

铣削加工参数对 SiC_p/Al 复合材料表面粗糙度的影响

唐玲艳¹ 牛秋林¹ 李鹏南¹ 刘 晓² 邱新义¹

(1 湖南科技大学机电工程学院,湘潭 411201)

(2 上海航天设备制造总厂,上海 200240)

文 摘 SiC_p/Al 复合材料在切削加工中存在严重的表面质量问题。本文设计单因素试验,采用硬质合金涂层刀具对 SiC_p/Al 复合材料进行铣削加工,研究了加工参数对表面粗糙度的影响。结果表明:表面粗糙度随切削速度的增大先增大后减小,随进给量、径向切深、轴向切深的增大而增大;使用较大的切削速度、较小的进给量和不大于 4 mm 的径向切深能获得较好的加工表面质量。

关键词 SiC_p/Al 复合材料,加工参数,表面粗糙度,表面形貌

中图分类号: TG506

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2017.06.013

Influence of Cutting Parameters on Surface Roughness of Milled SiC_p/Al Composites

TANG Lingyan¹ NIU Qiulin¹ LI Pengnan¹ LIU Xiao² QIU Xinyi¹

(1 College of Electrical and Mechanical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201)

(2 Shanghai Aerospace Equipment Manufacture Factory, Shanghai 200240)

Abstract There are serious problems in surface quality of the milled SiC_p/Al composites. The milling tests on SiC_p/Al composites were conducted with cemented carbide coating tools. Through single factor experiment, the article investigated the influence of cutting parameters on surface roughness. The results suggest that the surface roughness increases at first, then decreases with the increase of cutting speed, and increases with the increase of feed, radial cutting depth and axial cutting depth. The machined surface quality could be improved by using high cutting speed, low feed and the radial cutting depth equal or less than 4mm.

Key words SiC_p/Al composites, Cutting parameter, Surface roughness, Surface morphology

0 引言

在过去的几十年, SiC_p/Al 复合材料已经越来越多的用于航空航天工业和卫星轴承、惯性导航系统、激光反射器的先进武器系统。通过不同的制造技术使得高质量的金属基复合材料零件精准化成型成为可能,但是为达到理想的表面质量和有效的装配尺寸公差,切削加工是不可替代的^[1]。

金属基复合材料的切削加工性能较差,所以它的切削加工难度大^[2],存在许多问题,例如刀具磨损大、切削力大以及容易形成毛刺等^[3-5]。Manna 等^[6]研究了金属基复合材料的机械加工性能;刘战强

等^[7]对高速切削条件下切削力的变化规律做了深入的研究;张高峰等^[8]采用硬质合金涂层刀具开展 SiC 颗粒增强铝合金的切削加工,并分析硬质颗粒增强铝合金的切削已加工表面损伤机理;Tamer Ozben 等^[9]研究了不同体积分数的 SiC_p/Al 复合材料的力学性能和加工参数对刀具磨损和表面粗糙度的影响;葛英飞等^[10]研究了切削用量、增强颗粒体积分数和尺寸、刀具晶粒尺寸、冷却条件及工件热处理状态等对加工表面质量的影响规律,并探讨了该材料高速铣削时的切屑形成机制^[11]。以往的大多数文献只研究了特定加工条件下已加工表面会出现某些损伤,而很

收稿日期:2017-05-04;修回日期:2017-06-15

基金项目:国家自然科学基金(51275168,51305134)、国家自然科学基金青年项目(51605161);湖南省自然科学基金(2015JJ5028);难加工材料高效精密加工湖南省重点实验室开放基金(E21639)

第一作者简介:唐玲艳,1990 年出生,硕士研究生,主要从事难加工材料切削加工研究工作。E-mail:wuweizhixy@163.com

少关注加工条件对已加工表面损伤的规律。本文采用单因素试验方法,研究切削速度、每转进给量、径向切宽和轴向切深4个因素对表面粗糙度的影响,探究加工参数对已加工表面损伤的影响规律。

1 试验

硬质合金涂层刀片(XOMX10T308TR-M09, F40M),刀片的主后角为 15° ,刀尖圆弧半径为 0.8 mm ,有效刃长为 9.3 mm ,涂层材料为(Ti, Al)N-TiN,刀片安装在直径为 20 mm 的刀杆上。图1是刀具几何参数的示意图。工件材料为 SiC_p/Al 复合材料, SiC_p 体积分数为 20% 。

