

弹体毛坯热冲拔工艺

夏克祥, 姜春茂, 刘海艳, 王连义, 王波, 赵广军, 金艳, 张雷

(北方华安工业集团有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161046)

摘要: **目的** 设计弹体毛坯热冲拔成形工艺方案。**方法** 将冲子压入加热后的钢坯, 使钢坯在压力作用下充满模腔, 压成盂形, 然后套在引伸冲子通过一串直径逐渐缩小的模圈, 使弹体拉长、直径减小、壁厚减薄, 获得合理的弹体毛坯尺寸, 生产出合格毛坯。分析弹体毛坯冲拔成形原理、温度控制、工装设计及冲拔过程中的金属流动规律, 根据体积不变原理, 计算出冲拔毛坯尺寸。**结果** 通过批量试制, 根据冲拔过程中常见问题的控制措施, 优化了冲拔工艺参数, 实现了弹体毛坯热冲拔成形。**结论** 通过冲拔原理分析、毛坯及工装设计, 形成了热冲拔设计规范, 该弹体毛坯热冲拔工艺可行。

关键词: 弹体毛坯; 冲拔; 成形; 设计

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.02.021

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)02-0102-05

Heat Drawing Process of Bullet Workblank

XIA Ke-xiang, JIANG Chun-mao, LIU Hai-yan, WANG Lian-yi, WANG Bo, ZHAO Guang-jun, JIN Yan, ZHANG Lei

(North Hua'an Industrial Group Co., Ltd., Qiqihar 161046, China)

ABSTRACT: The work aims to design a program for hot drawing forming process of bullet workblank. The punch was pressed into heated billet so that the mold cavity was full of billet under pressure. The billet was pressed into a glenoid shape and fit on a stretch punch to elongate bullet and reduce diameter as well as wall thickness by a string of mold necks with decreasing diameter. Reasonable size of workblank was obtained and qualified workblank was produced. Forming theory, temperature control, tooling design and law on metal flow of drawing process of workblank drawing were researched. The size of drawing workblank was calculated according to the principle of constant volume. Technological parameters of drawing were optimized and hot drawing forming of workblank was achieved according to the trial-production and control measures for common problems in the drawing process. Design specifications on hot drawing are formed according to analysis of drawing principles and design of workblank and tooling. The hot drawing process of workblank is feasible.

KEY WORDS: bullet workblank; drawing; forming; design

在中大口径弹体毛坯制造过程中, 冲拔是极为重要的工序之一。冲拔成形过程及毛坯质量同时受到材料性能、润滑状况、模具结构及工艺参数和设备等诸多因素的共同影响, 因此冲拔毛坯尺寸不易控制, 质量状况不稳定。文中对弹体毛坯一次冲拔成形过程、冲拔毛坯设计、工装设计, 以及冲拔毛坯常见问题的原因和控制方法进行了介绍。

1 冲拔成形

1.1 原理

常用的弹体冲拔方法是将冲子压入加热后的钢坯(方钢或圆钢均可), 使钢坯在压力作用下充满模腔, 压成盂形, 然后套在引伸冲子上, 通过一串直径

收稿日期: 2016-12-27

作者简介: 夏克祥(1963—), 男, 研究员级高级工程师, 总工艺师, 主要研究方向为弹药制造技术。

逐渐缩小的模圈，使弹体拉长，直径减小，壁厚减薄。冲子直径越大，冲孔深度越深，冲孔力越大，冲孔设备所需吨位越大，端面缩减率越大，所需拔伸力越大。

1.2 温度控制

温度对金属的塑性和变形抗力有着重要的影响。当金属被加热到某一温度范围时，其塑性提高，变形抗力下降，此时坯料即能顺利成形，能减少所需成形设备的压力和所消耗的能量。坯料的加热还对热冲拔毛坯的质量和材料的损耗有影响，正确的加热应能使冲拔毛坯有良好的组织，使其性能符合技术要求，并使材料的损耗尽可能减少。加热温度、加热时间是影响冲拔质量的重要因素。冲拔加热温度是指钢坯在出炉时的温度。此温度确定的原则是首先应保证弹体冲拔终了温度不低于终锻温度，冲拔前加热温度一般不超过 1250℃，大多在 1150~1220℃之间。加热参数的选择直接影响冲拔毛坯的成形过程。以某产品弹体毛坯为例，由于其冲拔后毛坯内径大、壁厚薄，冲孔毛坯长，拔伸时毛坯温度下降快，毛坯的加热参数定在(1170±20)℃。

