

药筒精密成形工艺数字化设计系统

刘川林^{1,2}, 黄少东^{1,2}, 张志明^{1,2}, 陈军³, 赵震³, 文建峰³, 赵志翔^{1,2}, 符韵^{1,2}, 王艳彬^{1,2}

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039;

2. 国防科技工业精密塑性成形技术研究应用中心, 重庆 400039;

3. 上海交通大学 模具 CAD 国家工程研究中心, 上海 200030)

摘要: 介绍了药筒工艺数字化设计系统的特点、设计流程和各功能模块的主要功能。该系统在药筒成形工艺和模具设计过程中融合了基于规则的推理与基于实例的推理, 可智能完成工艺参数计算, 半制品与模具参数化建模, 同时为设计者提供有效的精密成形工艺设计知识和经验帮助, 大幅提高了该类零件成形工艺和模具设计效率。

关键词: 药筒; 成形工艺; 基于知识的工程; 数字化; 设计系统

中图分类号: TG386.3; TP311.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)06-0064-06

Digital Design System of Precision Forming Process of Cartridge Case

LIU Chuan-lin^{1,2}, HUANG Shao-dong^{1,2}, ZHANG Zhi-ming^{1,2}, CHEN Jun³, ZHAO Zhen³,
WEN Jian-feng³, ZHAO Zhi-xiang^{1,2}, FU Yun^{1,2}, WANG Yan-bin^{1,2}

(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;

2. National Defence Research and Application Center of Precision Plastic Forming Technology, Chongqing 400039, China;

3. National Engineering Research Center of Die & Mold CAD, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The paper introduces the characteristics, design cycle and main functions of each program module of the digital design system of cartridge case forming process. Rule-based reasoning and case-based reasoning are combined in the system. Calculation of process parameters and parameterization modeling of half blank and die can be finished by the system. The system can give knowledge and experience of design of cartridge case forming process and improve design efficiency.

Key words: cartridge case; forming process; knowledge-based engineering; digital; design system

药筒的结构特点是变断面、薄壁、瓶形、空心带底的回转体零件, 且筒体的长度较长, 一般具有突出的底缘, 加之药筒各部位有不同的机械性能要求, 因此, 较多采用压力加工整体成形。压力加工过程包括落料、镦饼、挤孟(或冲孟)、引伸、压底、收口等。药筒成形工艺工序多, 计算量大, 成形工艺设计的理

论体系较为完善, 工艺流程相对成熟^[1], 因此采用数字化设计系统可以大幅减轻设计人员的工作强度, 提高设计效率, 缩短设计周期^[2]。

基于知识的“药筒成形工艺设计系统”是建立在精密成形知识库基础上的工艺及模具设计系统, 设计系统构建了工艺知识库。该知识库包含冷冲孟工

收稿日期: 2010-09-20

基金项目: 国防基础科研项目(D1020060359)

作者简介: 刘川林(1967—), 男, 四川广元人, 研究员高级工程师, 主要研究方向为材料加工技术。

艺知识、压底工艺知识、收口工艺知识等 10 个表格的工艺设计知识,产品信息表、产品几何参数表、冷冲孟经验参数表、热挤孟冲子几何参数表等 38 个表格的工艺实例数据。设计人员通过输入药筒产品的几何信息和工艺信息,在基于知识的设计流程引导下,有效融合基于规则的推理 RBR 与基于实例的推理 CBR 和 2 种工艺设计路线,完成药筒工艺与模具设计,同时可完成大量的工艺及模具参数计算^[3-4]。

1 软硬件环境及特点

药筒成形工艺数字化设计系统是在 Windows XP 操作系统环境下,以 Microsoft SQL 数据库为平台,以三维设计软件为设计支撑软件,采用 ADD 数据库接口技术开发而成。软件采用紧密融合基于规则的推理 RBR 与基于实例的推理 CBR 的设计方式,实现了数据与程序的高度独立。设计人员应用药筒成形工艺设计系统进行工艺及模具设计,首先在外部模式进行工艺流程与参数设计,当需要进行几何运算时,调用三维设计软件内部模式界面进行相关操作,并返回结果数据。系统通过内部集成规则、经验等知识,使大量的设计与参数计算实现智能化。操作界面中通过图示、经验参数表、动态提示语言等工具都极大方便了设计人员进行参数选择和确定,设计效率和正确性较传统方式大幅度提高。