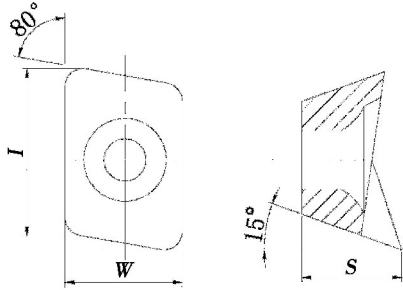


图1 刀具几何参数示意图

Fig.1 Schematic of tool geometry parameter

铣削试验在KVC800立式加工中心上进行,该加工中心的主轴最高转速为 $6\ 000\text{ r/min}$ 。试验条件为干式铣削下的顺铣。加工表面形貌采用型号为KEYENCE VHX-500FE的超景深三维显微系统观测。

采用单因素试验,结合实际加工中常用的工艺参数范围,试验具体参数见表1。

表1 单因素铣削试验参数表

Tab.1 Cutting parameter of single factor milling experiment

切削速度 $v/$ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	进给量 $f/$ $\text{mm}\cdot\text{r}^{-1}$	径向切深 $a_e/$ mm	轴向切深 $a_p/$ mm
40,80,120,160,200	0.06	6	1.5
120	0.02,0.04,0.06,0.08,0.1	6	1.5
120	0.06	2,4,6,8,10	1.5
120	0.06	6	0.5,1,1.5,2,2.5

2 结果与分析

2.1 表面粗糙度

图2为表面粗糙度的测量区域。在工件加工表面选取R1、R2、R3、R4和R5五个区域,在每个区域测量一个表面粗糙度值,最终的表面粗糙度值为这5个值的平均值。

图3为表面粗糙度与各切削要素的关系曲线。由图3(a)可知,当切削速度 $<120\text{ m/min}$ 时,表面粗糙度随切削速度的增大而增大。当切削速度 $>120\text{ m/min}$ 时,表面粗糙度随切削速度的增大而减小,这

是由于切削速度的增大使得增强颗粒的主要去除形式变为剪切去除,减少了颗粒的压入和拔出所形成的凸起和凹坑,从而使得表面粗糙度降低。

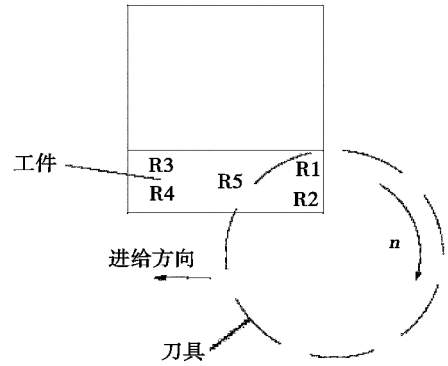
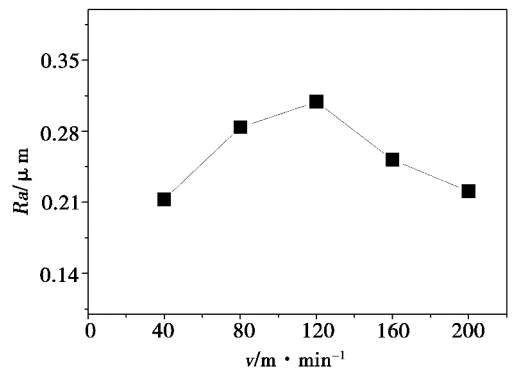
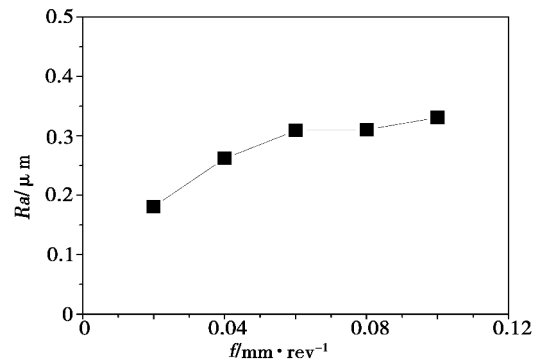


