

质量驱动再制造产品设计研究*

Study on Quality-Driven Remanufacturing Product Design

西北工业大学管理学院 李娟 梁工谦

[摘要] 目前再制造企业一般没有重视再制造产品设计,针对这种情况,提出了再制造产品设计的概念、内容和设计过程,分析了再制造设计过程中的质量信息传递,建立了以质量功能展开(QFD)和故障模式与效应分析(FMEA)为质量设计工具,以物料清单(BOM)为质量信息管理支持的再制造产品设计系统模型,最后给出了该系统的初步实现方法。

关键词: 质量驱动 再制造产品设计 质量功能展开 故障模式效应分析 物料清单

[ABSTRACT] The current remanufacturing enterprises don't generally emphasis on remanufacturing product design. The conception, content and design process of remanufacturing product design are introduced. Quality information transfer of remanufacturing design process is analyzed, and a model of remanufacturing product design that combines QFD, FMEA and BOM is given. Lastly an initial integrated framework is presented to realize quality-driven remanufacturing product design.

Keywords: Quality-driven Remanufacturing product design Quality function development Failure mode effect analysis Bill of material

进入 21 世纪以来,中国再制造业随着保护地球环境、构建循环经济、保持社会可持续发展的国际化理念紧锣密鼓地开展起来。再制造是以废旧的或使用过的产品为加工毛坯,最大限度地重新利用产品附加值的新制造模式^[1]。再制造的产品从性能和质量方面要求能够抗衡,甚至超过新产品,因此再制造产品的设计规划工作就成为保证再制造产品质量的重中之重。然后,现实中再制造企业很少重视再制造产品设计,仅仅只是拿来废旧产品就开始改造,笔者根据这一情况提出再制造产品设计的概念及涵盖内容,并对其展开初步的研究。根据新产品设计概念和再制造过程的特殊性,再制造产品设计可以概括为根据对顾客需求的调查分析,结合回

收的废旧产品或零部件来设计再制造产品,包括产品的概要设计、详细设计、工艺设计、生产规划设计、质量保证设计等,目的是保证顾客需求的最大满足,以及废旧产品的经济、高效、环保的再利用。

质量驱动的再制造产品设计通过一系列产品设计质量控制方法和工具的有效集成,综合全面地考虑再制造产品整个生命周期中的质量问题,成为产生高质量低成本设计方案的有效方法之一^[2]。质量驱动的再制造产品设计可以解决以下 2 方面的问题:(1)充分地获取顾客对再制造产品的需求信息,用系统科学的方法转化为产品质量特征,使产品质量特征恰到好处的满足顾客需求;(2)目前大多数研究主要考虑产品的设计、制造阶段的质量特征,对于再制造质量设计的研究几乎没有,而质量驱动的再制造质量设计不仅要考虑回收废旧品的特性,还要考虑再制造中拆卸方法、再制造加工方法和工艺、再制造质量保证等,同时还要考虑再制造产品后续的使用、维护、再利用、资源的消耗及对环境的影响等。

1 再制造产品设计过程

再制造产品设计不仅要考虑新产品设计时需考虑的因素,还要着重考虑废旧产品的可利用性,所以它包含的范围更广^[3]。再制造产品设计过程(见图 1)主要包括以下几个步骤:

(1)废旧产品或零部件运输到再制造工厂后先进行整理分类,然后找出它的特性信息输入再制造系统数据库,判断有无相同的再制造方案。

(2)如果有,转入下一步,进行废旧产品或零部件可再制造性综合评价。根据以往相同或相似产品的评价方案标准进行评价,如果通过评价就转入再制造可行方案中寻找该废旧产品或零部件的最佳再制造方案及生产工艺方案。

(3)如果没有,转到下一步,进行废旧产品再制造设计。再制造设计主要包括搜集调查再制造产品顾客需求或者直接从顾客需求信息库中进行挖掘,确定产品质量需求,再确定零部件质量特性,然后确定再制造工艺和生产步骤,确定新的再制造性综合评价标准,新的标准要输入再制造系统数据库。最后根据新标准进行