2 系统的设计流程

药筒工艺设计系统采用智能设计与人机交互相融合的设计方式,设计过程中知识提示无处不在。设计人员首先需要输入产品的几何参数和工艺信息,输入的信息作为设计依据将在整个设计过程中进行数据传递,每一步的设计结果也将成为下一步的设计依据,并自动进行数据传递。设计流程中工序设计融合了基于规则的推理 RBR 与基于实例的推理 CBR 两种方式,RBR 设计了 3 种标准的工序流程,可根据工厂的实际情况进行调整和修改。工艺与模具设计可按流程进行,也可作为单独工序的工艺及模具设计模块进行使用。系统详细设计流程如图 1 所示。

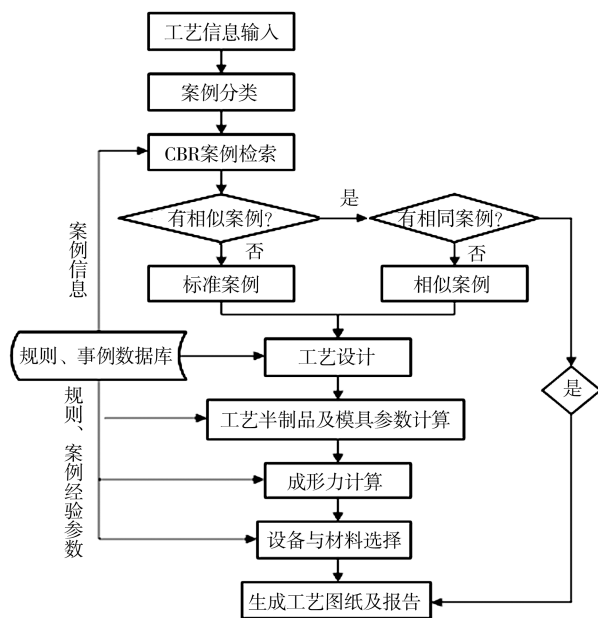


图1 药筒成形工艺设计系统的设计流程

Fig. 1 Design cycle of the design system of cartridge case forming process

3 软件的功能模块

软件各功能模块在应用程序界面体现为菜单,每个菜单下具有相应子菜单,对应其具体功能。系统主界面如图 2 所示,各大类功能模块的主要功能介绍如下。



图2 系统主界面

Fig. 2 The main interface of the design system

3.1 工程管理

工程管理模块分为新建工程、删除工程、查看与

修改工程等 3 个子模块,分别调用相应动态链接库子模块实现相关功能。新建工程可建立产品工艺与模具设计案例,添加相关记录,对产品信息进行设计输入,作为工艺与模具设计的依据。在新建工程中通过添加加工余量,形成末次引伸毛坯。删除、查看、修改工程可对选择工程案例进行浏览、修改、删除等操作。

3.2 案例检索

基于实例的推理 CBR 的药筒工艺与模具设计,首先需要进行相关或者相似案例的检索,系统提供 2 种检索方式:一种是通过计算机的系统自动检索;另一种是分类浏览选择方式。系统自动检索通过选择药筒各几何特征的重要度,通过计算得到各因素权值,以计算结果为依据完成目标零件检索操作,系统可以将检索到的案例设计参数复制到新案例中,在此基础上进行设计修改,如图 3 所示。

图 3 计算特征权值界面

Fig. 3 Calculation of feature value

3.3 工序设计

产品工序设计是依据产品信息通过药筒标准成形工艺流程数据库或者案例检索结果直接生成药筒成形工艺初步流程,设计人员可以在此基础上进行人工编辑,并得到最终工序方案以及工艺方案评价。在产品设计中所需的工序均来自于工序库,当现有工序库不能满足用户需求时,可以对现有工序信息进行编辑,增删工序。工序设计界面如图 4 所示。

