

筒形件深拉伸褶皱预防方法的研究

袁玉红¹, 滕生磊²

(1. 贵州师范大学机械电气工程学院, 贵阳 550003; 2. 贵州大学机械工程学院, 贵阳 550003)

摘要: 分析轴向弯矩致使筒形件深拉伸褶皱产生的机理, 得到材料褶皱发生的临界状态的平衡式。根据板料产生皱褶的临界相对厚度, 讨论在不压料条件下板料的屈服强度 σ_s 、弹性模量 E 、泊松比 μ 、硬化指数 n 和拉深系数 m 等因素对筒形件法兰褶皱产生的影响。讨论在压料条件下, 模具参数、拉深工况、板料初始几何参数、材料性能参数等因素对抑制法兰褶皱的临界压边力的影响, 制定出防止法兰褶皱产生的工艺措施。

关键词: 筒形件; 深拉伸; 褶皱; 临界相对厚度; 临界压边力

中图分类号: TG386.3+2 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)01-0028-04

Research on the Precaution Method of Wrinkle of the Deep Drawing Cylindrical Workpieces

YUAN Yu-hong¹, TENG Sheng-lei²

(1. Mechanical&Electronic Engineering College, Guizhou Normal University, Guiyang 550003, China;

2. Mechanical&Electronic Engineering College, Guizhou University, Guizhou Guiyang 550003, China)

Abstract: By analyzing the mechanism of cylindrical part's deep-drawing wrinkle which is caused by moment of flexure, the equation of critical state of material's wrinkle is obtained. Based on the critical relative thickness of the sheet's wrinkle the impacts, which are contributed by the non-pressure sheet's factors including yield strength σ , modulus of elasticity E , Poisson ratio μ , hardening exponent n and drawing coefficient m , on cylindrical flange's fold are discussed. The impacts caused by the factors, including the under-pressure mold coefficient, drawing situation, sheet's initial geometrical factor, material's performance parameters, on restraining critical blankholding force of the flange wrinkle are discussed. The processes to prevent flange wrinkle are formulated.

Key words: cylindrical workpieces; deep drawing; wrinkle; critical relative thickness; critical blankholding force

金属板材冲压成形技术广泛应用于机械、造船、航空、航天、轻工等各行各业。在冲压生产中,拉深是最重要的成形工序之一,拉深零件产生褶皱是该工序常见的缺陷。在筒形件深拉伸变形中,按发生褶皱位置不同,可以分为法兰褶皱、筒体壁褶皱和凹模圆角区褶皱等3大类,其中法兰褶皱是最主要的褶皱。在深拉伸过程中,由于褶皱区域材料的几何形状、环境条件、应力状态不断变化,法兰褶皱可能引起其它2类褶皱的产生,褶皱发生的位置也随

