弹体毛坯热收口成形工艺研究

姜春茂，刘海燕，付伟，王竞宇，方晓玲，邱志斌，董志修
（北方华安工业集团有限公司，黑龙江 齐齐哈尔 161046）

摘要：目的 设计弹体毛坯一次热收口成形工艺方案。**方法** 将冲压成空心、变壁厚、桶状的毛坯，经过外皮粗车后进行收口变形，获得合理的弹体弧形部，生产出了合格毛坯。研究了弹体毛坯收口成形原理、温度控制、工装设计以及收口过程中的金属流动规律，根据体积不变原理，计算了收口前粗车毛坯尺寸。**结果** 通过批量试制，根据收口过程中常见问题的控制措施，优化了收口工艺参数，实现了毛坯的一次热收口成形。**结论** 通过收口原理分析、毛坯及工装设计，形成了毛坯一次收口设计规范，该弹体毛坯一次热收口工艺可行。

关键词：弹体毛坯；收口；成形；设计
DOI：10.3969/j.issn.1674-6457.2016.01.019
中图分类号：TG376.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-6457(2016)01-0101-05

Forming Process of Hot Shell Nosing of Cannonball Body Semiproduct

JIANG Chun-mao, LIU Hai-yan, FU Wei, WANG Jing-yu, FANG Xiao-ling, QIU Zhi-bin, DONG Zhi-xiu
(North Hua′ an Industrial Group Co., Ltd., Qiqihar 161046, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to design a hot shell nosing forming process scheme of body blank. The blank was stamped into a hollow tubby shape with thick variable wall. Then the blank was treated with nosing deformation after rough turning of the external skin to obtain reasonable missile arc and produce qualified blank. The shell nosing principle of body blank, the temperature control, the tooling design, and the metal flow law of the healing process were studied. The dimension of rough turning blank before nosing forming was calculated according to the principle of constant volume. In trial batch production, the process parameters of shell nosing were optimized by control measures of the common problems in the nosing process, thus, the one-time hot shell nosing forming was achieved. Through the analysis of shell nosing principle, blank and tooling design, the design norm of one-time blank shell nosing was formed and the one-time hot shell nosing process of elastomer blank was feasible.

KEY WORDS: body blank; shell nosing; forming; design

收口在大中口径弹体制造过程中是极为重要的工序之一。收口成形过程及产品质量同时受到材料性能、磨擦状况、模具结构及工艺参数和设备等多种因素的共同影响，因此收口时变形情况复杂，药室弧

收稿日期：2015-11-25
作者简介：姜春茂(1984—)，男，黑龙江佳木斯人，高级工程师，主要研究方向为金属塑性成形。

形尺寸不易控制，质量状况不稳定。本文介绍弹体毛坯一次热收口成形过程以及收口过程中的金属流动，收口毛坯设计，工装设计，以及收口常见问题出现的原因和控制方法。

1 收口成形过程

1.1 收口成形原理

常用的弹体收口方法，是沿轴向将弹体收口部分压入收口模型腔使之成形（如图1所示），在收口过程中，口部直径由D_a减至D_d，弹壁中心面从0° 随收口的变形量的增加逐渐增大，最终达到θ。可用D_a与D_d比值表示收口的变形程度，即$D_a/D_d=k$（k为收口系数）。

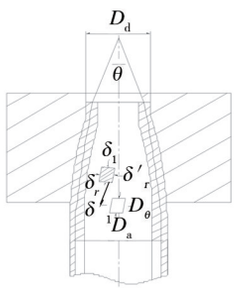

图1 收口成形原理

Fig.1 The principle of nosing and forming

弹体弧形部位在收口成形时，变形区内的金属处于三向压缩应力状态，即轴向压应力δ_1、径向压应力δ_r和周向压应力δ_θ。其中轴向压应力是收口模向下运动时，直接作用于金属上的压力；径向压应力δ_r和周向压应力δ_θ则是由收口模侧壁作用于弹体壁使其收缩的压应力。在三向压缩应力作用的同时产生了相应的反作用力，即轴向的δ_1'和径向的δ_r，也就是金属的变形抗力。只有在压缩应力与变形抗力相对平衡的条件下，才能够得到理想的收口曲线。要达到这种平衡状态必须考虑与之相关的多种因素，如弹体收口毛坯的尺寸形状、收口模锥度、毛坯加热温度和润滑条件等，都会对这种平衡状态构成很大影响。