3.4 工艺与模具设计

药筒工艺与模具设计是整个设计系统的核心模块,它由末次引伸半制品设计、末前伸冲模具设计、

图 4 工序设计界面

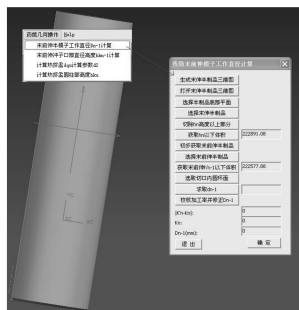
Fig. 4 Design of working procedure

中间引伸模具设计、热挤孟工艺孟子设计、锻饼、下料、压底、收口等模块组成。在工序设计完成的基础上,对系统冲压工艺逐个进行详细设计,计算工艺过程中半成品与模具参数,生成图纸。设计采用先确定半成品形状及尺寸,然后根据半成品设计模具。程序中设计了逆推法和逆正法两种设计流程,同时提供进入任意工序设计的按钮。按逆推法设计,其流程为:末次引伸半制品设计→末伸前半制品设计→中间各次引伸半制品→挤孟工序→制坯工序→锻压工序→压底工序→收口工序→热处理→表面防腐蚀处理。按逆正法设计,其流程为:末次引伸半制品设计→挤孟工序→末伸前半制品设计→中间各次引伸半制品→制坯工序→锻压工序→压底工序→收口工序→热处理→表面防腐蚀处理。以末前伸冲模具和收口模设计为例,介绍药筒设计系统的工作原理方式如下。

3.4.1 末前伸冲模具设计

末前伸冲模的设计,在引伸冲模具的设计中最复杂。药筒产品所要求的体部机械性能与末伸及末前伸模具所确定的加工率密切相关。系统可根据设计者设定的引伸加工率及冲子递减量,给出初步的末前伸模子工作直径。计算末前伸模子几何参数,需采用三维设计软件外部模式计算末前伸模子工作直径。计算药筒末前伸模子工作直径时,首先生成半成品三维图,按照步骤依次选取底部平面以及半成品实体,系统根据之前设定的参数切除末伸根部加工率为 k_n 的高度 h_n 以上的部分并计算体积,点击“初步获得末前伸半制品”,系统根据初步的工作

直径生成半成品。计算与 h_n 相应的末前伸 h_{n-1} 以下的体积,并选取切口处内圆环面,内圆环面如图 5 所示。



a 生成半成品三维图

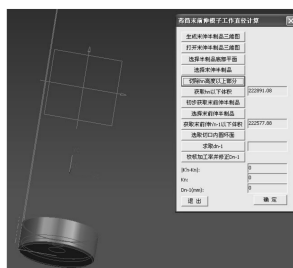
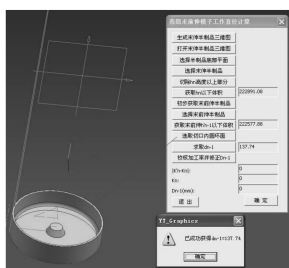
b 计算 h_n 高度部分的体积c 计算末前伸 h_{n-1} 以下的体积

图 5 末前伸工作直径计算

Fig. 5 Calculation of working diameter of drawing before th last drawing

确定内圆环面后可计算与 h_{n-1} 对应的冲子直径 d_{n-1} ,校核加工率并修正末前伸模子工作直径 D_{n-1} 。若计算结果误差过大,可由“初步获取末前伸半制品”阶段开始重复以上的步骤,直至得到合理的 D_{n-1} 值。完成末前伸冲子工作直径计算后,点击“冲模具其它参数设计”进入末前伸冲子参数设计模块(如图 6 所示),根据计算 $h_{k_{n-1}}$ 的方式选择是否进入 UG 内部模式进行计算。

3.4.2 收口模设计

收口是制造药筒的最后一道冲压工序。通过收口使压底后的圆筒形半制品直径减小,改成锥形及圆柱形的瓶形零件,达到产品图的形状和部分尺寸要求。收口模块由收口系数和收口次数、收口半制品、收口模设计、收口模结构设计等子模块组成。设计者首先须确定收口系统及收口次数,系统提供了收口基本参数表,为设计者的选择提供参考。先进行收口半制品尺寸设计,然后选择收口模设计方式,进入收口模设计界面,如图 7、图 8 所示。

