

枪炮中杆形击针的应力分析与寿命估算

黄 伟 邹毅达
(华东工学院, 210014, 南京)

提要 本文针对枪炮中杆形击针的疲劳破断问题, 应用弹性应力波理论和有限疲劳寿命分析方法相结合, 分析计算了击针中的应力, 并对其疲劳寿命进行了估算。实例结果表明本文方法是有效的。

关键词 枪炮击针, 应力波, 疲劳

1. 前言

杆形击针在火炮与自动武器中十分常见, 而且是使用中较易破断的一种零件。击发时, 击锤与击针尾端平面发生正碰撞(图1), 推动击针向前运动, 使击针尖侵入底火, 引燃枪(炮)弹。由于击锤的撞击, 击针中将产生往复传播的应力波, 使其横截面上的应力可能呈现出拉和压交变。这种拉压交变的应力有可能导致击针疲劳破断。实践表明, 杆形击针的破断大都是因疲劳而引起的。

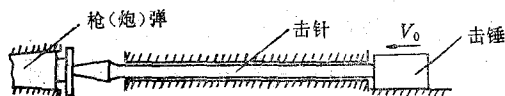


图1 击锤打击击针示意图

本文应用弹性应力波理论分析计算了杆形击针中的应力, 并采用疲劳寿命理论对其寿命进行了估算。分析计算实例的结果表明, 本文方法能有效地应用于枪炮中杆形击针的应力分析与寿命估算。

2. 杆形击针的应力分析

由于击锤与击针发生正碰撞, 且杆形击针的长度 l 与高度 h 之比一般适合 $\frac{l}{h} > 10$, 击针中往复传播的应力波可近似为纵向应力波。应用弹性纵波理论, 并考虑到击针侵入底火时击针尖所受的底火变形阻力, 杆形击针中的应力可按下述方法分析计算。

2.1 击针体中的应力分析

力学与实践

因击针并非等截面的直杆, 通常都有截面突变, 在分析计算击针体中的应力时, 将击针杆沿其轴线划分为若干直杆段, 并使所有的突变截面均处于分段线上。这样, t 时刻第 i 小段上的左行波 $C_{t,i}$ 和右行波 $F_{t,i}$ 可分别表示为^[4]:

$$C_{t,i} = C_{t-\Delta t,i+1} \cdot T_i^{i+1} + F_{t-\Delta t,i} \cdot R_{i+1}^i \quad (1)$$

$$F_{t,i} = F_{t-\Delta t,i-1} \cdot T_i^{i-1} + C_{t-\Delta t,i} \cdot R_{i-1}^i \quad (2)$$

这里, Δt 为计算时所取的时间步长, T_i^{i+1} 为从第 $(i+1)$ 小段向第 i 小段的透射率, R_{i+1}^i 为向第 $(i+1)$ 小段入射而从第 i 小段与第 $(i+1)$ 小段界面反射回到第 i 小段的反射率, T_i^{i+1} 和 R_{i+1}^i 的表达式如下

$$T_i^{i+1} = \frac{2A_i}{A_i + A_{i+1}},$$

$$R_{i+1}^i = \frac{A_{i+1} - A_i}{A_{i+1} + A_i}$$

式中 A_i, A_{i+1} 分别为第 i 小段和第 $(i+1)$ 小段的横截面积。

由于 $(t - \Delta t)$ 时刻的各向传播波均为已知, 从(1)、(2)两式便可计算出 t 时刻的各向传播波。

(1)、(2)两式也同样适用于无截面突变的两直杆段之间的应力波传播计算。例如, 若第 i 小段与第 $(i+1)$ 小段之间无截面突变, 则 $T_i^{i+1} = 1, R_{i+1}^i = 0$, 从而 $C_{t,i} = C_{t-\Delta t,i+1}$ 。与分析解一致。

由左行波 $C_{t,i}$ 和右行波 $F_{t,i}$, 便可求得 t 时刻第 i 小段横截面上的应力 $\sigma_{t,i}$

$$\sigma_{t,i} = C_{t,i} + F_{t,i} \quad (3)$$

2.2 击针尾端的应力边界条件

击锤对击针的撞击可视为刚体对弹性杆的正碰撞。这样, 击针尾端平面在承受击锤撞击时的应力边界条件为

$$\sigma_{t,0} = -\frac{m}{A_0} \cdot \frac{dV_{t,0}}{dt} \quad (4)$$

式中, m 为击锤的质量; A_0 为击针尾端平面面积; $V_{t,0}$ 为击针尾端平面的质点速度(也即击锤的运动速度)。由弹性纵波理论知 $V_{t,0}$ 与 $\sigma_{t,0}$ 成一定的正比关系。

