

文章编号:1009-2269(2003)01-0031-04

冷挤压凹模应力应变分析与研究^{*}

刘彦国, 焦爱胜

(兰州工业高等专科学校 机械工程系, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 在冷挤压成形过程中, 当挤压力作用于凹模使其产生的应力大于凹模材料屈服强度时, 整体式凹模便产生塑性变形, 此时必须采用预应力组合凹模。通过对整体式凹模、预应力组合凹模应力应变分析与研究, 揭示了预应力组合凹模自我补偿机制, 并且对防止模具破坏、延长冷挤压模具寿命进行了探讨。

关键词: 应力应变; 冷挤压; 组合凹模; 预应力; 应力强度

中图分类号: TG 385.2

文献标识码: A

1 冷挤压凹模受力分析

在冷挤压过程中, 凹模内腔均布径向压力 P , 如图1所示, 其受力状态与厚壁圈内部受力情形相似。设轴向应力 $\sigma_a = 0$, 因此, 凹模内任意半径 r 处的切向应力 σ_t 、径向应力 σ_r 和位移分量 u 可用弹塑性力学中厚壁圆环的 Lamè 解答^[1]表示:

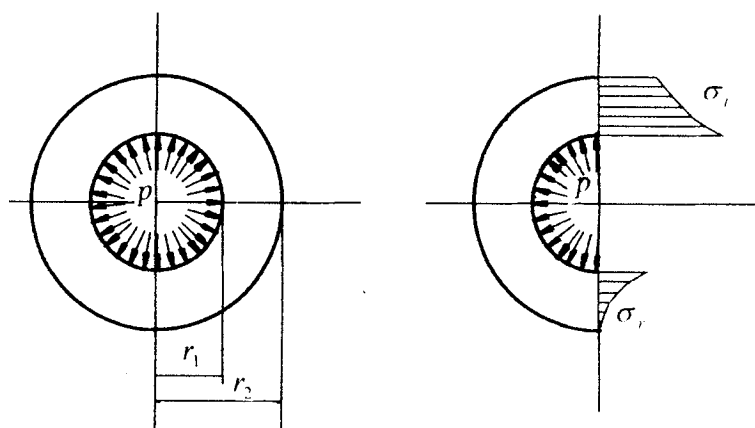


图1 弹性状态下凹模壁厚应力分布

$$\sigma_t = \frac{P}{a^2 - 1} \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{P}{a^2 - 1} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) \quad (2)$$

* 收稿日期: 2002-11-11

作者简介: 刘彦国(1968-), 男, 甘肃定西人, 讲师。

$$u = \frac{P}{E(a^2 - 1)} \left[(1 + \mu) \frac{r_2^2}{r} + (1 - \mu) r_1 \right] \quad (3)$$

式中: P ——凹模内壁径向工作压力(可视为冷挤压单位压力), MPa;

a ——凹模直径比, $a = r_2 / r_1$;

r_2 ——凹模内圈外半径, mm;

r_1 ——凹模型腔半径, mm;

r ——凹模内任意点的半径, mm;

根据 Lamé 解答, 冷挤压时凹模型腔内壁处切向应力 t 与径向应力 r 均为最大值且正比于凹模内壁径向工作压力 P ; 凹模内的应力随直径比 a 的增大而减小; 切向应力 t 为拉应力, 促进微裂纹扩展而产生切向开裂, 导致凹模失效, 所以凹模强度的危险部位在它的内表面处。依据 A. A. [2] 条件, 当应力强度 i 等于材料单向拉伸屈服强度 s 时, 材料便进入塑性状态。而作为工装的模具决不允许产生塑性变形, 因而应力强度 i 应小于模具材料的单向拉伸屈服强度 s , 凹模内壁才不致于因屈服而破坏。

$$i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(r - a)^2 + (a - t)^2 + (t - r)^2} = \frac{P}{a^2 - 1} \sqrt{1 + 3a^4} < s \quad (4)$$

