

冷挤压组合凹模的机械可靠性设计理论的研究

西安交通大学(710049) 赵升吨 于德弘 赵州生

摘要 在分析了冷挤压组合凹模传统设计存在问题的基础上,根据组合凹模的受力情况,应用机械可靠性理论,首次提出按组合凹模过盈量进行可靠性设计的思想,首次建立了组合凹模机械可靠性设计的整套理论。

关键词 冷挤压 组合凹模 过盈量 机械可靠性

Research on theories of mechanical reliability design of cold extrusion combination die

Xian Jiaotong University Zhao Shengdun Yu Dehong Zhao Zhousheng

Abstract On the basis of analysing problem of cold extrusion combination die in traditional design, in accordance with force acting on the die and mechanical reliability theory, the concept that reliability design of the die is carried out in the light of interference amount between two layer mated each other is first put forward. A complete theory of mechanical reliability design of the die is first established.

Keywords Cold extrusion Combination die Interference amount Mechanical reliability

一、引言

在金属的冷挤压中,单位挤压力很高,尤其是黑色金属冷挤压时,单位挤压力往往接近于模具的强度极限,而且凹模所受的应力常是径向压、切向拉,导致整体凹模很容易从凹模内壁开裂而破坏失效。除了寻找新的更好的材料来提高模具的承载能力以外,一个更有效的提高凹模承载能力的方法是施加预应力,以便减少甚至消除凹模内壁上的切向拉应力,这就

必须采用组合凹模。

目前,组合凹模的设计是认为凹模和预应力圈的危险断面上的应力同时达到其各自的单向应力屈服极限时,模具失效^[1]。从而由强度理论计算出有关尺寸,但模具寿命(即工作次数)是多少无法计算出来。有时,凹模寿命仍很低,但从强度理论上无法解释,这就是由安全系数设计存在的弊病^[2]。凹模不定期的破坏,给设计及生产带来极大不便。

鉴于上述情况,本文根据组合凹模的载荷情况,应用机械可靠性设计理论,首次建立了组合凹模可靠性设计理论,为工程实际中对组合凹模进行可靠性设计奠定了基础。

收稿日期:1997-02-24

二、组合凹模应力和应变计算 及强度条件的确定

由弹性力学知识可知,组合凹模中每一层凹模都可以近似看作是一个厚壁圆筒,其内外表面作用着均匀压力 p_1 和 p_2 , 轴向若不受任何应力,这是一个轴对称问题。经分析推导可得^[1]图1中径向应力 σ_r ,切向应力 σ_θ ,径向位移 u , 分别为

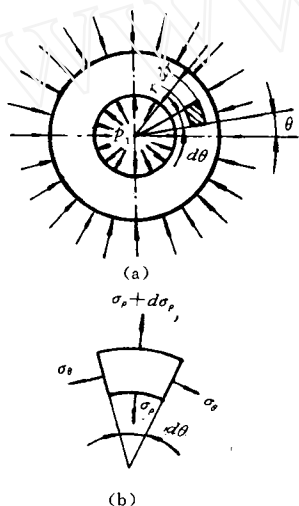


图1 内外均匀受压的厚壁圆筒应力分析图

$$\sigma_r = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{(p_1 - p_2) r_1^2 r_2^2}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{(p_1 - p_2) r_1^2 r_2^2}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \quad (2)$$

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \cdot \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot r + \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{(p_1 - p_2) r_1^2 r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)} \cdot \frac{1}{r} \quad (3)$$