如果润滑不良、弹体变形区中部壁厚过薄或温度过高，在较大压应力δ_1的作用下，δ_1，不能与之保持对应平衡，其作用方向指向弹体心部，从而导致金属向内产生横向环状堆积甚至堆裂。如果弹体加热、润滑不均或是壁厚差过大，都会使δ_r'与δ_r和δ_θ相对失稳，导致金属向内不规则流动，在弹体内壁形成纵向凸棱。

应力平衡是收口诸多因素达到理想状态的前提条件，也是决定收口成功与否的必要条件。收口毛坯壁厚越薄，收口变形程度越大，保持应力平衡就越困难。以某产品弹体为例，收口毛坯变形区壁厚最薄处为5 mm口部直径为135 mm收口后缩减至67 mm，收口变形长度达到420 mm，由于壁薄、口部直径小，弧形部位长等特点，大大加大了一次收口难度，为达到应力平衡满足成形要求，必须在获得适合成形的毛坯形状的同时，保证良好的润滑条件、流畅的模腔曲线和加热温度的合理递减量。

1.2 收口变形的温度控制

收口前的加热只限于弹体收口变形区，系局部加热。加热温度、加热长度是影响收口质量的重要因素。收口加热温度是指收口前毛坯在出炉时的温度，此温度确定的原则是首先应保证弹体收口终了温度不低于终锻温度，收口前加热温度一般不超过1100 ℃，大多在850～950 ℃之间。由于收口前毛坯为变壁厚，在选择合理的加热参数的情况下，毛坯各收口变形区的温度梯度是直接影响毛坯的顺利成形。以某产品弹体毛坯为例，由于其收口前毛坯外径大、壁薄、变形区域长（与收口模接触面积大），所以毛坯温度下降快。距口部40 mm处温度规定在950～1050 ℃，距口部270～280 mm处温度规定在650～680 ℃，口部向下温度逐渐递减。

1.3 加热长度及时间

收口加热长度通常比收口变形长度短，因为有一段加热过渡区，它的温度约为750 ℃左右，加热长度加上过渡区的长度等于或略长于收口变形长度，即可满足收口变形要求。在保证达到规定的温度和加热均匀的前提下，应力求缩短加热时间。

2 收口毛坯的设计

2.1 设计依据

依据产品图样及制造与验收规范确定收口毛坯的形状，毛坯各部分尺寸是在产品图样相应部位尺寸的基础上加上一定的加工余量确定的。加工余量的数值根据经验确定，具体数值见表1。

2.2 外弧形尺寸的确定

通常外弧形半径R与产品图样一致，弧形的坐标

表1 毛坯各部分的加工余量

Table 1　Machining allowance of each blank part

mm

弹径	口部内径（单面）	口部外径（单面）	口部端面	圆柱部外径(单面)	底部顶针台长度	底部顶针台直径	口部中径长度
<100	1.5~4	2~3	3~5	1~1.3	8~12	20~30	应保证不小于螺纹旋合长度
100~120	1.5~5	2~3	5~10	1~1.5	8~12	25~40	
120~150	1.5~5	3~4	5~10	1~1.5	13~18	25~40	
>150	2~5.5	4~5	10~15	1~2.5	15~20	25~40	