* 国家自然科学基金(70771089)、西北工业大学人文社科与管理振兴项目(RW200819)资助。

再制造性综合评价,如果评价通过就转入再制造可行方案中评选最佳再制造方案及生产工艺方案,新的再制造方案同样要输入再制造系统数据库。再制造产品设计阶段需要大量的质量信息,包括原产品质量信息和再制造过程中的质量信息,这些质量信息的组织管理工作非常庞大和复杂,笔者提出了基于 BOM 的再制造质量信息模型,具体参考“2”部分。

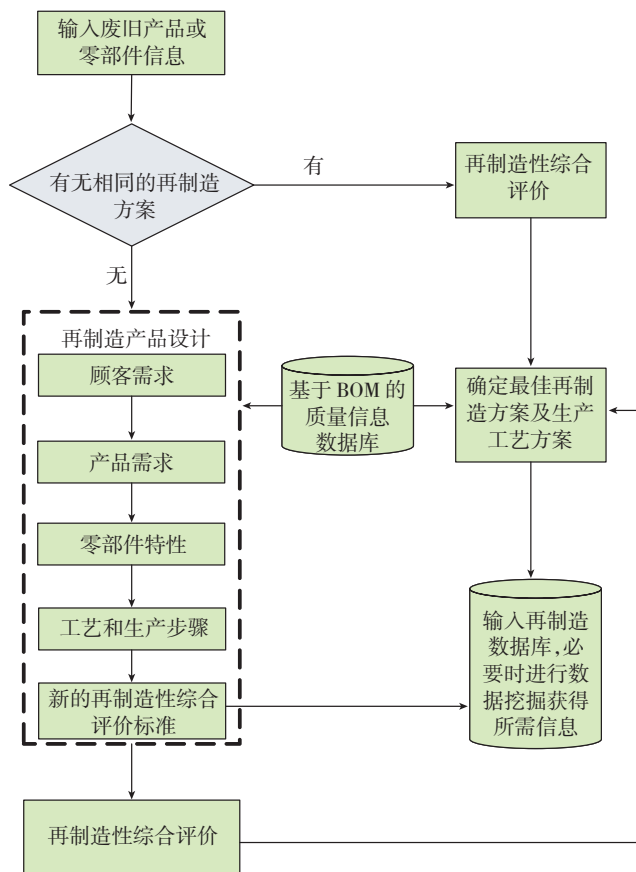


图1 再制造产品设计过程

Fig.1 Process of remanufacturing product design

2 基于 BOM 的再制造质量信息模型

基于 BOM 的再制造质量信息模型为再制造产品设计工作提供了最重要的质量信息支持,应用 BOM 视图作为再制造质量信息的组织形式和载体,组织和管理工作生命周期中的再制造质量信息,可以使再制造质量信息的存储和提取更为有序和合理。同时各种 BOM 视图转化方法的应用保证了这些 BOM 数据的传递性、完整性、正确性和一致性^[4]。根据产品再制造的生产过程,再制造 BOM 可以分为拆解 BOM、清洗 BOM、加工 BOM、装配 BOM 以及整装试验 BOM,再制造质量信息分布于各种 BOM,如图 2 所示,图中所出现的“原”代表收集过来的废旧产品的原始信息。

拆解 BOM 是再制造质量信息的源头,再制造产品预处理中心参考原产品结构表、原装配结构清单以及原装配工艺清单,设计出产品及部件的拆解步骤,也就是产品/部件的拆解结构表,在拆解过程中形成拆解设备清单、质量故障信息、产品/部件拆解记录等。再制造产品预处理中心根据拆解 BOM 将再制造的废旧产品及其部件有规律地按顺序分解成全部零部件,同时保证满足后续再制造工艺对拆解后可再制造零部件的性能要求^[5]。

