

# 高速钢丝锥刀齿的电解强化工艺的试验研究

韩荣第<sup>1</sup>, 唐艳丽<sup>1</sup>, 刘永宏<sup>2</sup>, 都金光<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学机电工程学院, 哈尔滨 150001;

2. 武汉东风汽车中心, 武汉 430056)

**[摘要]** 为了消除或减少丝锥刀齿存在的锋刃、锯齿刃及表面的凹坑、裂纹等缺陷, 提高刀齿的强度和耐磨性, 特研制了丝锥刀齿的电解强化装置, 并对高速钢丝锥进行了电解强化工艺研究, 得到了电流密度、极间距离、电解时间及电解液温度对丝锥表面粗糙度的影响规律。强化后丝锥的攻丝试验结果表明, 强化后丝锥刀齿消除或减少了锯齿刃, 形成了具有一定钝圆半径的倒圆刃, 丝锥刀齿的表面质量大大改善。

**关键词:** 模拟量协调; 数字量协调; 工艺容差分配; 工艺流程; 数字化精加工

## Process Test Research on High-Speed Steel Taps With Electrolytic Enhancement

HAN Rongdi<sup>1</sup>, TANG Yanli<sup>1</sup>, LIU Yonghong<sup>2</sup>, DU Jinguang<sup>1</sup>

(1. School of mechanical engineering of Harbin industrial university institute, Harbin 150001;

2. Wuhan dongfeng motor center, Wuhan 430056)

**[ABSTRACT]** In order to meet the requirements for aircraft digital assembly and finish machining, production problems that may be encountered when converting analogue quantity into digital quantity are analyzed, a new process solution is put forward, and product rapid reverse modeling is realized by comparison between theoretical digital model and physical samples and secondary correction method. By introducing a on-line detection, automatic posture adjustment, CNC digital finishing production line, concurrent manufacturing of multi-type aircraft is realized, quality of products is ensured and production cost is reduced.

**Keywords:** Analog coordination; Digital coordination; Process tolerance allocation; Process flow; Digital finishing

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.1/2.081

显微镜下的新丝锥刀齿切削刃往往存在锋刃或锯齿刃, 前后刀面的刃磨痕迹中存在较大凹坑, 甚至有微裂纹等缺陷。它们都是应力集中源, 可使刀齿过快磨损甚至破损, 严重影响丝锥的使用寿命。为此, 人们提出并试验了各种不同的强化方法, 常用的方法有: 尼龙刷刃部研磨法、喷砂强化法、离心滚筒研磨法、磁性磨料研磨法、振动磨块研磨法及电解强化法。它们各有优缺点, 但电解强化法更适合丝锥刀齿的强化。为此, 研制了电解强化装置。本文拟对电解强化装置的强化工艺进行研究。

## 1 电解强化装置

为对丝锥刀齿切削刃及前后刀面进行强化, 研制了丝锥电解强化试验装置。主要包括: 直流稳压电源、阳极主轴、电解槽及可调阴极等。

(1) 直流稳压电源为: 选用兆信公司生产的 RXN-

305D 直流稳压电源, 电压 0~30V、电流 0~5A 连续可调、恒压或恒流输出, 还具有数字显示与过载保护功能。

(2) 阳极(回转)主轴及集流装置。

阳极主轴用联轴器与步进电机相联, 以改善阳极表面产生气体与溶解离子的状态, 使电解液产生流动以获得良好的撞流效果, 使丝锥各刀齿得到均匀强化。集流装置则可保证阳极主轴与电源的接触良好。

## 2 电解强化工艺试验

(1) 电解液的配制。

考虑到丝锥为高速钢材料, 故选用冷压石墨作阴极。电解液配方: 磷酸 60%~70%, 硫酸 15%~20%, 铬酐 5%~10%, 其余为水。磷酸的作用是有利于电解时磷酸盐黏性膜的生成, 且腐蚀性小; 硫酸可以提高抛光速度和抛光面亮度; 铬酐溶于水后生成铬酸, 有利于在阳极抛光面上生成氧化膜, 提高表面平整性。先按比例取铬

