

[文章编号] 1004- 0609(2001) 04- 0655- 06

加工工艺对 7075 铝合金紧固孔 表面形貌和组织的影响^①

裴旭明¹, 陈五一¹, 任炳义², 韩 誉³

(1. 北京航空航天大学 机械学院, 北京 100083; 2. 成都飞机设计研究所, 成都 610041;
3. 成都飞机工业公司, 成都 610092)

[摘 要] 为研究加工工艺对 7075-T7351 铝合金飞机装配紧固孔表面质量的影响, 通过扫描电子显微镜和光学显微镜, 分别对 5 种不同制孔工艺所产生的表面微观形貌和表层组织变化进行了观察和分析。结果表明, 钻扩较多步慢进给工艺和一步复合制孔工艺所加工出的表面, 平整、光滑、加工缺陷少、晶格变形小、变质层薄; 而其它工艺条件下, 孔表面微观形貌复杂、加工纹路紊乱、表面缺陷多、晶格畸变大, 变质层厚, 这些加工状况, 对紧固孔的装配性能和疲劳寿命都有很大的影响。

[关键词] 铝合金; 紧固孔; 加工工艺; 微观形貌; 显微组织; 加工缺陷

[中图分类号] TH 161⁺ . 14

[文献标识码] A

随着航空技术的发展, 对飞机的使用性能和可靠性要求愈来愈高, 对其关键结构的疲劳性能和应力腐蚀性能要求也更加突出, 而这些关键结构寿命的长短主要决定于其重要结构细节, 如装配紧固孔、圆角及几何不连续处等, 其中, 紧固孔的疲劳开裂又是服役飞机中损伤最普遍的形式之一^[1]。一架飞机仅紧固孔就有成千上万, 因此, 紧固孔表面加工质量的好坏将直接影响飞机的使用性能和可靠性。在 20 世纪 60 年代, 国外就提出表面完整性的概念, 并做了大量实验和研究^[2]。表面完整性是描述、鉴定和控制加工过程在表面层内可能产生的各种变化及其对该表面使用性能影响的技术。它包括: 表面粗糙度、表面加工硬化、表面层的残余应力、微观形貌和显微组织变化^[3]。我国对表面完整性技术研究起步较晚, 在 20 世纪 80 年代才开始逐步推广^[2]。目前, 对紧固孔表面加工质量虽有一整套评估法则, 但在生产线上存在着较混乱的加工状况, 孔表面质量得不到保证。

7075-T7351 铝合金是飞机的常用结构材料, 该材料具有高的强度和韧性, 但加工时容易产生各种表面缺陷。在过去, 较少有人重视并给予这方面系统的研究。本文目的意在通过对不同种加工工艺对紧固孔表面微观形貌和表层组织的影响, 分析并研究影响紧固孔表面质量的因素, 为合理选择加工