清洗 BOM 是根据原部件/零件的结构表和属性表来选择零部件清洗技术,即清洗技术分类明细和清洗关键工序明细,然后设计清洗步骤,从而形成零部件清洗设备清单和清洗记录表。再制造产品预处理中心根据清洗 BOM 将拆解中心提供的零部件进行工件表面清洗,保证不同的零部件根据其属性采用最适合的清洗方式。

检测 BOM 是根据原部件/零件的结构表、装配属性表、零件属性表以及原基本品质规范来选择相应的检测工艺及技术,从而确定零部件可再制造性的判断标准,形成零部件检查记录、不合格品记录、检查设备清单、质量特性指标和质量故障信息等。再制造产品装配检测中心按照检测 BOM 选择相应的检测方法和技术、检测工艺等,确定拆解后废旧零件的表面尺寸及其性能状态,根据检测结果,进行可再制造性综合评价来决定改零部件的再制造性的可行性。

加工 BOM 是根据原部件/零件的属性表、原基本品质规范、原产品结构表以及拆解结构表等来确定可再制造零部件的加工技术及方法,即加工方法分类明细和加工关键工序明细,然后进行工艺设计,形成加工指令清单、加工工艺清单、加工工时清单、加工物流清单以及设备配置清单等。再制造产品加工中心根据加工 BOM 对废旧产品的失效零部件进行几何尺寸和性能恢复或升级,恢复后的零部件质量和性能可以赶上甚至超过新件。

装配 BOM 根据原产品结构表、原装配结构清单、原装配工艺清单、原部件结构表、原装配属性表等来确定可再制造零部件的装配类型和方法,然后制定再制造装配工艺,拟定装配工艺过程,编写工艺文件,形成质量特性指标文件、装配结构清单、装配工艺清单、装配物流清单、装配工时清单等。再制造产品装配检测中心按照装配 BOM 在装配过程中,包括组装、部装和总装,根据产品的批量、尺寸和重量大小等选择合适的装配方法、制定合理的装配工艺过程来保证产品质量。

整装试验 BOM 根据原产品品质规范来确定可再制造产品的质量考核标准和考核规范,然后制定整装试验的程序步骤,在整装试验中形成整装试验指令清单、整装零部件程序清单、整装试验规范、整装试验记录、不合格品产品记录、不合格品处理办法记录等。再制造产品