图2 表面粗糙度的测量区域

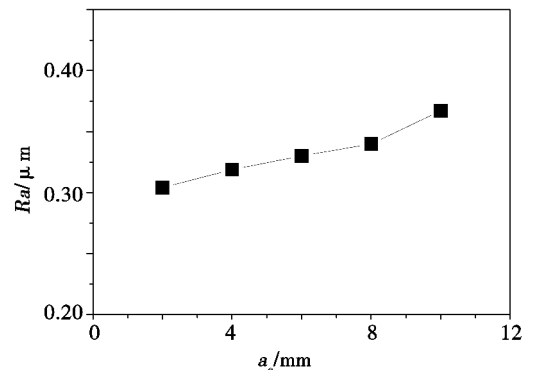
Fig.2 Measurement areas of surface roughness



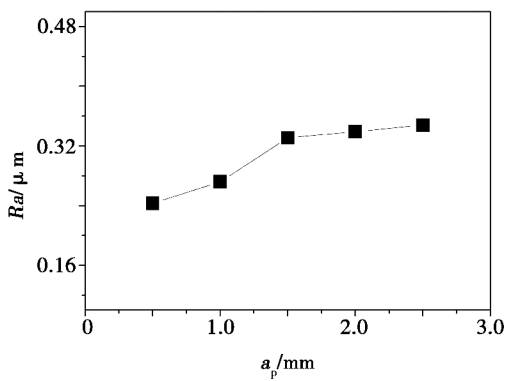
(a) 与切削速度的关系



(b) 与进给量的关系



(c) 与径向切深的关系



(d) 与轴向切深的关系

图3 表面粗糙度与各切削要素的关系曲线图

Fig.3 Relationship between surface roughness and the cutting factors

由图 3(b) 可知, 表面粗糙度值随进给量的增大而增大, 进给量在 $0.02 \sim 0.06 \text{ mm/r}$ 时, 表面粗糙度急剧增大, 而 $>0.06 \text{ mm/r}$ 后, 增大较为平缓, 由此可见, 进给量的增大对表面粗糙度的影响十分明显。进给

量的增大, 加工表面由于 SiC 颗粒拔出、破碎而留下的坑洞、微裂纹、基体材料撕裂等缺陷也明显增多^[12], 同时也会增加积屑瘤和鳞刺的高度, 加剧已加工表面的损伤^[13]。由图 3(c)、(d) 可知, 表面粗糙度值随径向切深和轴向切深的增大而增大。

2.2 表面形貌

图 4(a)~(e) 对应为图 4(f) 上标记的 (a)~(e) 点的表面形貌, 可以看到, 从侧棱边到内棱边, 小坑洞的数量由少变多, 在靠近内棱边 5 mm 左右的地方 [图 4(c)] 数量最多, 然后由多变少, 靠近内棱边的表面小坑洞最少; 同时, 已加工表面损伤先变差然后变好, 靠近内棱边的已加工表面损伤最小, 靠近内棱边 5 mm 左右的地方 [图 4(c)] 损伤达到最大。由此可见, 已加工表面的损伤跟刀尖在切过表面的路径相关, 小坑洞和表面损伤主要集中在离内棱边 $4 \sim 6 \text{ mm}$ 的范围内。因此在选择径向切深时, 应该尽量避免这个区域, 选择小于或等于 4 mm 的径向切深。