酞加入 90℃水中,至完全溶解,然后加入已有磷酸的电解槽中,再将一定比例的硫酸溶液加入其中搅拌均匀。将此溶液加热到 100℃保温 2h,再自然冷却到室温即可用。

(2) 电解强化工艺试验。

采用单因素法。检测强化后前刀面的表面粗糙度  $R_a$  值,因为  $R_a$  将影响切屑与前刀面的摩擦情况。

a. 电流密度  $i$  对表面粗糙度  $R_a$  的影响。

固定:极间距离  $l=100\text{mm}$ ,电解时间  $t=60\text{s}$ ,电解液温度  $T=70^\circ\text{C}$ ;改变电解液的电流密度  $i=18.7、24.6、30、33.3、39.6\text{ A/dm}^2$ 。 $i$  对  $R_a$  的影响规律如图 1 所示。

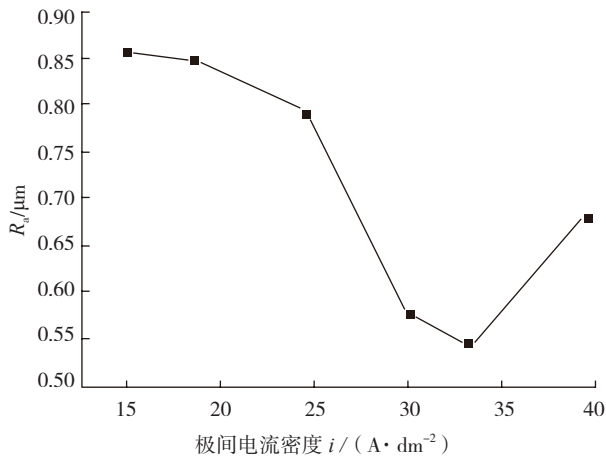


图1  $R_a-i$ 的关系

Fig.1 Relationship between  $R_a$  and  $i$

b. 极间距离  $l$  对表面粗糙度  $R_a$  的影响。

固定电流密度  $i=30\text{A/dm}^2$ ,电解时间  $t=60\text{s}$ ,电解液温度  $T=70^\circ\text{C}$ 。改变极间距离  $l=50\text{mm}、100\text{mm}、150\text{mm}、200\text{mm}、250\text{mm}$ 。 $l$  对  $R_a$  的影响规律如图 2 所示。

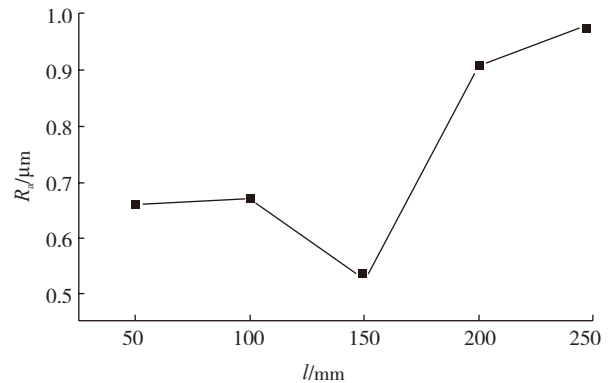


图2  $R_a-l$ 的关系

Fig.2 Relationship between  $R_a$  and  $l$

c. 电解时间  $t$  对表面粗糙度  $R_a$  的影响。

固定电流密度  $i=30\text{A/dm}^2$ ,极间距离  $l=100\text{mm}$ ,电解液温度  $T=70^\circ\text{C}$ 。改变电解时间  $t=20\text{s}、40\text{s}、80\text{s}、100\text{s}$ 。 $t$  对  $R_a$  的影响规律如图 3 所示。

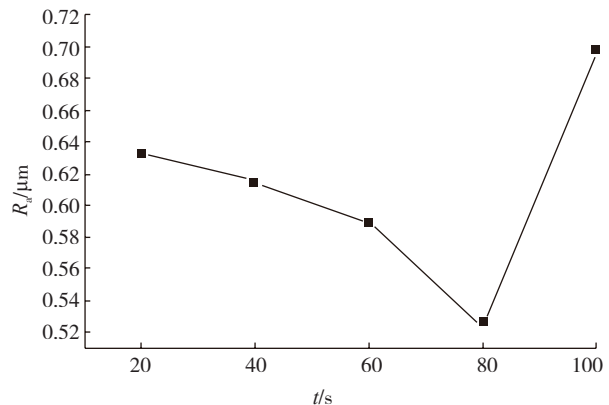


图3  $R_a-t$ 的关系

Fig.3 Relationship between  $R_a$  and  $t$

d. 电解液温度  $T$  对表面粗糙度  $R_a$  的影响。

固定电流密度  $i=30\text{A/dm}^2$ ,极间距离  $l=100\text{mm}$ ,电解时间。改变电解液温度  $T=60^\circ\text{C}、65^\circ\text{C}、70^\circ\text{C}、75^\circ\text{C}、80^\circ\text{C}$ 。 $T$  对  $R_a$  的影响规律如图 4 所示。

