

钛合金振动攻丝的工艺参数优化

张德远 陈鼎昌

(北京航空航天大学 707 教研室, 北京, 100083)

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN VIBRATION TAPPING OF TITANIUM ALLOYS

Zhang De-yuan, Chen Ding-chang

(Faculty 707 of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

摘要 在以步进电机为振源的振动攻丝机上,对基本工艺参数优化结果,较低切削速度,分离量越大,切削量越小,攻丝扭矩就越小。步进电机反转前制动脉冲数的计算结果,随切削速度和主轴转动惯量的降低,反转前的最少制动脉冲数减小。

关键词 振动攻丝,最佳参数,制动脉冲

Abstract A new type of Vibration tapping machine developed the vibrator is a stepping motor. Under suitable vibration parameters the tapping torque is markedly smaller and the tap life is strikingly larger in the vibration tapping than those in the conventional tapping, so the difficult problem of titanium alloys tapping is solved. In this paper, basic cutting parameters are optimized with the tapping torque, the least number of brake pulse before the reversal of the stepping motor is computed theoretically and tested. Thus the theoretical basis for rationally apply the vibration tapping is provided.

Key words vibration tapping, optimum parameters, brake pulse

钛合金小深孔攻丝是飞机制造中的一项工艺难题,用传统的攻丝手段极易引起丝锥的崩刃和折断;振动攻丝是解决难加工材料攻丝的有效方法。但以往是对振动频率、平均转速等综合参数进行优化,它们对攻丝扭矩影响的规律性很差不易找出合理的工艺参数^[1~3]。本文以最基本的振动参数来优化出合理的工艺参数。

1 振动攻丝原理

图1是以步进电机为振源的振动攻丝机的驱动和传动原理图。步进电机固定在床身上,转子通过滑动键与主轴连接,主轴和电机转子一同作扭转振动,主轴可以上下滑动。由单板机控制驱动电源的通电方式,改变五相绕组的分配顺序,使转子周期性地扭转振动。在每一扭转振动周期中的通电过程是:正转-制动-反转-制动-正转……其中制动就是保持电机换向前的通电状态,以克服转子与主轴的回转惯性。振动攻丝的基本工艺参数有:切削速度 V 、丝锥刀齿每次回退量 l_G 和每次切削量(净前进量) l_T 。这些基本工艺参数直接影响到振动攻丝的效果。而制动脉冲数 P_R 对攻丝没有影响,是辅助的工艺参数。反映加工效率的是主轴平均转速 n 。各参数分别为

1991年11月22日收到,1992年4月16日收到修改稿

航空科学基金和航空工艺技术研究开发中心资助课题

$$V = \frac{\pi \beta D}{6T_0} \quad (\text{m/min}) \quad (1)$$

$$l_G = \frac{\pi \beta D}{360} P_B \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

$$l_T = \frac{\pi \beta D}{360} (P_F - P_B) \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

$$n = \frac{\beta(P_F - P_B)}{360T_0(P_F + P_B + 2P_R)} \quad (\text{r/min}) \quad (4)$$

其中, β —步矩角; 五相十拍时 $\beta = 0.75^\circ$; D —丝锥直径 (mm); T_0 —励磁脉冲周期 (ms); P_F —正转脉冲数; P_B —反转脉冲数; P_R —制动脉冲数。

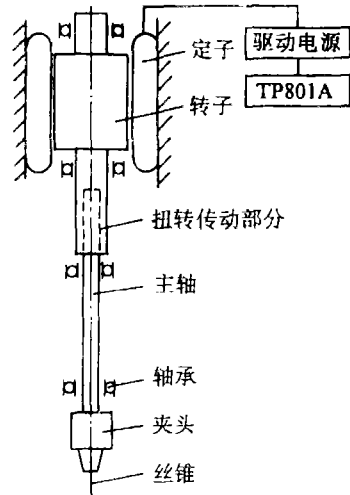


图 1 主轴部分传动原理简图

2 基本工艺参数优化

基本工艺参数对攻丝扭矩峰值的单因素试验结果如图 2 和图 3 所示。试验条件: 工件材料为钛合金 Ti22; 丝锥为 M3.5×0.6HSS; 底孔直径 3.1×15; 切削液为蓖麻油。图 2 表明, 随切削速率 V 的提高, 扭转振动频率将增大, 机床振动加大, 使切削过程干扰力峰值加大, 从而使攻丝扭矩逐渐增大。图 3 表明, 攻丝扭矩随分离量 l_G 的增大而减小, 随切削量 l_T 的增大而增大。其原因除了由于随分离量的增大和切削量的减小, 切削油进入切削区的润滑冷却效果增强, 使后刀面摩擦扭矩下降, 攻丝扭矩逐渐降低以外, 更重要的是振动攻丝的丝锥刀齿对已加工表面的重复切削次数 Q 随 l_G 的增大和 l_T 减小而增大的缘故。 Q 值为

