

温控型微型粉末合金冷压烧结机设计

安 浩, 李震宇, 刘励韬, 孙 坤

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2025年1月24日; 录用日期: 2025年2月17日; 发布日期: 2025年2月27日

摘 要

粉末冶金件在工业方面的应用越来越广泛, 粉末冶金件主要制造方法为压制后烧结, 因此烧结机的作用十分重要。冷压烧结法是一种经济实惠的技术。为微型粉末合金冷压烧结机, 利用冷压外加烧结这种工艺制备零件设计一种温控型微型粉末合金冷压烧结机, 结合冷压和温控技术, 通过精确控制温度和压力, 优化粉末合金零件的成型过程。该设计采用通用压力机、专用模具和单片机控制系统, 确保烧结过程中温度稳定、均匀, 从而提高零部件的质量和生产效率。设计的烧结机具有节能、环保、可靠性高等优点, 适用于小型合金零件的批量生产。

关键词

烧结机, 冷压烧结法, 温度自动调节

Temperature-Controlled Design of Miniature Powder Alloy Cold-Pressed Sintering Machine

Hao An, Zhenyu Li, Litao Liu, Kun Sun

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Jan. 24th, 2025; accepted: Feb. 17th, 2025; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

Powder metallurgy parts are more and more widely used in industry, and the main manufacturing method of powder metallurgy parts is sintering after pressing, so the role of sintering machine is very important. Cold press sintering is an economical technology. A temperature-controlled micro-powder alloy cold-pressing sintering machine was designed for the miniature powder alloy cold-pressing sintering machine, which used the cold-pressing and sintering process to prepare parts,

and combined the cold-pressing and temperature-controlled technologies to optimize the forming process of powdered alloy parts by accurately controlling the temperature and pressure. The design uses a universal press, a dedicated mold and a single-chip microcontroller control system to ensure a stable and uniform temperature during the sintering process, thereby improving the quality and production efficiency of the parts. The designed sintering machine has the advantages of energy saving, environmental protection and high reliability, and is suitable for mass production of small alloy parts.

Keywords

Sintering Machine, Cold Pressing Plus Sintering Method, Automatic Temperature Regulation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 课题研究的实际背景及意义

粉末冶金技术在金属材料加工中具有广泛应用，特别是在机械零件、电子设备部件及磁性材料等领域。其优势在于高精度、低成本、原料消耗少，并能加工高熔点金属、活性金属及复杂形状的零部件。随着技术进步，粉末冶金在硬质合金刀具、汽车零部件等领域取得显著进展，成为大规模生产的关键技术[1]。

在粉末冶金过程中，烧结温度对产品质量至关重要。温度过高会导致碳化物晶粒过大，从而影响产品密实度和性能；温度过低则会导致烧结体未完全融合，降低强度和稳定性。过烧和欠烧是影响质量的主要问题，因此需要严格控制烧结温度。为确保质量，需设计合理的温度曲线，逐步升温、保温和降温，同时实时监控温度，避免局部过热或过冷。

1.2. 国内外研究现状的分析

1909年，现代粉末冶金的诞生标志着一段新的历史的到来。它以先进的技术、低成本的产品以及高质量的产品，被广泛地运用到航天、航空、国防、军事、机械、电子、交通等多种领域，为我们的社会发展做出了巨大的贡献，并且日益成为我们社会发展的不可或缺的一部分。

中国作为粉末冶金研发的先驱，正在全力以赴地追求更高的水平，已经取得了显著的进步。中国的钢铁科学研究总院(CISRI)、北京市飞机复合材料研究院(BIAM)等知名科研机构，为中国的粉末冶金研究发展作出了重要贡献。随着国家对粉末冶金的支持和鼓励，中国的这一重要的工艺技术领域正处于快速发展的阶段，其增长率甚至远远超出国内的国民经济。随着中国正式纳入世贸组织，这一重要的国内外环境对于中国的冶金工艺技术来说，不仅带来了前所未有的挑战，而且还为其带来了前所未有的机会。

2. 微型粉末合金冷压烧结机结构设计

2.1. 微型粉末合金冷压烧结机工艺的确定

粉末冶金中，混合和压缩是决定产品质量的关键环节。混合过程中，材料必须保持一致的质量和稳定的含水率。搅拌可分为一次搅拌和二次搅拌，旨在改善材料的流动性和均匀性。压缩通过外力将物料

