

学号: 14071902394

湖南理工学院

毕业设计

题目: 滑移式起重夹钳装置主机的加工工艺设计

作者: 钮 科 届 别: 2011 届
院别: 机械工程学院 指导教师: 谭湘夫
专业: 机械设计制造及其自动化 职 称: 副教授
完成时间: 2011 年 5 月 15 日

摘要

机械夹钳机构是机械制造装备的重要组件,当夹钳机构钳口开口因夹持不同尺寸大型工件而有较大变化时,存在夹持力波动很大的情况,因而很难保证夹持的可靠性,甚至造成夹持机构功能失效。

本文详细介绍了夹钳装置设计过程和一些零件加工工艺方法,快速成型加工和数控加工,薄壁零件在加工过程中容易变形,加工精度难以保证,如果能采用合适加工工艺,完全可以解决这一问题。

本文针对典型的轴类零件数控加工工艺的分析,给出了对于一般零件数控加工工艺分析的方法。

关键字: 夹持力; 夹钳装置; 加工工艺设计; 夹钳强度

ABSTRACT

The mechanical clamping mechanism is an important component part of mechanical manufacturing equipment. There exists a situation of large fluctuation in clamping force while the vice jaw opening of clamping mechanism has rather large variations on account of clamping large-scaled work-pieces of different dimensions, therefore it is very difficult to ensure the reliability of clamping or even causing failure on the function of clamping mechanism.

The processing method and jig designing process of some cylinder body were introduced. In the processing of thin wall cylinder components, they are easy to distort, so it is very difficult to guarantee the precision.

At last, technology analysis is very important, on the basis of analyzing technologies of shaft components' NC processing, the methods of usual components' NC processing technologies were given out, which was significant for actual manufacture and enhancing products' quality.

Keywords : clamping force; Clamping devices; processing craft designing; shaft components process

目 录

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
1 前言.....	1
1.1 起重夹钳国内外发展情况.....	1
1.2 起重夹钳加工的发展情况.....	3
1.3 研究的主要内容及解决的主要问题.....	3
2 100KG 起重夹钳装置机构原理和作用.....	4
2.1 100KG 起重夹钳装置机构的结构.....	4
2.2 100KG 起重夹钳装置机构的基本原理.....	5
3 100KG 起重夹钳装置机构的材料选择.....	5
3.1 100KG 起重夹钳装置机构结构优化分析.....	5
3.2 起重夹钳装置主机的钳臂的材料选择.....	9
3.3 起重夹钳装置主机的钳口的材料选择.....	10
3.4 夹钳机构运动过程的可靠性研究.....	11
4 100KG 起重夹钳装置主要部件的加工工艺设计.....	14
4.1 利用快速成型进行加工设计.....	14
4.2 轴类零件的数控加工工艺设计.....	17
4.3 薄壁零件加工工艺设计.....	20
4.4 用线切割加工吊臂的加工设计.....	23
5 结论.....	25
参考文献.....	26
致 谢.....	28

1 前言

1.1 起重夹钳国内外发展情况

工业革命之后，随着工业化的大步发展，各种起重夹钳的应用也逐渐广泛起来了。

在90年代，国外一些工业强国对夹钳的研究已有了较大突破。

1996年，日本三菱商事株式会社（MCG）与太原重型机械集团公司合作，研制成功七台板坯夹钳搬运起重机，该产品已达到90年代初国外同类产品的先进水平^[1]。国内的起重夹钳的研究起步较晚，在新中国成立以前，中国基本上没有自主研发的能力。1993年2月16日太原重型机器厂举行了70t动力开闭式板坯夹钳试车演示会。在试车演示会上，该产品通过了空载和负荷试车的考验，性能达到了设计要求，可供连铸厂和热连轧厂用作板坯起吊或一般取物作业。该夹钳装置采用PC控制，有多重电气保护和重新起动回路，能检测和显示钳口开度和板坯厚度，比我国经常使用的重力夹钳的生产率高，操作方便而且安全可靠^[2]。

2000年宝山钢铁股份有限公司生产的一种钳式起重机夹钳在传统的钳式起重机夹钳的结构基础上，将夹钳的二个钳腿中的一个钳腿的中部拐角处自上而下形成分叉状并构成二个支钳腿，二个支钳腿与另一个钳腿仍呈交叉状，以此形成了“三钳腿”的结构。在起吊长规格模具钢时，依靠一个钳腿中的二个支钳腿以及另一个钳腿可以牢固地接触到模具钢侧面，增加了钳腿与模具钢侧中的接触点和面积，较传统的夹钳相比，本实用新型的夹钳更适合于进行起吊模具钢，它既避免了起吊的模具钢发生倾翻现象，又提高夹钳的使用功能；2006年山西某公司生产的热板坯动力夹钳起重机其夹钳的技术关键：(1)利用螺杆传动实现钳以臂水平开闭运动。(2)通过优化设计和模拟试验确定了合理的倾斜角，使夹持力足够大，而外形尺寸最小。(3)夹钳的开闭机构采用了磁粉离合器和零速检测开关，控制钳口对板的初始夹紧力和钳口的初始夹紧运动，并实现对电动机过载的保护。(4)首次采用了多对钳臂，实现对长、短板的夹取，这在国外也是首创^[3]。(5)采用两套独立的开闭机构，可以实现斜坯的夹取；2008年河南某公司生产的100T多用途旋转铝铸造夹钳起重机主要创新点是多种吊具更换完成多种作业，夹钳部分采用了全液压装置，液压旋转、液压夹紧、松开，钳齿的形状和材料耐高温耐磨，任意板宽均有齿尖相接触；采用绕性钢绳斜拉三角形防摆等，均为国内领先水平。

同年太原重型机械集团有限公司生产的六爪式动力板坯夹钳，其上横梁分别通过三个连接铰轴与三个开闭梁连接，每个开闭梁安装有开闭机构和双向螺杆及螺母，双向螺杆及螺母上的轴连接钳臂，开闭机构通过驱动装置带动链轮、链条传动双向螺杆，双向螺杆回转使螺母带动一对钳臂作开闭运动。本发明与现有技术相比，不仅适用板坯规格范围大，板坯堆取更加灵活方便，而且尺寸小、自重轻。大连华锐股份有限公司生产的防摇板坯夹钳起重机包括桥架、大车行运机构、小车、卷筒、吊架、动滑轮，钢丝绳，板坯夹钳，特征是：所述的“十”字形吊架由相互垂直的两个直梁构成，于两直梁的两端顶面处依序设I#、II#、III#、IV#吊点，于I#、II#、III#、IV#吊点处分别装设由支座支承的两个动滑轮，与小车I#、II#卷筒相对应的动滑轮上、分别用钢丝绳经缠绕连接构成四绳四边“V”字形式的钢丝绳系；于“十”字型吊架的某一直梁的两端底面对称连接板坯夹钳；本实用新型不仅设计合理，结构紧凑，在大车及小车运行方向上既不摇摆，又不旋转，使得板坯夹钳定位准确、夹取迅速，而且提高作业生产效率，以及具有操作安全，使用十分方便等优点^[4]。

国外起重夹钳技术发展要比我国早很多，而且因此其技术也日趋成熟。荷兰公司1985年的起重钳产品样本就列有521种不同规格的各种用途起重钳，最大起重量已达40吨，可用于钢铁厂、造船厂、化工厂、铁路、码头和仓库等部门，进行快速吊运和装卸各种垫材，以及焊接和装配构件，铺设轨道，维修设备等作业，能提高工效，减轻劳动强度。荷兰、日本、瑞典、英国等国都有专业厂家生产各种起重钳^[5]。

由此可见，随着国内工业的发展，特别是入世以后，国内的起重夹钳技术达到了一个相当的高度，有一些甚至达到了国外的水平。

目前世界销售市场对起重机械的需量正在不断增加，这也使得起重夹钳也得到了快速发展，从而使国外各种制造起重机企业在生产中更多地采用优化设计、机械自动化和自动化设备去提高劳动生产率，这对世界销售市场、制造商和用户都产生了巨大的影响。近年来，美国因制造技术、质量问题和价格昂贵等原因，降低了其在世界上的竞争能力；联邦德国德马克公司，由于实行了生产技术振兴，解决了提高生产的工艺手段，以占优势的新产品来保持其发展的优势^[6]。