工艺、制订严格的工艺规范, 为全面实施质量管理和质量控制提供科学依据。

1 检测

1.1 检测试样及其力学性能

实验中采用 7075-T7351 铝合金板件, 作为试样。该材料是飞机的常用结构材料, 具有高强度、高韧性、良好的加工性, 其力学性能见表 1^[4]。

表 1 7075-T7351 铝合金力学性能

Table 1 Mechanical properties of 7075-T7351 aluminum alloy

Yield strength/MPa	Tensile strength/MPa	Elongation/%
475.30	540.96	11.5

1.2 紧固孔的结构及技术要求

本测试件中, 紧固孔的结构及技术要求见图 1。

1.3 紧固孔的加工工艺及切削参数

紧固孔的加工工艺及切削参数见表 2。

2 检测结果及分析

2.1 加工工艺对表面微观形貌的影响

① [收稿日期] 2000- 11- 20; [修订日期] 2001- 02- 12

[作者简介] 裴旭明(1962-), 女, 硕士。

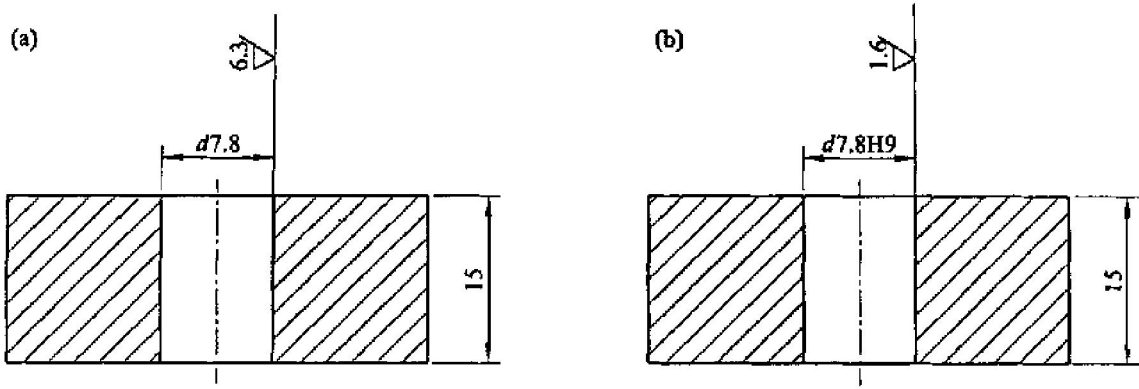


图 1 紧固孔结构及技术要求

Fig. 1 Structures and technical demands of fastening holes

(a) —Hole produced in drilling;

(b) —Hole produced in drilling and reaming and unlubricating multiply-step and in one-step compound cutting

表 2 加工工艺及切削参数

Table 2 Machining processes and drilling/cutting parameters of fastening holes

Process name	Code No	Main procedures	Cutting capacity			Coolant	Illustration
			Turning speed / (r• min ⁻¹)	Feed rate / (mm• r ⁻¹)	Cutting speed / (m• min ⁻¹)		
Ordinary air drilling Manual drilling Fast feed	ZBK	One step drilling → three step reaming	Drilling <i>d</i> 3.0 2 100 Reaming <i>d</i> 6.2 1 300 <i>d</i> 7.6 1 300 <i>d</i> 7.8 1 300	* 0.14 0.14 0.14	 31.8	Unusing	Imitating abnormal operation with careless and impatient
Ordinary air drilling Manual drilling Slow feed	ZBM	One step drilling → three step reaming	Drilling <i>d</i> 3.0 2 300 Reaming <i>d</i> 6.2 2 150 <i>d</i> 7.6 2 150 <i>d</i> 7.8 2 150	* 0.04 0.04 0.04	 52.7	Unusing	Imitating normal operation with careful and conscientious
Drilling & reaming multiply step with fast feed	DBK	One step drilling → two step reaming → three step reaming	Drilling <i>d</i> 3.0 2 100 Reaming <i>d</i> 6.2 1 300 <i>d</i> 7.3 1 300 Reaming <i>d</i> 7.6 800 <i>d</i> 7.7 800 <i>d</i> 7.8 800	* 0.14 0.14 0.40 0.40 0.40	 34.3	Unusing	Imitating abnormal operation with careless and impatient
Drilling & reaming multiply step with slow feed	DBM	One step drilling → two step reaming → three step reaming	Drilling <i>d</i> 3.0 2 300 Reaming <i>d</i> 6.2 2 150 <i>d</i> 7.3 2 150 Reaming <i>d</i> 7.6 2 150 <i>d</i> 7.7 2 150 <i>d</i> 7.8 2 150	* 0.04 0.04 0.10 0.10 0.10	 34.3	Unusing	Imitating normal operation with careful and conscientious
One step compound cutting	YR	Drilling & reaming One step compound cutting	<i>d</i> 7.8 3 600	0.05	88.2	T80-92B	Adapting advanced drilling reaming com- pounded tool and finish- ing machining in one step

* Needing withdraw drill to remove chip and being liable to break drill, data of $d3.0$ feed did not be measured.