转变为所需形状，增强粉末的密度和强度，提高烧结效率。冷压烧结通过加热压坯使其结合成冶金结构，需精确控制烧结温度和时间，避免过高温度影响粉末性能。烧结过程中，液态和固态溶解液的相互作用，以及温度和时间的交叉影响，决定了产品的最终质量[2]。由于烧结过程的不可控性，一旦出现问题，无法修正，因此精确控制每个环节对于保证产品质量至关重要。工艺流程图如图 1 所示；

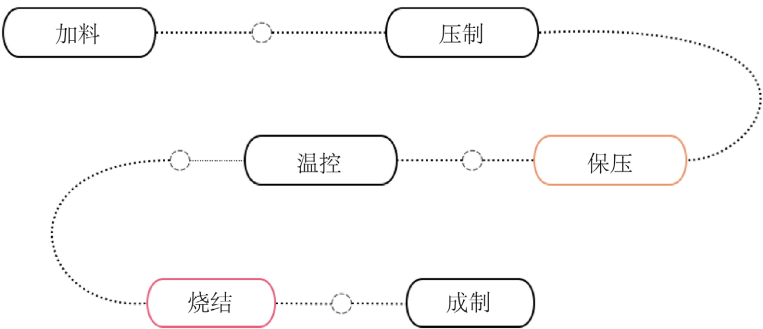


Figure 1. Process flow diagram
图 1. 工艺流程图

2.2. 微型粉末合金冷压烧结机的总体方案的确定

不同型号机械摩擦式压力机参数如表 1 所示。

Table 1. Mechanical friction presses
表 1. 机械摩擦式压力机

公称压力/T	100	160	250	400	630	1000	1600
运动部分能量/(t·m)	0.5	0.9	1.8	3.6	7.2	16	28
滑块行程/mm	205	300	400	500	600	700	800
滑块行程次数(次/min)	30	27	24	20	16	13	11
最小封闭高度/mm	335	400	450	530	630	710	800
工作台面尺寸 (前后 × 左右)/mm × mm	400 × 315	500 × 400	630 × 500	750 × 630	900 × 750	1120 × 900	1250 × 1120

在该微型粉末冷压合金烧结机中，将选用机械式摩擦压力机，这种压力机通常被称为双盘压力机，因为它使用了飞轮和摩擦盘的连续转动来实现压力。此外，这种压力机还通过螺旋轴的相互移位来实现压力。这种产品具有高度的功能，它的结构、安装、操作方式以及配套的设施非常简单，而且成本很低，所以它被广泛应用到各种工厂的生产线，包括冲压厂、铸铁厂、塑料厂、模具厂，根据所需压力的计算初步选定 160T 机械式摩擦压力机。