进入收口模设计步骤之前,需计算产品弹性回

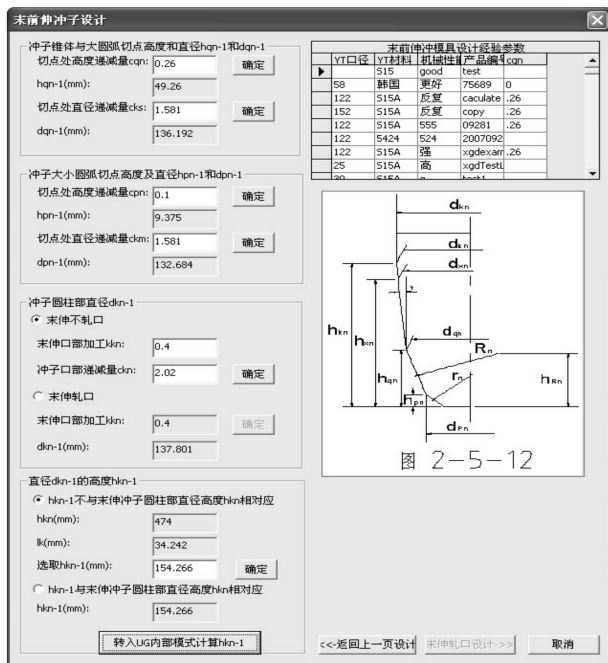


图 6 末前伸冲子设计界面

Fig. 6 Design of punch of drawing before th last drawing



图 7 收口系数及收口次数界面

Fig. 7 Necking coefficient and necking times

跳量。产品弹性回跳量有 2 种计算公式可供选择:近似计算公式(如图 9 所示)和经验计算公式(如图 10 所示)。弹性回弹量计算完成后点击“收口模设计”按钮,进入收口模设计界面(如图 11 所示)。收口模设计界面可完成收口模高度、体部高度、根部直径高度、模子全高等参数的设计与计算,并为设计者提供了相应的设计知识作为帮助。

收口模结构分为整体式、两节式和多节式,设计系统提供了相应的收口模结构设计界面,设计者依

收口半制品

是否整口
☐ 整口
☒ 不整口

径向尺寸计算
 整口量(mm): 0 确定
 口部最大外径 D_{kmax} (mm): 126.16
 收口后半制品口部外径 D_{ks} (mm): 126.16
 口部最小外径 D_{kmin} (mm): 126.16
 半制品斜肩部直径 D_{xs} (mm): 127.64
 半制品接底部直径 D_{js} (mm): 146.75

长度尺寸计算
 口部切口余量(mm): 16 确定
 半制品口部长度 l_{ks} (mm): 66
 斜肩部长度影响系数 k (mm): 0 确定
 半制品斜肩长度 l_{xs} (mm): 0
 半制品体部长度 l_{js} (mm): 398.5
 半制品全长 L_s (mm): 469.5

id	产品编号	dk1	dk2	Dx1	l
36	test				
47	75689	0	0	0	0
75	calculate				

图 2-6-25

产品弹性回跳量
☒ 近似计算公式 确定
☐ 经验计算公式 确定

<<<收口次数 收口模设计-->>>

图8 收口半制品尺寸设计界面

Fig. 8 Dimension design of half blank of necking

收口模设计—近似法弹性回跳计算

弹性回跳量计算—近似计算法
 材料弹性模量 E (*10e4): 207000 确定
 材料屈服极限 σ_b (Mpa): 805
 弹性回跳量 Δ (mm): 0.673

各部位直径的确定
 末次收口模口部直径 D_{km} (mm): 125.487
 下斜肩部直径 D_{xm} (mm): 126.967
 根部直径 D_{gm} (mm): 138.327
 收口模外径系数(mm): 1.65 确定
 收口模外径 D_w (mm): 228.24