1.3 加热速度及时间

正确的加热应保证坯料达到所要求的始冲温度以及坯料的连续、完整和温度均匀，在此前提下，应尽量减少坯料的烧损和提高生产效率。如坯料加热不均匀，各部位的变形抗力也不相同，冲压时就会使弹体毛坯的壁厚差大、口部偏斜及弹底厚薄不均。加热速度越快，坯料烧损量越少，但却导致热应力进一步增大。当热应力高达一定程度时坯料就会发生开裂。合理的加热速度和加热时间是保证毛坯质量的关键要素之一。

2 冲拔毛坯的设计

2.1 拔伸毛坯的设计

2.1.1 形状的确

确定拔伸毛坯时，对于不需收口的弹体毛坯，其依据是弹体产品图样及制造与验收规范；对于需经收口的弹体，其依据是收口前粗车毛坯图样。确定时应遵循使毛坯形状尽可能与成品形状相接近的原则。通常的热冲压榴弹弹体拔伸毛坯形状见图 1。

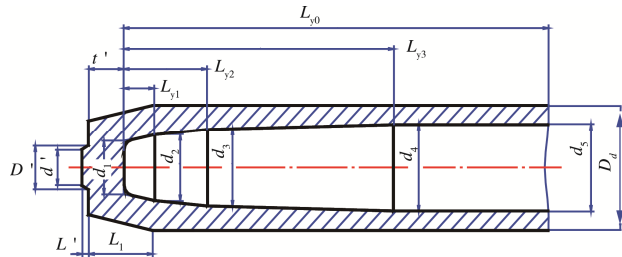


图 1 拔伸毛坯
Fig.1 Drawing workblank

2.1.2 尺寸的确定

外径 D_d 的确定见式(1)。外径余量及壁厚差加工余量的确定见表 1，其他产品可以依据以下数据参考确定。

表 1 外径总余量及壁厚差
Table 1 External diameter and wall thickness difference mm

弹种及口径	总余量	壁厚差	弹种及口径	总余量	壁厚差
85	4	≤2~3	120(122)	4~6	≤3
100 高榴	4~5	≤2.5	130	6~8	≤3
100 加榴	5~7	≤3	152(155)	6~8	≤4

$$D_d=D_m+z_1+\delta_i$$
 (1)

式中： D_d 为拔伸毛坯外径(mm)； D_m 为弹体定心部名义直径(mm)； z_1 为定心部直径精车余量(mm)； δ_i 为弹体毛坯工艺规定允许的壁厚差(mm)。

外径公差 δ_1 的确定见式(2)。

$$\delta_1=D_d\alpha'(T_{\max}-T_{\min})+\delta_d+\delta_2$$
 (2)

式中： δ_1 为毛坯外径公差(mm)； α' 为钢材的线膨胀系数； $T_{\max}$ 为拔伸终了最高温度(℃)； $T_{\min}$ 为拔伸终了最低温度(℃)； δ_d 为拔伸模的制造公差(mm)； δ_2 为拔伸模的磨损公差(mm)。

底厚 t 的确定见式(3)。

$$t=t_b+z_2+z_3+z_4$$
 (3)

式中： t 为底厚(mm)； t_b 为弹体底厚（根据产品图样要求）(mm)； z_2 为药室底面加工余量(mm)； z_3 为精车弹底端面的加工余量(mm)； z_4 为收口前粗车弹底端面的加工余量(mm)。

药室深度 L_{y0} 的确定见式(4)。

$$L_{y0}=L+z_2+z_5$$
 (4)

式中： L_{y0} 为药室深度的数值(mm)； z_5 为弹体口部加工余量的数值(mm)； L 为产品图样药室深度的数值(mm)。

药室底部直径 d_1 的确定见式(5)。

$$d_1=d-(z_6+\delta_3)$$
 (5)