当击锤与击针分离后,(4)式改写为

$$\sigma_{t,0} = 0$$

2.3 击针尖的应力边界条件

击针尖的应力边界条件取决于击针侵入底火时底火对击针的反作用。根据实验结果, 击针侵入底火时的侵入量 δ 与载荷 P 之间的关系可近似表示为^[2]

$$P = K \cdot \delta^\alpha$$

式中, K , α 为两个与底火材料性质有关的常数。

若以击针开始受撞击时的位置做为起始位置, 则侵入量 δ 即为击针尖的质点位移 $u_{t,n}$ 。将 $u_{t,n}$ 用击针尖的质点速度 $V_{t,n}$ 表示, 则击针尖的应力边界条件近似为

$$\sigma_{t,n} = -\frac{K}{A_n} \cdot (u_{t,\Delta t,n} + \Delta t \cdot V_{t,n})^\alpha \quad (5)$$

式中, A_n 为击针尖横截面积。

利用(1)式—(5)式, 根据击锤撞击击针的初始速度 V_0 , 便可计算求得杆形击针中的应力。

3. 杆形击针的寿命估算

枪炮中击针的使用寿命一般在 10000 发射次左右。当武器射击一次时, 击针仅受到击锤的一次撞击; 10000 发射次也就相当于击针受到击锤的 10000 次撞击。因此, 击针的疲劳破坏属于有限寿命问题。由于有限寿命疲劳破坏一般发生于零件上的应力集中部位^[3], 杆形击针的寿命估算可如下进行。

3.1 根据 Neuber 法则, 按下式计算击针上应力集中部位的局部应力 $\Delta\sigma$ 和应变 $\Delta\varepsilon$ 。

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon &= K_f^2 \cdot \Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon \\ \frac{\Delta\varepsilon}{2} &= \frac{\Delta\sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'}\right)^{\frac{1}{n'}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中, $\Delta\sigma$, $\Delta\varepsilon$ 分别为击针上应力集中部位不

计其应力集中效应的应力和应变, 按上述方法计算得到; K_f 为应力集中部位的有效应力集中系数, 由实验确定^[4]; E, K', n' 分别为击针材料的弹性模量、循环加载强度系数和循环加载硬化指数, 由实验确定。

3.2 根据击针材料疲劳寿命实验测得的应变与寿命的关系, 按下式计算击针的疲劳寿命

$$N = \frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\sigma_f - \bar{\sigma}_m}{E} \cdot N^b + (\varepsilon_f - \bar{\varepsilon}_m) \cdot N^c \quad (7)$$

式中 $\sigma_f, b, \varepsilon_f, c$ 分别为击针材料的疲劳强度系数、疲劳强度指数、疲劳延性系数和疲劳延性指数; $\bar{\sigma}_m, \bar{\varepsilon}_m$ 为平均局部应力和平均局部应变。

由(6)、(7)两式可估算出击针的疲劳寿命。

4. 实例分析计算

作为分析计算实例, 本文对某枪的杆形击针进行了应力分析和寿命估算。

该击针长 $l=83.4\text{mm}$, 在距尾端 10mm 处的一个侧面上有深 0.25mm、宽 0.15mm 的横向刀痕。在实弹射击情况下, 用应变片在刀痕背面测得射击一次时该处应力变化规律(图 2(a))。当射次达到 9830 发时, 击针在有刀痕处破断。

利用本文(1)—(5)式, 根据击锤撞击速度 $V_0=7.1\text{m/s}$ 的初始条件, 以及底火材料常数 $K=1355\text{N}$, $\alpha=0.749$; 并取时间步长 $\Delta t=0.5\mu\text{s}$, 计算得到有刀痕截面上不计其应力集中效应的应力变化规律(图 2(b))。从图 2(a) 与图 2(b) 的对比可见, 计算曲线与实验结果十分接近, 且计算得到的最大拉应力 $\sigma_1=520\text{MPa}$ 和最大压应力 $\sigma_2=-660\text{MPa}$, 与实验结果相差不到 3.5%。由此说明, 本文方法对于杆形击针的应力分析是十分有效的。