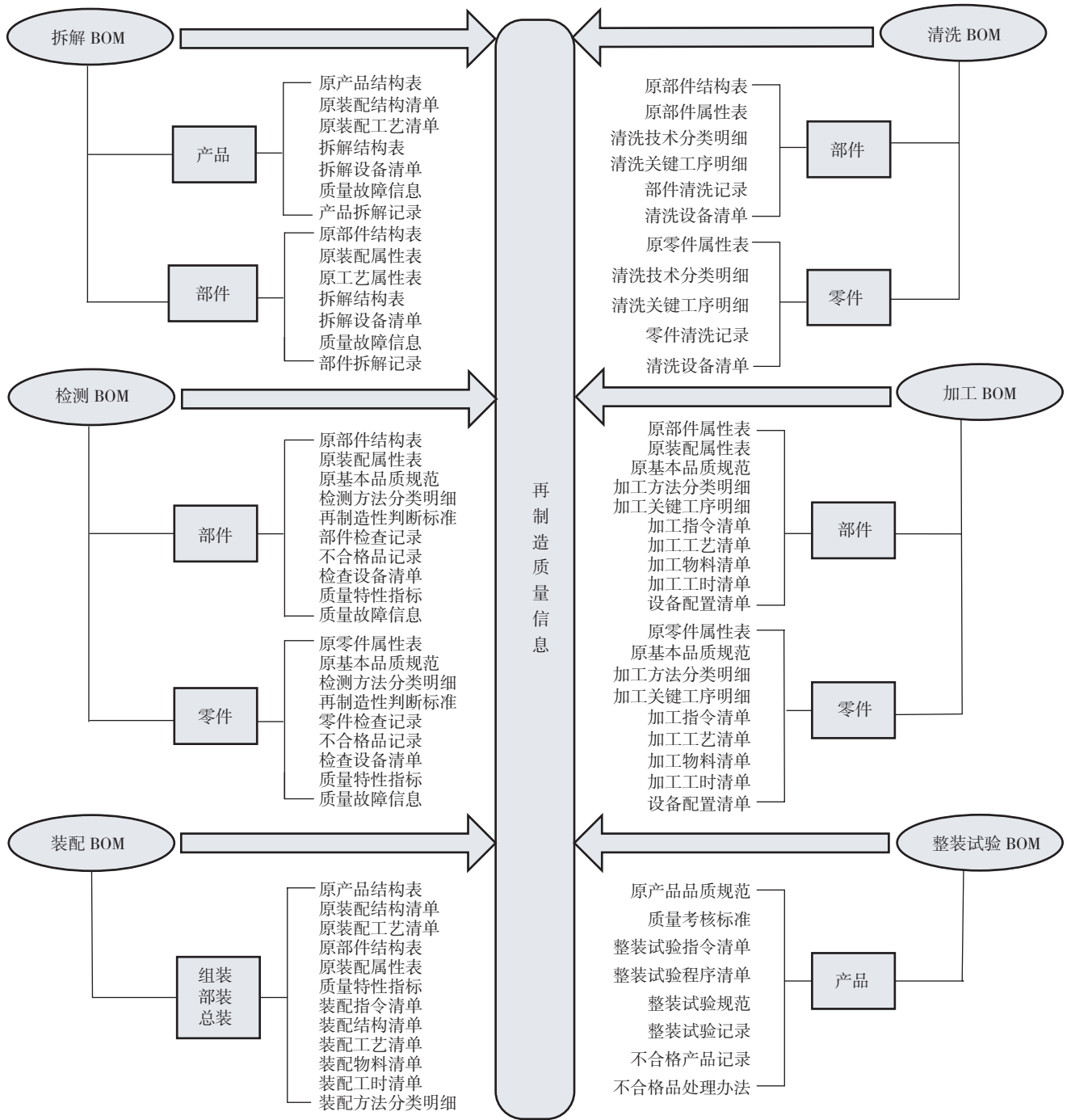


图2 基于BOM的再制造质量信息模型

Fig.2 Information model of remanufacturing quality based on BOM

装配检测中心按照整装试验 BOM 确定试验规范, 检验再制造总装配的质量、各零部件之间的协调配合工作关系, 并进行相互连接的局部调整。

3 质量驱动再制造产品设计系统模型

质量驱动再制造产品设计系统模型主要目标是基于质量驱动的再制造产品设计系统的集成设计, QFD 是使再制造产品设计面向顾客需求, FMEA 的使用是

为了在再制造产品设计阶段减少风险、提高可靠性, 也就是说 FMEA 是为了产品可靠地满足顾客需求^[6], 基于 BOM 的再制造过程质量信息模型是为了保证再制造产品的设计质量, 如图 3 所示。

QFD 通过一系列的质量功能配置矩阵将顾客的需求转化为产品质量特征, 然后再转化为子系统、零部件、工艺步骤、工艺控制参数等, 在这个过程中, 基于 BOM 的再制造过程质量信息模型为 QFD 提供大量的支持信

息。QFD 从需求分析到采用质量屋 / 矩阵图解法将对顾客需求的实现过程分解到产品开发的各个过程和职能部门中去,协调各部门的工作,以保证最终产品质量,它支持产品的正向思维。