1. 两层组合凹模

对于如图2所示的组合凹模,由式(1)可判断出凹模最内侧 r_1 处及预应力圈最内侧 r_2 处分别为危险断面,则在 r_1 和 r_2 危险断面处可由(1)式和(2)式得到径向及切向应力分别为^[1]

$$\sigma_{r_1} = -p \quad (4)$$

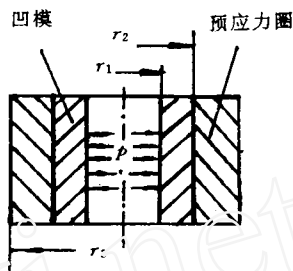


图2 两层组合凹模

$$\sigma_{\theta r_1} = -p \cdot \frac{a_{31}^2 + 1}{a_{31}^2 - 1} - p_{k_1} \cdot \frac{2a_{21}^2}{a_{21}^2 - 1} \quad (5)$$

$$\sigma_{r r_2} = -p \cdot \frac{a_{31}^2 - a_{21}^2}{a_{21}^2 (a_{31}^2 - 1)} - p_{k_1} \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta r_2} = p \cdot \frac{a_{31}^2 + a_{21}^2}{a_{21}^2 (a_{31}^2 - 1)} + p_{k_1} \cdot \frac{2a_{31}^2 + a_{21}^2}{a_{31}^2 - a_{21}^2} \quad (7)$$

对钢制凹模,压合过盈量为

$$\Delta d_{2s} = \frac{d_2}{E} p_{k_1} \left(\frac{a_{21}^2 + 1}{a_{21}^2 - 1} + \frac{a_{31}^2 + a_{21}^2}{a_{31}^2 - a_{21}^2} \right) \quad (8)$$

式中 p_{k_1} 为凹模和预应力圈之间的接触应力

$$a_{21} = \frac{r_2}{r_1}, a_{31} = \frac{r_3}{r_1}$$

2. 三层组合凹模

对图3所示三层组合凹模,当用 p_{k_1} 和 p_{k_2} 分别代表凹模与中层预应力圈和中层与外层预应力圈之间的接触应力,危险断面为凹模及中、外预应力圈三个内表面 r_1, r_2, r_3 处,而半径比

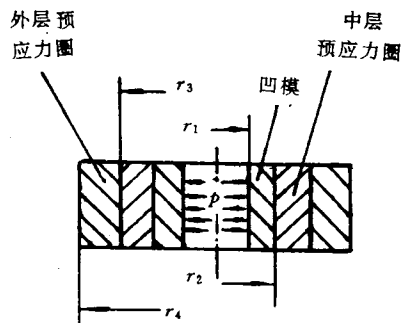


图3 三层组合凹模

$a_{ij} = \frac{r_i}{r_j}$, 这样由式 (1) 和 (2) 可知^[1], 凹模内表面 r_1 处的应力为

$$\sigma_{pr_1} = -p \quad (9)$$

$$\sigma_{\theta r_1} = p \cdot \frac{a_{41}^2 + 1}{a_{41}^2 - 1} - p_{k_1} \cdot \frac{2a_{21}^2}{a_{21}^2 - 1} \quad (10)$$

中层预应力圈内表面 r_2 处的应力为

$$\sigma_{pr_2} = -p \frac{a_{43}^2 a_{32}^2 - 1}{a_{41}^2 - 1} - p_{k_1} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta r_2} = & p \cdot \frac{a_{32}^2 a_{43}^2 + 1}{a_{41}^2 - 1} + p_{k_1} \frac{a_{41}^2 + a_{21}^2}{a_{41}^2 - a_{21}^2} \\ & - p_{k_2} \frac{2a_{32}^2}{a_{32}^2 - 1} \end{aligned} \quad (12)$$

外层预应力圈内表面 r_3 处的应力为

$$\sigma_{pr_3} = -p \frac{a_{43}^2 - 1}{a_{41}^2 - 1} - p_{k_1} \frac{a_{43}^2 - 1}{a_{32}^2 a_{43}^2 - 1} - p_{k_2} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta r_3} = & p \cdot \frac{a_{43}^2 + 1}{a_{41}^2 - 1} + p_{k_1} \frac{a_{43}^2 + 1}{a_{32}^2 a_{43}^2 - 1} \\ & + p_{k_2} \frac{a_{43}^2 - 1}{a_{43}^2 - 1} \end{aligned} \quad (14)$$