值(x,y)可采用CAD制图法确定。

3　收口前粗车毛坯的设计

3.1　收口变形区药室形状的设计

弹体药室形状通常是截锥形,包括弧形部变形区和口部变形区域。如图2 a、图2b所示,直径d_w和D_w在收口前后不变(D_w为收口前截锥变形处外径),而直径d和D需经计算确定,直径d值通常在保证弹体毛坯引伸和收口工作能够顺利进行的基础上,取最大值。药室内锥度通常取4°　~6°　,为减小口部变形程度,弧形部较长时角度取小值,弧形部较短时则角度取大值。在设计过程中,首先假设一个值,根据此值,确定收口前毛坯较大外径,与拔伸毛坯相比较,若收口前毛坯最大外径处过大,使拔伸毛坯不能保证加工时,则应缩小药室锥度以减小收口前毛坯,若拔伸毛坯仍有较大切削余量时,则可将内锥度再放大一些,但应特别注意拔伸时的困难。

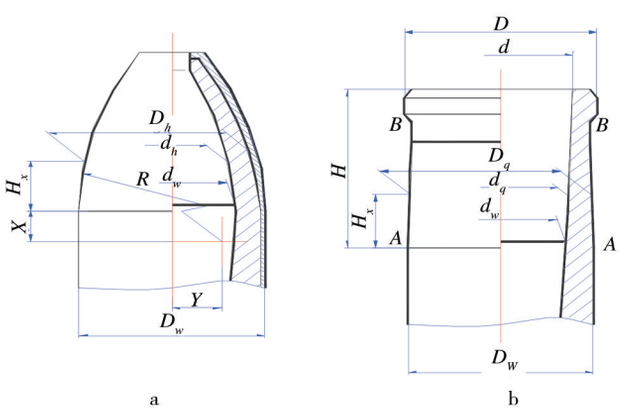

图2 收口前粗车毛坯变形区尺寸示意

Fig.2 The size diagram of the deformation region of rough turning blank before nosing

3.2　弧形部变形区的设计

收口前粗车毛坯的外径D_q按式(2)计算:

$$\frac{1}{4}(D_q^2-d_q^2)=\frac{1}{4}\pi(D_h^2-d_h^2) \tag{2}$$

由式(2)推导出式(3):

$$\left.\begin{aligned} D_q &= \sqrt{d_q^2+D_h^2-d_h^2} \\ d_q &= (d-d_w)\frac{H_x}{H}+d_w \end{aligned}\right] \tag{3}$$

式中:D_q为收口前粗车毛坯某高度H_X截面上外径(mm);d_q为收口前粗车毛坯某高度H_X截面上的内径(mm);D_h为收口后毛坯与收口前粗车毛坯相应截面上的外径(mm);d_h为收口后毛坯与收口前粗车毛坯相应截面上的内径(mm);d为收口前口部截锥的内径(mm);H_x为截面高度(mm);d_w为收口前截锥变形处的内径(mm);H为收口前粗车弧形部的高度(mm)。计算时d_q,D_h,d_h,d和d_w值通常取公差中限(即上下公差之和的1/2)。