之改变。文中从理论上分析法兰褶皱产生的机理,分析影响法兰褶皱的主要因素,制定出相应的措施预防拉深褶皱的产生。

1 深拉伸褶皱产生的机理分析

筒形件深拉伸的某一瞬时状态如图1所示。筒形件深拉伸过程中,法兰为主要变形区,材料主要受径向拉应力 σ_r 和切向压应力 σ_θ 的作用。凹模圆角

收稿日期: 2009-12-25

作者简介: 袁玉红(1971-),女,贵州贵阳人,硕士,讲师,主要研究方向为金属材料塑性成形技术。

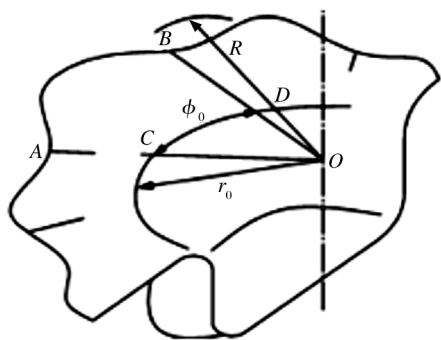


图1 筒形件深拉伸的瞬时状态

Fig. 1 Transient state of cylindrical part's deep-drawing

处于三相应力状态(σ_r 、 σ_θ 、 σ_l),在筒壁悬空处呈拉深和胀形变形状态,应力状态更复杂^[1-2]。

材料发生纵向褶皱,是由于轴向弯矩作用所致。任取法兰皱曲的一个皱褶波为研究对象,皱褶变形截面段如图2所示。褶皱圆周方向两端在压应力 σ_θ

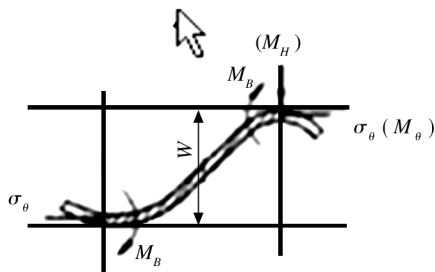


图2 任意半径r处单波纹周向截面

Fig. 2 The single-corrugated hillside cross section graph at arbitrary radius r

作用下产生导致起皱变形的弯矩 M_θ 。同时,材料要抵抗这种失稳变形,存在抵抗变形弯矩 M_B 。由于成形时,材料的内外侧受凸模和凹模约束,又产生约束变形的弯矩 M_i 和 M_f 。

对于法兰外缘和凹模圆角褶皱,外侧约束弯矩 M_f 是不存在的。当成形中加防皱压边圈时,还会产生约束失稳的弯矩 M_H 。当促使变形发生的弯矩 M_θ 和约束变形的所有弯矩($2M_B+M_i+M_f+M_H$)平衡时,材料达到褶皱发生的临界状态^[3],即:

$$M_\theta = 2M_B + M_i + M_f + M_H \quad (1)$$

在成形时,式(1)左边失稳弯矩 M_θ 和右边约束弯矩($2M_B+M_i+M_f+M_H$)的值,会随着材料微小变形而变化。如图3所示,失稳弯矩与约束弯矩曲线之交点为褶皱发生的临界点。因此,成形时应使失稳

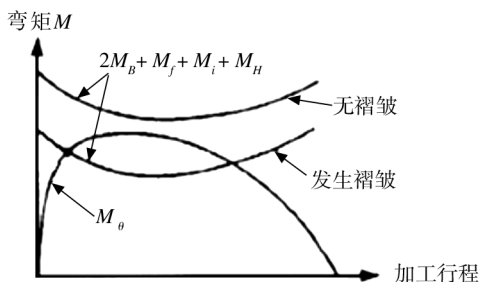


图3 深拉伸各项弯矩的变化

Fig. 3 The changes of moments in deep-drawing

弯矩尽量小,而使约束弯矩之和尽量地大才能避免褶皱发生。

2 影响法兰褶皱的主要因素及防止措施

在式(1)中,如果等式右边的弯矩 M_B 足够大,即使不施加压边力,约束弯矩之和也可以大于失稳弯矩 M_θ ,法兰不会产生褶皱。否则需要对法兰施加压边力增加约束弯矩,防止褶皱产生。

2.1 在不压料条件下影响法兰褶皱的主要因素及防止措施

2.1.1 在不压料条件下影响法兰褶皱的主要因素

基于板壳理论的拉深中圆环形法兰区临界相对厚度模型(屈曲模型)^[4]:

$$\frac{t}{D} \geq \left| \frac{t}{D} \right|_{cr} = 2.14 \left[\frac{\sigma_s \times (1 - \mu^2)}{E(35.2 - 27.5\mu)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

即在不压料条件下,当板坯的相对厚度 t/D 大于临界相对厚度 $\left| \frac{t}{D} \right|_{cr}$ 时,板坯不产生褶皱。影响板料临界相对厚度的因素有材料的屈服强度 σ_s 、弹性模量 E 、泊松比 μ 等。

基于压缩塑性失稳临界载荷公式建立的初拉深不皱曲的判定式^[5]:

$$\begin{aligned} \frac{t}{D} \times 100 &\geq \left| \frac{t}{D} \right|_{cr} \\ &= 22.71(\eta - m) \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{n}} + \sqrt{\frac{C}{E} \varepsilon^n} \right) \end{aligned}$$

在不压料条件下,当板坯的相对厚度 t/D 大于临界相对厚度 $\left| \frac{t}{D} \right|_{cr}$ 时,板坯不产生褶皱。影响板

料临界相对厚度的因素有材料的拉深系数 m 、弹性模量 E 、硬化指数 n 等。

2.1.2 在不压料条件下防止法兰起皱的措施

1) 为了防止法兰起皱,在进行拉深工艺设计时尽可能增大板料的相对厚度 t/D ,利用增大板厚度来提高抗失稳弯矩 M_B ,增加法兰抗失稳能力。

2) 在进行拉深工艺设计时,选择屈服比 σ_s/σ_b 较小,弹性模量 E 、泊松比 μ 和硬化指数 n 较大的板料。板料的临界相对厚度较小,板料拉深时法兰切向压应力 σ_θ 较小,失稳弯矩 M_θ 相对较小,法兰不易起皱。

