

形状记忆驱动型微机械手的设计研究*

徐锡林 张 艺

(上海交通大学信息检测技术及仪器系 上海 200030)

摘要 一种结构新颖的形状记忆驱动型微机械手的研制成功,为我国的微机械研究积累了数据和经验。本文介绍了这种新型结构的微机械手的原理与结构、驱动及其控制,以及所达到的性能指标。

关键词 微机械手 形状记忆效应 形状回复力

1 前 言

微机械手(包括微型钳、微型镊子等)作为一种典型的微执行机构,不仅可成为微机器人的手爪,而且在微机械的加工、装配和生物工程等领域都有着极其重要的应用价值。所以,有关微机械手的设计研究,近年来已成为国内外微机械研究领域的一个热门课题。

微机械手的功能主要用于抓取或夹持微细物体和器件。轻、小、薄、脆、软是一般微细物体和器件所共有的显著特征。因此,如何控制微机械手夹持力的大小,不使被夹持的微细物体和器件有太大的变形或损坏,便成为微机械手设计需要重点解决的技术关键。与此同时,积极探索新的夹持原理、新的夹持机构,以适应并满足不同对象的夹持要求,正驱使着人们去作深入研究和创新。

应用形状记忆效应(Shape Memory Effect,简称SME)作为微机械手的驱动设计方案,可使微机械手的夹持力可控,且其夹持动作柔软、敏捷,因而成为微机械手设计研究中的一个重要类型。本文谨结合笔者对形状记忆驱动型微机械手的设计和研制实践,就其工作原理、结构设计、测控技术及其所达到的性能指标阐述如下。

2 原理与结构

图1为微机械手的实物外观图;图2为微机械手的结构示意图。它系为整体结构,其夹持

* 上海市科学技术发展基金项目

收稿日期:1998-06-23

修稿日期:1998-08-18

机构(即手指)、传动机械通过柔性铰链与机座相连接。由 TiNi 形状记忆合金制成的螺旋弹簧(下称 SME 弹簧)为驱动元件,亦称之为换能元件。当使之温升至一定温度时,由于形状记忆效应,即在高温状态下,经过“记忆”训练后的形状记忆合金发生马氏体逆相变(即从马氏体相到母相的相变)。SME 弹簧迅速收缩,回复到变形前的形状,在此过程中,SME 弹簧表现出有较大的形状回复力。由它牵动传动机构和夹持机构作相应的运动,结果驱动机械手的两指端迅速闭合,夹持或抓取一定重量的物体。当 SME 弹簧降温至室温状态。此时,由于 SME 弹簧的形状回复力消失,从而在由诸柔性铰链的弹性恢复力(矩)作用下,使微机械手的两指端又恢复呈张开的状态。

