

表面粗糙度对硬铝合金性能结果的影响

邵镇坤

(西北铝业有限责任公司 甘肃 陇西 748111)

摘要: 机械加工后的拉伸标准圆试样表面粗糙度 Ra 都有技术要求, 标准试样的表面粗糙度 Ra 对材料的抗拉强度 Rm、规定非比例延伸强度 Rp0.2 和断后伸长率 A 都有一定的影响, 尤其在新产品验证过程中采集到的数据的真实有效性尤为重要。本试验采用硬铝合金制取试样在同一部位, 不同表面粗糙度 Ra 条件下对力学性能结果的影响; 在同一表面粗糙度 Ra 条件下, 对试样进行打磨后, 不同的打磨方向对力学性能结果的影响; 明确拉伸试样在制备过程中对力学性能测试结果影响的几个问题。通过试验表明机械加工设备的稳定性、精度和刀具的刃磨是造成表面粗糙度 Ra 大的主要诱因, 所以要在平时加强对设备的维护和提高基本技能尤为重要。
关键词: 2A12 铝合金; 表面粗糙度 Ra; 力学性能; 应力集中

Effect of Surface Roughness on Properties of tensile specimens

Shao Zhenkun

(Northwest Aluminum Fabrication Company LongXi , Gan Su, 748111)

Abstract: After mechanical processing, the surface roughness (Ra) of the tensile standard round specimen has technical requirements. The surface roughness Ra of the standard specimen has a certain effect on the non-proportional extension strength (Rp0.2) and the post-break elongation (A) of the material under the specified tensile strength (Rm), in particular, the validity of the data collected in the process of new product verification is very important. In this experiment, the effect of different surface roughness (Ra) on the mechanical properties of the samples made of hard aluminum alloy at the same position was investigated; Under the condition of the same surface roughness (Ra), the effect of different grinding directions on the mechanical properties of the sample was studied; Several problems about the influence of tensile specimen on the mechanical properties during the preparation process were clarified. The experiments show that the stability, precision and grinding of cutting tools are the main inducements for the large (Ra) of surface roughness, so it is very important to strengthen the maintenance of the equipment and to improve the basic skills in peacetime.

Keywords: 2A12 aluminum alloy, Surface roughness (Ra), mechanical property, stress concentration

在公司挤压材生产中, 2A12 合金的管材、棒材和型材占有很大比例, 中心实验室试验结果的准确性和及时性对于产品的质量保护和交货期起着重要的作用。力学性能试验结果处于在临界点的产品, 通过提高试样的制备质量而提高性能测试结果的准确性, 对于提高西北铝产品的成品率和有效的处理用户质量异议都有着重要的实际意义。西北铝法振环老师曾经对矩形标准试样进行过研究^①, 由于矩形试样机械加工的面积远远小于原试样表面积且只是加工后的毛刺对试样的性能影响较大, 本文不再进行赘述。本文通过对 2A12 合金在同一取样部位, 不同表面粗糙度 Ra 条件下的力学性能结果和在同一表面粗糙度条件下, 对试样进行不同方向精加工后的力学性能试验结果的分析, 找出试样加工的表面粗糙度 Ra 和试样加工过程中对试样精加工处理后对力学性能试验结果的影响规律, 并提出相应的解决措施。

通讯作者: 邵镇坤, 工程师, 主要从事铝及铝合金理化检验; 15309322268@189.cn。

1 试验

1.1 试样的选取和制备

2A12 硬铝合金是研制较早的硬铝合金之一，广泛地用于制造板材、棒材、型材、带材、管材和线材。硬铝合金（2A12）的特点是在高温下软化的倾向比许多其他变形铝合金都小，另外选取小规格棒材检测出的数据基本上能够反映出材料的真实性能，受其它影响因素较小（热处理、挤压温度和速度等等）。软合金的机械性能范围较宽，数据不好对比，有关资料显示软合金的表面粗糙度可以适当降低。

选择 2A12 合金、Φ36mm 棒材，试样的取样部位按 GB/T 16865-1997/2014《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及加工方法》进行截取，试样数量 24 个，分别加工成表面粗糙度为 Ra0.4、Ra0.8(国标)、Ra6.3 的三组试样，每组试样数量为 8 个，并对试样进行编号，Ra0.4 编号为 1#~4#样，Ra0.8 编号为 9#~16#样，Ra6.3 编号为 17#~24#样。试样用标准圆试样如图 1 所示：