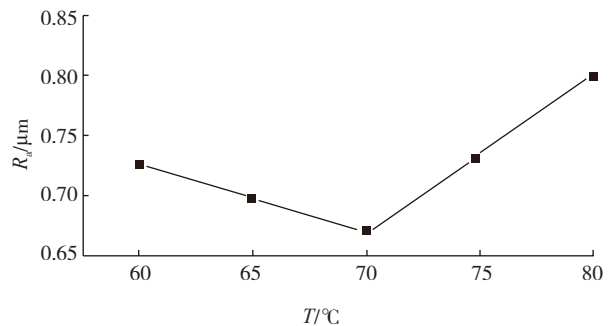


图4  $R_a-T$ 的关系

Fig.4 Relationship between  $R_a$  and  $T$

过小电流分布不均匀,易造成局部反应剧烈,释放大量的热量或气体,达不到全面整平的目的,如图 6 所示。

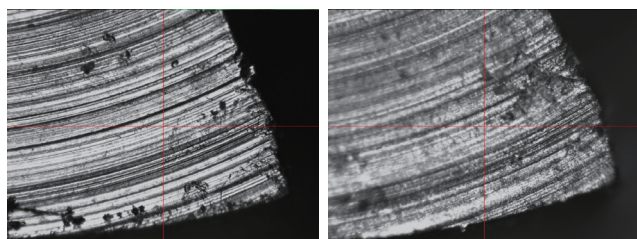
c. 由图 3 不难看出:  $t=80\text{s}$  为最佳,表面整平效果最好。时间过长,会破坏表面强化膜的产生与溶解的关系;过短电化学反应不充分,致整平不充分,效果如图 7 所示。

d. 由图 4 不难看出: 电解温度  $T=70^\circ\text{C}$  为宜。温度过低,溶液粘度较大,阳极表面金属溶解慢,强化效果

(3) 电解强化试验结果与分析。

a. 由图 1 可看出: 如电流密度太小,阳极表面只一般腐蚀溶解,达不到整平的目的;过大,由于气体析出过多易在表面形成过度腐蚀或凹坑。故  $i=30\sim35\text{ (A/dm}^2)$  为最佳范围,效果如图 5 所示。

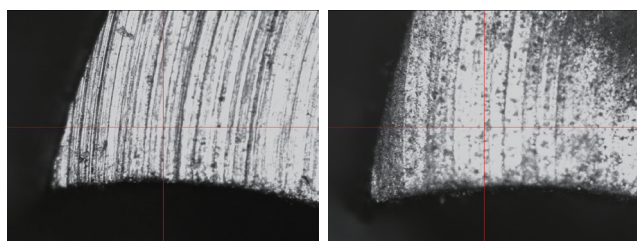
b. 由图 2 可看出: 极间距离  $l=150\text{mm}$  最好。如  $l$  过大,电阻过大,效率低,仅发生了轻微电化学反应;  $l$



(a) 强化前 (b) 强化后

图5 电流密度不同丝锥表面强化前后对比

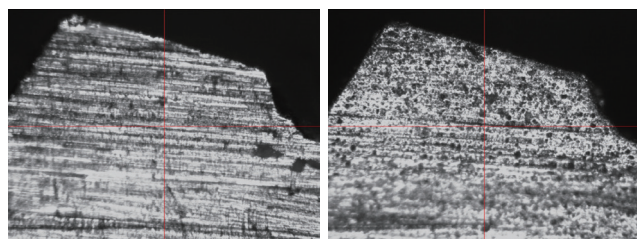
Fig.5 Different tap current density contrast before and after surface strengthening