借助于 JSM-5800 扫描电子显微镜 (SEM) 和 Vnion7375 光学显微镜, 全面观察了 5 种加工条件下孔表面微观形貌的变化, 并研究了其影响因素。图 2 是 5 种加工表面在 SEM 下的显微照片。

由图 2(a) 可明显看出: 钻-扩制孔快进给工艺 (ZBK) 加工出的表面复杂、缺陷多, 如有较多的白色条纹和四周有白色边界且形状不规则的碎片。对

白色条纹高倍放大后发现, 它们是鳞刺 (见图 3 (a))。

对不规则的白色边界碎片进行观察发现, 它们是脱落到加工表面上的切屑和积屑瘤碎片 (见图 3 (b), (c))。在图 3(a) 上垂直于加工表面和白色条纹做出鳞刺的剖面图结果如图 4 所示。

在光学显微镜下, 可看到鳞刺翘离孔表面, 这

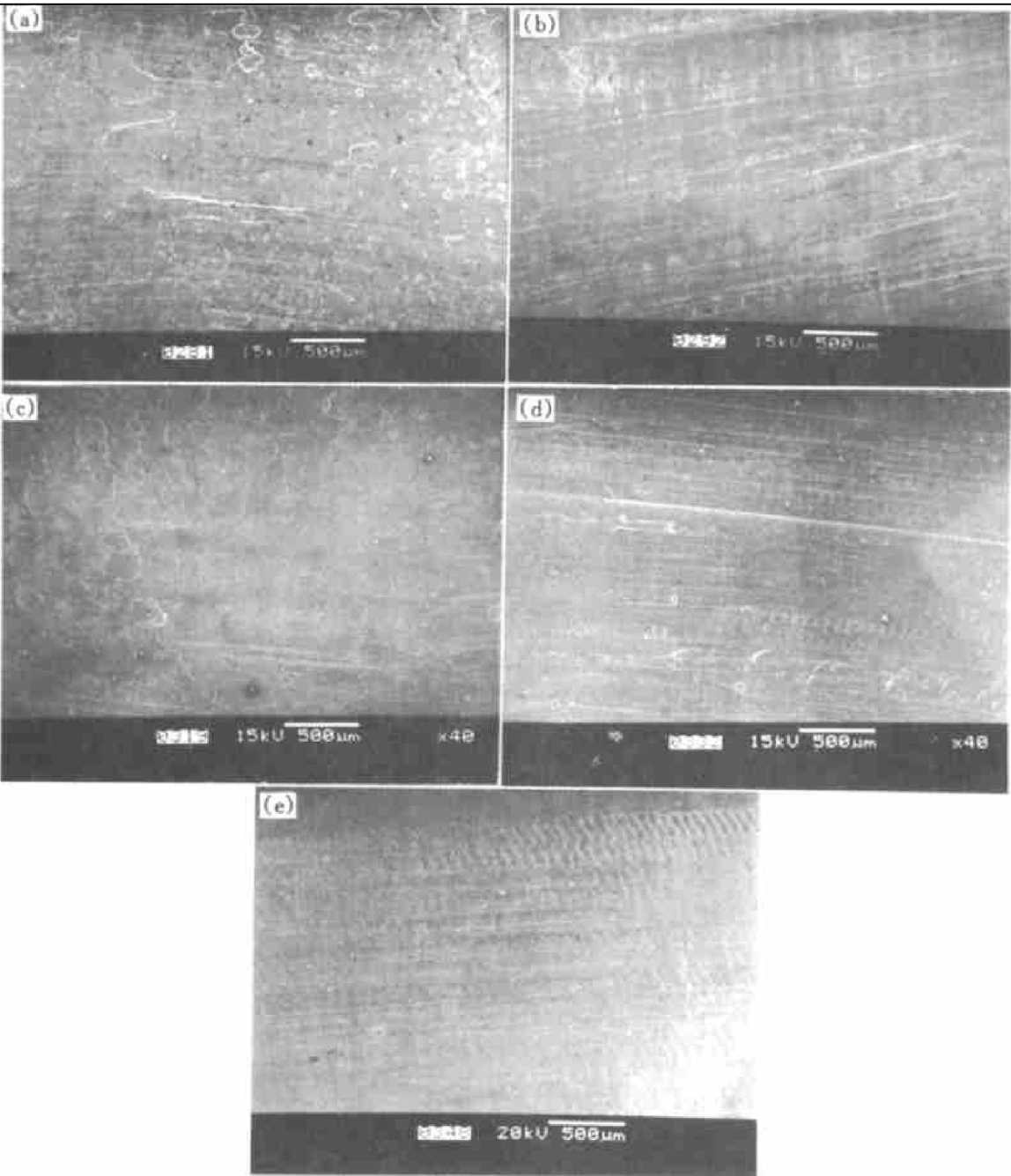


图 2 5 种加工工艺的表面微观形貌的变化

Fig. 2 SEM micrographs of surface microtopography of five machining processes