图 2 表示凹模型腔内表面应力强度 i 与凹模直径比 a 的关系, 由图可以看出, 当凹模直径增大时, 应力强度 i 下降, 即凹模强度增大。但当 $a > 5$ 时, a 值再增大, 应力强度 i 基本不变, 即当 $a > 5$ 以后, 增加 a 值, 其应力强度 i 几乎不再减小, 这说明不宜再采用增加凹模壁厚的办法来提高凹模强度。

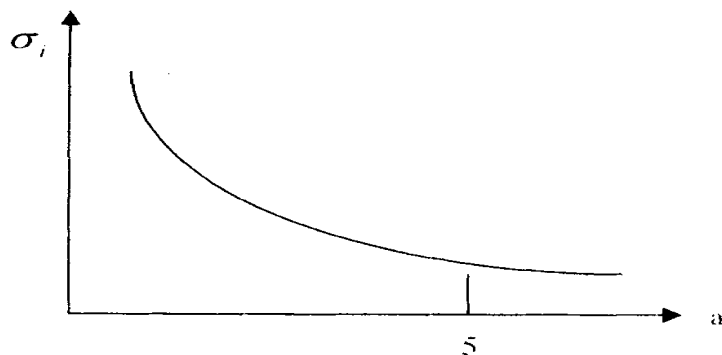


图 2 应力强度 i 与凹模直径比 a 的关系

2 预应力组合凹模应力应变状态

现以两层组合凹模为例加以分析, 如图 3 所示, 设内圈内、外半径分别为 r_1 、 r_2 , 外圈内、外半径分别为 $r_2 - \delta$ 、 r_3 , 称为半径过盈量。

预应力组合凹模可以加热压合(热装), 将预应力外圈预先加热 t , 其半径的热膨胀量 $\delta^{[3]}$ 为

$$\delta = \alpha \cdot r_2 \cdot t \quad (5)$$

式中: α ——凹模材料的热膨胀系数, mm^{-1} ;

r_2 ——凹模内圈外半径, mm;

t ——凹模外圈热装时升温温差,

如果加热使得 δ , 则可将预应力外圈直接套到内圈上, 此时温度的升高应为:

$$t = \delta / (\alpha \cdot r_2) \quad (6)$$

当内外圈冷至相同温度时, 在两圈套套面上产生压应力 P_1 。由 Lamé 解答(3)式得内圈在过盈装配压力 P_1 作用下产生向内的径向位移 u_1 , 外圈在过盈装配压力 P_1 作用下产生相应的向外径向位移 u_2 :

$$u_1 = - \frac{P_1 r_2^2}{E_1 (r_2^2 - r_1^2)} \left[(1 - \mu_1) r_2 + (1 + \mu_1) \frac{r_1^2}{r_2} \right] \quad (7)$$

$$u_2 = - \frac{P_1 r_2^2}{E_2 (r_3^2 - r_2^2)} \left[(1 - \mu_2) r_2 + (1 + \mu_2) \frac{r_3^2}{r_2} \right] \quad (8)$$

式中: E_1 、 E_2 ——材料的弹性模量;

μ_1 、 μ_2 ——泊松比

由图 3 可以看出位移之间的关系为 $u_2 - u_1 =$ (压应变时 u_1 为负号)。把(5)式、(6)式代入此关系式并化简,可得到装配压力 P_1 与过盈量 δ 的关系:

$$P_1 = \frac{1}{r^2} \left[\frac{1}{E_2} \left(\frac{r_3^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} + \mu_2 \right) + \frac{1}{E_1} \left(\frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \mu_1 \right) \right]^{-1} \quad (9)$$

两圈装配好后,内圈处在 P_1 作用之下,在内圈型腔壁处产生压应力(切向)的 Lamè 解^[1]为

$$\tau = - P_1 \frac{2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \quad (10)$$

因此,组合凹模在承受内压(冷挤压工作压力 P)所引起的凹模内壁半径 r_1 处的切向拉应力 τ ((1) 式所示)与热装使凹模内壁产生的切向压应力 τ ((10) 式所示)相互部分抵消或全部抵消。从而使应力强度 τ 值降低,凹模强度提高,所以组合凹模比一般整体凹模能承受较大的冷挤压工作压力。