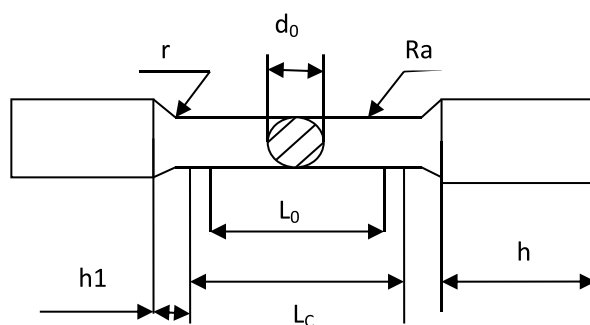


图 1 标准圆试样

1.2 试样加工设备

试样的截取用带锯床 MJ348A，粗车用车床 C620，精车用双架刀头车床 C616。生产厂送检的样品在加工过程中，应严格按照 GB/T16865-2015《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样》标准要求执行，试样加工人员对操作所需设备熟悉其性能，并严格按照《设备使用维护规程》中的规定去执行。每班对所使用后的设备，都要清扫干净并做好润滑保护，同时做好设备的交接记录。

1.3 试样加工过程中需要注意的问题

生产厂送检的样品由带锯床按有关标准或技术协议，在规定的取样部位制取出试样毛坯 15mmx15mm，做好标识随委托单分批摆好交到下一道工序。试样加工人员按批次，分批在各个毛坯两端的中心处钻取顶针孔，按照委托单上的要求和技术标准，对试样型号进行确认。按照该型号的尺寸要求和标准进行加工。首先对毛坯料进行粗加工制取成 Φ13mm 的圆棒试样。

1.4 试样技术要求

加工好的试样应符合 GB/T 16865-1997/2013《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法》中的规定，见表 1 和表 2

表 1 标准圆试样型号和尺寸/mm

试样 型号	d0	L0	LC	D	h1	h	L	r
1	12.5	62.5	75	16	5	40	165	
2	9	45	54	13	5	32	128	
3	8	40	48	13	5	32	128	≥0.75d0
4	6	30	36	10	5	25	96	

表 2 圆试样平行部分尺寸偏差/mm

d0	尺寸偏差	平行部分最大与最小允许偏差
>3~6	±0.06	0.03
>6~10	±0.07	0.04
>10	±0.09	0.04

1.5 试验条件

试样的力学性能试验按 GB/T 16865-2013《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样》和 GB/T 228.1-2010《金属材料拉伸试验方法 第一部分 室温试验》在 WDW-100 微控电子材料拉伸试验机上进行拉伸试验。试验设备和测量工具均在检定有效期内，试验时间三天，试验温度均满足技术要求且温度波动在 3℃ 范围内。

1.6 试验影响因素

1.6.1 应力集中

对于由脆性材料制成的构件，应力集中现象将一直保持到最大局部应力到达强度极限之前。因此，在设计脆性材料构件时，应考虑应力集中的影响。

对于由塑性材料制成的构件，应力集中对其在静载荷作用下的强度则几乎无影响。所以，在研究塑性材料构件的静强度问题时，通常不考虑应力集中的影响。但是应力集中对构件的疲劳寿命影响很大，因此无论是脆性材料还是塑性材料的疲劳问题，都必须考虑应力集中的影响。

应力集中是应力在固体局部区域内显著增高的现象。多出现于尖角、孔洞、缺口、沟槽以及有刚性约束处及其邻域，使脆性和塑性材料产生疲劳裂纹。在应力集中区域，应力的最大值（峰值应力）与物体的几何形状和加载方式等因素有关。局部增高的应力值随与峰值应力点的间距的增加而迅速衰减。由于峰值应力往往超过屈服极限而造成应力的重新分配。应力集中不仅与物体的形状及外形结构有关，还与选取材料有关，与外界应用环境也存在不可忽略的关系（如温度因素），另外，在加工过程中也可能导致应力的改变，例如在机械加工过程中温度的急剧上升。

1.6.2 表面粗糙度 Ra

表面粗糙度是指加工表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度。表面粗糙度一般是由所采用的加工方法和其他因素所形成的，例如加工过程中刀具与零件表面间的摩擦、切屑分离时表面层金属的塑性变形以及工艺系统中的高频振动等。由于加工方法和工件材料的不同，被加工表面留下痕迹的深浅、疏密、形状和纹理都有差别。