3) 在进行拉深工艺设计时,应采用较大的拉深系数。筒形件在深拉伸过程中,拉深系数 m 越小,变形程度越大,切向压应力也随之增大,起皱变形弯矩 M_θ 增大。同时,凸缘部分的宽度大,其抗失稳的刚度越差,抵抗变形弯矩 M_B 减小,坯料越容易失稳起皱。

2.2 在压料条件下临界压边力的影响因素

当板坯的相对厚度 t/D 小于临界相对厚度 $\left| \frac{t}{D} \right|_{cr}$ 时,板坯法兰产生皱褶。法兰产生褶皱一般

采用压边圈对法兰施加压边力 p 来控制弯矩 M_H 的大小,使式(1)两边相等。压边力大小的控制应随着拉深行程刚刚能够抑制起皱的产生为最优。因为压边力太小,则无法有效地控制材料的流动,板料很容易发生起皱;反过来,压边力太大则相应的拉破趋势会明显增加,而且模具和板料的表面因此受损的可能性亦增大,从而影响模具寿命和板料的拉深表面质量。

抑制法兰起皱的临界压边力 p_{cr} 是关于模具参数、拉深工况、板料初始几何参数、材料性能参数的函数式^[6]:

$$p_{cr} = f(M, X, G, C) \quad (2)$$

式中: M ——模具参数;

X ——拉深工况;

G ——板料初始几何参数;

C ——材料性能参数。

式(2)中 M, X, G, C 决定拉深过程中的临界压边力大小,影响临界压边力 p_{cr} 的几种因素^[3] 如图4所示。

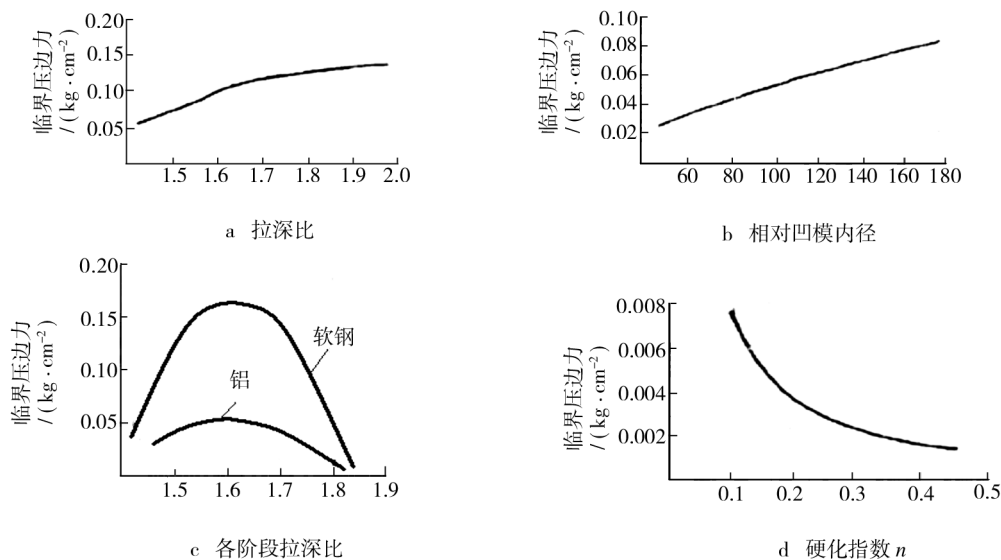


图4 各种因素对临界压边力影响

Fig. 4 Effects of various factors on critical blankholding force

从图4a可以看出,在拉深比较小时,随着拉深比增加,防皱临界压边力增加。图4b中,凹模内径增大或材料厚度减薄,相对凹模内径增加,防皱临界

压边力增加。图4c表明,在拉深过程中期最易产生皱褶,防皱临界压边力也最大。图4d为硬化指数的影响,随着硬化系数增大,防皱临界压边力逐渐减

小。由于要克服硬化效果带来的屈服应力上升,径向拉应力在拉深每一时刻相应增加,因此致使法兰变形区诱发起皱的切向压缩弯曲力得到相应地减缓,防皱临界压边力也逐渐减小。

临界压边力受模具参数、板料初始几何参数、材料性能参数和拉深工况的影响,随着拉深行程加大、拉深工况的变化,临界压边力在变化。目前,国内外广泛提出变压边力拉深,对法兰变形流动施加最佳压边力,保证板料既不发生褶皱又不发生拉裂,极大地提高了板料的成形极限^[6]。