对钢制凹模, 压合过盈量为

$$\begin{aligned} \Delta d_{2s} = & \frac{d_2}{E} p_{k_1} \left(\frac{a_{21}^2 + 1}{a_{21}^2 - 1} + \frac{a_{41}^2 + a_{21}^2}{a_{41}^2 - a_{21}^2} \right) \\ = & \frac{d_2}{E} p_{k_1} \frac{2a_{21}^2 (a_{41}^2 - 1)}{(a_{21}^2 - 1)(a_{41}^2 - a_{21}^2)} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta d_{3s} = & \frac{d_3}{E} p_{k_2} \left(\frac{a_{32}^2 + 1}{a_{32}^2 - 1} + \frac{a_{43}^2 + 1}{a_{43}^2 - 1} \right) \\ = & \frac{d_3}{E} p_{k_2} \frac{2(a_{32}^2 a_{43}^2 - 1)}{(a_{32}^2 - 1)(a_{43}^2 - 1)} \end{aligned} \quad (16)$$

3. 强度条件的确定

由图 1 的单元体应力情况可知, 三个主应力 σ_1 , σ_2 和 σ_3 分别为 $\sigma_1 = \sigma_r$, $\sigma_2 = \sigma_\theta$, $\sigma_3 = \sigma_z = 0$ 。在工程实际中, 最常用的为第三强度条件及第四强度条件 (即最大剪应力强度条件和畸变能强度条件), 当采用畸变能强度条件时, 其当量应力 σ_v 为

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

$$\text{即} \quad \sigma_v = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_r \sigma_\theta} \leq \sigma_s \quad (17)$$

当采用最大剪应力条件时, 其最大剪应力为

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \leq \frac{1}{2} \sigma_s$$

即

$$\sigma_\theta - \sigma_r \leq \sigma_s \quad (18)$$

式中 σ_s 为单向应力状态时的屈服极限, 将式

(17) 可变为 $\sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + \sigma_r \sigma_\theta} \leq \sigma_s$, 将其和式 (18) 对比可以看出, 采用最大剪应力强度条件比畸变能条件偏于安全, 因此, 常用的计算中都采用最大剪应力强度条件。

三、组合凹模可靠性设计

1. 组合凹模机械可靠性设计的基本理论

首先, 对凹模进行可靠性设计时, 仅针对凹模内表面 ($r=r_1$ 处) 允许有切向拉力时的情况进行研究。因为这种设计方法最常用于钢制凹模的设计中^[1], 对凹模及预应力圈分别进行可靠性计算和校核。设计时, 认为凹模和预应力圈的危险断面上的应力同时达到各自的单向应力屈服极限时模具失效, 即应用上述的强度条件来设计。

其次, 由于凹模是属于高度重要的零件^[2], 它的目标可靠度不小于 0.99, 预应力圈比较重要, 它的目标可靠度不小于 0.90。

再次, 对强制机械零件, 通常认为应力及强度分布是正态分布^[2], 而强度的均值 μ_{σ_i} 一般取和手册上的强度值 σ_i 相等, 对标准方差, 目前资料可取 $\sigma = 0.04 \sim 0.08 \mu^{[3]}$, 注意到国产材料, 常取高些, 这里取 $\sigma_{\sigma_i} = 0.08 \mu_{\sigma_i}$ 。

最后, 对组合凹模的应力和强度都呈正态分布时, 应力 p 和强度 s 概率密度函数分别为^[2]。

$$f(p) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{p - \bar{p}}{\sigma_p} \right)^2}$$

$$f(s) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{s - \bar{s}}{\sigma_s} \right)^2}$$

应用机械可靠性设计理论^[2], 可得联结方程为

$$z = \frac{\bar{s} - \bar{p}}{(\sigma_s^2 + \sigma_p^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (19)$$

强度大于应力的概率为

$$R(t) = \int_z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (20)$$

上式把应力分布参数, 强度分布参数和可靠度三者紧密联系起来, 称为联结方程, Z 称为联结系数, 也称为可靠性系数, 由已知 Z , 按标准正态分布面积表查出可靠度 $R(t)$ 值, 这就是可靠性计算, 而由规定的目标可靠度 $R(t)$, 查出联结系数 Z , 再由联结方程求出所需的设计参数, 这就是可靠性设计。