不但能显著增大表面粗糙度, 影响装配质量, 还能大大削弱紧固孔的抗疲劳抗力和应力腐蚀能力^[5, 6]。当孔受到交变载荷的作用时, 鳞刺根部极易形成应力集中, 继而发生疲劳裂纹, 最终降低孔表面的疲劳强度^[7]。钻-扩制孔慢进给工艺(ZBM)表面状态虽好于 ZBK, 加工缺陷没有 ZBK 多, 但其加工纹路较紊乱, 刀痕迹深(见图 2(b))。后 3 种工艺的表面加工状态明显优于前 2 种, 它们表面平滑、光洁, 纹路清晰、规整。相比之下, 钻-扩-铰快进给(DBK)表面虽比较平整, 但也有较多的白色条纹, 即鳞刺。另外, 在端口处还发现有明显的退刀划痕(见图 5)。

退刀划痕长约 75 μm, 宽和深约 50 μm, 这样大

的划痕无疑是在增加疲劳裂纹源, 大大降低孔的疲劳抗力。造成这种状况的原因是, 刀具在退出孔前就停止旋转, 并快速拉出或者退刀时有倾斜、抖动现象。钻-扩铰慢进给(DBM)和一步复合制孔工艺(YR), 表面平滑、光洁、加工缺陷少, 只是个别地方有折皱现象(见图 6)。