1.2 起重夹钳加工的发展情况

现在国内的起重夹钳的运用情况基本上就三种：重力夹钳、电动开闭的重力夹钳和动力夹钳三种夹钳装置。在这三种当中，动力夹钳因其成本较高，扩大推广受到一定的影响，但由于其优越的工作性能，特别是钳口可实现准确的三维跟踪、可靠夹起梯形坯、较高的工作效率和不损失起升高度，为实现冶金企业的自动化具有无可比拟的优点。因而我们认为动力式夹钳在现代起重机夹钳发展上将占越来越重要的作用^[7]。

国外起重夹钳技术的发展趋势：

(1) 设计、制作的计算机化、自动化

近年来，随着电子计算机的广泛应用，许多国外起重机制造商从应用计算机辅助设计系统(CAD)，提高到应用计算机进行起重机的模块化设计，这也使得对起重夹钳的设计也有了突破，根据市场调查预测的统计数字和积景的资料、图表、图线规律，在严密的科学理论指导下，拟定起重夹钳结构、机构、部件等多层次的标准件、模块化单元。对起重夹钳的改进，只需针对几个需要修改的模块，设计新的起重夹钳只需选用不同的模块重新进行组合，提高了通用化程度，可使单件小批量的产品改换成相对批量的模块生产，亦能以较少的模块形式，组合成不同功能和不同规格的起重夹钳，满足市场的需求，增强竞争能力。

(2) 新材料、新工艺的应用由于钢铁工业新技术的应用。

钢材质量得以提高在机加工方面，尽量采用少切削的精密铸件，尤其是铝合金铸件占多，加工设备大量采用高精、高效的加工中心，数控自动机床等，既保证加工质量，又提高了生产率，降低了成本。同时在工艺线上，使用机械来代替人工操作，如焊接用的机械手和配用机械手等。国外起重机厂商为了能迅速制造和装配出品种多样化的产品来，要求企业之间密切联系和协调，企业走向专业化，标准化和系列化^[8]。

1.3 研究的主要内容及解决的主要问题

依据毕业设计的目的和要求，通过谭老师的精心指导及查阅大量国内外文献资料，结合在实习中所遇到的问题和用户提出的要求，100KG 起重夹钳机构要求达到结构简单、安全可靠、操作方便和效率高的目的。分析其合理性与可行性，为设计的开展打好基础，拟定初步设计方案及步骤。本次设计中，我们将主要解

决以下几个方面的问题：

- (1) 夹钳装置的总体设计；
- (2) 主要的零部件结构设计及强度分析；
- (3) 夹钳机构的设计；
- (4) 夹钳装置主要零部件的材料的选择以及其工艺过程；
- (5) 具体的设备装配方案。

2 100KG 起重夹钳装置机构原理和作用

2.1 100KG 起重夹钳装置机构的结构

图1 所示为100KG起重夹钳装置机构，由夹钳加持部位、定滑轮、三角支撑架、底座及其底座下面的动力旋转装置构成，其功用用于加持100KG以下物品，可从物品初始搁置区域，夹取物件，将物件放到指定区域，图2所示为底座俯视图。

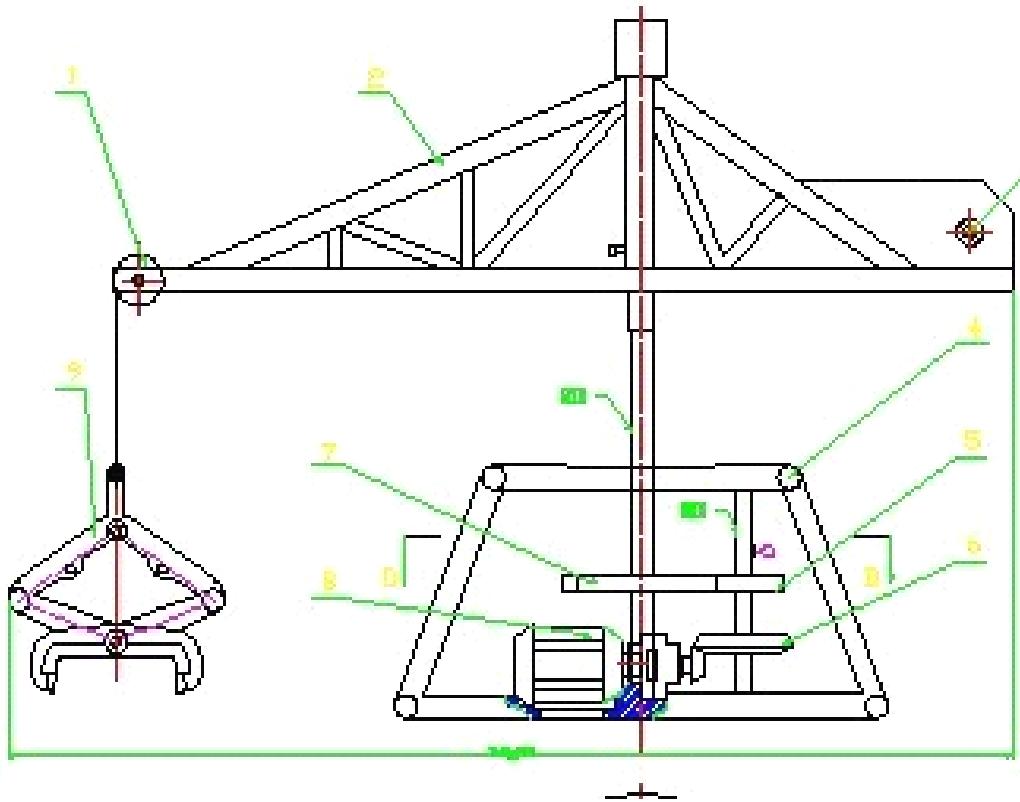


图 1 100KG 起重夹钳装置机构

1. 定滑轮 2. 三角支撑架 3. 起吊电机安装部位
4. 底座 5. 传动轮

2.2 100KG 起重夹钳装置机构的基本原理

夹钳装置是起重夹钳设备的取物装置，起重夹钳设备能否可靠地工作，主要取决于夹钳的性能。

夹钳装置是起重夹钳设备的取物装置，它与起重设备的几个工作机构配合，可从物品初始搁置区域，夹取物件，将物件放到指定区域。此外，夹钳起重装备还可用来自移物件或夹上其它无关物品来清理杂物。夹钳起重机在完成上述工艺程序时，由于运行速度较快，振动大，夹持的又往往是各种各样的物品，因此夹钳装置的各个零部件除应有足够的强度外，还应有良好的夹持性能，保证夹持的物件不至从钳口脱落。

3 100KG 起重夹钳装置机构的材料选择

3.1 100KG 起重夹钳装置机构结构优化分析

起重夹钳是一种工作效率很高、适应性极强、用途非常广泛的设备。起重夹钳的机构复杂、运动过程难以预测、夹持的可靠性难以把握、作业场地的危险性较大。

这是设计起重夹钳的一个矛盾，恰当的参数既能够满足夹钳工作的安全性、又使钳体自重适当，因此很有实际意义。图3为夹钳装置整体优化流程图。

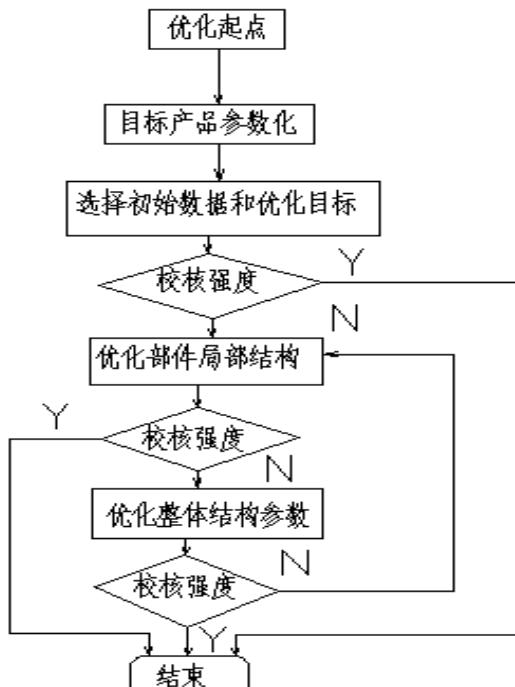


图 3 夹钳装置整体优化流程图

要保证夹钳的安全要求,必须符合以下条件:(1)它的临界摩擦因数必须小于材料的实际摩擦因数,否则,带卷不能被夹持起。更为可怕的是,带卷被瞬间吊离地面后从钳口滑落,导致产生不可估量的损失。(2)夹钳各钳臂所受应力必须满足下式