鉴于组合凹模内应力表达式极其繁琐复杂, 从理论上推导公式, 由可靠度 $R(t)$, 查出联结系数 Z , 再由联结方程求出所需的设计参数极其困难甚至是不可能的。为此, 在进行组合凹模可靠性设计时, 先以常规设计方法计算出有关尺寸及其压合过盈量, 然后再进行可靠性计算, 若可靠性不满足要求, 调整有关参数重新进行设计, 直至达到要求为止。

组合凹模的常规设计方法, 是由第三强度条件, 求出当凹模能发挥最大承载能力时, 合理的半径以及压合过盈量。

2. 两层组合凹模可靠性计算

在常规设计方法得到组合凹模的有关尺寸的情况, 应用机械可靠性理论进行其可靠性计算, 而在进行计算时, 因为过盈量更接近于正态分布, 考虑到以过盈量进行设计计算的方便性, 故将凹模和预应力圈之间的接触应力 p_{k1} 用过盈量代替。这样由式 (8) 可得

$$p_{k1} = \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta d_{2s}}{d^2} \cdot \frac{(a_{31}^2 - a_{21}^2)(a_{21}^2 - 1)}{a_{21}^2(a_{31}^2 - 1)} \quad (21)$$

在采用第三强度条件时, 等效应力 σ_v 为

$$\sigma_v = \sigma_\theta - \sigma_p \quad (22)$$

这样式 (4) ~ (7) 和 (18) 联立可得在半径 r_1 、 r_2 处, 当量应力分别为 σ_{v1} 、 σ_{v2}

$$\sigma_{v1} = p \cdot \frac{2a_{31}^2}{a_{31}^2 - 1} - \frac{E\Delta d_{2s}}{d_2} \cdot \frac{a_{31}^2 - a_{21}^2}{a_{31}^2 - 1} \quad (23)$$

$$\sigma_{v2} = p \cdot \frac{2a_{31}^2}{a_{21}^2(a_{31}^2 - 1)} + \frac{E\Delta d_{2s}}{d_2} \cdot \frac{a_{31}^2(a_{21}^2 - 1)}{a_{21}^2(a_{31}^2 - 1)} \quad (24)$$

$$\text{若令参数 } A = \frac{2a_{31}^2}{a_{31}^2 - 1}, B = \frac{E}{d^2} \cdot \frac{a_{31}^2 - a_{21}^2}{a_{31}^2 - 1}$$

$$C = p \cdot \frac{2a_{31}^2}{a_{21}^2(a_{31}^2 - 1)}, D = \frac{E}{d^2} \cdot \frac{a_{31}^2(a_{21}^2 - 1)}{a_{21}^2(a_{31}^2 - 1)}$$

则式 (23) 和 (24) 成为

$$\sigma_{v1} = A - B\Delta d_{2s} \quad (25)$$

$$\sigma_{v2} = C + D\Delta d_{2s} \quad (26)$$

这样由式 (25) 和 (26) 可得到当量应力 σ_{v1} 和 σ_{v2} 的均值 μ 和方差 σ 分别为

$$\mu_{\sigma_{v1}} = A - B\mu_{\Delta d_{2s}} \quad (27)$$

$$\mu_{\sigma_{v2}} = C + D\mu_{\Delta d_{2s}} \quad (28)$$

$$\sigma_{\sigma_{v1}} = -B\sigma_{\Delta d_{2s}} \quad (29)$$

$$\sigma_{\sigma_{v2}} = D\sigma_{\Delta d_{2s}} \quad (30)$$

其中由前述可知, $\sigma_{\Delta d_{2s}} = 0.08\mu_{\Delta d_{2s}}$, 而由式 (19) 可得, 联结系数 (或称可靠性系数) Z 为

$$Z_1 = -\frac{\mu_{\sigma_{v1}} - \mu_{\sigma_{v1}}}{(\sigma_{\sigma_{v1}}^2 + \sigma_{\sigma_{v1}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (31)$$

$$Z_2 = -\frac{\mu_{\sigma_{v2}} - \mu_{\sigma_{v2}}}{(\sigma_{\sigma_{v2}}^2 + \sigma_{\sigma_{v2}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (32)$$