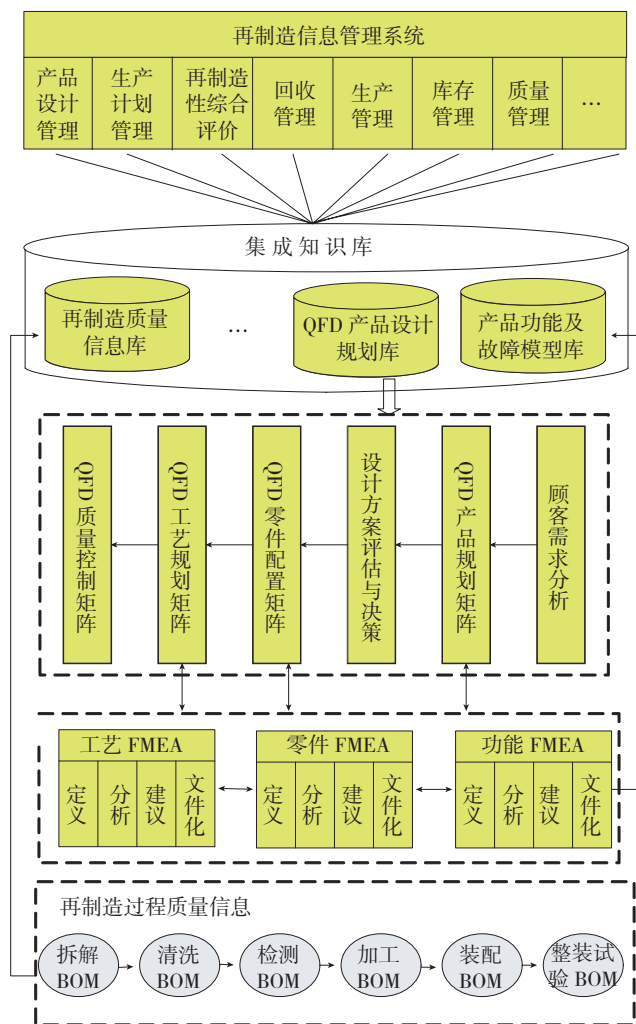


图3 质量驱动再制造产品设计系统模型

Fig.3 Model of quality-driven remanufacturing product design system

FMEA 作为一种设计决策技术,通过识别、分析最可能发生的故障情况,对潜在的故障,分析因果关系,决定故障处理的优先度,它支持产品设计的逆向思维。QFD 和 FMEA 二者有机结合,可以在规划成功开发策略的同时,分析、减弱、消除故障因素,更好地保证和提高产品质量。随着 QFD 分析的逐级细化到零件层, FMEA 逐层分解到相应的零部件单位,结合再制造过程 BOM,将零件配置矩阵转换为关键的元器件特征。在零件 / 子系统配置阶段,应尽量了解原有产品、相似产品的生产环境和维修的长期记录,以提高设计的可靠性^[7]。根据 QFD 质量功能配置的重要程度,结合功能 FMEA 的分析结果,选择优先权大的进行零件 FMEA,提出预防

措施,按照故障模式优先程度予以解决。根据故障原因,可分为 3 种处理方式^[6]:(1)如果故障是由于上一阶段制定的目标值不合理,则故障分析的信息返回到 QFD 配置矩阵的上一阶段,指导 QFD 重新配置;(2)如果故障可以在本阶段解决,则将预防措施反馈到 QFD 配置矩阵的同一阶段,为相应的“HOW”项制定合理的目标值或增加新的“HOW”项;(3)如果故障必须通过下一阶段采取措施予以保证,则将已有的“HOW”项连同权重及目标值向下一阶段的 QFD 配置矩阵传递,作为对下一阶段的用户要求,即“WHAT”项,通过 QFD 分析,提出相应的“HOW”项。

再制造产品设计过程以及再制造整个管理过程都必须有基于 BOM 的再制造过程质量信息模型提供所需质量信息。这些质量信息不仅包括产品原有设计信息、生产信息、质量信息、故障信息,还包括再制造过程将产生的各种设计、拆卸、加工、质量控制过程信息。