$$\sigma < \frac{\sigma_s}{N_s}$$

式中 σ ——夹钳所受的最大应力
 σ_s ——所选材料的屈服极限
 N_s ——安全系数

夹钳的传递系数为起重机对夹钳及带卷的吊运力与该力传递到钳口上正压力大小的比值,它是夹钳本身的固有属性,由夹钳的结构唯一确定。传递系数越大,钳卷间所需产生的正压力越大,带卷越容易被夹持起,即所需要的临界摩擦因数越小,然而,夹钳各铰接点的受力也随之增大,导致钳臂的厚度必须增加,从而使夹钳体积庞大、自重增大;传递系数若是减小,机构的自重也会减轻,但降低了工作过程的安全性。本次夹钳的整体优化设计,力图能够满足所有的设计要求,并使设计目标为最优,例如重量、面积、体积、应力为最小^[3]。该机构整体优化设计的流程如图3 所示。

3.1.1 夹钳的结构参数化

图2 为该夹钳的单边简化机构图。从上往下依次定义为上钳臂、外钳臂、下钳臂。

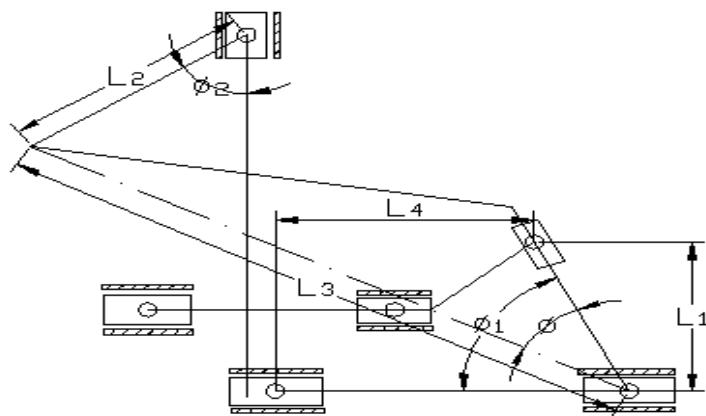


图4 夹钳机构原理图

图中11、12、13、14、 ψ 为夹钳构件的几何尺寸， ψ_1 、 ψ_2 为位置尺寸，C、B分别表示夹钳内、外钳口伸缩的移动副；FA是起重机对夹钳及带卷的吊运力(吊运力作用在图4所示的吊架上)，FB、FC分别表示内、外钳口作用在带卷上的正压力。

3.1.2 上钳臂的受力分析

忽略上钳臂的自重，把它简化为二力杆，如图4所示，它的受力大小为

$$F_{sa} = (G/2)\cos\psi \quad (3-1)$$

$$F_{sax} = F_s dx(G/2)\operatorname{ctg}\psi_2 \quad (3-2)$$

$$F_{say} = F_s dy(G/2) \quad (3-3)$$

式中：

F_{sa} 为上钳臂A点的受力； F_{sax} 、 F_{say} 分别为它在x、y方向的分力；G为夹钳和带卷的重力之和。

3.1.3 外钳臂各支点的力

图5为外钳臂的受力图，根据图中关系得出

$$F_{we} = F_{wd}\sin(\psi_4 + \psi_5)\sin\varphi_1 / l - G_w\cos(\psi_1 - \psi)\sin\varphi_1 / l \quad (3-4)$$

式中， G_w 为外钳臂的自重。由上式可推出3个铰接点的受力大小为

$$F_w dx = f_{sax} \quad (3-5)$$

$$F_w dy = F_{say} \quad (3-6)$$

$$F_{wex} = F_{we}\sin\psi_1 \quad (3-7)$$

$$F_{wev} = F_{we}\cos\psi_1 \quad (3-8)$$

$$F_{wbx} = F_{wex} - F_w dx \quad (3-9)$$

$$F_{wbv} = F_{wev} - F_w dy - G_w \quad (3-10)$$

3.1.4 夹钳的传递函数

图4中标出的为外钳口和内钳口的受力大小，从该机构原理图的力学关系不难推出

$$F_B = F_{whx} \quad (3-11)$$

$$F_c = F_{wex} \quad (3-12)$$

可得到夹钳的传递函数表达式为

$$\begin{aligned} K &= 2(F_B + F_C) / G = 2(F_{wex} + F_{wbx}) / G \\ &= 4(F_{wex} / \sin(\psi_4 + \psi_5) \sin\psi_1 2 / Gl - 4G_w / 4 \cos(\psi_1 - \psi) \sin\psi_1 2 / Gl - 2F_{sax} / G) \end{aligned} \quad (3-13)$$

K 定义为传递函数, 表示起重机对夹钳及带卷的吊运力与该力传递到钳口上正压力大小的比值。

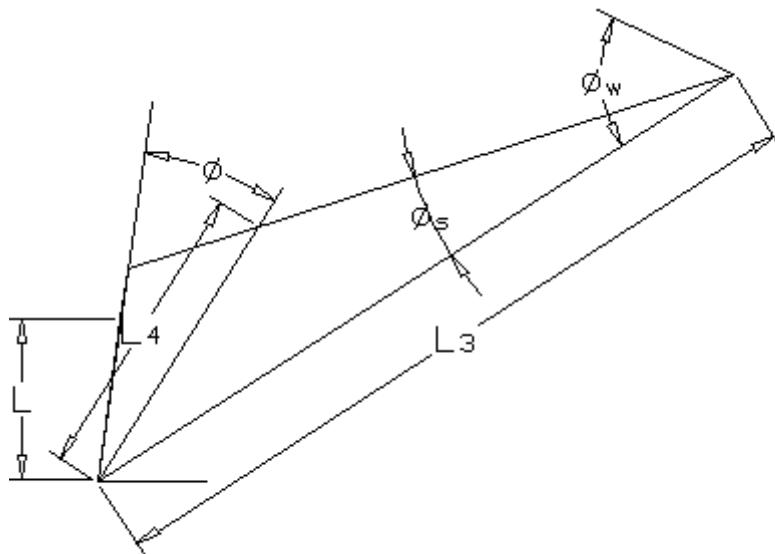


图 5 外钳臂受力图

3.1.5 确定参数

定义夹钳的自重和机构的临界摩擦因数为目标函数, 定义机构的结构尺寸(板件的长度、宽度和其他细节尺寸)为设计变量。钢对钢的静摩擦因数无润滑时为 0.15、有润滑为 0.1~0.12; 钢对钢的动摩擦因数无润滑时为 0.1、有润滑时为 0.05~0.1^[4]。考虑到夹钳在实际工作时钳口可能有少许带卷轧制乳化液渗入, 所以设计的摩擦因数必须小于 0.1。为了保证安全可靠性, 根据理论分析, 把夹持最大带卷外径时的摩擦因数暂定为 0.07, 在满足上述条件以及结构紧凑和美观的条件下确定一组优化设计参数 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 Ψ 、 Ψ_1 、 Ψ_2 。在满足夹钳的核心参数条件下, 得出其他部件的参数, 用虚拟建模软件, 根据生产实际和工作要求建立夹钳的整体三维模型, 见图6。