式中： d_1 为拔伸毛坯药室底部直径(mm)； d 为产品图样中药室底部直径(mm)； z_6 为底部在直径方向加工余量(mm)； δ_3 为拔伸冲头头部直径允许磨损量(mm)。

顶针台尺寸的确定通常取以下数值：小头直径 $d'=30\sim35$ mm；大头直径 $D'=35\sim50$ mm；长度 $L'=15\sim20$ mm。拔伸变形程度的确定见式(6)或式(7)，弹体毛坯拔伸时拔伸面积 A_D 见式(8)，拔伸次数 n 的确定见式(9)。

$$\varepsilon_a=\frac{A_1-A_2}{A_1}$$
 (6)

$$\varepsilon_d=\frac{A_1}{A_2}$$
 (7)

$$A_D=A_1-A_2$$
 (8)

$$n = \frac{\lg \varepsilon_d}{\lg \varepsilon_{d_{2n}}} = \frac{\lg(A_1/A_{2n})}{\lg \varepsilon_{d_{2n}}} = \frac{\lg A_1 - \lg A_{2n}}{\lg \varepsilon_{d_{2n}}} \quad (9)$$

式中: ε_d 为弹体毛坯拔伸时的断面收缩率, 通常取 40% ~ 60%; A_1 为拔伸前毛坯环形断面积(mm²); A_2 为拔伸后毛坯环形断面积(mm²); ε_d 为弹体毛坯拔伸时的拔伸率; n 为拔伸次数; $\varepsilon_{d_{2n}}$ 为总拔伸率, 通常可取为 1.35; A_{2n} 为经第 n 道模圈拔伸后环形断面积(mm²)。

2.2 冲孔毛坯形的设计

1) 内形及尺寸的确定。通常药室的过渡锥体部分与拔伸毛坯相同, 口部内径在相对拔伸冲子的高度上比拔伸毛坯内径大 3 ~ 5 mm。

2) 外形及尺寸的确定。通常冲孔毛坯尾锥部分的形状及锥角、底部外形及尺寸与拔伸毛坯完全相同, 尾锥高度随外径的增大而增长。

3) 预成形毛坯的形状和尺寸的确定。预成形毛坯的质量对冲孔毛坯的壁厚差有较大影响, 通常要求预成形毛坯预压应饱满, 其外形尺寸与冲孔模一致。

3 模具设计

设计弹体热冲压模具与工艺的选择有很大的关系, 首先要考虑以下几点: 工序和工步的数量应为最少; 在采用方刚毛坯时, 使冲孔向外排挤的金属尽量能填满四面的扇形间隙; 合理分配冲孔和引伸的变形量; 考虑下料的精度和氧化皮的损耗; 在合理的最小重量范围内, 保证最高的良品率; 高寿命、低成本、制造容易。模具设计是保证毛坯、尺寸、精度等关键因素。

3.1 拔伸冲头

拔伸冲头工作部分尺寸见图 2。直径尺寸 D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 的确定见式(10), 长度尺寸 H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 的确定见式(11)。

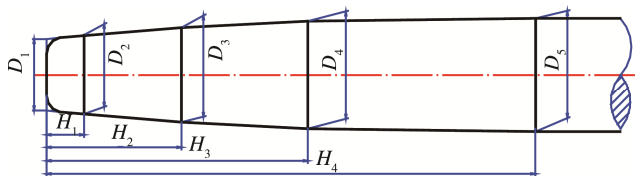


图2 拔伸冲头
Fig.2 Drawing punch

$$D = \frac{(d+d')(1+\alpha \times 10^{-6} t)}{(1+\alpha_1 \times 10^{-6} t_1)} + k_1 + k_2 \quad (10)$$

式中: $D(D_1, D_2, D_3, D_4, D_5)$ 为拔伸冲头直径(mm); d 为弹体药室直径(mm); d' 为弹体药室直径 1/4 正公差(mm); α 为毛坯材料的线膨胀系数; α_1

