

拉刀设计对航空发动机涡轮盘榫槽型面的影响

Influence of Broach Design on Aeroengine Turbine Disk Fir Tree Groove

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司科研工装厂 徐岩 张川



徐岩

现任中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司科研工装厂技术专家,主要从事航空发动机刀具研究工作,在非标刀具设计中取得了一定的突破,解决了现场的加工难题。曾到国外某公司讨论和研究涡轮盘榫槽拉刀的设计及结构的改进。

随着航空发动机技术的不断发展,涡轮盘榫槽的槽型、表面几何形状越来越复杂,对它的精度要求也越来越高,对拉刀的设计要求更加严格,拉削零件的表面质量非常重要。

50 航空制造技术·2010年第15期

探索切削参数对零件表面质量的影响和零件表面质量对零件使用寿命的影响规律、提高零件的使用性能和提高零件的疲劳强度、延缓裂纹的发生与发展具有重要意义。拉削后零件表面质量取决于被加工材料的物理机械性能、工艺因素和拉刀锋利程度,因此在拉刀的设计中更要注重各相关因素的影响,以保证在拉削过程中的零件尺寸精度和质量。

探索切削参数对零件表面质量的影响和零件表面质量对零件使用寿命的影响规律、以提高零件的使用性能和提高零件的疲劳强度、延缓裂纹的发生与发展具有重要意义。拉削后零件表面质量取决于被加工材料的物理机械性能、工艺因素和拉刀锋利程度,因此在拉刀的设计中更要注重各相关因素的影响,以保证在拉削过程中的零件尺寸精度和质量。

影响拉削涡轮盘榫槽型面质量分析

影响榫槽拉削加工精度的因素有很多,如:拉床、夹具、导向槽、拉削参数、拉刀设计参数及被拉削零件材料特性等,这些因素都可以降低榫

槽表面质量。

常出现的现象有:

(1)零件表面有白茬(白茬深度到0.01mm)即鳞刺现象,这实际上是零件表面的凹坑,无论是开槽拉刀或齿型粗精拉刀拉削过的表面,都存在白茬现象,一时成为生产中的关键。耐高温材料属于铁基合金,晶粒比较粗大,晶界碳化物分布不均匀,已加工表面上会形成晶粒撕裂现象,出现麻点。当切削厚度加大时,鳞刺上升;拉刀前角加大时,鳞刺下降;工作硬度高时,鳞刺下降;提高拉削速度,鳞刺下降;零件材料晶粒度细而且均匀时,鳞刺下降;一般齿型精拉刀,刀齿上升量均匀,而且不大于0.01mm(仿型法)时,鳞刺下降;采

用分段仿型拉削或高速拉削方法,鳞刺可减轻。

(2) 零件槽底允许有 0.1mm 凸台处,已加工表面存在啃伤现象,在粗拉齿型或精拉齿型前,最好选择先拉凸台空刀(沿槽底方向拉削),可改善槽底啃伤现象。但槽底空刀和齿型圆弧转接不好(保证不了对称),组合拉削就避免了这种现象。

1 涡轮盘榫槽拉削加工过程及影响因素

涡轮盘每个榫槽拉削加工成型一般要经过 3 个步骤:开槽、粗拉齿形、精拉齿形。精拉刀拉削余量的原则是,在拉床精度和拉刀定位精度可以保证给精拉削有充足余量时,粗拉刀加工后为精拉刀留有的余量要尽量小。余量小的优点是精刀拉削时,拉削力小,可减少工件的弹性变形,与精拉刀型面的误差小。

2 涡轮盘材料的加工特性的影响

航空发动机涡轮盘材料大多数是高温合金,有的涡轮盘已采用新型粉末高温合金材料,这些都属难加工材料,由于这些材料导热性差,切削时易产生冷作硬化层,因此在拉削过程产生大量的热而引起零件材料“弹变”及“物变”,给产品带来不同程度的质量隐患。

精拉刀的设计精度分析计算

除了要解决上述问题,对齿形精拉刀的设计精度还要进行分析计算。根据榫槽齿形的性质,对精拉刀的齿槽宽度的检验通常采用测量滚棒间的 K 值和 M 值尺寸来实现,保证零件榫槽的互换性。