2.2.1. 冷压烧结机外形结构

外形结构如图 2 所示：

(1) 根据凹模、冲头和芯棒的尺寸、压力机型号规格等要求，可以根据生产计划灵活地制定出 3 种不同的模具结构形式，以满足不同的需求。

① 组合式压制技术可以有效地生产小批量的金属粉末件，其中每一段的装粉高度可以通过调整冲头垫块来实现；

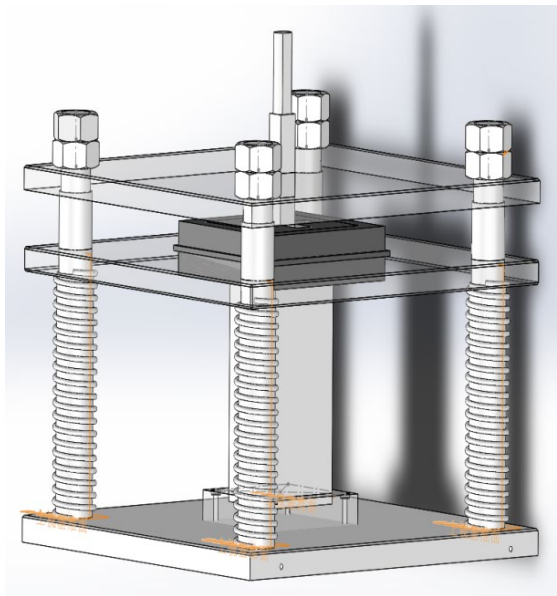


Figure 2. The overall structure of the cross mold
图 2. 十字架模具总体结构图

② 采用固定式设计的压缩机可以大规模生产出精密的金属颗粒，而且可以根据浮动模具的不同位置来进行精确的挤出；

③ 在固定式专用压力机上，大规模的金属粉末被压制成各种形状，以满足各种需求。
当使用固定型模具架设时，上冲头的形状和位置都有所不同，但它们的最终高程都是 $L_h = h_{ht} + h_1 + h_2$ 。

同样，下冲头的总高度为： $L_l = h_{lt} + h_3 + h_4$

式中 h_{ht} ， h_{lt} ——上、下冲头固定板的厚度

h_1 和 h_4 ——分别代表上冲头的压力控制和下冲头的顶部移动距离

当压力机处于下死点时， h_2 的凹模的顶部与上冲头的固定板的底部之间的距离应保持一定的距离

h_3 ——下冲头导入凹模筒部分的长度

(2) 模具结构特点：该模具主要由模槽，上模杆，模套，模柱组成。模槽外表面开有方形槽，用于硅碳棒的安装，以实现对粉末合金的烧结。模套内开有圆孔方便后续电线的安装，同时装配体立柱装有弹簧起到避震作用。其模具工作原理是将粉末合金至于模槽内，在压力机的作用下将物料压制成型，待烧结完成后，通过下模杆的顶出，使易于工件脱落，所以对于该模具设计，可采用固定式模具结构的固定式压制成形方法[3]。

2.2.2. 压缩模具的设计

凹模型腔的尺寸是由粉末零件的外形和内部尺寸共同决定的，它们之间的关系是相互影响的，前者受到压制、烧结等工序的影响，而后者受到上极限偏差的影响，因此，凹模型腔的尺寸应该尽可能地满足凹模的最大允许磨损量，保证芯棒的最佳使用寿命。零件结构如图 3 所示。

2.2.3. 压力机与模具安装尺寸及强度校核

如表 2 所示，由于模具尺寸不适合安装在该型压力机上，所以选择 250T 摩擦压力机，经过再次校核(如表 3)能够满足使用要求。

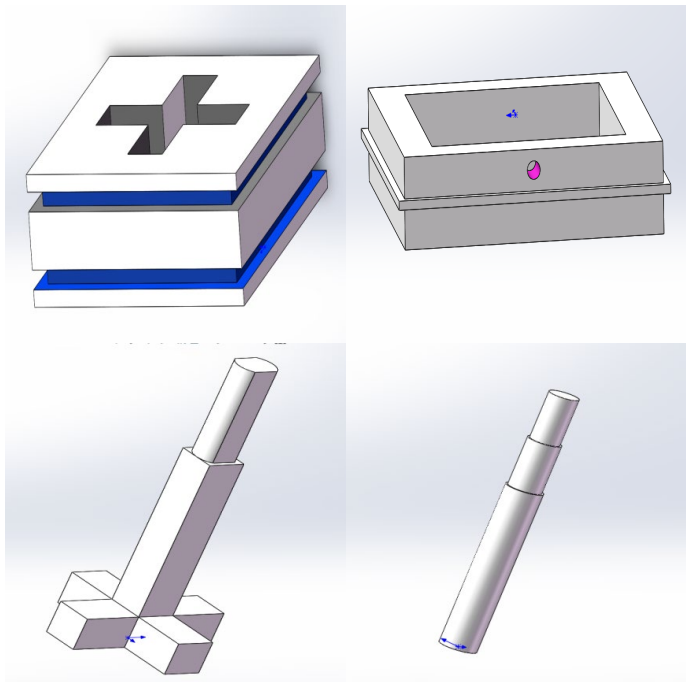


Figure 3. Compression mold structure
图 3. 压缩模具结构

Table 2. Mould technical parameter checklist (1)
表 2. 模具技术参数校核表(1)