弧形部变形区计算时,在高度H上每隔10~20 mm,取一截面按式(3)求出一个D_q值,然后连接各计算点,得出的折线将近似直线部分连成直线。

3.3　口部变形区的设计

3.3.1　形状的确定

通常采用的口部形状有4种,见图3。

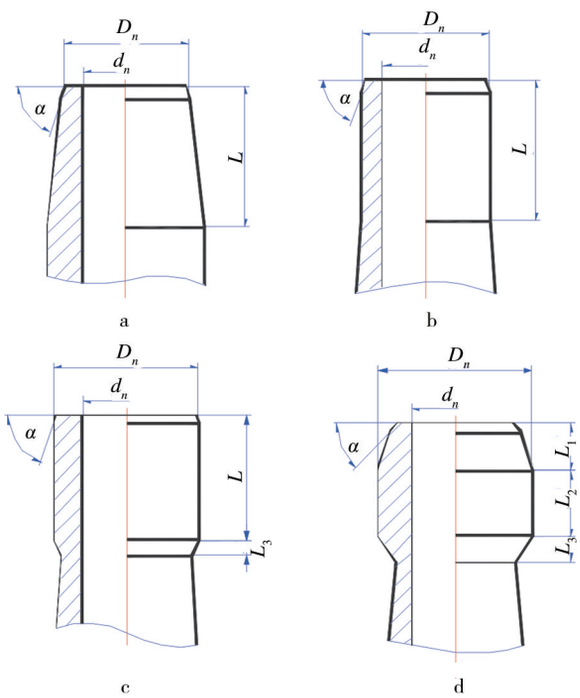

图3　口部形状示意图

Fig.3　Shape of mouth

3.3.2 尺寸的确定

根据收口后口部毛坯截面积和收口前粗车毛坯相对应的截面积略有增加的计算方法进行计算。在取收口前粗车毛坯相对应的截面积时，通常弹径为57～100 mm，增加15%～20%；弹径为100～120 mm，增加20%～50%；弹径为120 mm以上，增加50%～70%，按式(4)计算，计算时应保证D_n不大于圆柱部直径尺寸。

$$\frac{1}{4}\pi(D_n^2-d_n^2)=\frac{1}{4}\pi[1+(0.15\sim0.70)](D_h^2-d_h^2) \tag{4}$$

式中：D_n为收口前粗车毛坯口部某高度截面上的外径(mm)；d_n为收口前粗车毛坯口部某高度截面上的内径(mm)。

4 收口工装的设计

弹体收口常用的方法有两种：在压力机上进行轴向收口；在锻造机上进行径向收口。目前我厂采用的是轴向弹体朝上的工艺方法，实践证明能够满足大口径弹体的收口要求，工艺效果较好。

这种收口方法是弹体口部向上，弹体不动，模具向下移动，上模安装在压力机的机头上，其内腔是弧形，起收口作用。下模安装在压力机的下平台上，由外套和弹簧夹瓣构成，弹簧夹瓣在外套内对弹体起支撑和定位作用。上下模靠配合的定位圆柱面相互对准中心。当上模下压刚接触弹体时，弹体同时向下压弹簧夹瓣，弹簧夹瓣收缩将弹体定位。上模继续下压，弹体收口变形，当压机行程达到终点时，完成收口变形。在上模回程向上时，固定在机头上的拉杆把下横梁提起，同时将退料顶杆托起，将弹体从下模内顶出。

图4为500 t水压机收口弹体的模具结构形式，图中的件1和6起到对收口模定心的作用，件3和4对弹体起定心作用，从而保证了上下模的同心度，避免了弹体收口后的口部歪斜现象。上模套内壁的螺纹槽内通水对收口模起冷却作用，提高了收口模的使用寿命。使用新制的收口模时，收口后弹体常与收口模结合较紧，因此可用水压机小缸带动的顶料杆退料。当收口模使用一定阶段后，内壁形成十分光滑的表面，弹体在收口后可靠自重从模内脱落。

收口方式确定后，弹体收口的模具结构形式一般是不变的，其模具设计主要体现在收口模的设计上。设计收口模需首先确定收口后的毛坯尺寸，收口模弧

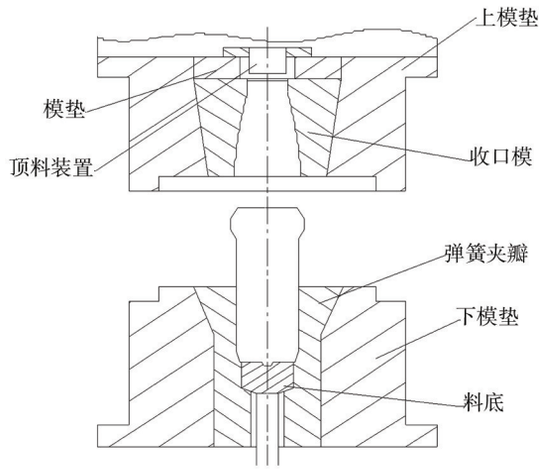

图4 收口工装图

Fig.4 Nosing tooling map

形R与收口后毛坯相同。也就是在收口后毛坯外形不变的基础上，直径方向尺寸剩以相应的热胀系数，即可得出收口模的内部弧形尺寸。根据收口后毛坯的弧形长度，确定合理的收口模长度。由于收口加工时弹体的收口长度具有一定的调整量，以调节弹体内弧形的直径尺寸，因此必须在收口弹体的不变形部位设置一道内卡钳，用以保证收口不超出所要求的范围。