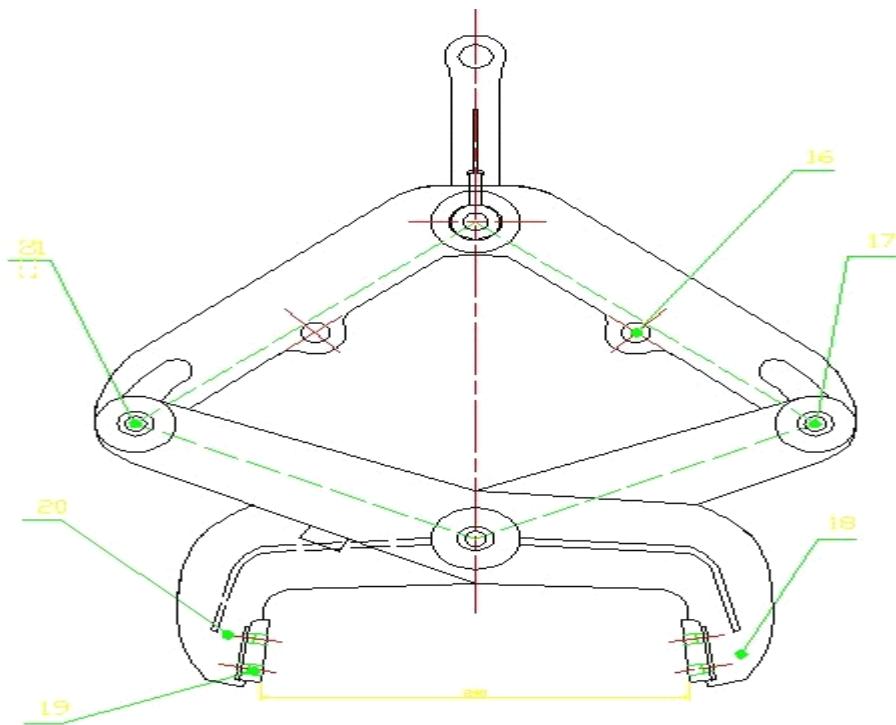


图 6 夹钳结构示意图

除应有足够的强度外，还应有良好的夹持性能，保证夹持的物件不至从钳口脱落。

3.2 起重夹钳装置主机的钳臂的材料选择

起重夹钳是一种工作效率很高、适应性极强、用途非常广泛的设备。起重夹钳的机构复杂、运动过程难以预测、夹持的可靠性难以把握、作业场地的危险性较大。为了能满足安全要求，钳臂的选材要求有较高的强度和抗冲击性能。下面我们讨论几种工程上常用的几种碳钢和合金钢。普通碳素结构钢又称普通碳素钢。与优质碳素钢相比，对含碳量、性能范围以及磷、硫和其他残余元素含量的限制较宽。我国和某些国家根据交货的保证条件，把普通碳素钢分为三类：甲类钢（A类钢），只保证力学性能，不保证化学成分，乙类钢（B类钢），只保证化学成分，不保证力学性能；特类钢（C类钢），既保证化学成分，又保证力学性能。特类钢常用于制造较重要的结构件。

常用碳钢的用途举例：

Q195、Q215，用于铆钉、开口销等及冲压零件和焊接构；。

Q235、Q255，用于螺栓、螺母、拉杆、连杆及建筑、桥梁结构件；

Q275，用于强度较高转轴、心轴、齿轮等。

合金钢按用途分可分为合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢。低合金结构

钢是一种低碳、低合金含量的结构钢，其碳含量小于0.2%，合金元素的含量小于3%。这类钢与含碳量相同的非合金钢相比具有较高的强度，还有较好的塑性、韧性、焊接性和耐蚀性等。所以多用于制造桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、油罐、输油管等。

常用低合金高强度结构钢的用途：

Q295，用于油槽、油罐、车辆、桥梁等；

Q345、Q390，用于油罐、锅炉、桥梁、车辆、压力容器、输油管道、建筑构件等；

Q420、Q460，用于船舶、压力容器、电站设备、车辆、起重机械等、

Q345 属低合金高强度结构钢，有较好的塑性、韧性，多用于桥梁、车辆、压力容器等，能满足要求，所以选择钳臂的材料为Q345。

3.3 起重夹钳装置主机的钳口的材料选择

该JQ100 起重夹钳用于搬运高温钢坯，所以钳口的材料要求耐高温，且在高温时有较好的热硬性。夹钳在工作时钳口的受力和磨损是最大的，所以在选取钳口材料时要选用机械性能很好的材料才能满足要求。在这里我们选用热作模具钢H13。H13 系引进美国的H13 空淬硬化热作模具钢。执行标准GB/T1299—2000。统一数字代号A201002；牌号4Cr5MoSiV1；化学成分%：C：0.32 至0.45，Si：0.80 至1.20，Mn：0.20 至0.100，Cr：4.75 至5.100，Mo：1.10 至1.75，V：0.80 至1.20，P 小于等于0.030，S 小于等于0.030；热处理：790 度预热，1000 度（盐浴）或1010 度（炉控气氛）淬火，保温5 至15min 空冷，再进行5100 度中温回火；其性能、用途和4Cr5MoSiV 钢基本相同，但因其钒含量高一些，故中温（600 度）性能比4Cr5MoSiV 钢要好，是热作模具钢中用途很广泛的一种代表性钢号。

热作模具钢H13 有如下特性：

(1) 高的机械性能。尤其在受热条件下，保持高的屈服强度和韧性，从而使模具的工作部分不发生变形和破坏，为此要求有高的抗回火稳定性。

(2) 优良的耐热疲劳性。从热作模具钢断裂失效形式来看，大多是热机械疲劳断裂。因此热作模具钢应具有高的热机械疲劳断裂抗力指标。为此钢材必须有合理的合金化和具有高的断裂刃性。此外模具钢应有良好的导热性和可能小的膨胀系数，还要有较高的临界温度。使模具在工作温度下不发生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变以减小

应力值。

(3) 高的淬透性。保证较大尺寸的热变形模具沿整个截面有均匀一致性能，尤其是韧性。

(4) 抗氧化能力。尤其是受热较高的模具。

热作模具钢对硬度要求适当，侧重于红硬性（热硬性），导热性，耐磨性。因此含碳量低，合金元素以增加淬透性，提高耐磨性、红硬性为主。以上良好的机械性能保证了夹钳钳口的各种使用要求，所以我们选用它作为钳口材料。

3.4 夹钳机构运动过程的可靠性研究

夹钳的机构复杂，夹持的可靠性难以把握。当夹持小物体时，在起重机放下夹钳后钳体有可能会卡死，导致钳体不能在自重下复位。如图7所示，当起重机放下物体时，外钳臂C点所受的力和物体的自重产生的力矩之和使外钳臂产生顺时针的转动，且能克服下钳臂施加给外钳臂B点逆时针的阻力矩，使外钳臂绕A点顺时针转动，则实现了夹钳的复位，即须满足下式：

$$F_C l_1 + G_W l_2 > F_b l_3 \quad (3-14)$$

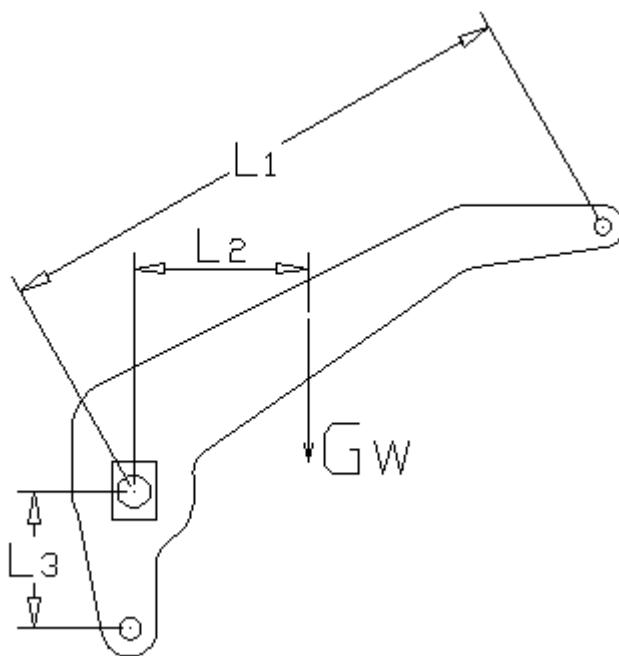


图 7 外钳臂决定复位的可靠性

经分析后可得出下面两种情况将导致夹钳不能在自重下复位：

(1) 若外钳臂所受的各种力对A点产生的力矩的代数和使外钳臂绕 A点逆时针转动, 即满足:

$$F_c l_1 + G_w l_2 < F_b l_3 \quad (3-15)$$

那么, 当夹钳被起重机放下时, 钳卷将会贴在一起, 即内、外钳口不能松开。但通过虚拟模型的仿真发现, 这种现象没有发生, 也就是说夹钳机构不能运动到相应的极限位置。