1) 影响测量精度

零件被测表面和测量工具测量面的表面粗糙度都会直接影响测量的精度，尤其是在精密测量时。

2) 影响机械性能

零件表面粗糙度会造成应力集中，在应力集中部位材料提前在此部位断裂，使材料的抗拉强度 R_m 、非比例规定延伸强度 $R_{p0.2}$ 和断后延伸率 A 都有一定的影响。

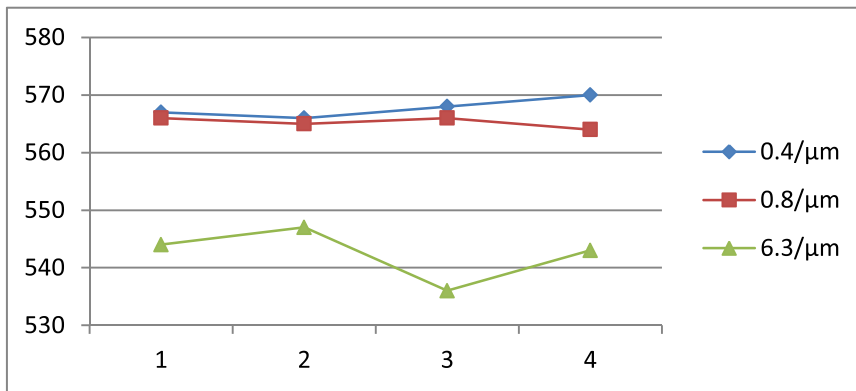
2 试验结果与分析

从制备好的三组试样中各选 4 个试样进行力学性能试验，试验数据见表 3。

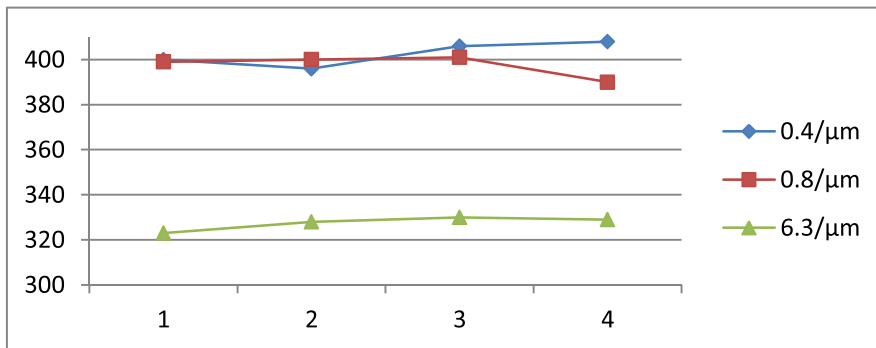
表 3 不同表面粗糙度条件下的力学性能

试样 编号	表面粗糙度/ μm	抗拉强度 R_m/MPa		屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$		断后延伸率 $A/\%$	
		单个试样	平均值	单个试样	平均值	单个试样	平均值
1	0.4	567	568	400	403	11.8	12.17
2		566		396		12.0	
3		568		406		12.1	
4		570		408		12.8	

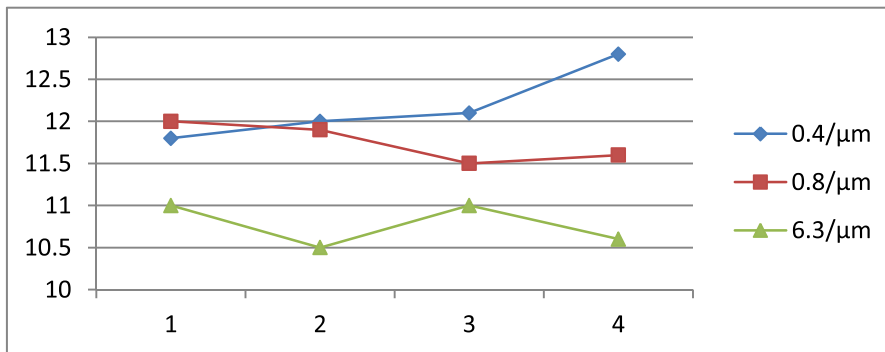
试样 编号	表面粗糙度/ μm	抗拉强度 R_m/MPa		屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$		断后延伸率 $A/\%$	
		单个试样	平均值	单个试样	平均值	单个试样	平均值
9	0.8	566	564	399	398	12.0	11.75
10		565		400		11.9	
11		564		401		11.5	
12		562		390		11.6	
17	6.3	544	543	323	328	11.0	10.78
18		547		328		10.5	
19		536		330		11.0	
20		543		329		10.6	