5 收口后常见问题的产生原因及控制方法

5.1 收口后毛坯体短

正常生产中收口后毛坯体短产生的原因有：收口前弹体口部温度过高；收口润滑效果不好。

控制方法：降低口部加热温度，如果采用感应线圈加热，可以对弹体口部加热的线圈匝数进行调整；收口前毛坯抹水基石墨，并在收口模内涂油基石墨，可以明显增强润滑效果。

5.2 口偏

收口后口偏产生的原因有：口部加热不均；润滑剂涂抹不均，造成圆周变形不一致；收口前坯料口部壁厚过大。

控制方法：① 针对感应加热炉而言，弹体口部加热不均是由于弹体在加热炉内倾斜，一方面是加热夹具不能对加热弹体有效夹紧定位，另一方面是加热炉自身倾斜，所以应该根据具体情况进行调整；② 确保弹体和收口模内均匀涂抹润滑剂；③ 收口前坯料口部壁厚差过大，一般是由弹体冲拔时所产生的，当弹体拔伸后出现偏口或拔伸退料使口部变形等问题，在

粗车齐口时不能完全去除掉,导致粗车后口部壁厚不均,因此保证冲拔毛坯长度,使其口部偏口或变形,在粗车切口部余料时被去除。

5.3 毛坯内棱

毛坯内棱产生的原因有:弹体倾斜,收口过程中受力不均,变形时倾斜低面弹壁金属受正向挤压力作用向内流动,从而形成内壁筋棱;弹体与加热炉不同心而使弹体加热不均。

控制方法:① 检查上端面有无异物,保证料垫与收口模保持水平,测量收口夹瓣是否因内孔过大而不能发挥有效的夹紧作用,如果是应将其更换;② 调整加热炉使加热炉和弹体轴心相一致。

5.4 毛坯口部内径不规则

坯口部内径不规则产生的原因有:弹体拔伸后内膛椭圆度较大;粗车时夹具夹紧力过大。

控制方法:① 弹体热态拔伸后采用缓冷设备,使弹体在滚动中缓慢均匀冷却,经实验证明这种方法可减小弹体内膛椭圆0.5 mm左右;② 在粗车时能够保证弹体夹紧的情况下,减小夹紧力,避免由于夹紧力过大使弹体口部变形,导致弹体车削后口部壁厚不一致。

6 结语

介绍了弹体毛坯热收口成形的收口过程、收口毛坯设计、收口工装设计以及在毛坯收口生产过程中易出现的疵病及控制方法,为弹体毛坯在收口过程中顺利成形,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,即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800发弹体毛坯收口生产,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 Blank[J]. Journal of Netshape Forming Engineering,2012,4(3):67—70.

[2] CHITKARA N R. Near Net Shape Forging of Spur Gear Forms: an Analysis and Some Experiments[J]. International Journal of Mechanical Sciences,1996,38(8):891—916.

[3] WALTERS J, WU W T, ARVIND A.Recent Development of Process Simulation for Industrial Application[J]. Materials Processing Technology,2000,98(2):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镦锻模具损伤分析[J]. 热加工工艺,2012,41(7):72—74.
SUN Yong-gang, Damnification 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-ju, LI Jun. Gear Blank Forging Forming Process Simulation and Optimization[J].Journal of Netshape Forming Engineering,2010,2(6):24—28.

[7] CHOI J, CHO H Y, JO C Y.An Upper-bound Analysis for the Forging of Spur Gears[J]. Journal of Materials Procession Technology,2000,104(s1 - 2):67—73.

[8] HECHT-NIELSEN R. Theory of the Back Propagation of Neural Network[C]. Sheraton Washington Hotel,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. 材料成形加工技术发展趋势[J]. 精密成形工程,2009,45(2):29—31.
RONG Lie-run. Introduction to Developing Trend of Material Forming Technology[J]. Journal of Netshape Forming Engineering,2009,45(2):29—31.

[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):44—47.
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): 44—47.

[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 Blank 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.