<<<回跳量计算方法选择 收口模设计-->>>

图9 近似计算公式

Fig. 9 Approximate calculation equation

据药筒产品的要求,选择相应的收口模结构,通过界面提供的功能完成收口模具的结构设计(如图12所示)。

3.5 工艺力计算

工艺力计算模块用于计算各工序中的工艺力,选择相应设备。在该功能模块可以根据前面详细设计的参数对各个工序的工艺力进行计算。可以计算的工艺力包括镦饼工艺力、挤孟工艺力、镦压工艺

收口模设计—经验法计算弹性回跳量

弹性回跳量计算—经验计算法
 下部弹性回跳量系数 k_x : 0
 口部弹性回跳量系数 k_k : 0 确定

各部位直径的确定
 末次收口模口部直径 D_{km} (mm): 125.487
 下斜肩部直径 D_{xm} (mm): 126.967
 材料弹性模量 E (*10e4): 207000 确定
 根部直径 D_{gm} (mm): 138.327
 收口模外径系数: 1.65 确定
 收口模外径 D_w (mm): 228.24

<<<回跳量计算方法选择 收口模设计-->>>

图10 经验计算公式

Fig. 10 Experience calculation equation

收口模设计

收口模高度计算
 圆柱部高度系数(mm): 0 确定
 圆柱部高度 h_{ks} (mm): 0
 斜肩部高度 h_{xs} (mm): 0
 体部高度 h_s :
☐ 底缘定位
☐ 非底缘定位
 定位块高度与底缘最大厚度差 Δh (mm): 0 确定
 体部高度 h_s (mm): 0
 根部直径 D_{gm} 的高度 h_g (mm): 0
 模子全高 H (mm): 0

各部位圆弧半径的确定
 收口模根部圆角半径 r_3 (mm): 0
 收口模根部圆角 θ (°): 0 确定
 上斜肩圆弧半径 r_1 (mm): 0
 下斜肩圆弧半径 r_2 (mm): 0

图 2-6-27

<<<半制品尺寸计算 收口模结构设计-->>>

图11 收口模设计界面

Fig. 11 Design of necking die

收口模结构设计

收口模结构设计原则:
 收口模的结构设计 收口模的结构分为整体式、两节和多节式。1. 两节组合式结构 这种结构适用于中口径和长度较短的大口径产品。一般以斜肩为界,斜肩和口部为一节,体部为一节。2. 多节组合式结构 这种结构加工制造简单,可根据不同的磨损情况,分段更换,使收口模的使用寿命得到提高,适用于大口径产品。一般在体长1/2处分成大、中两节,或更多的节。3. 收口模中的排气孔和环形沟槽 不论是两节还是多节组合式收口模,收口时半制品各直径部分都受到很大的压缩应力,使半制品与模子紧贴,为了防止半制品因气体排不出去而产生纵向皱褶(瓦楞状)废品,在距收口模大节端面1/3~1/4处设计4个 $\phi 3$ ~4mm的通孔,在收口模大节的1/2或1/3处的

收口模的材料和技术要求:
 收口模在工作过程中与半制品产生强烈的摩擦,直径方向受切向和径向应力的综合作用,因此,要求模具有较高的强度和抗磨性。用作收口模的材料有: T10A、5CrMn-Mo、硬合金YG3、YG6等。合金模的外套采用 T10A、45钢,工作表面粗糙度 R_a 为0.40 μ m以下。模具工作表面硬度 $HRC_{60} \sim 64$ 。钢模工作表面应镀铬,直径方向铬层厚0.02~0.06mm。模具在制造过程中应保证各个直径间的同轴度及各平面与轴线的垂直度。各部位直径用样板检验。