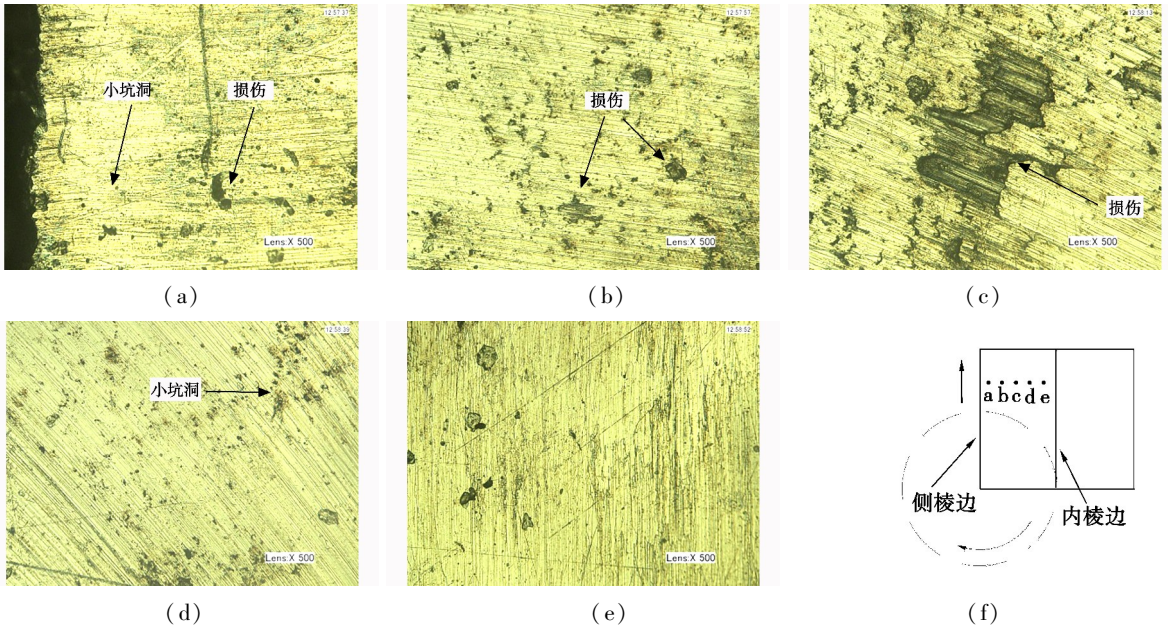
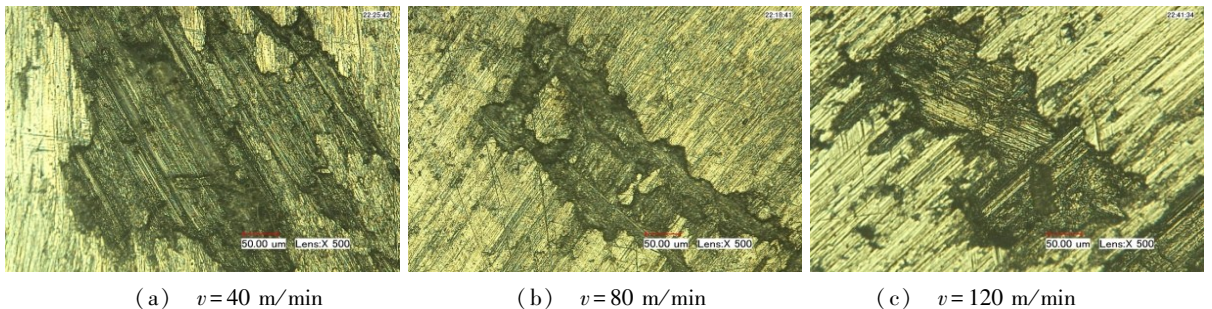


图4 $v = 120 \text{ m/min}$, $f = 0.06 \text{ mm/r}$, $a_c = 10 \text{ mm}$, $a_p = 1.5 \text{ mm}$ 时的表面形貌

Fig.4 Surface morphology when $v = 120 \text{ m/min}$, $f = 0.06 \text{ mm/r}$, $a_c = 10 \text{ mm}$, $a_p = 1.5 \text{ mm}$

图 5~图 7 所列出的形貌图片均为已加工表面上破坏最为严重的区域。图 5 为不同切削速度时的局部的表面形貌。由图 5 可以看出, 各加工表面均存在

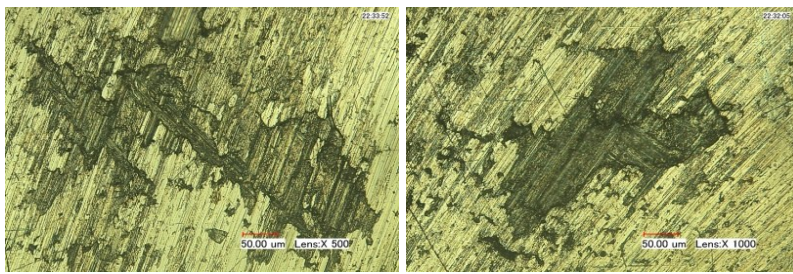
不同程度的损伤。在切削速度为 40 m/min 时, 损伤面积最大, 但整体深度不深 (深度为 $33 \mu\text{m}$); 而在切削速度 120 m/min 时, 损伤深度最深 (为 $67 \mu\text{m}$)。