$$Q = \frac{l_G}{l_T} + 1 \quad (5)$$

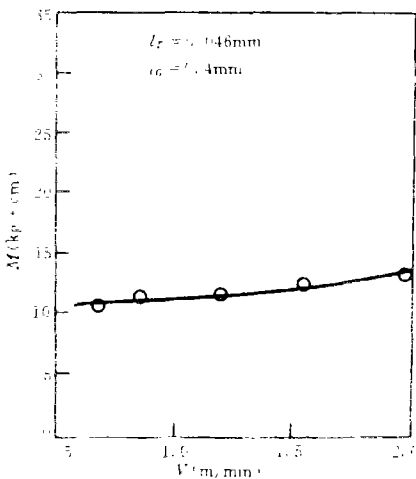


图 2 攻丝扭矩随切削速度的变化

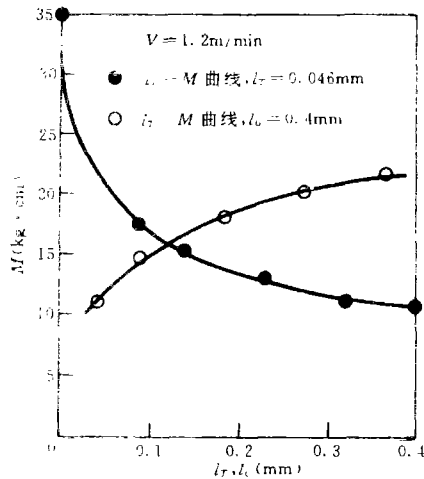


图 3 攻丝扭矩随切削量和分离量的变化

随重复切削次数值越大, 已加工表面的弹性回复量越容易被去除, 后刀面的挤压摩擦就越

小, 攻丝扭矩就越低。普通攻丝 ($l_G=0$) 的 $Q=1$, 而在 $l_G=0.4$ 、 $l_T=0.046$ 时的振动攻丝的 $Q=9$, 这时振动攻丝的攻丝扭矩峰值仅为普通攻丝的 $1/3$ 以下, 丝锥寿命为普通攻丝的 50 倍以上。因此, 为了降低振动攻丝的攻丝扭矩, 选择较小的切削速度、尽量小的切削量和较大的分离量是有利的。

3 辅助工艺参数优化

从式 (1) 到式 (4) 可以看出, 在基本工艺参数 V 、 l_G 和 l_T 根据攻丝扭矩选定后, 参数 T_0 、 P_F 和 P_B 就被确定, 只能靠减小制动脉冲数 P_R 来进一步提高加工效率。下面求解反转前的最少制动脉冲数。电机转子正转过程中突然制动后, 在矩角特性 $T(\theta) = -T_K \sin Z_r(\theta - \beta)$ 的作用下, 转子在制动时的稳定平衡点附近作自由振荡, 运动方程为

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + T_K \sin Z_r(\theta - \beta) = 0 \tag{6}$$

其中, J —机床主轴和电机转子的转动惯量; θ —回转角; t —转子齿数; Z_r —转子齿数; T_K —电机最大静转矩。对式 (6) 椭圆积分并考虑阻尼的影响, 得有阻尼自由振荡周期为

$$T_n = \frac{2\pi}{K(Z_r, \beta)} \sqrt{\frac{J}{T_K Z_r (1 - \xi^2)}} \tag{7}$$

其中 ξ —阻尼比, $K(Z_r, \beta)$ —椭圆积分值。根据已知条件按式 (7) 计算出 $T_n = 7.2\text{ms}$ 。步进电机制动后, 至少要等到转子回到头两个稳定平衡点之间才能进行反转, 少于这个时间就无法实现扭转振动。即电机换向前的最少制动脉冲数为

$$P_{Rmin} = \frac{1}{2} \left(\frac{6T_n V}{\pi \beta D} - 1 \right) \sim \frac{1}{2} \left(\frac{6T_n V}{\pi \beta D} + 1 \right) \tag{8}$$

由上式得出 P_{Rmin} 随 V 的变化区域如图 4 所示, 实测值 (圆点) 分部落在区域中心线附近。总的趋势是随 V 的增大 P_{Rmin} 增大。为进一步提高加工效率应设法降低 T_n (例如通过降低 J)。

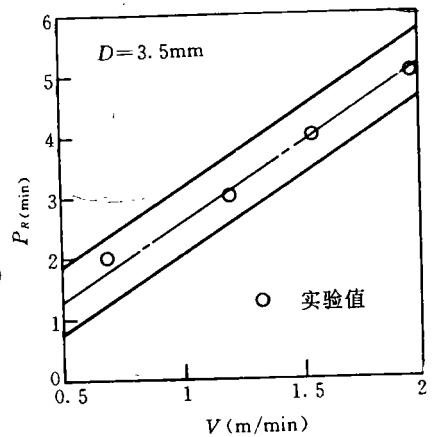


图 4 不同切削速度下的最少制动脉冲数

以上试验和分析结果表明, 振动攻丝在较低切削速度下, 分离量越大, 切削量越小, 攻丝扭矩就越小, 而攻丝效率却越低。因此, 实际应用中, 要根据生产率和经济性选择合适的基本工艺参数, 同时要选最少制动脉冲数, 确定合理的丝锥修磨方式和高效的切削液来改善工艺环境, 以较高的攻丝效率达到要求的攻丝扭矩或丝锥寿命。

参 考 文 献

- 1 Gou Q, Chen D Ch, Lan J Y. Research on Vibratory Tapping of Small and Deep Thread in Titanium Alloys 5th IMCC, Guang Dong, China, 1991; 301~306.
- 2 隈部淳一郎, 立花享. 精密振动は一立て. 精密机械, 1982; 48: (8) 24~31.
- 3 Patie S S, Pande S S, somasundaran S. Some Investigaton on Vibratory Tapping Process. Int, J Mach Tools Manufact, 1987; 27: (3) 343~350.