4 系统实现方法

质量驱动再制造产品设计系统体系结构如图 4 所示。该结构可分为 6 层:(1)支撑层为系统提供支撑平台,包括计算机网络系统、数据库管理系统等;(2)数据存储层主要存储与再制造产品设计决策相关的数据,包括再制造质量信息、QFD 产品设计过程信息以及 FMEA 故障信息等,为系统应用逻辑处理提供数据支持;(3)数据接口层提供应用逻辑层和数据存储层之间交换数据所需的接口,该系统采用 STEP 标准及 SDAI 接口,STEP 是 ISO 为了不同的工程系统之间实现产品数据交换制定的标准;STEP 以 EXPRESS 作为形式化的产品模型描述语言,以 SDAI 作为产品模型数据的操作接口,不同的系统之间以中性文件或数据库形式进行产品信息集成;

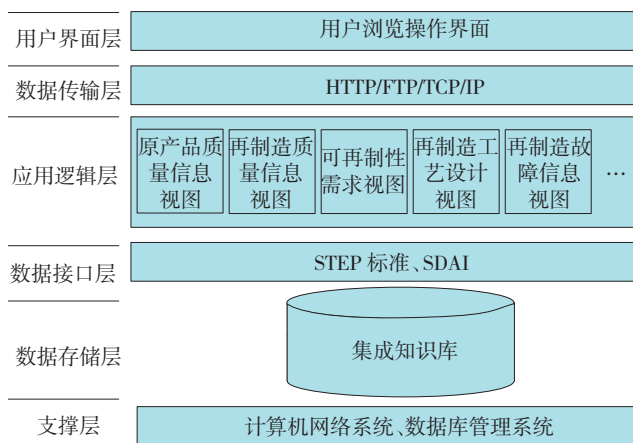


图4 系统实现方法

Fig.4 System realizing method

(下转第 73 页)

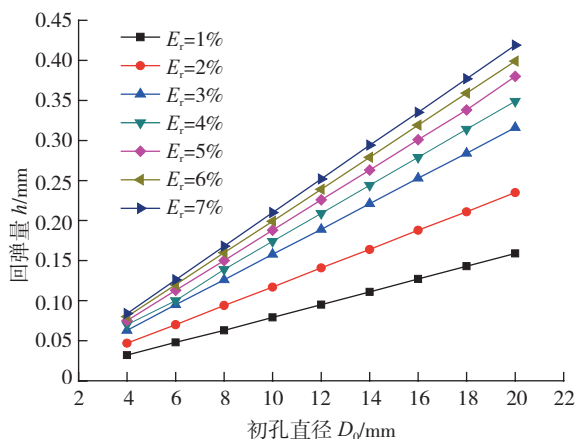


图5 TC4孔冷挤压后回弹量

Fig. 5 Springback of cold expanded holes in TC4

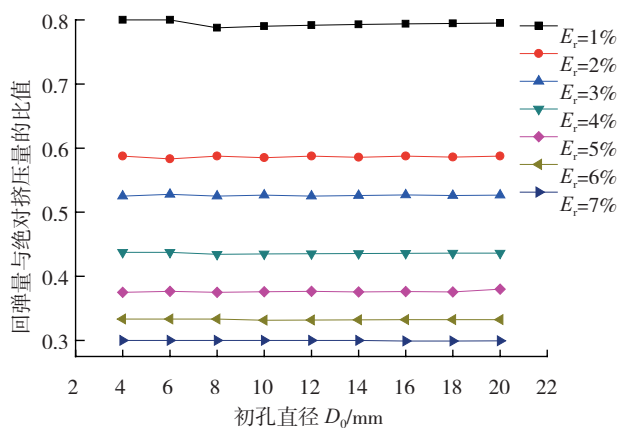


图6 TC4孔冷挤压后回弹量与挤压量比值

Fig. 6 Ratio of springback to expansion degree of cold expanded holes in TC4

4 结论

(1) 本文以幂强化材料弹塑性理论为基础,给出了孔冷挤压后回弹量计算方法。模型计算 TC4 钛合金孔冷挤压后回弹量,与试验测量值具有较好的一致性,验证了模型的正确可行。