不同表面粗糙度抗拉强度 R_m/MPa



不同表面粗糙度屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$



不同表面粗糙度断后延伸率 $A/\%$

数据分析：通过对以上的数据分析可知：① 试样的表面粗糙度在 $Ra0.4$ 、 $Ra0.8$ 和 $Ra6.3$ 条件下，试样的抗拉强度 R_m 、屈服强度 $R_{p0.2}$ 和断后延伸率 A 都呈现下降趋势；② 表面粗糙度在 $Ra0.4$ 和 $Ra0.8$ 条件下，抗拉强度 R_m 、屈服强度 $R_{p0.2}$ 的下降幅度不大，在 5MPa 之内；③ 当表面粗糙度达到 $Ra6.3$ 时，试样的抗拉

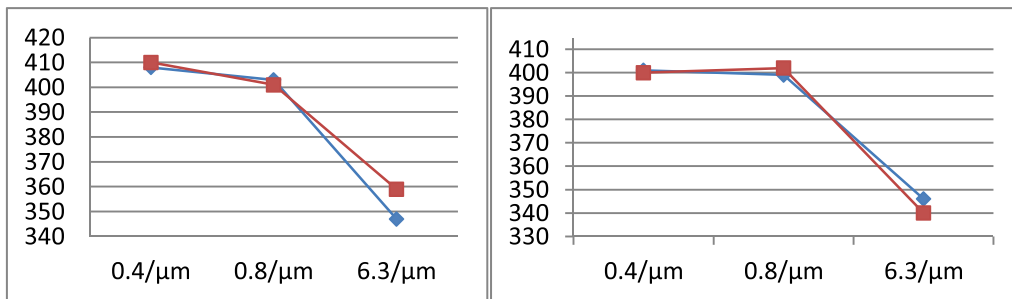
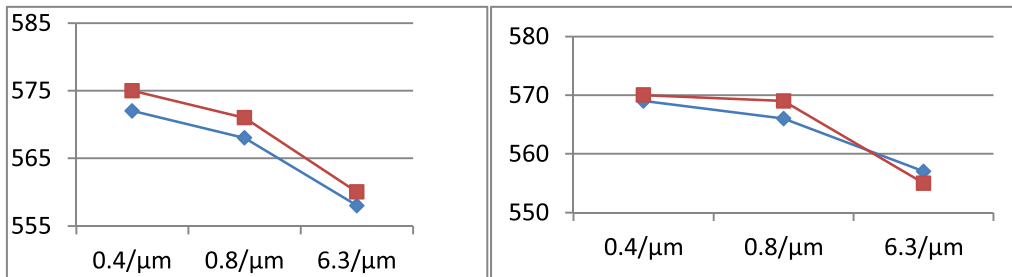
强度 R_m 、屈服强度 $R_{p0.2}$ 和断后延伸率 A 下降的幅度均比较大,较 $Ra0.8$ 条件下抗拉强度 R_m 下降了 22MPa,屈服强度 $R_{p0.2}$ 下降了 70MPa,延伸率 A 下降了 1%。

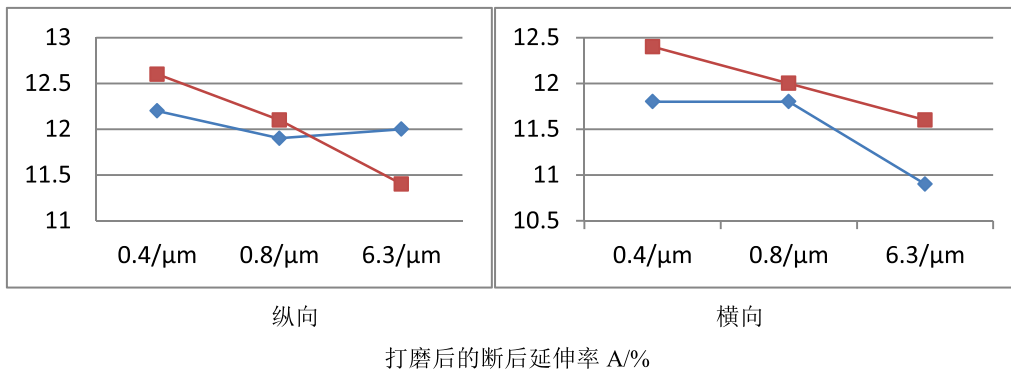
在进行力学性能试验过程中,试样的表面粗糙度 Ra 往往是造成试验结果出现偏差的主要因素之一,因此应选择适宜的试样表面粗糙度 Ra ,过低的表面粗糙度 Ra 会造成力学性能结果低于本身应有的力学性能值,而过高的表面粗糙度 Ra 虽然能够进一步真实地反映材料本身应有的力学性能值,但是对试样的加工造成一定的难度,且能源增加、设备效率降低,对于硬合金来说,表面粗糙度 Ra 达到 $Ra0.8$ (国标)是合理的。