压力机技术参数		十字架加工技术参数		备注
公称压力/T	160	实际所需压力	120	符合要求
滑块行程/mm	300	模具开合距离	200	符合要求
最小封闭高度/mm	400	模具闭合高度	105	符合要求
工作台尺寸/mm × mm	500 × 400	模具尺寸/mm × mm	520 × 400	不符合要求

Table 3. Mould technical parameter checklist (2)
表 3. 模具技术参数校核表(2)

压力机技术参数		十字架加工技术参数		备注
公称压力/T	250T	实际压力	120	符合要求
滑块行程/mm	350	模具开合距离	200	符合要求
最小封闭高度/mm	450	模具闭合高度	105	符合要求
工作台尺寸/mm × mm	630 × 500	模具尺寸	520 × 400	符合要求

3. 微型粉末合金冷压烧结机加热原理及温度控制系统

3.1. 硅碳棒加热原理

硅碳棒电热元件(如图 4),由碳化硅构成,并采用特殊的加固技术,在 2000℃ 及更高的温度下进行熔炼,从而实现了从无到有的功率传输。它的特性使其可以实现从无到有的功率传输,这种功率传输方式比传统的金属电阻丝更加节约能源。当硅碳棒接触外界环境,它的电阻率会出现显著的波动,从室温上

升到 800℃，这个数字会急剧下降，直接降至 800℃，然后又会上落，直至 800℃，此后，它的电阻率会继续上涨，但上涨的幅度会越来越大。

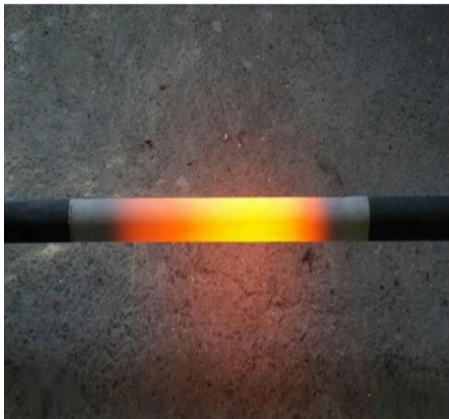


Figure 4. Silicon carbon rods
图 4. 硅碳棒

3.2. 温度控制系统设计

该温控系统拥有多种强大的功能，包括实时监控、调节参数、发出预警信号。为了满足不同的需求，该系统包括多个模组，如温度传感模组、LCD1602 液晶屏幕模组、单片机控制模块、操作杆模组、语音提醒模组和继电器模组。这个监控系统可以实时收集内部的气体温度，并将收集的信息与预先计算的值进行比较，一旦发现温度高于预先规划的范围，它的指示灯将立即点亮，以提醒用户，以便及时处理问题[4]。

经过深入的分析，我们决定使用 DS18B20 温度传感器将数据传输到单片机，并将其转换为 LCD1602 的可视化图像。本装置有主要按键，分别是加按键、减按键，是用来控制温度。当数据超过原本设置好的温度区域，相应的 LED 灯开始亮，同时报警电路被触发开始报警，相应的装置开始工作。

系统模块框图的绘制

系统模块框图如图 5 所示。

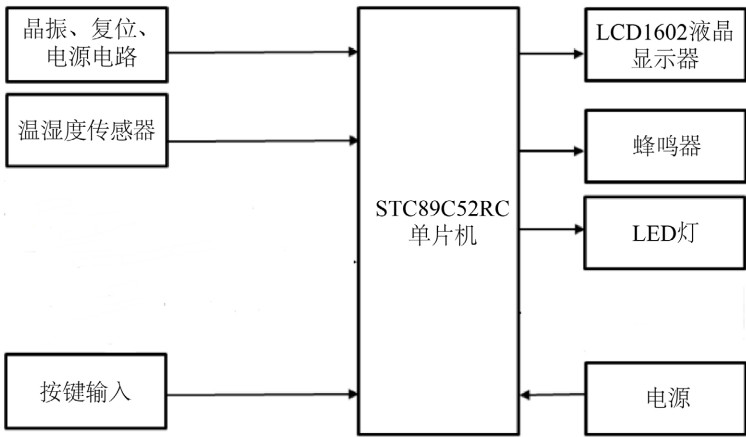


Figure 5. Block diagram of a system module
图 5. 系统模块框图

3.3. 系统硬件电路的设计

要对烧结机进行温度进行监测并在超出温度所设范围时灯开始亮，进行声音报警同时相关装置开始工作。该控制电路大体有以下几个组成部分：温度检测部分、温度控制部分、按键部分、声音报警部分以及显示器部分。