为拔伸冲头材料的线膨胀系数; t 为拔伸终结时的毛坯温度, 取 850 ~ 900 °C; t_1 为拔伸冲头的温度, 取 200 °C; k_1 为修正系数, 考虑到冷却时毛坯内圆收缩和形成的椭圆度(mm), 取 0.4 mm; k_2 为修正系数, 考虑拔伸冲头制造公差值(mm), 取 0.07 mm。

$$H = h \frac{(1+\alpha \times 10^{-6} t)}{(1+\alpha_1 \times 10^{-6} t_1)} \quad (11)$$

式中: $H(H_1, H_2, H_3, H_4, H_5)$ 为拔伸冲头各段热态长度(mm); h 为产品图各段长度(mm); α 为毛坯材料的线膨胀系数; α_1 为拔伸冲头材料的线膨胀系数; t 为拔伸终结时的毛坯温度, 取 850 ~ 900 °C; t_1 为拔伸冲头的温度, 200 °C。

3.2 冲孔冲头

冲孔冲头 D_1, D_2, D_3, H_1, H_2 尺寸应与拔伸冲头对应的尺寸相适应, 尤其是 D_2, D_3, H_1, H_2 尺寸与拔伸冲头对应位置形成锥面接触, 在拔伸时承受拔伸力的作用。必要时根据拔伸毛坯内底质量情况可适当调整冲头尺寸。为使拔伸冲头顺利进入毛坯内孔底部, 冲孔冲头 D_1 尺寸与拔伸冲头可留有 0.3 ~ 0.8 mm 的间隙。冲孔冲头工作部分尺寸见图 3。 D_4 为冲孔冲头工作带直径尺寸, 工作带宽度一般为 15 ~ 20 mm。 D_4 与拔伸冲头相应位置尺寸根据拔伸毛坯质量情况可留有 1 ~ 1.35 mm 的间隙, 也可根据冲孔毛坯内底至上口部直径对应拔伸冲头相应高度位置直径校核后确定。 D_4 直径尺寸与 D_5 相一致。

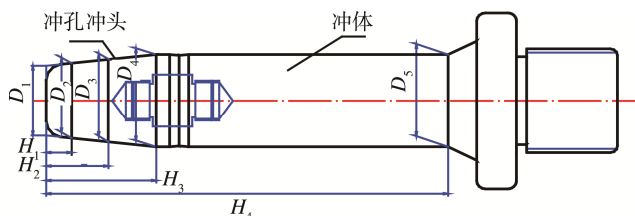


图3 冲孔冲头、冲体
Fig.3 Punching body and punch

为提高冲孔冲头, 拔伸冲头的寿命, 冲头中部钻中心孔, 连接通水管, 使冲头内有循环水冷却, 孔的尺寸则根据冲头强度计算来决定。冲孔冲头、拔伸冲头可用通水圈进行外冷却。

3.3 冲孔模

冲孔模内腔 d_1, d_2, d_3 直径尺寸和内腔各段高度 H_1, H_2, H_4 根据冲孔毛坯相应高度确定, H_2 至 H_4 之间应有 20' ~ 30' 的半锥角。冲孔模上口部高度 H_4 — H_5 为冲孔找正圈的高度, 一般设计成 d_3 的 0.5 ~ 0.55 倍, 为使找正圈与模口准确可靠的结合, 应设计成半锥角为 32' 的锥面接触。

冲孔模的外径应设计成半锥角为 2° 的外圆锥面,

该圆锥面与冷却水套内圆锥面之间为过盈配合, 过盈量一为 0.2~0.4 mm。冲孔模各部分尺寸见图 4。

3.4 拔伸模

拔伸模圈的入模角 γ_2 一般为 15° , 入模角至工作带之间斜角 γ_1 为 10° 左右, 拔伸模工作带高度一般为 12 mm 左右, 各拔伸模的工作带直径 D_2 由拔伸毛坯变形量计算外径确定。拔伸模高度 H 应一致, 一般设计为 D_2 的 0.3~0.34 倍。各拔伸模外径 D_1 应一致, D_1 一般设计成 D_2 的 1.33~15 倍, 为使拔伸模与拔伸模内套良好的结合, 应设计成锥角 β 为 4° 的圆锥面接触。拔伸模各部分尺寸见图 5。