这样由式 (31) 和 (32), 即可查标准正态分布面积表可得到可靠值 $R(t)$ 的值。

例如按常规方法设计出的某双层组合凹模, $d_1 = 16 \times 10^{-3} \text{m}$, $d_2 = 35 \times 10^{-3} \text{m}$, $d_3 = 80 \times 10^{-3} \text{m}$, $\Delta d_{2s} = 0.18 \times 10^{-3} \text{m}$, $p = 1200 \text{MPa}$, $\sigma_{s1} = 2500 \text{MPa}$, $\sigma_{s2} = 1500 \text{MPa}$ 。对这一组合模具使用式 (23) ~ (32) 的计算后, 可得

$$R(t)_{r1} = 0.9_{(6)}16609$$

$$R(t)_{r2} = 0.23385$$

由上述结果可以看出, 常规设计方法凹模的可靠度 $0.9_{(6)}16609$ 大于设计规定的 0.99 的目标可靠度, 而预应力圈的可靠度 0.23385 远小于目标可靠度 0.90 。为此应增大预应力圈强度值, 这里将 σ_{s2} 增大至 2000MPa , 经计算可得:

$$R(t)_{r2} = 0.9947664$$

很显然已满足目标可靠度要求。

3. 三层组合凹模的可靠性计算

同两层组合凹模一样, 同样以过盈量大小来进行可靠性计算, 即将凹模与第一层预应力

圈和第一层与第二层预应力圈之间的接触应力用过盈量来表示, 这样分别由式 (15) 和 (16) 可得

$$p_{k1} = \frac{E}{2d_2} \Delta d_{2s} \cdot \frac{(a_{21}^2 - 1)(a_{41}^2 - a_{21}^2)}{a_{21}^2(a_{41}^2 - 1)} \quad (33)$$

$$p_{k2} = \frac{E}{2d_3} \Delta d_{3s} \cdot \frac{(a_{32}^2 - 1)(a_{43}^2 - 1)}{(a_{32}^2 a_{43}^2 - 1)} \quad (34)$$

同样, 采用第三强度条件时, 等效应力 σ_v 为

$$\sigma_v = \sigma_\theta - \sigma_r$$

这样将式 (9) ~ (14)、(33) 及 (34), 共同代入上式可知在半径 r_1 、 r_2 和 r_3 处等效应力分别为

$$\sigma_{v1} = \frac{2a_{41}^2}{a_{41}^2 - 1} \cdot p - \frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{41}^2 - a_{21}^2}{a_{41}^2 - 1} \cdot \Delta d_{2s} \quad (35)$$

$$\sigma_{v2} = \frac{2a_{43}^2 a_{32}^2}{a_{41}^2 - 1} \cdot p + \frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{41}^2(a_{21}^2 - 1)}{a_{21}^2(a_{41}^2 - 1)} \cdot \Delta d_{2s} - \frac{E}{d_3} \cdot \frac{a_{32}^2(a_{43}^2 - 1)}{a_{32}^2 a_{43}^2 - 1} \cdot \Delta d_{3s} \quad (36)$$

$$\sigma_{v3} = \frac{2a_{43}^2}{a_{41}^2 - 1} \cdot p + \frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{43}^2(a_{21}^2 - 1)(a_{41}^2 - a_{21}^2)}{a_{21}^2(a_{41}^2 - 1)(a_{32}^2 a_{43}^2 - 1)} \cdot \Delta d_{2s} - \frac{E}{d_3} \cdot \frac{a_{43}^2(a_{32}^2 - 1)}{a_{32}^2 a_{43}^2 - 1} \cdot \Delta d_{3s} \quad (37)$$