单片机的选择

STC89C52 作为一种高性能、低功耗的 8051 系列单片机，具有较高的工作频率、大容量存储、丰富的外设和灵活的编程调试功能。其兼容性强、开发支持好，非常适合用于工业自动化、家电控制、通信设备、汽车电子等多个领域，尤其适合需要高性能和多功能控制的嵌入式应用[5]。

3.4. 单片机最小模块的设计

单片机的最小模块是保证单片机可以正常运行程序，保护电路，实现功能。单片机的核心组成部分由晶振器、电源控制器和复位控制器组成。

晶振电路：由一个晶振并联上两个谐振电容组成通过将 STC89C52 与其他单片机相连，可以实现对其中的各种功能的控制，其中包括通过晶振调节其中的时间，以及通过其他技术手段调节其中的其他功能，以实现对其中的各种功能的控制[6]。这个装置使用了一个独立的晶体管来驱动。

复位电路：是一种用来使电路恢复到起始状态的电路设备，它的操作原理与计算器有着异曲同工之妙，只是启动原理和手段有所不同。复位电路，就是利用它把电路恢复到起始状态。就像计算器的清零按钮的作用一样，以便回到原始状态，重新进行计算。

电源电路：为单片机提供稳定电源。最小系统电路图如图 6 所示。

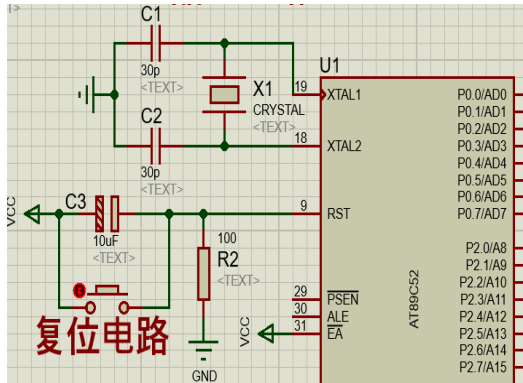


Figure 6. Minimal circuit
图 6. 最小电路

3.4.1. 按键模块的设计

本装置主要有 K1 按键控制增加温度上限值，K2 按键控制减少温度上限值，相反 K3 和 K4 按键控制温度下限，其模块电路图如图 7 所示。

3.4.2. 温度检测模块的设计

本装置采用 DS18B20 温度传感器，它能够准确地监测温度和湿度，而且它的数字信号不需要经过 AD 模数转换，可以直接被单片机读取。共有三个引脚，VCC 供电范围约在 3~5.5 V，与 51 单片机相匹配[7]。测试范围广，精度高，在正常情况下，温度在 2℃内浮动。电路图如图 8 所示