(2) 若外钳臂 C铰接点受的外力和自重产生的主动力矩之和不能克服下钳臂施加给外钳臂 B铰接点的阻力矩, 当夹钳被起重机放下时, 钳体将会卡死, 即:

$$F_c l_1 + G_w l_2 = F_b l_3 \quad (3-16)$$

从图 7 可看出, 若夹持的物体直径越小, 外钳臂绕A点逆时针转动的角度越大, 因此, 11 和12会减小, 1 会增大, 导致钳体越容易卡死。所以要使夹钳避免产生卡死现象, 只须保证在夹持最小物体时不出现卡死。图上标明了外钳臂对A点的所有力臂, 下面研究在什么条件下夹钳不会出现卡死现象^[9]。F 是吊架传递到钳臂上的力, 由下式确定:

$$F_d = G / \left[2 \cos \left(\frac{\pi}{2} + \alpha - \beta \right) \right] \quad (3-17)$$

其中 :G—吊架的重量。由结构可知:

$$L_7 = l \sin \alpha$$

于是由力矩守恒可得:

$$F_d l \sin \alpha = G_s l_6 \quad (3-18)$$

(5) 其中: G_s —上钳臂的重量; l —上钳臂两交警链间的距离; l_6 —上钳臂重心对 C点的力臂。

联立(4)、(5)可以解出 F_d 、 α 的值, 于是可得:

$$\begin{aligned} F_{dx} &= F_d \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta \right) \\ F_{dy} &= F_d \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta \right) \end{aligned} \quad (3-19)$$

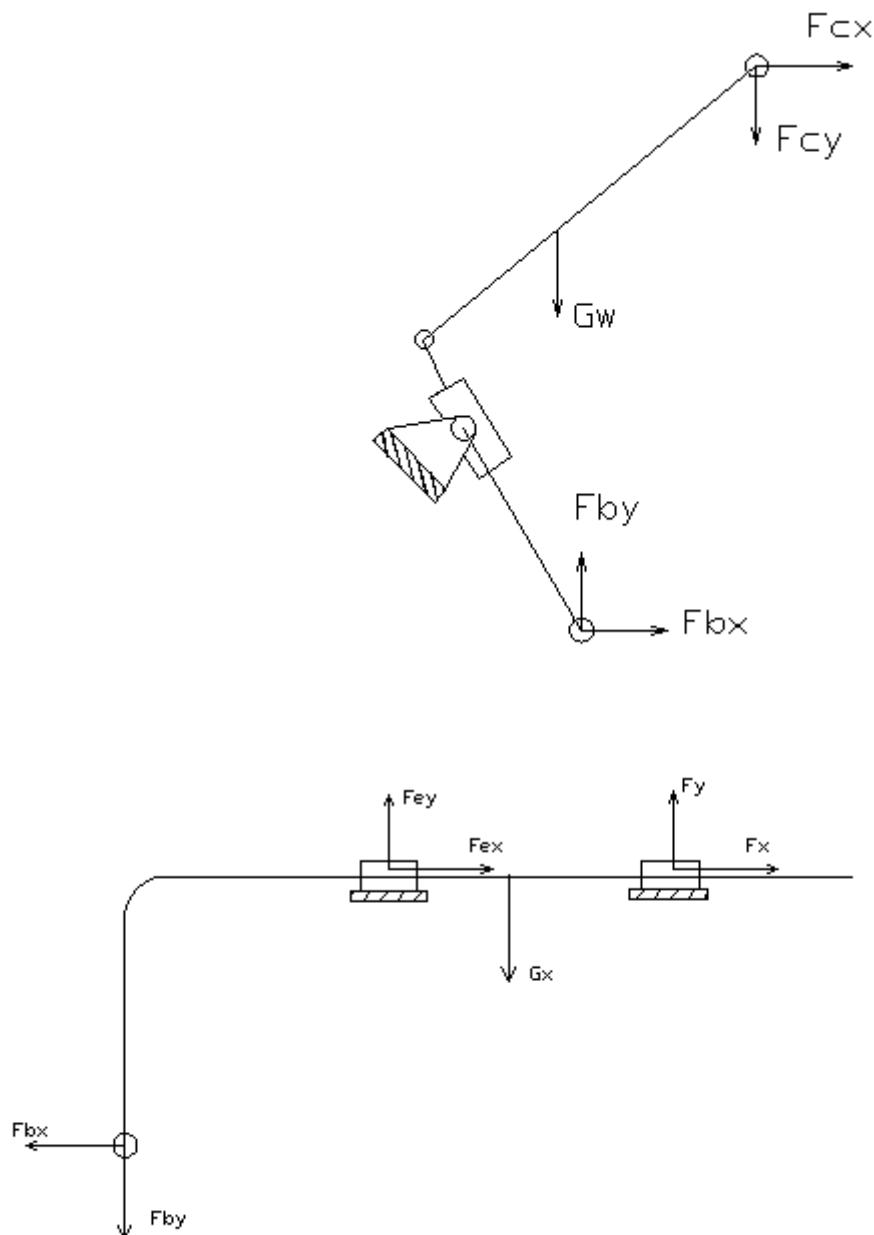


图 9 下钳臂受力简图

由图8可得：

$$F_{bv} = F_{cv} + G_x = F_d \cos(2 + \alpha - \beta) + G_x + G_w \quad (3-20)$$

由图9可得：

$$N_x = F_{cy} + F_y = F_{by} + G_x = F_d \cos(2 + \alpha - \beta) + G_s + G_x + G_w \quad (3-21)$$

式中： N_x ——下钳臂在竖直方向的正压力。于是可得：

$$F_{bx} = F_{cx} + F_x = f \cdot N_x \quad (3-22)$$

满足不憋死的条件是：

$$F_{cx}J_1 + F_{cy}J_2 + G_wJ \geq F_{bx}J + F_{by}J \quad (3-23)$$

式(11)即可判断夹钳是否会产生卡死现象。代入参数计算得，当摩擦因数大于0.45时，夹钳将会在复位过程中卡死。而实际摩擦因数小于0.15，所以，夹钳不会发生卡死现象。

4 100KG 起重夹钳装置主要部件的加工工艺设计

4.1 利用快速成型进行加工设计

快速成型机(Rapid prototyping, 简称Rp)如图(10)技术是基于材料累加法的一种产品高新设计与制造技术^[8]。

它将计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机数字控制、精密伺服驱动和新材料等先进技术集于一体，能快速将CAD三维模型制成实物原型，不仅提高了CAD模型的可视性和直观性，还可用于功能测试。将快速成型技术与精密铸造和塑料加工工艺结合起来，可以快速、经济地制造小批量生产用模具，从而为新产品试制提供良好的条件。如图10为快速成型制造技术原理图。



图10 快速成型机

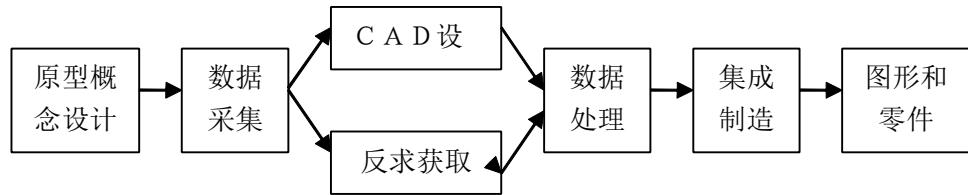


图 11 快速原型制造技术原理图

a. 快速成型技术分类

根据成型工艺技术可以分为激光技术、微滴技术和激光微滴技术。

(1) 激光的快速成形工艺SL 工艺称为光造型或三维光刻；SGC 工艺称为实体磨削固化；LOM 工艺称为分层实体制造；间接SLS 工艺称为间接选择性激光烧结；直接 SLS 工艺称为直接选择性激光烧结。