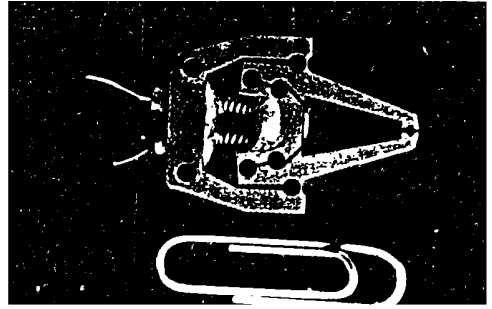


Fig. 1 Photo of microhand

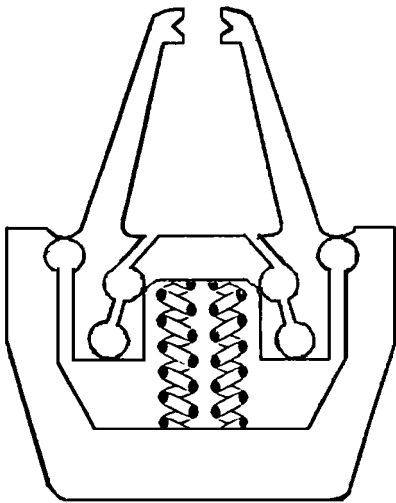


Fig. 2 Structure of microhand

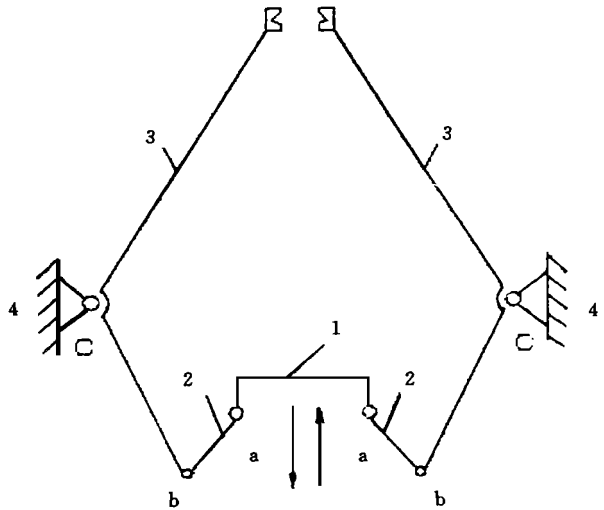


Fig. 3 Mechanism scheme of microhand

图3为微机械手的机构简图。整个机构是由两个左右对称的四连杆机构组成。其中构件1为两个四连杆机构共有的构件,也为四连杆机构的原动件。当 SME 弹簧加热至一定工作温度时,它在垂直向下的 SME 弹簧的形状回复力的作用下,向下作平动,从而带动构件2、3作平动和转动,最后形成微机械手两指端的相向运动,实现夹持动作。如果 SME 弹簧的形状回复力因温度下降至室温而消失,此时,由于诸柔性铰链综合的弹性恢复力(矩)的作用,构件1向上作平动,恢复到原来的位置,从而使微机械手的两指端恢复呈张开的状态,放下被夹持机构,两者浑然一体,结构巧妙,构思奇特。

在此机构设计中,柔性铰链 a、b、c 既为转动副,又由于每个柔性铰链具有与其结构参数相关联的抗压刚度、剪切刚度的弯曲刚度(见图 4),因而在传递运动和动力的过程中,综合反映出诸柔性铰链的弹性恢复力(矩)。此缩合弹性恢复力(矩)作为一种不可缺少的弹性力(矩)与 SME 弹簧的形状回复力(矩)分别成为夹持机构双向运动的动力(矩),从而实现了微机械手指端的夹持与松开的动作。

图 5 为 SME 弹簧和诸柔性铰链综合的力—形变位移特性曲线图。由此特性曲线图可以看出,在室温下,诸柔性铰链综合的弹性恢复力(矩)和 SME 弹簧室温下的弹性力(矩)因在装配时预置有初始形变位移 ΔL 而处于力(矩)的平衡,如图中 a 点所示。当加热到一定的工作温度时, SME 弹簧输出有较大的形状回复力,如图中 b 点所示。它将克服诸柔性铰链综合的弹性力(矩)后,成为机械手两指端作相向运动(即夹持运动)的驱动力,驱动机构原动件产生向下的位移 Δl ,如图中 c 点所示。一旦因为温度下降为室温, SME 弹簧的形状回复力消失,则夹持驱动力也随即消失,如图中 d 点所示。此时诸柔性铰链综合的弹性恢复力(矩)较大,将克服 SME 弹簧在室温下的弹性力,成为微机械手的两指端恢复张开状态的驱动力,驱使机构原动件产生向上的位移 Δl ,回到原来的位置,如图中 a 点所示。

微机械手的这种结构设计,既使微机械手成为整体结构,从而使其外形尺寸大为缩小,又简化了加工工艺及装配工艺,更为重要的是这种结构设计,实现了无间隙、无摩擦传动。有利于夹持力的有效控制。当然,这种结构设计有关 SME 弹簧的设计与柔性铰链参数的设计成为决定微机械手设计成败的核心。限于篇幅,我们将专题予以阐述。

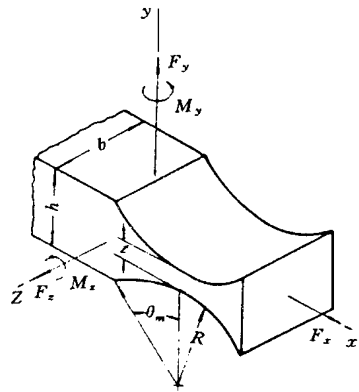
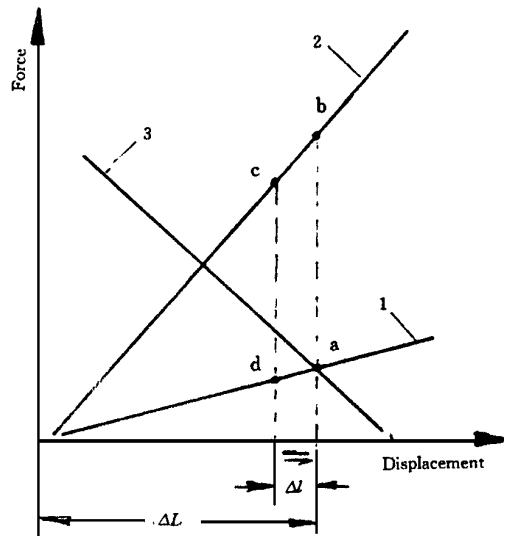


Fig. 4 Hinge dimensions and various forces and moments which cause deflections



- 1— Displacement curve of elastic force of SME spring in room temperature
- 2— Displacement curve of shape come-back force of SME spring in operating temperature
- 3— Displacement curve of comprehensive elastic come-back force of flexible hinges
- ΔL — Preset initial deformation displacement
- Δl — Mechanism original motion piece displacement

Fig. 5 Curves of the comprehensive force and the displacement

3 驱动及其控制

微机械手的动作借助于形状记忆效应原理

来驱动, 欲使驱动元件 SME 弹簧对外输出位移或力, 必须对其加热和冷却, 使其因温度变化发生相变而输出一定的形状回复力。因此有关加热和冷却的方法、手段及其控制是微机械手设计中的又一个重点。

