过程中,并不需要达到正硫化点。如采取加热措施,主要目的应是使其较快达到起码的硫化程度,不致影响下一道工序的进行,并不需要达到正硫化点,因为在常温下,密封胶还会继续硫化,终将达到要求的技术性能(见表9)。技术文件上规定70℃×24小时等试验条件,只是为了缩短检验周期,并非硫化的必要条件。此外,对硫化程度的掌握,必须适当。实践表明,缝内密封胶后,由于胶流动性较大,如此时急于铆装,容易在铆枪冲击力下溅胶,沾污产品和工具,造成铆枪顶把打滑,铆钉墩头歪斜、开裂等,

表9 硫化时间对硫化程度的影响

时间,天 性能	7	15	50	半年
抗拉强度,公斤/厘米 ²	36	43	65	69
伸长率, %	770	730	620	570
永久变形, %	18	16	12	8
硬度, °A	45	50	56	58

还可能会造成缝内缺胶,严重影响密封铆接质量。所以铆装的时间不宜过早,最好在活性期以后,施工期以内进行。

(XM-28 密封胶是由六二一所和五七〇三厂、七〇八设计院共同协作研制的,已中试生产23批,并于今年四月通过部级鉴定,可以生产、使用。本文综合了三个单位的有关试验结果。参加这项研制工作的主要有周玉铭、浦荣生、郭玉英、刘万才、沈聿玲、虞明强、王宝兰等同志。)

(上接第27页)

七、结 论

挤压半成品的粗晶环是由于挤压变形不均匀引起并在淬火加热过程中形成的。粗晶组织的本质是发生了聚集再结晶,消除了变形组织。

粗晶组织使纵向强度、周期强度、弯曲疲劳等性能降低,但对横向性能影响不大。由于粗晶组织的不利影响,应当尽量避免及控制(可采取压低淬火温度缩短淬火保温时间等)。

表6 LY12 铝合金型材不同组织的板状弯曲疲劳

试样状态	批 号	取样部位	频 率 次/分	循环应力 公斤/毫米 ²	循环次数, ×10 ⁴		
					细晶组织	粗晶组织	部份粗晶
CZ	254	横 向	1400	25	7.9	4.0	7.5
					8.0	6.0	
	02-29	纵 向	1400	25	9.0	5.2	7.1
					9.2	5.2	8.4