(2) 利用模型对 TC4 钛合金孔冷挤压后回弹量进行计算分析。TC4 钛合金孔冷挤压后回弹严重,甚至超过挤压量的一半;随着孔径的增加、挤压量的增大,回弹量亦有所增加;回弹量与绝对挤压量的比值与孔径大小无关,仅受相对挤压量影响,相对挤压量越大,比值越小。

参考文献

- [1] 路纲,张翥,惠松晓,等. Ti-18 高温高强钛合金研制. 稀有金属, 2002, 26(4):271-276.
- [2] 赵永庆,曲恒磊,冯亮,等. 高强高韧损伤容限型钛合金 TC21 研制. 钛工业进展, 2004, 21(1):22-24.
- [3] Karabin M E, Barlat F. Numerical and experimental study of the cold expansion process in 7085 plate using a modified split sleeve. Journal

of Materials Processing Technology, 2007, 189:45-57.

[4] 陈明,傅仕伟. 带切缝衬套冷挤压强化工艺研究. 新技术新工艺, 1997, 6:27-29.

[5] Mahendra Babu N C, Jagadish T, Ramachandra K. A simplified 3-D finite element simulation of cold expansion of a circular hole to capture through thickness variation of residual stresses. Engineering Failure Analysis, 2008, 15:339-348.

[6] 杨洪源,刘文斑. 孔挤压强化疲劳增寿效益的试验研究. 机械强度, 2010, 32(3):446-450.

[7] 郭万林. 有限圆板内孔冷挤压和过盈配合问题的弹塑性分析. 固体力学学报, 1992, 13(2):164-168.

[8] Pavier M J, Poussard C G C, Smith D J. A finite element simulation of the cold working process for fastener holes. Journal of Strain Analysis, 1997, 32(4):287-300.

(责编 晓立 良辰)

(上接第 69 页)

(4) 应用逻辑层是系统的核心部分,系统业务逻辑在此完成,它包括原产品质量信息视图、再制造质量信息视图、可再制造性需求视图、再制造工艺设计视图以及再制造故障信息视图等;(5) 数据传输层是数据传输时采用的协议,如 HTTP/FTP/TCP/IP 等;(6) 用户界面层是为方便设计和工艺人员通过浏览器界面获取经过应用逻辑层处理后的信息。

5 结束语

提高再制造产品质量,降低成本的关键在最初的再制造产品设计阶段。本文提出的质量驱动的再制造产品技术系统框架模型,立足于现有废旧产品,有效整合 QFD 和 FMEA 质量设计和质量控制工具,充分利用 BOM 在再制造过程中的信息管理组织作用,从而有效保证了废旧产品的充分利用、再制造最终产品成本、工期和质量的有效结合,并可以为再制造产品设计的发展提供基本理论基础和方法。

参考文献

- [1] 姚巨坤,朱胜. 再制造设计理论及应用. 北京:机械工业出版社, 2009:1-13.
- [2] Krause F L, Ulbrich A, Woll R. Method for quality-driven product development. Annuals of the CIRP, 1993, 42(1):151-154.
- [3] 陈翔宇,梁工谦. 再制造业及其生产模式研究综述. 中国软科学, 2006(5):80-88.
- [4] 张新卫,同淑荣,徐显龙,等. 基于 BOM 的制造质量信息获取. 制造业自动化, 2006(11):1-3.
- [5] 庄新村,吴瑜,顾瑾,等. 基于 BOM 的拆卸过程管理. 辽宁工程技术大学学报, 2006(2):268-271.
- [6] 申继民,同淑荣,王克勤. 基于 ERP 的质量驱动产品设计研究. 计算机应用研究, 2006(3):17-19.
- [7] 李秀,应维云,刘文煌. CIMS 环境下产品质量系统工程. 北京:机械工业出版社, 2004:55-60.

(责编 夏宛)