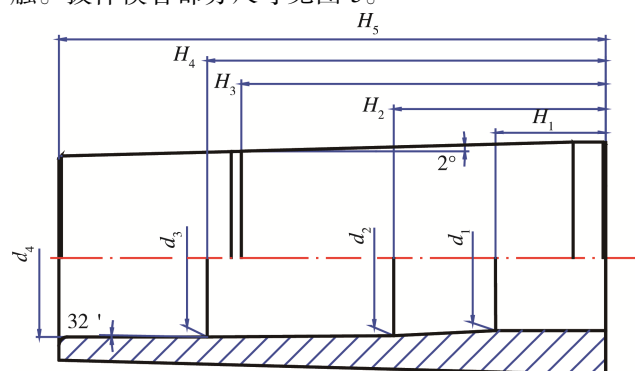


图 4 冲孔模
Fig.4 Punching die

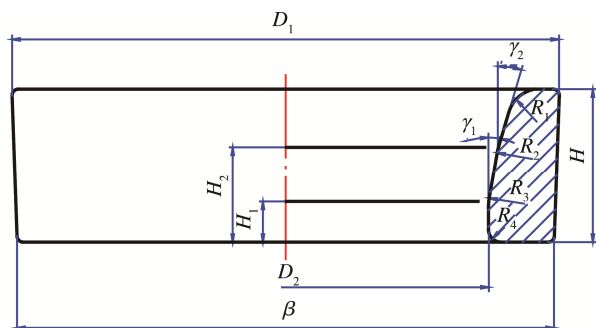


图 5 拔伸模
Fig.5 Drawing die

4 冲拔毛坯常见问题

4.1 冲拔毛坯口部偏斜

正常生产中冲拔毛坯口部偏斜产生的原因有: 钢坯加热不均匀; 冲拔润滑效果不好。通过降低钢坯加热速度、延长加热时间、调整加热线圈匝数、改善润滑剂配比、调整润滑效果等方法进行控制。

4.2 解决拔伸后毛坯内径尺寸小(卡小)

冲拔毛坯拔伸力与底部受力均很低, 毛坯拔伸时第二锥部摩擦力起着牵引毛坯的作用。此时底部受力权起辅助作用, 当冲子润滑不良时, 第二锥体摩擦力

进一步加大, 当摩擦力增大至底部受力等于 0 后, 则底部力就不再产生牵引作用, 甚至锥部的摩擦阻力能产生推挤效应作用产生顺挤, 毛坯在推挤效应下, 底部离开冲子端部形成底部间隙, 以内底为基准测量内径尺寸时就表现为内径减小。改善冲子的润滑条件可解决这种问题, 现在只有当润滑喷头堵塞或吹气压不足时仍可能发现卡小, 只要对存在问题及时排除就可以彻底解决。

4.3 毛坯内膛底坑

冲拔毛坯喷砂后, 内膛存在底坑疵病, 产生的原因是氧化皮压入。钢坯加热后, 通过采用高压水对 6 个表面的氧化皮清理干净, 控制冲拔过程中氧化皮进入毛坯内部以进行解决。

5 结语

介绍了弹体毛坯热冲拔成形的过程、冲拔毛坯设计、冲拔工装设计及在毛坯冲拔生产过程中易出现的疵病及控制方法, 为弹体毛坯在冲拔过程中顺利成形提供了依据。技术参数和控制方法大部分是在生产实践中总结出来的, 既能保证弹体毛坯的冲压质量和加工要求, 同时又减少了生产工艺环节, 节省了加热时间, 有效提高了生产效率, 适合并能够满足产品大批量生产要求。按照确定的毛坯及工装, 组织了 500 发弹体毛坯冲拔生产, 经检验毛坯满足制造与验收规范要求, 良品率达到 100%。

参考文献:

- [1] 杨继章, 孙建军, 王薇. 高轮毂齿轮毛坯的模锻成形工艺及模具设计[J]. 精密成形工程, 2012, 4(3): 67—70.
YANG Ji-zhang, SUN Jian-jun, WANG Wei. Die Forging Technology and Mold Design of High Hub Gear Workblank[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4(3): 67—70.
- [2] CHITKARA N R. Near Net Shape Gorging of Spur Gear Forms: an Analysis and Some Experiments[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1996(8): 891—91.
- [3] WALTERS J, WU W T, ARVIND A. Recent Development of Process Simulation for Industrial Application[J]. Materials Processing Technology, 2000: 205—211.
- [4] 曹国洲, 王谦, 张建波. Cr12 钢模具加工失效分析[J]. 热加工工艺, 2009, 38(10): 181—182.
CAO Guo-zhou, WANG Qian, ZHANG Jian-bo. Failure Analysis of Mould Processing of Cr12 Steel[J]. Hot Working Technology, 2009, 38(10): 181—182.
- [5] 孙永刚. 基于有限元方法的大型曲轴锻模具损伤分析[J]. 热加工工艺, 2012, 41(7): 72—74.

- SUN Yong-gang. Damification Analysis of Upset Forging Heavy Crankshafts Based on FEA[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(7): 72—74.
- [6] 赵春雨, 孟宪举, 李军. 齿轮坯模锻成形过程的数值模拟及优化[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6): 24—28.
ZHAO Chun-yu, MENG Xian-jv, LI Jun. Gear Workblank Forging Forming Process Simulation and Optimization[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6): 24—28.
- [7] HOI J, CHO H Y, JO C Y. An Upper-bound Analysis for the Forging of Spur Gears[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000(8): 67—73.
- [8] HECHT-NIELSEN R. Theory of Back Propagation Neural Networks[C]// International Joint Conference on Neural Networks, IEEE Xplore, 1989: 593—605.
- [9] 张志明, 黄少东, 刘川林, 等. 弹体成形工艺数字化设计系统的开发与实践[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6): 55—59.
ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, LIU Chuan-lin, et al. Development and Practice of Digital Design of Shell Body Forming[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6): 55—59.
- [10] 荣烈润. 材料成形加工技术的发展趋势[J]. 精密成形工程, 2009, 4(2): 6—11.
RONG Lie-run. Introduction to Developing Trend of Material Forming Technology[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2009, 4(2): 6—11.
- [11] 张袁, 陈文琳, 喻建军, 等. 铝合金板料冲压成形的模拟分析[J]. 精密成形工程, 2013, 5(3): 52—54.
- ZHANG Yuan, CHEN Wen-lin, YU Jian-jun, et al. Simulation Analysis of Stamping Process of Aluminum Alloy Plate[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(3): 52—54.
- [12] 潘玲, 姜春茂, 吴忠江, 等. 钢管收口代替方钢热冲拔弹体毛坯加工工艺研究[J]. 精密成形工程, 2011, 3(5): 14—16.
PAN Ling, JIANG Chun-mao, WU Zhong-jiang, et al. Shell Body Workblank Processing Technology Research for Nosing of Steel Tube instead of Hot Punching and Drawing of Square Steel[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2011, 3(5): 14—16.
- [13] 张志明, 黄少东, 庞丹, 等. 弹体热冲拔成形工艺数据库研究与开发[J]. 精密成形工程, 2013, 5(6): 36—41
ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, PANG Dan, et al. Research and Development of Shell Body Hot Extrusion-draw Forming Database[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(6): 36—41.
- [14] 姜超, 单忠德, 庄百亮, 等. 热冲压成形 22MnB5 钢板的组织和性能[J]. 材料热处理学报, 2012, 33(3): 78—81.
JIANG Chao, SHAN Zhong-de, ZHUANG Bai-liang, et al. Microstructure and Properties of Hot Stamping 22MnB5 Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2012, 33(3): 78—81.
- [15] 李晖, 赵震, 辛勇, 等. 面向冲压产品设计的知识建模技术[J]. 锻压机械, 2002, 37(6): 53—55.
LI Hui, ZHAO-zhen, XIN Yong, et al. Stamping Product Design-oriented Knowledge Modeling Technology[J]. Metalforming Machinery, 2002, 37(6): 53—55.