图 2-6-28

两/多节组合式 局部图例
 <<<收口模设计 返回主菜单-->>>

图12 收口模结构设计界面

Fig. 12 Design of necking die structure

力、压底工艺力、收口工艺力,如图13、图14所示。

一次压底工艺力的计算

一般近似公式算法

单位压力 p (MPa): 950 确定

底部金属最终承压面积 A (mm²): 15284.08

压底力 F (kN): 14519.876

古布金近似公式算法

实际变形抗力 σ (MPa): 364

摩擦系数 μ : 0.3 确定

压底后的底缘直径 D_{ty} (mm): 164

压底后的底部厚度 t_{ty} (mm): 8.3 计算F

压底力 F (kN): 0

单位压力 p (MPa)与底部金属最终承压面积 A (mm²)的关系表

VT口径	产品编号	YD p
58	75689	0
122	calculate	950
152	copy	
122	09281	950

一次压底压底力的计算公式

1. 一般近似公式: $F = pA$

式中 F 为压底力 (kN);
 A 为底部金属最终承压面积 (mm²);
 p 为单位压力 (MPa);

2. 古布金近似公式: $F = \sigma \left(1 + \frac{\mu D_{ty}}{3 t_{ty}} \right) \cdot \frac{\pi}{4} D_{ty}^2$

σ 为实际变形抗力 (MPa);
 μ 为摩擦系数;
 D_{ty} 为压底后的底缘直径 (mm);
 t_{ty} 为压底后的底部厚度 (mm);

图13 压底工艺力计算界面

Fig. 13 Calculation of force of pressing bottom

收口工艺力近似计算

收口力 F 的计算(带斜肩):

摩擦系数 μ : 0.1 确定

σ (MPa): 674.016

α (MPa): 0.1

σ 平均(MPa): 674.016

摩擦系数 μ : 0.3 确定

收口模斜肩部半锥角 α (°): 0

考虑加工硬化的收口力 F (kN): -1

变形速度系数 K : 1

外界因素影响系数 b : 1.3 确定

系数 n : 1.262

收口力 F (kN): -1.641

收口力 F 的计算(不带斜肩):

修正系数 K : 2.3

摩擦系数 μ : 0.3 确定

收口力 F (kN): 110.243

外界因素影响系数 b 经验参数表

VT口径	产品编号	SK b
58	75689	0
122	calculate	1.3

$F_1 = 1.1 \cdot \frac{\pi D_{ty} (t_{ty} + t_{ty})}{2 \cos \alpha} (1 + \mu \sigma g \alpha) \left(1 - \frac{D_{ty}}{D_{ty}} \right) \sigma$

$F = K \sigma F_1$

$\sigma = \frac{\sigma_s + \sigma_e}{2}$

n 的取值范围

$\frac{D_{ty}}{D_{ty}}$	0.7	0.75	0.8	0.85
n	1.35	1.30	1.25	1.20

$F = k (D_{ty}^2 - D_{ty}^2) (M_f^2 - P_f^2)^{1/2} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

$M_f = \frac{\sigma_s D_{ty}}{D_{ty} - D_{ty}}$

$\sigma_s = 0.7 \sigma_s$

$P_f = \frac{2 t_{ty} (18 + 125 \sigma_s)}{D_{ty}}$

$\phi_0 = 1 - \frac{D_{ty}}{D_{ty}}$

图14 收口工艺力计算界面

Fig. 14 Calculation of force of necking

4 结语

药筒成形工艺设计系统将药筒设计中的理论知识与成熟案例集成在知识库中,将半成品和模具设计规则集成在设计程序和参数化图形中。设计过程中结合工艺实际采用基于规则和实例集成推理设计方式,可以完成药筒成形工艺设计中工序设计、半成品设计、模具设计和工艺力计算等工作。系统极大

地提高了药筒设计知识的智能化使用程度,大幅降低了设计人员在设计过程中非创造性工作,提高了药筒成形工艺及模具设计效率。

参考文献:

- [1] 钱杏轩. 钢质整体引伸药筒的设计与制造[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 179—358.
- [2] 黄少东, 刘川林, 张志明, 等. 数字化精密成形技术研究与应用[C]. 创新型国家中的公共安全与国家安全论文集(上), 2006: 137—145.
- [3] 文建峰. 基于 CBR/RBR 集成推理的薄壁圆筒件挤压工艺智能设计系统研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008
- [4] HAJAR M J, LEE S P. Applying Machine Learning Using Case-based Reasoning (CBR) and Rule-based Reasoning (RBR) Approaches to Object-Oriented Application Framework Documentation [J]. Computer society, 2005 (1): 52—57.