(a) $v = 40 \text{ m/min}$

(b) $v = 80 \text{ m/min}$

(c) $v = 120 \text{ m/min}$



(d) $v=160$ m/min

(e) $v=200$ m/min

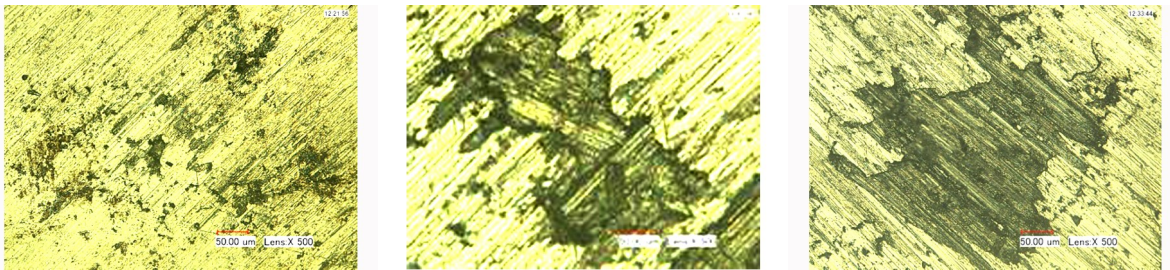
图5 不同切削速度时的表面形貌 $a_e=6$ mm, $a_p=1.5$ mm, $f=0.06$ mm/r

Fig.5 Surface morphology in different cutting speeds $a_e=6$ mm, $a_p=1.5$ mm, $f=0.06$ mm/r

这是由于在切削速度 40 m/min 时,切削温度较低,切削区保持较高硬度,前刀面上积屑瘤的生长、脱落对加工表面造成的划伤面积较大,但损伤深度较浅;而切削速度达到 120 m/min 时,切削区温度较高,同时切削力较大,易使加工表面的材料撕裂,形成较深的表面损伤。随着切削速度的进一步增大,切削温度升高,使得切屑变软,积屑瘤的附着减小,同时切削

力也减小,使得加工表面的损伤不论是面积还是深度均大大降低,故图 5(d)(e) 的表面损伤相较于低速 (<120 m/min) 时更小。

图 6 是表面形貌随进给量的变化。从图上可以看到,表面损伤随着进给量的增大而增大。进给量增加,切削力增大,导致已加工表面损伤增大。



(a) $f=0.02$ mm/r

(b) $f=0.06$ mm/r

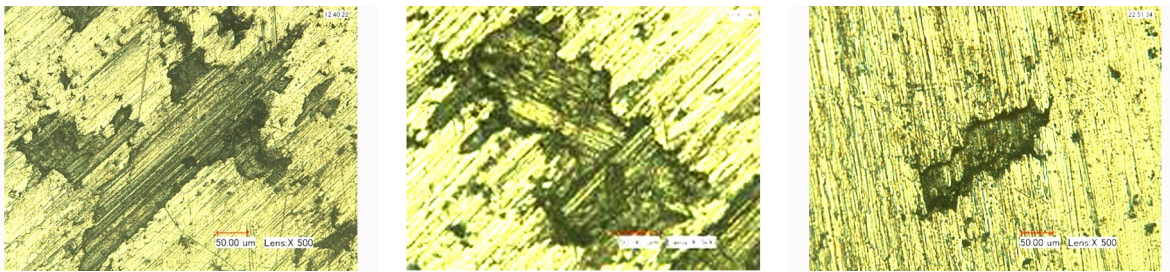
(c) $f=0.1$ mm/r

图6 不同进给量时的表面形貌 $v=120$ m/min, $a_e=6$ mm, $a_p=1.5$ mm

Fig.6 Surface morphology in different feed $v=120$ m/min, $a_e=6$ mm, $a_p=1.5$ mm

图 7 为不同轴向切深和径向切深的已加工表面形貌。从图上看,不同轴向切深的表面损伤都比较严重,且表面损伤区别不是很大。径向切深较大的表面损伤较大,径向切深对表面质量的影响较大。前面已