再利用本文(6)、(7)两式, 并根据击针材料力学性能测试得到的若干参数 $E=217000\text{MPa}$, $K'=2831\text{MPa}$, $n'=0.112$, $\sigma_f=2490\text{MPa}$, $b=-0.068$, $\varepsilon_f=0.330$, $c=-0.580$, 以及刀痕应力集中部位的 $K_f=2.02$, 计算得到击针疲劳破断的寿命为 $N=12430$ 次。计算结果比击针的实际工作寿命只高出 2600 发左右, 已较接近实际值。

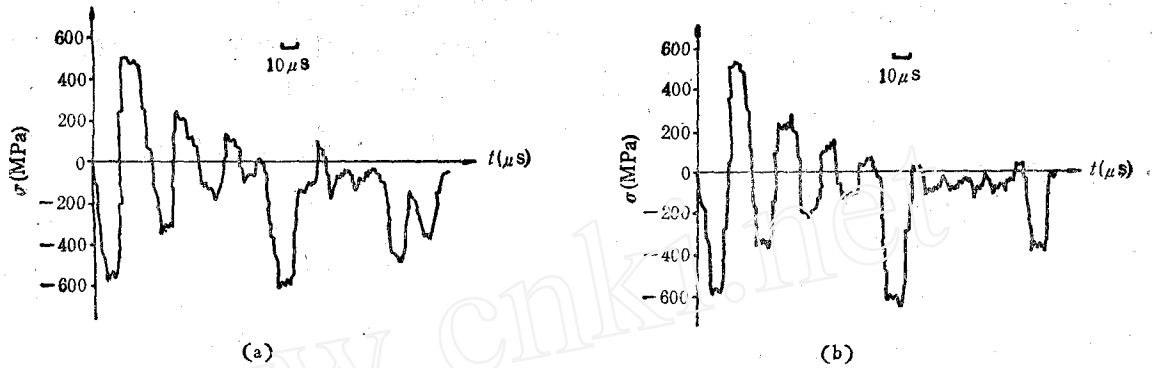


图2 杆形击针应力计算曲线与实验结果

综上, 本文方法对于枪炮中杆形击针的应力分析和寿命估算是有效的, 分析计算结果符合实际, 为深入研究这类击针的强度与寿命问题提供了一条解决途径。

参 考 文 献

[1] Johnson, W., Impact strength of materials, Ed-

ward Arnold, London (1972).

[2] 史瑞明, 56式冲锋枪击针应力的实验和理论研究, 轻兵器, 3(1986).

[3] (美) H. O. 福克斯, 工程中的金属疲劳(漆平生译), 中国农业机械出版社(1983).

[4] 黄伟, 钱剑晨, 于道文, 自动武器运动构件的疲劳寿命分析, 兵工学报, 3(1989).

(本文于1990年11月23日收到)

孔边受内压和剪力的幂强化平面问题的塑性解

贾 乃 文

(华南理工大学工程力学系; 510641, 广州)

提要 本文用塑性变形理论, 讨论了孔边受内压和剪力组合的幂强化平面问题的塑性渐近解。

关键词 形变理论, 幂强化, 渐近解

如图所示平面, 开有半径为 a 的圆孔, 孔边受有均匀内压 P 和剪力 τ 作用。如果材料的特

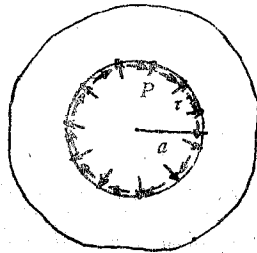


图 1

性是幂强化型的。此问题应满足轴对称形式的如下方程。

力学与实践

(1) 平衡方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(2) 幂强化特性方程

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^n \quad (2)$$

式中 A 和 n 均为常数。

(3) 轴对称位移 u 和 v 分别代表径向和环向位移, 其与应变关系为

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{du}{dr} & \varepsilon_\theta &= \frac{u}{r} \\ 2\gamma_{r\theta} &= r \frac{d}{dr} \left(\frac{v}{r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

考虑平面应变问题和体积不可压缩条件, 则有