本设计采用了 TiNi 形状记忆合金为 SME 弹簧的原材料。该合金具有较大的电阻率($9 \times 10^8 \Omega\text{m}$), 故可采用直接通电加热的方法控制其温度。加热用电压可以是直流、交流和脉冲等多种形式的电流。采用脉冲电流直接通电加热, 其优点一是由于电流的积分特性, 可避免使微机械手产生突跳的冲击动作; 二是无需 A/D 或 D/A 转换就可用数字信号进行控制。 以下就本设计的驱动及其控制作介绍:

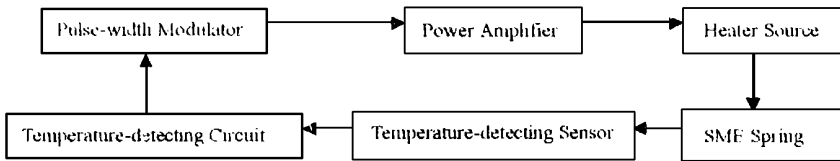


Fig. 6 The principle of driving and control of microhand

图6为微机械手的驱动及其控制原理图。为了满足并精确控制微机械手所预定的性能指标, 本设计采用脉冲电流直接通电加热, 且实行闭环反馈控制。其工作原理为: 脉宽调制器输出一定频率的脉宽可调的方波脉冲电信号, 其点空比可调范围为 $0 \sim 45\%$, 经功率放大后去控制加热电源流向 SME 弹簧的加热用电流的通与断, 及其持续时间比例的长短, 而方波脉冲信号的占空比则由测温电路的输出信号的电位高低所控制。测温电路借助于测温传感器测量出 SME 弹簧的加热温度。当加热温度达到甚至超过所设定的工作温度范围时, 方波脉冲信号的脉宽变窄, 甚至使占空比为零, 从而缩短加热用电流导通时间比例, 结果使 SME 弹簧的温度不再上升, 甚至自然降温。当 SME 弹簧的温度还处于不到所设定的工作温度范围时, 方波脉冲信号的脉宽较宽, 加热用电流的导通时间比例亦大, 结果使 SME 弹簧的温度迅速上升, 直至加热所设定的工作温度范围内。

根据 SME 弹簧的记忆特性, 它的形状回复力是工作温度的函数。适当提高工作温度, 可使其形状回复力增大。此时, 微机械手的夹持力也将有所相应增大, 因而对于已研制成的微机械手通过适当调节 SME 弹簧所设定的工作温度, 可实现对微机械手的夹持力的控制。

此外, 当微机械手在一定的工作环境下, 其工作温度是加热用电流的幅值及其导通时间的函数。当工作温度设定后, 增大加热用电流的幅值可使 SME 弹簧的温升速率加快。从而使 SME 弹簧的形状回复的速度提高。结果是微机械手的夹持动作的响应时间得以缩小。

根据本设计所采用的 TiNi 形状记忆合金材料的性能及其通过实验测试所得到的 SME 弹簧在不同加热温度下的力学特性数据, 又根据微机械手的性能指标, 我们合理地确定 SME 弹簧的工作温度范围, 以及加热用电流的幅值。既保证了微机械手所必须的夹持力, 又满足了

微机械手夹持动作响应的数据要求。

4 结 束 语

通过有关的设计计算和精心调试,最终保证了微机械手预定性能指标的实现。经计量部门的实际测试,我们所实际并研制成功的微机械手的性能指标如下:

夹持重量: > 20gf

夹持动作响应时间: < 1s

指端最大相对位移: 1mm

为了适应微机械技术研究的需要和发展,研制出尺寸更小,性能更佳的微机械手乃是我们的追求。应用形状记忆效应来设计研制微机械手的工作仍待我们去深入进行,我们将继续为之努力。

参 考 文 献

- 1 徐锡林. 微机械研究. 中国机械工程, 1993, (3): 79~81
- 2 徐锡林. 微型可控镊子的设计研究. 上海交通大学学报, 1995, 29卷增刊: 91~94
- 3 (日)舟久保,熙康编,干东范译. 形状记忆合金. 北京:机械工业出版社, 1992

Research on Microhand with SME

XU Xi-Lin, ZHANG Yi

(*Department of Information detecting technology and Instrument,
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030*)

Abstract

The success of the design of a new structure microhand with SME has improved the research on micro mechanics of our country. In this paper, the principle, the structure, the driving method and the control of microhand are introduced. The performance index is also discussed.

Key words: Microhand, Shape memory effect(SME), Shape resilience

徐锡林 男, 1963年毕业于上海交通大学精密机械及仪器专业。长期从事于机构学和机械量测试技术方面的教学和科研工作, 曾获得国家、部委级和上海市科技进步奖, 编著有《转子的平衡技术与动平衡机》、《测试技术》等书。1992年赴日本东京工业大学林辉教授处进修微机械。回国后至今从事于有关微机械应用基础方面的研究和教学工作。