(2) 微滴的快速成型工艺

PCM 工艺称为无模铸造；FDM 工艺称为熔融堆积成形；BPM 工艺称为弹道粒子制造；MJS 工艺称为多相喷射固化；CC 工艺称为轮廓成型艺。

(3) 激光微滴技术

b. 快速成型技术的优点：

(1) 缩短了产品研制开发周期。快速成型技术的应用使设计与制造融为一体，

设计方案能很快变成实物，以便尽快验证、定型和得到用户的认可。(2)可以大大提高新产品开发的一次成功率，降低研发成本。可以在短时间内(如一周至两周)对设计进行反复多次修改、核实和优化。(3)降低产品复杂程度对制造的限制。由于快速成型技术是分层制造，因此可以将产品制造过程分解为简单的二维制造，不受产品复杂内部结构的限制，降低了制造的难度，并解决了制造精度的问题^[10]。

C. 用快速成型技术研制夹钳夹钳是广泛应用于冷轧带钢生产工艺流程中的一种机械吊运装置，主要用于搬运轴线垂直于水平面且立式放置的冷轧带卷，此类吊具一般由多个空间复杂连杆机构组成。在传统的制造技术中，要使带卷的搬运轴线垂直于水平面是很难做到的，因此，应用快速成型技术来研制夹钳以降低风险是完全必要的。下面以利用三维CAD 软件和粉末材料选择性法(如图12 所示)为例，来阐述夹钳的设计开发过程。

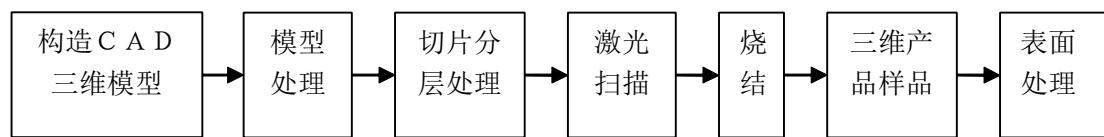


图 12 粉末材料选择性烧结法工艺流程

三维CAD 实体建模：由于快速成型系统只能接受计算机机构造的产品三维模型，然后才能进行切片处理，因此利用计算机三维造型软件生成一个三维计算机图形以及对应的数据，是快速成型的前提条件。自由建模是利用计算机三维建模软件所提供的基本方法，通过定义点、线、面等完成二维实体CAD 建模。有以下3 种建模方法：

- (1) 线框建模
- (2) 表面建模
- (3) 实体建模

首先通过三维软件对夹钳进行产品设计，由于零件外形不属于不规则复杂曲面，在造型中采用了拉伸、旋转、扫描等基本的特征形体方法，充分发挥了主维软件的实体建模功能。由于大部分三维软件是基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动的设计，大大方便了产品的修改。在单个零件设计完成后进行零件的装配，通过三维CAD 的分析功能进行装配检查、优化设训，并能轻而易举地完成多

个方案的设计。图3所示为用三维CAD设计渲染后的夹钳模型，夹钳的主要结构一锁闭。

为了实现产品创新系统在工艺品的CAD创作设计和快速原型制造，应考虑到各种软件之间的数据转换和各种输入输出设备的接口。(1)扫描输入专用软件和系统主体软件的接口：下维实体扫描仪扫描得到的数据，经专用软件可以被储存为DXF、STL、BMP，灰度图像文件BMP、3DMF和VRMI等文件格式，其中主要是DXF、VRMI格式，并通过输入接口模块提供的函数实现文件格式的转化，将其中的IGES或DXF格式的数据文件转化为本系统处理的文件格式^[11]。(2)系统主体软件和通用平台的接口：通过系统的输入和输出接口模块，可以提供对DXF、IGES、OBJ等文件格式支持，从而实现了和AutoCAD、waveFront等通用三维建模软件的公共接口问题。(3)快速成型机专用软件和系统主体软件的接口：快速成型机是通过专用软件来驱动的，由于快速成型技术需要的是对象的切片数据，因此，快速成型机专用软件可以接受的标准数据文件格式是有限的，一般为STL和IGES格式，通过输出接口模块提供的函数来实现从本系统处理的数据文件格式到STL和IGES的转换，来满足快速成型机专用软件的需要，最终完成由快速成型机输出模型。

快速成型系统和三维CAD系统之间通过STL文件可得到切片平面内成型件的内外廓线，供快速成型进行烧结。成型过程：(1)先在工作台上铺一层粉末材料，并加热至略低于熔化温度；(2)然后激光束按照截面形状进行扫描，被扫描的部分材料熔化、粘接成型，不被扫描的粉末材料仍呈粒状作为工件的支撑；(3)一层成型后，工作台下降一个层高，再进行下一层的铺料和烧结。烧结出的模型经过表面处理后制成蜡型用于铸造样件，在很短的时间内得到样品。该成型方法成本较低，且得到的夹钳样品能够很好地模仿实际产品。利用快速成型制造的夹钳的各个样件，可以与其它部件组装，进行装配试验和功能试验，检验设计的合理性^[9]。

4.2 轴类零件的数控加工工艺设计

工艺分析是数控加工编程的前期工艺准备工作，无论是手工编程还是自动编程，在编程之前均需对所加工的零件进行工艺分析。如果工艺分析考虑不周，往往会造成工艺设计不合理，从而引起编程工作反复，工作量成倍增加，有时还会发生推倒重来的现象，造成一些不必要的损失，严重者甚至还会造成数控加工差错。因此，全面合理的工艺分析是进行数控编程的重要依据和保证^[12]。

工艺分析要点说明，通常，除按常规分析诸如零件的材料、形状、尺寸、精度、表面粗糙度及毛坯形状、热处理要求外，还应根据数控编程的加工特点，关注以下要点。图样尺寸的标注与轮廓参数的确定在审查与分析零件图样时，尤其应关注合理的尺寸标注与编程原点的选择，以及零件轮廓参数的几何条件必须充分。一般情况下，零件设计人员在标注尺寸时，因较多考虑装配方面等使用因素，常采用局部分散的尺寸标注方法，这样会给工序安排与数控加工带来某些不便之处，由于数控加工精度及重复定位精度都较高，不会产生较大的积累误差而影响使用性能。因此，建议将局部尺寸的分散标注改为以同一基准引注尺寸或直接注出坐标尺寸。根据数控加工编程的特点，零件图样上应以同一基准引线标注尺寸或直接注出坐标尺寸，这样既便于编程，又利于尺寸间的相互协调，力求使设计基准、工艺基准、测量基准与编程原点（或编程基准点）保持一致性。编程原点作为编程坐标的起始点和终止点，它的正确选择直接影响到零件的加工精度和坐标点计算的难易，在选择编程原点时应注意以下原则：(1) 编程原点最好与图样上的尺寸基准（设计基准与工艺基准）相重合；(2) 编程原点的选择应有利于编程和数值计算简便；(3) 编程原点所引起的加工误差应最小；(4) 编程原点应易找出，而且测量位置也较为方便。

零件结构的工艺性分析：(1) 避免造成欠切削或过切削现象在数控车床上加工圆弧与直线、或圆弧与圆弧连接的内外轮廓时，应充分考虑其过渡圆弧半径的大小，因为刀具刀尖半径的大小可能会造成过切削或欠切削的现象，若发现这种情况，可采用刀具刀尖半径自动补偿方法予以解决；用铣刀加工内外轮廓时，刀具的切入点与切出点应选在零件轮廓几何参数的交点处，并应选择合适的切入或切出方向，以免造成欠切削或过切削，影响加工质量。

(2) 内槽侧壁之间转角处圆弧半径不宜过小，槽底与侧壁的圆角半径不宜过大。用铣刀加工内槽侧壁间转角处圆弧，其圆弧半径R 不宜过小；在铣削零件内槽底平面时，槽底与侧壁的圆角半径r 不宜过大。夹具选择方面，可以选择数控车床上的最通用的夹具—三爪卡盘。

表 1 轴类零件加工工艺方案

序号	工序名称及加工程序	工序内容	刀	备注
1	车工件左端及内腔 三爪卡盘装夹工件	1. 车工件左端面	大偏角刀	
		2. 车工件左端外圆弧至工件总长	大偏角刀	

			外切槽刀	
			外螺纹刀	
		3. 车工件左端内腔	内切槽刀	
			内螺纹刀	
2	车工件右端及右腔三爪卡盘装夹，夹紧 工件 φ29 处外圆 02002	1. 车工件端面至总长尺寸	大偏角刀	
		2. 车工件外形与原外圆弧相接	大偏角刀	
		3. 车工件右端内腔	大偏角刀	
			内切槽刀	
			内螺纹刀	