这是因为, 第一, 刀具已磨损, 加工面产生较大的压力, 表面硬化程度大, 由此产生振动^[8]; 第二, 加工时由于手动进给的不稳定性所引起的颤动。

2.2 加工工艺对紧固孔表层组织的影响

7075-T7351 铝合金材料具有高强度、高韧性。

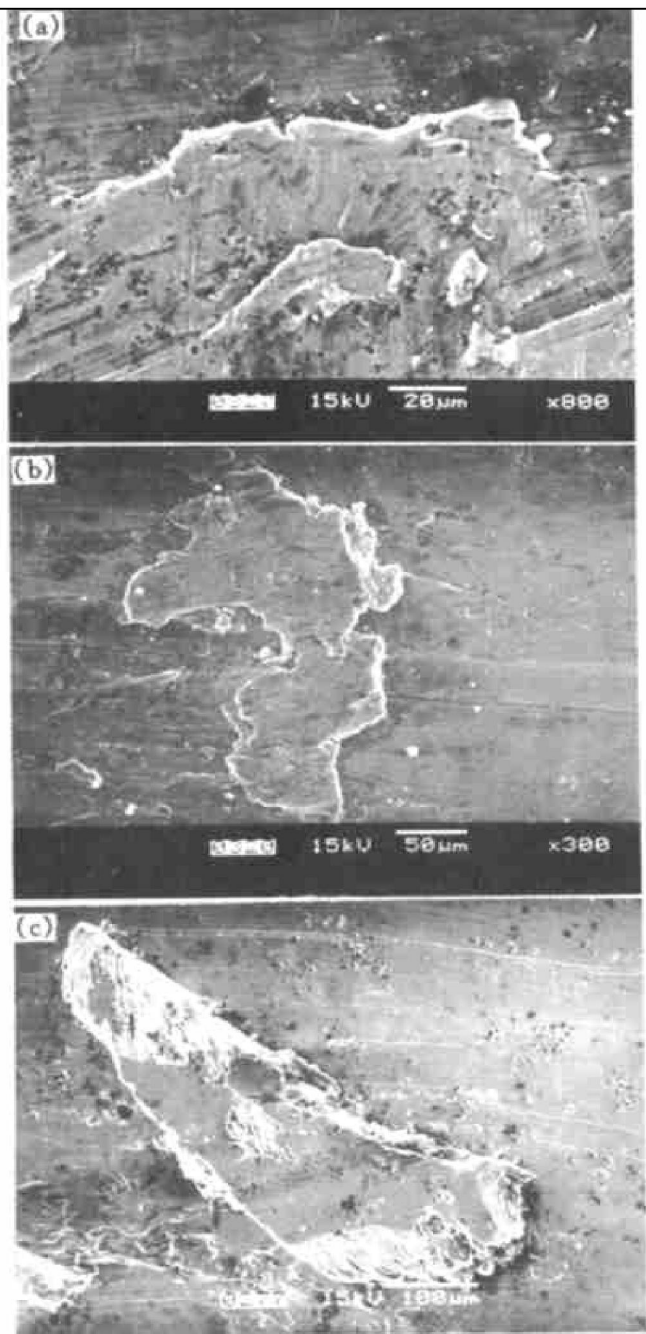


图3 ZBK 表面加工缺陷

Fig. 3 SEM micrographs of machining defects on ZBK machined surface

切削加工时,其变形抗力较大,后刀面与加工表面会产生很大的挤压塑性变形,表层组织沿切削方向被拉长,晶界滑移、晶格畸变、晶粒破碎,导致位错密度增大,形成纤维状且结构致密的变质层(见图7(a),(b))。

不同的制孔工艺使得表面层内晶格变形程度也不相同。由图7(a)可知,ZBK 进给量大、切削抗力大、刀具易磨损,表层发生很大的塑性变形,晶粒沿切削方向被深深地拉长,形成纤维状的组织结构,其变质层的厚度达到400 μm,力学性能发生变化,产生各向异性。而对于DBM 或YR 见图7(b),由于它们属于精加工、刀尖圆弧半径小、进给量

小、孔表面的塑性变形也小,几乎看不见变质层。

以上5种加工表面状态表明,加工工艺对表面



图4 ZBK 表层鳞刺的显微照片(×200)