3 结语

1) 材料发生纵向褶皱,是由于轴向弯矩作用所致。当材料的失稳弯矩小于所有约束弯矩的总和,拉深材料产生纵向褶皱。

2) 不压料条件下,当板坯的相对厚度 t/D 大于临界相对厚度 $\left| \frac{t}{D} \right|_{cr}$ 时,板坯不产生褶皱。影响板料临界相对厚度的因素有材料的屈服强度 σ_s 、弹性模量 E 、泊松比 μ 、硬化指数 n 和拉深系数 m 等。在进行拉深工艺设计时为了防止褶皱,尽可能增大板料的相对厚度 t/D 和拉深系数 m ,选择屈强比 $\sigma_s/$

σ_b 较小,弹性模量 E 、泊松比 μ 和硬化指数 n 较大的板料。

3) 当板坯的相对厚度 t/D 小于临界相对厚度 $\left| \frac{t}{D} \right|_{cr}$ 时,法兰产生皱褶。必须采用压边圈对法兰施加压边 p 以控制弯矩 M_H 的大小抑制皱褶产生。临界压边力 p_{cr} 受拉深比、相对凹模内径、各阶段拉深比、摩擦系数、材料的硬化指数等的影响。

参考文献:

- [1] 王国凡. 材料成形与失效[M]. 北京:化学工业出版社,2002:117-119.
- [2] 杨殿魁. 发生内皱临界应力的能量法求解[J]. 锻压技术,2004,29(6):20-22.
- [3] 河合 望,平岩正至. 深絞りにおけるしわ抑制条件. 塑性と加工,1961,2(10):707-714.
- [4] 张福全. 薄板拉深中法兰区的屈曲分析[J]. 锻压技术,2004,29(2):18-20.
- [5] 雷君相. 圆筒形件不用压边力多次拉深时的皱曲预报[J]. 锻压技术,1994,19(5):21-23.
- [6] 颢大辛. 成形工艺与模具设计[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007.

(上接第22页)

2) 20SiMn3NiA 钢的临界冷却速度约为 $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,即对一定尺寸的零件,20SiMn3NiA 钢形变后在很低的冷却速度下(比如空冷)就能获得马氏体或马氏体+贝氏体的混合组织,且随着冷却速度的增大,板条马氏体组织变得越来越细。

3) 与静态 CCT 曲线相比,形变细化了马氏体和贝氏体组织,使动态 CCT 曲线的 M_s 点升高,奥氏体稳定性降低,转变孕育期缩短,可以在 $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 的冷却速率下产生较高的强度。

参考文献:

- [1] 赵磊,刘宪民,雍其龙,等. 热处理对 DT300 低合金超高强度钢组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2007,28(2):29-30.
- [2] 范长刚,董瀚,时捷,等. 镍含量对 2200MPa 级超高强

度钢力学性能的影响[J]. 金属热处理,2007,32(2):16-19.

- [3] 王毛球,董瀚,惠卫军,等. 热处理工艺对 25CrNiWVA 钢的组织 and 力学性能的影响[J]. 航空材料学报,2001,21(4):9-13.
- [4] JUN H J, KANG J S, SEO D H. Effects of Deformation and Boron on Microstructure and Continuous Cooling Transformation in Low Carbon HSLA Steels[J]. Materials Science and Engineering A,2006(422):157-162.
- [5] 方鸿生,刘东雨,常开地,等. 1500MPa 级经济型贝氏体/马氏体复相钢的组织与性能[J]. 钢铁研究学报,2001,13(3):31-36.
- [6] TOMITA Y. Development of Fracture Toughness of Ultra-high Strength, Medium Carbon, Low Alloy Steels for Aerospace Applications[J]. International Materials Reviews,2000,45(1):27-37.