由表1 的工艺过程分析可知, 本方案不需要辅助夹套, 可省下车削夹套的材料和时间, 但是, 在调头装夹后, 只装夹了工件的很短的一部分, 对于像本例中比较细长的轴类零件的车削, 存在装夹不安全的因素, 并且由于装夹不可靠, 还会在车削过程中引起振动, 造成工件同轴度的误差较大。因此, 除了使用卡盘, 还可以采用顶尖形成一夹一顶的方式, 具有较好的安装固定效果的加工质量^[13]。

刀具及对刀点、换刀点的分析, 刀具的分析与普通机床相比, 数控加工时对刀具提出了更高的要求, 不仅要求刚性好、精度高, 而且要求尺寸稳定、耐用度高、断屑和排屑性能好, 同时要求安装调整方便, 满足数控机床的高效率。大偏角刀用来车削端面, 外圆及圆弧, 采用较大的副偏角, 可以避免连接圆弧时产生过切现象。镗刀用于内孔的加工, 要注意镗刀刀杆不能过长, 否则会使刀具刚性较差, 并且在车削时产生让刀, 使钢尺寸产生偏差。本例中的内切槽刀、内螺纹刀、外切槽刀、外螺纹刀, 选用方案相同, 在此不再赘述^[14]。

对刀点、换刀点的位置分析, 工件装夹方式确定后, 即可通过确定工件原点来确定工件坐标系。如果要运行程序来加工工件, 必须确定刀具在工件坐标系开始运动的起点。

程序起始点或起刀点一般通过对刀来确定, 所以, 该点又称为对刀点。在编制程序时, 要正确选择对刀点的位置。对刀点设置原则是: 便于数值处理和简化程序编制; 易于找正并在加工过程中便于查找引起的加工误差小。对刀点可以设置在加工零件上, 也可以设置在夹具或机床上。在本例中, 工件右端面与轴线的交点作为对刀点, 完全符合对刀点的设置原则, 对刀点都处理较好。换刀点的选择, 以换刀

时不碰工件或其他部件为准。

切削用量的分析，数控编程时，编程人员必须确定每道工序的切削用量，并以指令的形式写入程序中。切削用量包括切削速度、进给速度及背吃刀量等。对于不同的加工方法，需要选用不同的切削用量。切削用量的选择原则是保证零件加工精度和表面粗糙度，充分发挥刀具切削性能，保证合理的刀具耐用度，并充分发挥机床的性能，最大限度提高生产率，降低成本^[15]。

切削速度的分析，实际切削速度应根据允许的切削速度和工件（或刀具）直径来选择。根据本例中零件的加工要求，考虑工件材料为铝件，粗加工选择转速600r/min，精加工选择800r/min车削外圆，考虑细牙螺纹切削力不大，采用400r/min来车螺纹，而内孔由于刚性较差，采用粗车400r/min，比较容易达到加工要求，切槽的切削刀较大，采用200r/min更稳妥。

进给速度的分析，进给速度是数控机床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工进度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取。最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制，一般粗车选用较高的进给速度，以便较快去除毛坯余量，精车以考虑表面粗糙和零件精度为原则^[16]。

背吃刀量的分析，背吃刀量根据机床、工件和刀具的刚度来决定，在刚度允许的条件下，应尽可能使背吃刀量等于工件的加工余量，这样可以减少走刀次数，提高生产效率。为了保证加工表面质量，可留少量精加工余量，一般取0.2~0.5mm。

4.3 薄壁零件加工工艺设计

用车床加工薄壁零件时，在工件的安装、刀具的使用、加工方法等方面，均有较多不利因素，因而加工起来比较困难。零件壁薄，刚性差，强度弱，在装夹及加工过程中很容易产生变形。大直径薄壁零件由于存在加工过程中容易变形的特点，难以保证其加工精度。零件外部的碗形底部外侧面有60°的斜度并带有圆弧，装夹较为困难。另外夹具夹紧部位宜选择零件碗形底部外侧面（带60°斜度），碗形底部平面做为轴向定位基准。设计夹具中要考虑到零件毛坯的碗形底部60°斜度外圆夹紧面与夹具夹紧配合要精密，还要考虑加工中因夹紧力、切削力、切削热等影响而产生变形的因素。影响薄壁零件加工精度的因素有很多，但归纳起来主要有以下三个方面：受力变形、受热变形、振动变形。在编制加工工艺和设计夹具过程中，需要充分考虑上述的三个方面的因素。薄壁零件用数控车削的方式进

行加工,为此要对工件的装夹、刀具几何参数、程序的编制等方面进行试验,从而有效地改善薄壁零件加工过程中出现的变形,保证加工精度^[17]。

由于薄壁零件在车削过程中容易产生振动,因此在编制程序时,一定要合理安排加工顺序和工艺参数。一般情况下,由于加工内孔时刀杆伸出较长,刚性降低,因此车削内孔比外圆更容易产生振动,所以应采用先加工内孔再加工外圆的工艺流程,这样做的目的是可以在加工零件内孔时使工件保留较大的壁厚,以提高工件刚性,降低切削振动。在程序中可以不设置刀尖圆弧补偿,以简化加工程序,也不会影响加工精度。还有在吃刀深度、走刀量恒定的情况下提高主轴转速有利于降低表面粗糙度。但机床转速过高切削过程中振动增加反而影响工件的表面质量,还有在切削力(特别是径向切削力)的作用下,很容易产生振动和变形,影响工件的尺寸精度、形状、位置精度和表面粗糙度。另外还要考虑到该零件加工中在切削力(特别是径向切削力)的作用下,如夹爪夹持不住(要控制装夹变形,夹爪夹紧力又不能过大),会有工件在车削过程中飞出现象。所以要适当降低转速,走刀速度,采用多次走刀车削。因此,该零件的加工工艺过程为:先粗加工Φ74.98内孔和底部平面(位置度36.5和Φ65)→粗加工Φ79.98外圆和耳朵端面C面→精加工Φ74.98内孔和底部平面(位置度36.5和Φ65)→精加工外圆和耳朵端面C面至图纸尺寸。

在该方案加工过程中,采用了三爪自定心卡盘。三爪自定心卡盘优点:可自动定心,装夹方便,应用较广。用该方案加工下来,工件外圆和内孔用千分尺测量几个点,尺寸最大值和最小值相差达到0.04mm,变形有所减小,但还是超差^[18]。

夹爪夹紧力调小些可以减轻工件装夹变形,但同时降低了夹爪对工件的夹持力,致使工件在车削加工中由于振动受力,夹持力不足而飞出撞坏刀具。此方案中,夹爪夹紧力调小些就会使工件在车削过程中飞出,因此,三爪自定心卡盘需要改进。

加工前进档体伺服器缸体的车床软爪要自己加工,夹爪上要车出带有60°斜度的圆弧面,作为夹紧面,圆弧的直径要与零件的外圆的夹紧面处的直径一致,夹紧配合要精密。夹爪上60°斜面圆弧底部要车端面平台,作为零件的轴向定位基准,为了能把夹爪夹紧力调小些,以减小变形,而又保证工件在车削过程中不会飞出,需要在夹具上进行改进,增加钉子,有如运动员的钉鞋原理一样,作为防滑钉,防止工件在旋转时受力振动飞出或脱落,使夹持更加牢靠,因此需要在夹爪前端

凸台上加工M4螺纹，并制造M4的螺钉，M4的螺钉头部加工成钉状，钉头也不宜太尖，留有0.3mm平面，之后将螺钉热处理，然后把热处理好的螺钉安装在夹爪上。钉头伸出夹爪60°斜面圆弧面0.5mm，然后把螺钉尾部的两片螺母对拧屏紧锁定。

在这副夹具上进行试制加工，经过多次反复试加工，夹爪的夹紧力可以下调，而零件的变形情况也有了明显改善，尺寸最大值和最小值相差为0.015~0.03mm，但是有波动。在零件批量生产过程中，夹爪上的螺钉容易磨损。由于螺钉的热处理不能采用淬火，因淬火虽然能提高螺钉硬度，却会使螺钉头更脆易断，所以只能调质处理，致使硬度下降，螺钉头容易磨损。而螺钉头的磨损会使夹爪对工件夹持的可靠性下降，工件的振动和变形增加，尺寸和表面质量出现波动，甚至还发生工件在车削过程中^[19]。