Fig. 4 Micrographs of scale splinter on ZBK surface layer

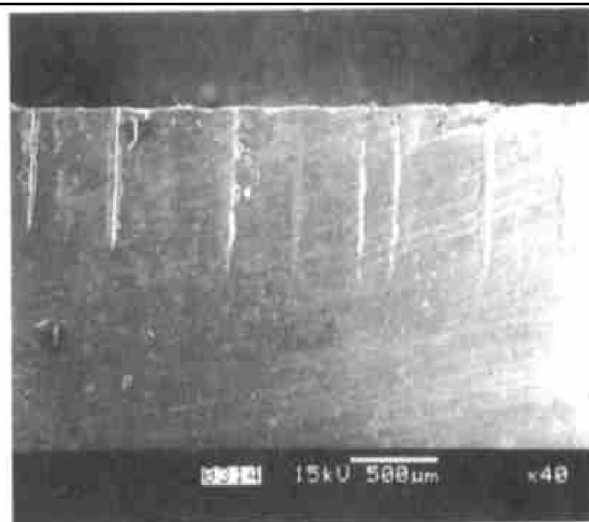


图5 DBK 端口表面划痕

Fig. 5 SEM micrograph of DBK surface scratches

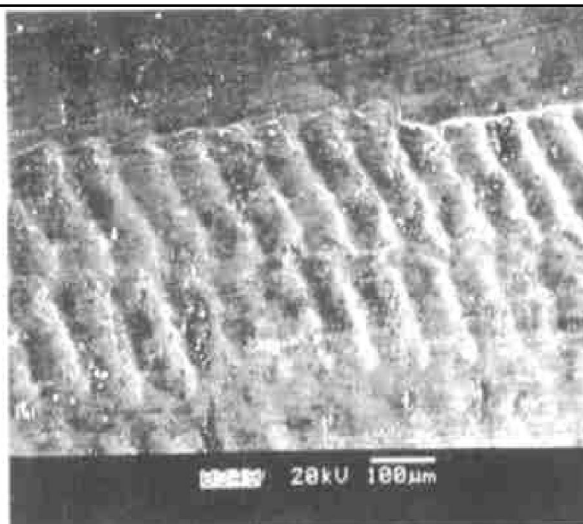


图6 DBK 加工面上的折皱现象

Fig. 6 Folding on DBK machined surface

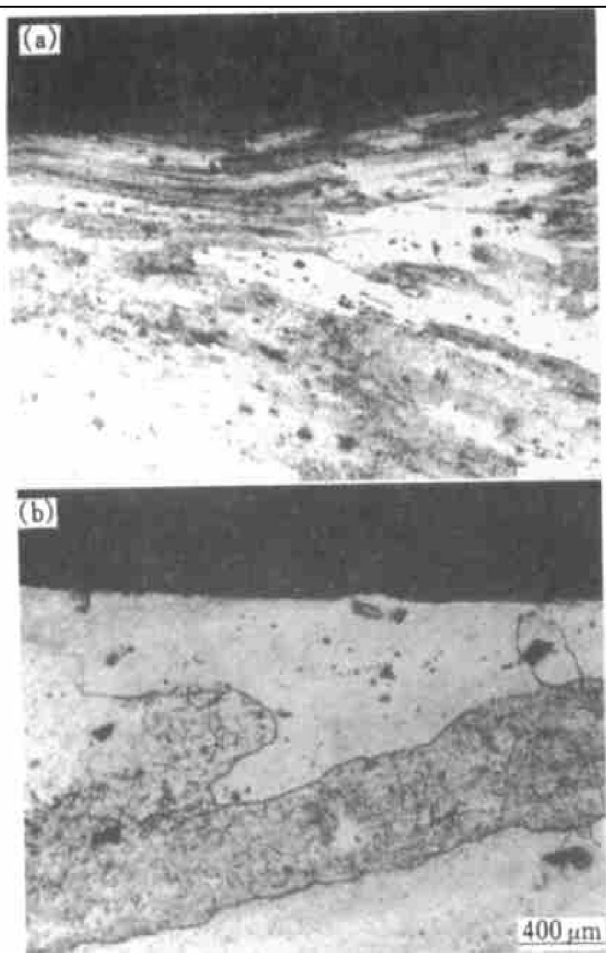


图 7 表层内显微组织的变化(×200)

Fig. 7 Changes of microstructure in surface layer

质量的影响是相当大的。较差的表面质量, 如切削加工在孔表面上留下的鳞刺、撕裂、折皱及刀痕等加工缺陷都对在工作中受到交变载荷的装配紧固孔极其有害^[9, 10], 它们不但能增加表面粗糙度, 降低孔的装配精度, 还会引起应力集中, 形成显微裂纹, 加速孔表面的疲劳破坏^[6]。进而降低飞机的使用寿命和可靠性。5 种加工工艺所产生的表面质量之所以有明显的差异, 关键在于有无铰削加工。前 2 种的主要工艺是钻削, 它是副偏角很小的单刃加工, 副偏角等于倒锥半锥角, 所以有进给痕迹, 而且在退钻时易划伤表面; 后 3 种的主要工艺是铰削, 它相当于成型加工, 若无鳞刺、积屑瘤时, 孔表面形状相当于刀刃形状, 当刀具刃磨质量好时, 孔形状精度和表面粗糙度均好。