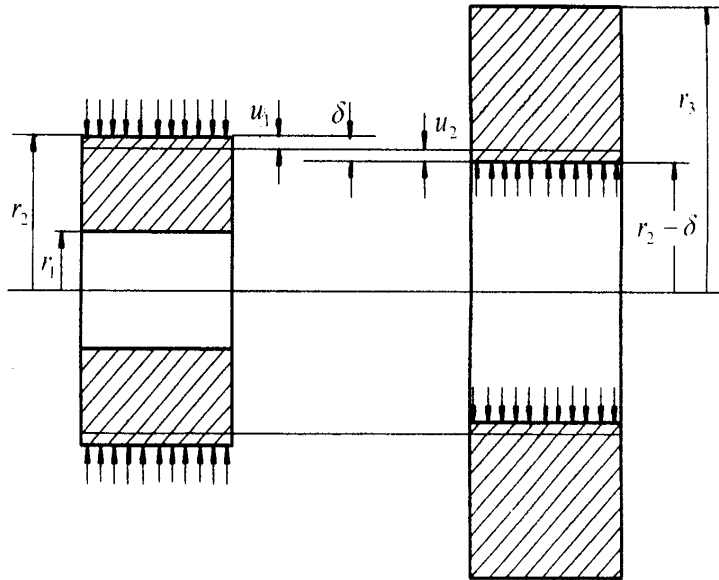


图 3 两层组合冷挤压凹模热装结构

3 预应力组合凹模设计

由于组合凹模强度比整体式凹模强度高,所以当冷挤压的单位挤压力较小时采用整体式凹模;当单位挤压力较大时,则采用两层或多层组合凹模。

当单位挤压力 $< 1\ 100\ \text{MPa}$ ^[4]时,采用整体式凹模;当单位挤压力 $1\ 100 < P < 1\ 400\ \text{MPa}$ 时,采用两层组合;当单位挤压力 $1\ 400 < P < 2\ 500\ \text{MPa}$ 时,采用三层组合。

经验表明,三层组合凹模是最好的结构形式,进一步增加层数,对增强凹模承载能力已无效果,且给制造和装配带来不便。组合凹模总直径比 a 越大,凹模强度越高。但在增加到 4~6 以后,再继续加大直径比 a 便没有多大意义。因此,在生产中常采用的总直径比 a 为 4~6。通常组合凹模预应力圈与过盈量如表 1:

表 1 组合凹模预应力圈半径与过盈量

(mm)

层 数	预应力圈半径			过 盈 量	
	r_2	r_3	r_4	1	2
二层	$(2 \sim 3) r_1$	$2 r_2$		$0.016 r_2$	
三层	$1.6 r_1$	$1.6 r_2$	$1.6 r_2$	$0.02 r_2$	$0.012 r_3$

通过对一定尺寸的组合凹模进行强度计算分析得知：三层组合凹模的强度是整体式凹模强度的 1.8 倍，两层组合凹模的强度是整体式凹模的 1.3 倍。在尺寸相同条件下，组合凹模的强度比整体式凹模强度要大得多，抗失效能力强，可承受较大的冷挤压工作压力，工作能力增强。

参考文献：

- [1] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京:高等教育出版社,1998. 70.
- [2] 徐秉业. 塑性力学[M]. 北京:高等教育出版社,1989. 75.
- [3] 徐秉业,黄 炎. 弹塑性力学及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1984. 63 ~ 80.
- [4] 吴诗淳,何声健. 冲压工艺学[M]. 西安:西北工业大学出版社,1989. 285 ~ 286.

Analysis and Study of Stress and Strain of Cold Extruding Die

LIU Yan - guo JIAO Ai - sheng

(The Mechanical Engineering Department of Lanzhou Polytechnic College ,Lanzhou 730050 ,China)

Abstract : In cold extruding , when stress - strength produced by forging force is larger than yield - strength of die material , there is plastic deformation in solid - die. In this case , prestress combined die should be adopted. Through analyzing and studying stress and strain in solid - die and prestress combined die in cold extruding , the paper reveals self - compensating mechanism of prestress combined die , and inquires into the influential factors which can prevent die destroy and lengthen die - life , too.

Key words : stress strain ; cold extrusion ; combined - die ; prestress ; stress - strength