1 齿形精拉刀投影放大图的分析

齿形精拉刀都要在工件投影板放大图中进行投影检查,精拉刀型面接近检查投影板型面,方可拉削零件榫槽。通过对公差带的分析计算要确保拉刀设计精度和经过拉削加工后的榫槽精度都完全达到设计要求。某涡轮盘榫槽公差带投影放大图见

图 1。

在图 1 中,靠近工作基准线的第一处非工作面公差带宽度为 $\Delta_{非1}$,靠

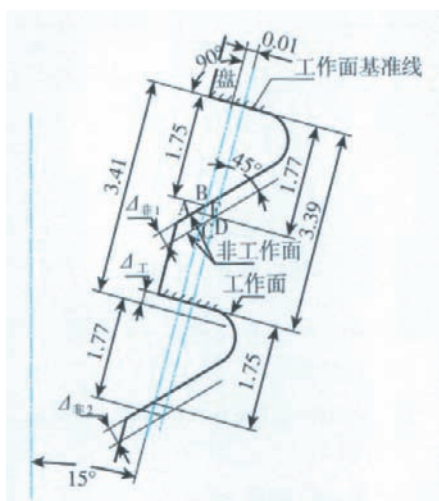


图1 涡轮盘榫槽公差带投影图

近工作基准线的第二处非工作面公差带宽度: $\Delta_{非2}$,工作面公差带宽度为 $\Delta_{工}$,公差带计算:

$$\begin{aligned}\Delta_{工} &= 3.41 - 3.39 = 0.02\text{mm}; \\ \Delta_{非1} &= AC = AD \cdot \sin 45^\circ = \\ &= (AF + FD) \cdot \sin 45^\circ = \\ &= (BF + FD) \cdot \sin 45^\circ = \\ &= [(1.77 - 1.75) + 0.01 \times \cos 15^\circ] \cdot \\ &\quad \sin 45^\circ = 0.02097\text{mm}; \\ \Delta_{非2} &= (0.04 - 0.02) \cdot \cos 45^\circ + \\ &\quad \Delta_{非1} = 0.03511\text{mm}.\end{aligned}$$

由此可知,工作面的公差带除第一基准齿外,其余齿公差带的宽度都为 0.02mm,非工作面的公差带宽度,靠近第一基准齿为 0.02097mm,其余

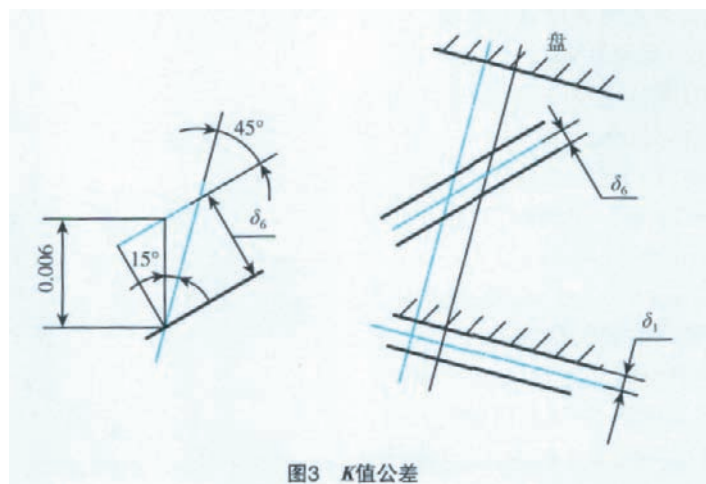


图3 K值公差

为 0.03511mm。

2 拉刀对榫槽公差带影响因素分析

齿形精拉刀设计图上有关公差分析计算中,拉刀齿距用滚棒测量 K 值的影响:拉刀设计 K 值的公差值为 $\pm 0.003\text{mm}$,公差带值为 0.006mm (见图 2)。