3 结论

1) 对于钻-扩制孔工艺, ZBK 表面形貌复杂、加工缺陷多、表层晶格畸变大、变质层厚、疲劳抗力低; ZBM 表面状况好于 ZBK, 但加工纹路较乱, 切削痕迹深。

2) 对于钻-扩-铰多步制孔, DBK 表面较光滑, 但存在很多鳞刺, 在端口处有明显的划痕, 容易降低孔的疲劳强度, 表面质量较差。而 DBM 表面平稳、光滑, 加工缺陷少, 晶格变形小, 变质层薄, 只是个别地方有少量鳞刺和皱折现象, 表面加工质量高。

3) 对于一步复合制孔工艺, 其表面光亮、平整、加工缺陷少、几乎没有变质层、表面规则但个别地方也有折皱现象。

总之, 多步慢进给工艺和一步复合制孔工艺的切削过程平稳, 形貌规则, 加工缺陷少, 表面质量高, 抵抗疲劳破坏能力强。

[REFERENCES]

- [1] HUANG Hong-fa(黄宏发). 两种材料的当量初始缺陷尺寸分布分析 [J]. Journal of Mechanical Strength(机械强度), 1998(8): 237- 239.
- [2] WANG Shang-zhi(王尚志). 航空零件加工的表面完整性 [J]. Aviation Process and Technology(航空工艺技术), 1988(2): 31- 33.
- [3] Field M, Kahles J F. Review of surface integrity of machined components [J]. CIRP, 1988, 20(2): 153- 163.
- [4] WANG Zhur-tang(王祝堂). Aluminum Alloy Its Machining Handbook(铝合金及加工手册) [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1989. 930- 932.
- [5] Brown C A. Influence of machining on the microstructure, microhardness and precipitation in the aluminum alloy 7075 [J]. Proc Instn Mach Eng, 1998, 212(Part B): 421- 426.
- [6] Nealeley K. Surface integrity of machined components—microstructural aspect [J]. Metals and Materials, 1998, 212(Part B): 91- 96.
- [7] DONG Deng-ke(董登科). 浆固孔原始疲劳质量控制与制孔技术研究 [J]. Journal of Mechanical Strength(机械强度), 2000(9): 214- 216.
- [8] XIE Qir-fei. On tool wear and its effect on machined surface integrity [J]. Materials Shaping Technology, 1990, 8(4): 255- 264.
- [9] Eriksen E. Surface topography of machined fibre reinforced plastics obtained by stylus instruments and optical profilometers [J]. Proc Instn Mech Eng, 1998, 212(Part B): 479- 487.
- [10] Lonardo P M. Progress in 3D surface microtopography characterization [J]. Ann CIRD, 1996, 45(2): 589- 595.

Influence of machining processes on surface microphotograph and microstructure of fastening holes

PEI Xu-ming¹, CHEN Wu-yi¹, REN Bing-yi², HAN Yu³

(1. Machinery College, Beijing University of Aeronautics and Astronautics,
Beijing 100083, P. R. China;

2. Chengdu Aircraft Design & Research Institute, Chengdu 610041, P. R. China;

3. Chengdu Aircraft Industry Co. Chendu 610092, P. R. China)

[Abstract] In order to study the effect of machining processes on the surface condition of fastening holes drilled on 7075 aluminum alloy for aircraft assembly, the surface microphotograph and surface layers microstructure produced by the five kinds of drilling processes were observed and analyzed by means of SEM and optical microscope. The results show that the surface microphotograph yielded in multiple-step machining with slow feeding and in one-step compound process is satisfactory, and there are fewer defects, lower deformation and thinner metamorphic layers; while that produced in other processes is quite rough, there are more defects and bigger deformation on the machined surface, and they are detrimental to assembly properties and fatigue life of fastening holes.

[Key words] aluminum alloy; fastening hole; machining processes; microphotograph; microstructure; machining defect

(编辑 朱忠国)