若令:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{2a_{41}^2}{a_{41}^2 - 1}, B_1 = -\frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{41}^2 - a_{21}^2}{a_{41}^2 - 1}, \\ C_1 &= 0 \\ A_2 &= \frac{2a_{43}^2 a_{32}^2}{a_{41}^2 - 1}, B_2 = \frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{41}^2(a_{21}^2 - 1)}{a_{21}^2(a_{41}^2 - 1)}, \\ C_2 &= -\frac{E}{d_3} \cdot \frac{a_{32}^2(a_{43}^2 - 1)}{a_{32}^2 a_{43}^2 - 1} \\ A_3 &= \frac{2a_{43}^2}{a_{41}^2 - 1}, \\ B_3 &= \frac{E}{d_2} \cdot \frac{a_{43}^2(a_{21}^2 - 1)(a_{41}^2 - a_{21}^2)}{a_{21}^2(a_{41}^2 - 1)(a_{32}^2 a_{43}^2 - 1)}, \\ C_3 &= \frac{E}{d_3} \cdot \frac{a_{43}^2(a_{32}^2 - 1)}{(a_{32}^2 a_{43}^2 - 1)} \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

$$\text{则有} \begin{bmatrix} \sigma_{v1} \\ \sigma_{v2} \\ \sigma_{v3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \Delta d_{2s} \\ \Delta d_{3s} \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$\text{这样均值: } \mu_{\sigma_{v1}} = A_1 p + B_1 \mu_{\Delta d_{2s}} + C_1 \mu_{\Delta d_{3s}} \quad (40)$$

$$\text{方差: } \sigma_{v1} = [(B_1 \sigma_{\Delta d_{2s}})^2 + (C_1 \sigma_{\Delta d_{3s}})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (41)$$

而联结系数

$$Z_i = -\frac{\mu_{\sigma_{vi}} - \mu_{\sigma_{vi}}}{(\sigma_{\sigma_{vi}}^2 + \sigma_{\sigma_{vi}}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (42)$$

$$\text{可靠度 } R_i(t) = \int_{Z_i}^{\infty} \phi(Z_i) dZ_i \quad (43)$$

这样, 由式 (38) ~ (43) 可求出组合凹模中三个组成部分的可靠度 $R_i(t)$ 的大小。

例如某挤压件外径为 $32.20 \times 10^{-3} \text{m}$, 最大单位挤压力 $p = 1550 \text{MPa}$, 故选用三层组合凹模。又据零件的批量, 中层预应力圈硬度 HRC50~52, 外层预应力圈硬度 HRC40~43, 凹模的硬度 HRC60~64。凹模采用高速钢材料, 采用凹模内表面允许有切向应力存在的设计方法, 按照常规设计方法^[3], 应用第三强度理论及其有关已知条件可得:

$$\sigma_{s1} = 2500 \text{MPa}, \sigma_{s2} = 1440 \text{MPa}, \sigma_{s3} = 1080 \text{MPa}$$

$$a_{21} = 2, a_{32} = 1.52, a_{43} = 1.32, a_{41} = 4$$

$$d_1 = 32.20 \times 10^{-3} \text{m}, d_2 = 64.40 \times 10^{-3} \text{m},$$

$$d_3 = 98 \times 10^{-3} \text{m}, d_4 = 128.80 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$\Delta d_{2s} = 0.324683 \times 10^{-3} \text{m}, \Delta d_{3s} = 0.222908 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$\mu_{\sigma_s} = \begin{bmatrix} \mu_{\sigma_{s1}} \\ \mu_{\sigma_{s2}} \\ \mu_{\sigma_{s3}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2500 \\ 1440 \\ 1080 \end{bmatrix} \text{MPa}$$