飞出撞坏刀具的情况。因此，经过一段时间使用后，我们作了一些改进，。夹爪中白色带齿部分是个可拆离的镶块，该镶块和灰色部分的爪体是用两个φ4定位销进行定位，用两个螺丝安装拧紧的。夹爪的镶块上有60°斜度的圆弧面，作为夹紧面，圆弧的直径要与零件的外圆的夹紧面处的直径一致，夹紧配合要精密。该夹具用齿夹紧零件，能更好的“咬”住零件，夹持力更牢靠；带齿夹爪制造精度高，齿数多，在夹紧面单位面积上受力均匀分布，能有效减小变形夹紧零件的部位可以再靠后些，减少对零件Φ79.98外圆和Φ74.98内孔的变形影响。

该夹具的带齿镶块热处理采用淬火方式，硬度为HRC55~60。之后装在夹具上进行试加工，试制下来效果极佳。由于带齿夹爪制造精度高，齿数多，在夹紧面单位面积上的受力均匀分布，零件的装夹没有出现崩齿现象。采用淬火方式的带齿镶块更耐磨，使用寿命得到了极大的提高，不用再经常更换了。

技术改进后的新夹具是非常成功的，零件的变形得到了有效稳定的控制，尺寸精度和表面质量得到提高，而且由于是用齿“咬”住零件，能防止零件和夹具之间的打滑振动，工件的切削速度，走刀量都可以提高，缩短了加工时间，极大地提高了生产效率^[20]。

4.4 用线切割加工吊臂的加工设计

吊臂是起重夹钳关键零件之一，它是由数节臂架通过臂架接头用销轴连接在一起的结构式焊接件其制造质量直接影响塔式起重机使用安全和寿命，特别是吊臂下弦杆，它既是受力杆件又是变幅小车的轨道。为使小车运行平稳，两下弦杆必

须满足直线度、平面度、平行度和垂直度等技术要求。因此，吊臂下弦杆接头的制造质量直接影响整个吊臂的制造质量。本文主要介绍采用线切割加工吊臂下弦杆接头，为吊臂下弦杆接头质量的提高提供了可靠的保证，同时减少了用料，还使制造工艺简化^[18]。

(1) 将正接头与负接头套在一起形成一副接头一次做成坯料，经刨削加工基准面后采用线切割数控机床加工将一副接头一分为二，分别成为正接头、负接头半成品。

(2) 正接头制造工艺修正为在坯料上划线一副接头的尺寸气割下料一刨削基准平面线切割分开正接头、负接头一划线正接头后部尺寸刨削成形在钻模上钻孔。

(3) 负接头制造工艺修正为线切割分开后的负接头半成品冲划线负接头后部尺寸一刨削成形在钻模上钻孔。

(4) 合理使用夹具，提高工作效率。由于电火花腐蚀加工效率很低，所以要合理设计夹具来提高效率。根据毛坯的尺寸，设计一个专用的夹具，用以确定铂丝的定位基准，提高了加工效率。

(5) 为满足吊臂臂节联接的装配要求，即满足装配时正接头与负接头之间的间隙要求，在实际加工中，根据工件毛坯尺寸和接头之间的间隙要求，选取铝丝直径为笋。采用线切割加工后的优点：

(1) 操作方便，操作人员只需编好程序输入机床，机床根据程序自动进行切割。

(2) 成形精确，采用线切割加工，其精度和质量高，解决了正接头头部刨削加工成形不准确，装配时不能互换的问题，提高接头的制造质量。

(3) 节约钢材由于将正接头与负接头套在一起形成一副接头一次下料，每副接头可节约钢材约简化工艺由于省略了正接头刨削头部与负接头铣削插槽两道工序，使工艺得到了简化。

(4) 降低成本，取得了良好的经济效益^[21]。

5 结论

(1) 工艺分析是数控加工编程的前期工艺准备工作,无论是手工编程还是自动编程,编程之前均需对所加工的零件进行工艺分析。如果工艺分析考虑不周,往往会造成工艺设计不合理,从而引起编程工作反复,工作量成倍增加,有时还会发生推倒重来的现象,造成一些不必要的损失,严重者甚至还会造成数控加工差错。因此,全面合理的工艺分析是进行数控编程的重要依据和保证。

(2) 快速成型不仅提高了CAD模型的可视性和直观性,还可用于功能测试。将快速成型技术与精密铸造和夹具加工工艺结合起来,可以快速、经济地制造小批量生产用夹具,从而为新产品试制提供良好的条件。

(3) 针对薄壁零件的车削,设计了加工工艺,通过改进缸体的夹具,合理选用刀具、切削参数,有效地控制了薄壁零件的装夹加工变形,保证了产品的加工精度和表面粗糙度,大大缩短了产品的加工时间,极大地提高了生产效率。

参考文献

- [1] 郭晓松, 姚晓光等. 世界起重装卸厂商间的竞争日趋激烈 [J]. 起重运输机械, 2001, (5) :17.
- [2] 马保生. 夹钳起重机的夹钳装置 [J]. 起重运输机械, 1989, 2(5) :17-18.
- [3] 鸣龙良之助. 机械设计例题集 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988. 15-23.
- [4] 李世芸, 李功宇等. ANSYS 9.0 基础及应用实例 [M]. 北京: 中国科学文化出版社, 2005. 27-39.
- [5] 徐灏. 机械设计手册(第一卷) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [6] F Y Chen Position Synthesis of the Double—rocker Mechanism [J]. Mechanism and Machine Theory, 1980, 3(4) :35-41.
- [7] 周建森. 起重钳及其结构 [J]. 苏州市吴江县单力起重机械厂, 2000, 5 (13) 3-4.
- [8] 哈尔滨工业大学理论力学教研室编. 理论力学 (I). 北京: 高等教育出版社, 2002 年.
- [9] 杨长睽. 起重机械 [M]. 机械工业出版社, 1982. 22-35.
- [10] A E Fitzgerald Charles Kingsley, Jr. Stephen D. Umans . Electric Machinery (Sixth Edition) . 北京: 清华大学出版社. 2003, 4—5.
- [11] LiB, MelkoteN. Fixture clamping force optimization and its impact on workpiece location accuracy [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 17 (12) :104-113.
- [12] 吴宗泽, 罗圣国. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业工业出版社, 2004.
- [13] 王国强, 张进平, 等. 虚拟样机技术及其在ADAMS 上的实践 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002. 23-27.
- [14] 周世学. 机械制造工艺与夹具 (第2 版) [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006. 22-29.
- [15] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. 15-19.
- [16] 邢福生. 结构有限元技术及其发展 [J]. 水科学与工程技术, 2005, 6 (14) 14-27.
- [17] 包起帆, 等. 货物抓斗与吊夹装置 [M]. 上海: 科学技术出版社, 2005. 20-25.

- [18] 王凯. 数控加工的工艺设计 [J]. 煤炭技术, 2006, 25 (8) :32-33.
- [19] 周志鸿, 张康雷等. O 形橡胶密封圈应力与接触压力的有限元分析 [J]. 润滑与密封, 2006, 4(176) :86-89.
- [20] 陈士顺. 工程机械销轴结构设计 [J]. 工程机械, 1999, (5) :16.
- [21] 王凤喜, 卫才志, 徐游, 宋健康, 黄安顺. 起重设备维修问答 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004, 1-3.

致 谢

首先我要深深感谢我的导师——谭湘夫老师，在我对论文无处下手时，指点我去查阅一些书籍，使我对这论文有了初步的了解。感谢老师悉心的教诲和严谨的治学风格和渊博的学识，您的严厉是鞭策我不知疲倦探究问题的力量源泉；您的鼓励，是我拓展视野和探寻深层知识的动力。老师的博学和人品，不仅在学毕对我潜心引导，而且在生活、做人等方面也给予我很大的关心和悉心指导，这些都令我终身难忘，我将铭记在心。同时也感谢机电系的其他老师，你们的传道授业解惑使我终身受益。

最后，我还要感谢程卫、方继松等所有关心和帮助过我的亲人、同学、和朋友们。感谢你们对我的一贯支持和鼓励，我唯有在以后不断地努力进取，来回报培育我的母校和所有关心我的师长亲朋！