经分析了已加工表面的损伤跟刀尖在切过表面的路径相关,刀尖在切过表面的路径是造成径向切深对表面质量影响的重要因素。



(a) $a_e=6$ mm, $a_p=0.5$ mm

(b) $a_e=6$ mm, $a_p=1.5$ mm

(c) $a_e=2$ mm, $a_p=1.5$ mm

图7 铣削加工表面形貌 $v=120$ m/min, $f=0.06$ mm/r

Fig.7 Cutting surface morphology with $v=120$ m/min, $f=0.06$ mm/r

综上所述,切削速度、进给量和径向切深对已加工表面形貌的影响较大,而轴向切深对已加工表面形貌的影响较小。为了获得较好的已加工表面,应该选择较大的切削速度 (>120 m/min),较小的进给量和 ≤ 4 mm 的径向切深,对于影响较小的轴向切深根据加工余量进行选择。

(1) 随着切削速度的增大表面粗糙度先增大后减少,在切削速度为 120 m/min 时达到峰值,且进给量、径向切深和轴向切深的增大使表面粗糙度增大。

(2) 在 SiC_p/Al 复合材料的铣削加工过程中,使用大的切削速度、较小的进给量和 ≤ 4 mm 的径向切深能获得较好的加工表面质量,而轴向切深可以根据实际加工余量进行选择,这为选择合适的实际加工参

3 结论

数提供参考。

参考文献

[1] HUNG N P, LOH N L, XU Z M. Cumulative tool wear in machining metal matrix composites part II: machinability [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 58(58): 114-120.

[2] RAMULU M, RAOP N, KAO H. Drilling of $(Al_2O_3)_p/6061$ metal matrix composite [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 124(1): 244-254.

[3] MONAGHAN J, O'REILLY J. The drilling of an Al/SiC metal matrix composite [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1992, 33(4): 469-480.

[4] MUBARAKI B, BANDYOPADHYAY S, FOWLE R, et al. Machining studies of an Al_2O_3 -Al metal matrix composite Part I: Drill wear characteristics [J]. Journal of Materials Science, 1995, 24: 6273-6280.

[5] MUBARAKI B, FOWLE R, MATHEW P, et al. Quantitative aspects of drilling a metal matrix composite [J]. Journal of the Australian Ceramic Society, 1994, 30: 137-163.

[6] MANNA A, BHATTACHARYA B. A study on machinability of Al/SiC-MMC [J]. Journal of Materials Processing Tech-

nology, 2003, 140(1/3): 711-716.

[7] 刘战强, 万熠, 艾兴. 高速铣削中切削力的研究 [J]. 中国机械工程, 2003, 14(09): 734-737.

[8] 张高峰, 谭援强, 邓朝晖. Al/SiC_p 复合材料铣削加工损伤形貌与分析 [J]. 湘潭大学学报(自然科学版), 2009, 31(3): 59-64.

[9] OZBEN T, KILICKAP E, CAKIR O. Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 198(1/3): 220-225.

[10] 葛英飞, 徐九华, 张帅, 等. 工件材料特性对 SiC_p/Al 复合材料高速铣削加工性的影响 [J]. 机械科学与技术, 2013, 32(9): 1281-1286.

[11] 葛英飞, 徐九华, 张帅, 等. SiC_p/Al 复合材料高速铣削加工表面质量及切屑形成机制 [J]. 机械工程材料, 2012(2): 15-18.

[12] 葛英飞. SiC 颗粒增强铝基复合材料超精密车削的基础研究 [D]. 南京航空航天大学, 2007.

[13] 陈日曜. 金属切削原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984: 145-150.

(上接第 63 页)

[14] 曹楚南, 王佳, 林海潮. 氯离子对钝态金属电极阻抗频谱的影响 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 1989, 9(4): 261-270.

[15] 刘锋, 俞娟, 单大勇, 等. AM30 合金表面氧化锆微弧氧化涂层的腐蚀破坏过程 [J]. 宇航材料工艺, 2014, 44(2): 37-41.

[16] 马鋈, 张立, 南晴, 等. Cr、V、Ta 添加剂对超粗晶硬质合金电化学腐蚀行为影响 [J]. 粉末冶金材料科学与工程,

2012, 17(16): 825-832.

[17] 顾宝珊, 杨培燕. B95 铝合金在钼盐溶液中形成转化膜的电极反应机理 [J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(12): 3387-3393.

[18] 生海, 董超芳, 肖葵, 等. 高强铝合金裂纹尖端在 3.5%NaCl 溶液中的微区电化学特征 [J]. 金属学报, 2012, 48(4): 414-419.