(a) 强化前 (b) 强化后

图6 极间距离不同丝锥表面强化对比

Fig.6 Different tap interelectrode distance comparison before and after surface strengthening



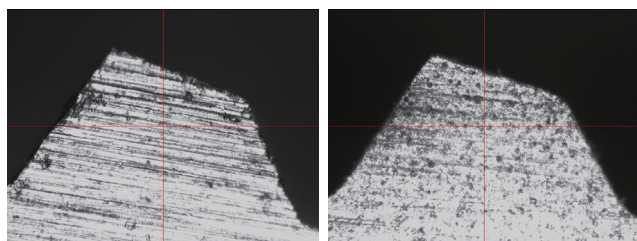
(a) 强化前 (b) 强化后

图7 时间不同丝锥切削刃前刀面强化对比图

Fig.7 Time different tap before cutting edge knife surface strengthen contrast figure

差; 温度过高, 致使阳极表面溶解过度, 或反应剧烈产生气泡多, 使阳极表面留下条纹。效果如图 8 所示。

e. 由图 8 可看出: 强化后的丝锥刀齿已具有了一定

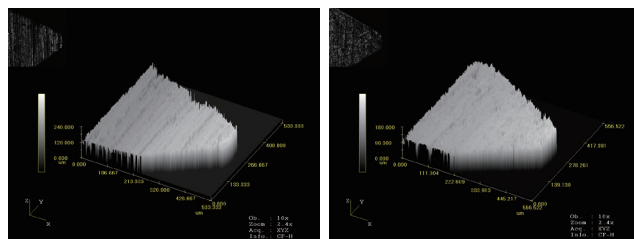


(a) 强化前 (b) 强化后

图8 电解温度不同切削刃前刀面强化对比图

Fig.8 Electrolytic temperature different tap before cutting edge knife surface strengthen contrast figure

钝圆半径的倒圆刃, 消除了锋刃、锯齿刃。为了看到丝锥刀齿前刀面强化的立体效果, 利用激光共聚焦显微镜系统的三维扫描和三维立体影像重构功能, 对其强化前后进行了三维重构, 重构图像如图 9 所示。



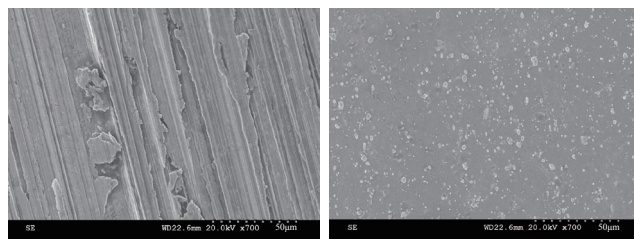
(a) 强化前 (b) 强化后

图9 前刀面强化前后的三维立体影像

Fig.9 Rake face of three-dimensional images of before and after reinforcement

不难看出: 强化的前刀面原砂轮刃磨痕迹清晰可见, 磨痕深度达  $120\mu\text{m}$ , 刀齿两侧刃均有锯齿甚至一侧有豁口; 强化后前刀面的刃磨痕迹明显变少且磨痕深度减小至  $90\mu\text{m}$ , 两侧刃变得比较规整。

电镜 SEM 扫描结果如图 10 所示。



(a) 强化前 (b) 强化后

图10 前刀面强化效果的SEM对比

Fig.10 Rake face of strengthening effect of SEM

可见, 强化后的表面刃磨痕迹已不复存在, 表面质量得到了明显改善。

### 3 结论

如以丝锥刀齿表面的粗糙度为衡量指标, 丝锥电解强化工艺试验结果表明:

(1) 电流密度为  $30\sim 35\text{ (A/dm}^2\text{)}$ , 极间距离为  $100\sim 150\text{mm}$ , 电解时间为  $80\text{s}$ , 电解液温度为  $70\text{ }^\circ\text{C}$  时, 丝锥的表面粗糙度值最小, 刀齿切削刃消除了锋刃、锯齿刃, 从而形成了具有一定钝圆半径的倒圆刃。

(2) 未强化的丝锥刀齿前刀面刃磨痕迹清晰可见, 沟痕深度达  $120\mu\text{m}$ , 且两侧刃锯齿明显, 强化后磨痕明显减少, 沟痕深度减至  $90\mu\text{m}$ , 两侧刃规整。

(责编 宁宁)