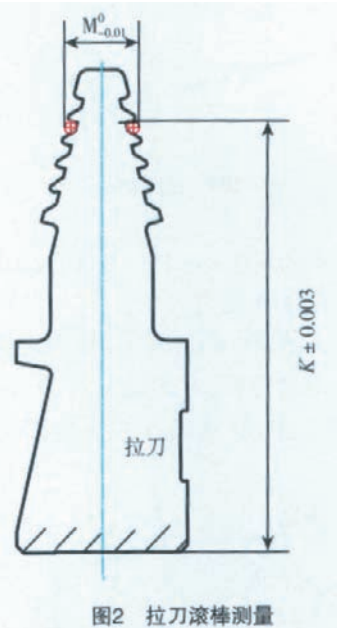


图2 拉刀滚棒测量

从图 3 中可以得到:

工作面为:

$$\delta_1 = 0.006 \times \cos 15^\circ = 0.0058\text{mm};$$

非工作面为:

$$\delta_6 = 0.006 \times \cos 30^\circ = 0.0052\text{mm}.$$

新制拉刀 M 值的影响:

设计图规定 $M_{0.01}^0$,所以单面为 0.005mm,从图 4 中得到:

工作面为:

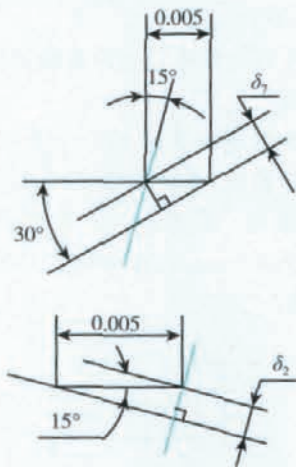


图4 拉刀M值

$$\delta_2 = 0.005 \times \sin 15^\circ = 0.0013\text{mm};$$

非工作面为:

$$\delta_7 = 0.006 \times \sin 45^\circ = 0.0035\text{mm}。$$

经过分析, δ_2 包涵在 δ_1 中, δ_7 包涵在 δ_6 中, 故 δ_2 和 δ_7 可不考虑。

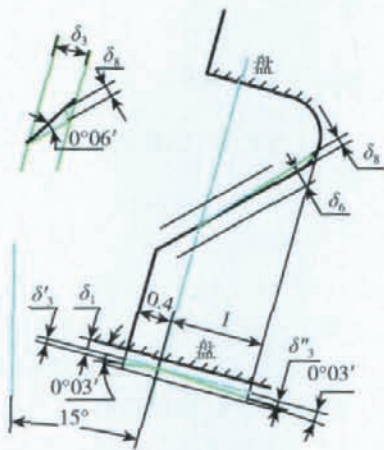


图5 榫槽齿牙齿面角度值

3 榫槽齿牙齿面角度值的影响

设计图规定是 $90^\circ \pm 3'$ (工作面); $45^\circ \pm 6'$ (非工作面); 从图5中可得出工作面处 ($90^\circ \pm 3'$) 为:

$$\delta'_3 = 0.4 \times \text{tg} 3' = 0.000349\text{mm};$$

$$\delta''_3 = 1 \times \text{tg} 3' = 0.0008727\text{mm};$$

非工作面处 ($45^\circ \pm 6'$) 为:

$$\delta_8 = 1/\cos 45^\circ \times \text{tg} 6' = 0.00247\text{mm};$$

4 榫槽齿牙斜角的影响

设计图中 $15^\circ \pm 0'01''$, 这实质上是节线的角度误差, 我们可以把上面第三项的影响, 看作扩大 $1'$, 这样就

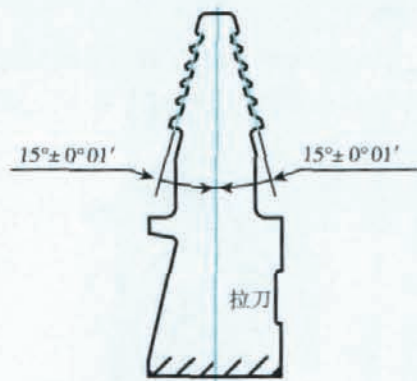


图6 榫槽齿牙斜角

把本项的影响考虑进去了 (见图6)。

工作面处:

$$(\delta'_3) \text{斜角} = 0.4 \times \text{tg} 4' = 0.000465\text{mm};$$

$$(\delta''_3) \text{斜角} = 1 \times \text{tg} 4' = 0.000116\text{mm}。$$

非工作面处:

$$(\delta_8) \text{斜角} = 1/\cos 45^\circ \times \text{tg} 7' =$$

$$0.00288\text{mm}。$$

5 测量滚棒 $\phi \pm 0.001$ 的影响

从图7中可看出, 保持 M 、 K 值不变情况下讨论问题, 公差带宽度

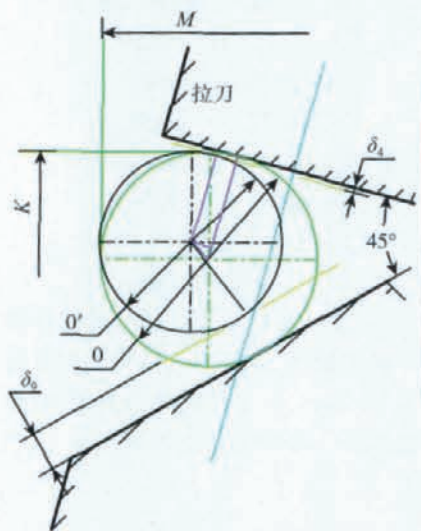


图7 测量滚棒

值为 0.002mm ;

$$Rt\Delta O'E \text{ 中 } :O'E = 0.001;$$

$$O'O = O'E/\cos 45^\circ = 0.001/$$

$$\cos 45^\circ = 0.001414213\text{mm}。$$

$$Rt\Delta O'OG \text{ 中 } :OG = O'O \cdot \sin 30^\circ =$$

$$0.001414213 \times \sin 30^\circ =$$

$$0.000707106\text{mm}。$$

工作面处:

$$\delta_4 = \phi/2 - (\phi'/2 + OG)$$

$$= \phi/2 - \phi'/2 - OG = 0.001 -$$

$$0.000707 = 0.00029\text{mm}。$$

非工作面处:

$$Rt\Delta O'O'H \text{ 中 } :O'H =$$

$$OO' \cdot \sin (45^\circ + 30^\circ) =$$

$$0.001414213 \times \sin 75^\circ = 0.001366\text{mm};$$

$$\delta_9 = \phi/2 + O'H - \phi'/2 =$$

$$0.001 + 0.001366 = 0.002366\text{mm}。$$

结论

综上所述, 经过分析, 影响工作面的因素很多, 归纳一下主要有三项, 即 δ_1 、 (δ''_3) 斜角和 δ_4 ; 而影响非工作面的因素很多, 主要也有三项, 即 δ_6 、 (δ_8) 斜角和 δ_9 。

影响工作面因素数值之和:

$$\delta_{\text{工}} = \delta_1 + (\delta''_3) \text{斜角} + \delta_4 = 0.0058 +$$

$$0.00116 + 0.00029 = 0.00725\text{mm}。$$

前面已分析零件工作面公差带—— $\Delta_{\text{工}} = 0.02\text{mm}$; 从以上数值看, $\delta_{\text{工}}$ 约占 $\Delta_{\text{工}}$ 的 $1/3$ 。

影响非工作面因素数值之和:

$$\delta_{\text{非}} = \delta_6 + (\delta_8) \text{斜角} + \delta_9 = 0.0052$$

$$0 + 0.00288 + 0.002366 = 0.010446\text{mm}。$$

前面已分析零件非工作面公差带: $\Delta_{\text{非}1} = 0.02097\text{mm}$; $\Delta_{\text{非}2} = 0.03511\text{mm}。$

从以上数值看, $\delta_{\text{非}}$ 约占第一处 $\Delta_{\text{非}1}$ 的 $1/2$, 占第一处 $\Delta_{\text{非}2}$ 的 $1/3$ 。

通过上述对涡轮盘榫槽型面分析及对公差带的计算, 在拉刀的设计中给出合理的公差值, 该方法已应用在多套拉刀设计中, 使加工后的涡轮盘榫槽型面在规定的范围, 取得了良好的效果, 确保了产品质量。

(责编 侧卫)