对各组剩余的四个试样进行精加工,其方法是使用水砂纸在浸湿的状态下,将试样夹持进行旋转,对其进行研磨,研磨时应注意各部位受力均匀,每组纵向打磨 2 个试样,横向打磨 2 个试样,在同样条件下进行力学性能试验,试验数据见表 4。

表 4 研磨后的试样力学性能

试样 编号	表面 粗糙度/ μm	打磨方向	抗拉强度 R_m/MPa		屈服强度 $R_{p0.2}/MPa$		断后延伸率 $A/\%$	
			单个试样	平均值	单个试样	平均值	单个试样	平均值
5	0.4	纵向	572	573.5	408	409	12.2	12.4
6			575		410		12.6	
7		横向	569	569.5	401	400.5	11.8	12.1
8			570		400		12.4	
13	0.8	纵向	568	569.5	403	402	11.9	12.0
14			571		401		12.1	
15		横向	566	567.5	399	400.5	11.8	11.9
16			569		402		12.0	
21	6.3	纵向	558	559	347	353	12.0	11.7
22			560		359		11.4	
23		横向	557	556	346	343	10.9	11.2
24			555		340		11.6	





试验数据分析：通过对表 4 的试验数据分析可知：①与未经打磨的试样相比，相同表面粗糙度 Ra 的试样经过打磨后，可以提高其抗拉强度 Rm、Rp0.2 和断后延伸率 A；②实验的表面粗糙度 Ra 在 Ra0.4 和 Ra0.8 条件下，经打磨后，其抗拉强度 Rm、Rp0.2 和断后延伸率 A 虽有提高，但提高幅度不大，强度 Rm 提高在 5MPa 以内；③试样的表面粗糙度 Ra 在 Ra6.3 条件下，经打磨后，其抗拉强度 Rm、屈服强度 Rp0.2 和断后延伸率 A 能有较大幅度的提升。

3 结论

试样的表面粗糙度 Ra 不同对材料的力学性能试验结果有一定的影响，表面粗糙度 Ra 越小，其抗拉强度 Rm、屈服强度 Rp0.2 和断后延伸率 A 越高，当表面粗糙度 Ra 达到一定值时 ($<0.8\mu\text{m}$)，试验结果对抗拉强度 Rm、屈服强度 Rp0.2 和断后延伸率 A，三者影响不大；对试样进行打磨可以提高其表面粗糙度 Ra，能更真实地出材料的抗拉强度 Rm、屈服强度 Rp0.2 和断后延伸率 A 性能指标；试验进行纵向打磨比横向打磨更能有效真实反映材料的抗拉强度 Rm、屈服强度 Rp0.2 和断后延伸率 A 性能指标；对于材料试验指标处于临界状态的产品，可以通过提高其试样的表面粗糙度 Ra，对试样进行纵向打磨处理，从而得到性能指标的准确值；对于硬合金而言，通过提高试样加工的表面粗糙度 Ra，或对试样进行打磨处理从而消除机械加工车痕，降低或减轻其在拉伸试验过程中产生的微缺口造成的应力集中，避免试样局部产生先期破坏，可以比较真实的反映材料的力学性能。加强加工设备的使用维护和提高个人技能水平也是提高表面粗糙度 Ra 有效途径之一。

参考文献

- [1] 法振环. 《铝加工技术》1993 年第 2 期 P47. Normal vibration ring. Aluminum Processing Technology, No.2, 1993 P47.
- [2] 王祝堂, 天荣璋. 《铝合金及其加工手册》(第一版), 中南工业大学出版社 1988.9. Wang Zhutang, Tian Rongzhang. Aluminum Alloy and Its Processing Manual (First Edition), Central South University of Technology Press 1988.9.
- [3] 王群骄. 《有色金属热处理技术》, 化学工业出版社 2008.1 第一版. Wang Qunjiao. Heat Treatment Technology of Non-Ferrous Metals, Chemical Industry Press, 1st edition, 2008.1.