将以上数据代入式 (35) ~ (42), 并查正态分布表可得

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} 2.458515 \\ 443.339003 \\ 421.72904 \end{bmatrix} \times 10^{-3}$$

$$R(t) = \begin{bmatrix} 0.509975 \\ 0.761835 \\ 0.66276 \end{bmatrix}$$

上述计算结果可以看出, 凹模及两个预应力圈的可靠度很低, 由此可以看出, 按常规的

设计方法设计出的组合凹模,其可靠度很低。

若采用简捷的经验设计方法^[3],可将组合凹模有关参数调整如下:

$$\sigma_{s_1} = 2500\text{MPa}, \sigma_{s_2} = 1800\text{MPa}, \sigma_{s_3} = 1440\text{MPa}$$

$$a_{21}=1.8, a_{32}=1.71, a_{43}=1.73, a_{41}=5.32$$

$$d_1=32.20 \times 10^{-3}\text{m}, d_2=57.96 \times 10^{-3}\text{m},$$

$$d_3=99.11 \times 10^{-3}\text{m}, d_4=171.304 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$\Delta d_{2s}=0.38 \times 10^{-3}\text{m}, \Delta d_{3s}=0.32 \times 10^{-3}\text{m}$$

采用和上述同样的步骤可得可靠度为

$$R_1(t) = 0.986447, R_2(t) = 0.982571,$$

$$R_3(t) = 0.9920237$$

很显然,调整后的可靠度明显比原来的高,基本上满足了设计要求。

四、结 论

(1) 组合凹模的常规设计方法无法准确地预测组合凹模在实际工作时,完成规定任务的可靠性的,从而给生产组织管理带来极大不便,所以对组合凹模进行可靠性设计计算势在必行。

(2) 组合凹模中的凹模及预应力圈的力学模型可简化为厚壁圆筒承受内外压力的情况,其应力状态是径向受压、切向受拉,并且切向拉应力是其破坏的主要原因,凹模及各个预应力圈的内径处为各自的危险断面。常采用第三强度理论(最大剪应力理论)进行校核设计。

(3) 组合凹模中凹模及预应力圈的可靠度可分别取不小于 0.99 和 0.90,并且对钢制组合凹模,可认为其应力及强度均为正态分布,应

力及强度的均值可取为常规设计计算时相应的值,并且应力及强度的变异系数取作 0.08。

(4) 对组合凹模的可靠性设计计算时,第一步是根据工艺要求,采用常规设计方法确定有关尺寸;第二步是在第一步计算结果的基础上,应用机械可靠性理论,计算出凹模及预应力圈的等效应力及强度的均值及方差,然后利用联结方程求出联结系数,再由联结系数表计算得到凹模及预应力圈内径处的可靠度;第三步,将计算出的可靠度和规定的可靠度进行对照,若未达到设计要求,再调整模具材料及其尺寸,然后再重复以上步骤,直至达到要求为止。

(5) 采用本文建立的组合凹模可靠性设计理论,对常规设计的组合凹模进行计算的结果表明,常规设计得到的组合凹模的可靠度较低,往往满足不了可靠性指标的要求,因而建议在常规设计结果的基础上适当提高模具强度和增大有关尺寸及过盈量,以提高其工作时的可靠性。

(6) 鉴于对组合凹模进行常规及可靠性设计时,存在大量复杂的计算公式,计算工作量很大,所以建议应采用编制计算程序,利用计算机进行辅助设计(CAD)的方法,进行组合凹模的可靠性设计。

参考文献

1. 吴诗惇. 冷温挤压. 西安:西北工业大学出版社, 1991.
2. 牟致忠. 机械零件可靠性设计. 北京:机械工业出版社, 1988.
3. 陈健元. 机械可靠性设计. 北京:机械工业出版社, 1988.

闲 置 配 件 信 息

现有 3t 真空两用自由锻锤(双臂)

支架 2 件 铸钢 毛坯

底盘 1 件 铸钢 毛坯

砧座 1 件 铸钢 成品

全部转让(可以分售)

符合沈阳重机厂 50~70 年代生产的 3t 锤,也可

做电液锤的主要四大件。

有意者请来、来函索取简图或看物。价格面议。

地 址:沈阳市铁西区重工街五段三里 13 号

邮 编:110024 电话:(024) 5735803

联系人:姜胜颖