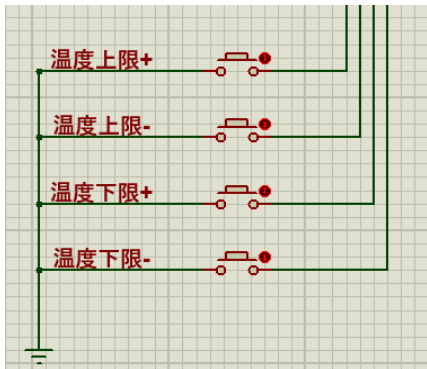


Figure 7. Button module
图 7. 按键模块

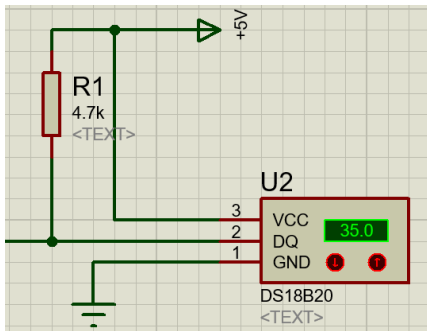


Figure 8. Temperature detection circuits
图 8. 温度检测电路

3.4.3. 报警电路的设计

当检测到物体的数值超出预先设定的上下限值时，我们将采用三极管和蜂鸣器组成的声音报警电路，以及图 9 中的其他相关信息，以确保安全。

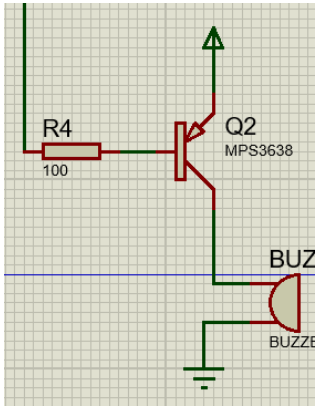


Figure 9. Audible alarm circuit
图 9. 声音报警电路

3.4.4. 控制电路的设计

该控制电路由两个继电器分别控制升温 and 降温。在本设计中，其电路连接如图所示。其电路图如图 10 所示。

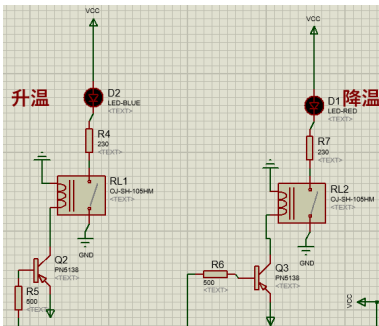


Figure 10. Automatic control circuitry
图 10. 自动控制电路

3.5. 程序编写与测试

在软件开发中，我们重点关注温度检测、按键和声音报警电路等子程序的编写，以确保系统的可靠性和安全性。先找相关程序进行借鉴，再根据自己课题要求用 KEIL 软件进行程序编写，并将各个子程序输入到万用板硬件电路中做调试。

3.5.1. 主程序流程图的绘制

本设计根据输入设置来进行温度控制，在显示器中进行显示，当温度超过设置的范围时相应的继电器开始工作，蜂鸣器电路开始警报。主程序图如图 11 所示。

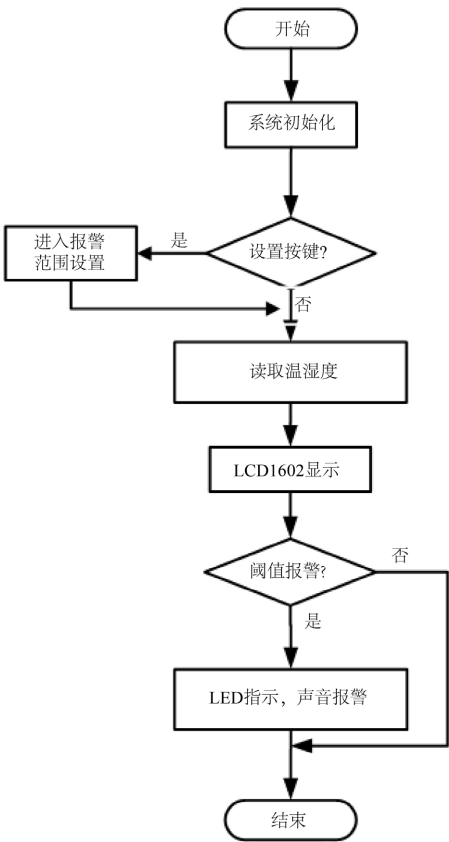


Figure 11. Main program flow chart
图 11. 主程序流程图

3.5.2. 系统调试

在完成了硬件焊接以及相关程序编写之后，我们进入了装置的调试阶段。根据任务书要求对整个监测装置进行调试和检测。对于发现的问题及时进行处理，不断完善，使整个装置达到最优状态。

3.5.3. 程序调试

由于程序是根据各个子模块进行编写的，所以最后还要将各个子程序进行整合在一起。在将各个子程序整合成主程序时要重点关注到每个部分的连接部分。将整合后的所有程序烧录进单片机。

3.5.4. 调试结果

本装置可以实现对烧结机温度的实时监测并在显示器上进行清晰显示，在电路检测到温度超出设定值时可以进行蜂鸣器开始工作，相关设备发出动作。通过按键可以对监测对象的设定值进行更换、调整。在改变预设值时，可以通过按键进行更改。但有些部分还是有一些不足之处。总的来说，装置基本可实现任务要求，如图 12 所示。

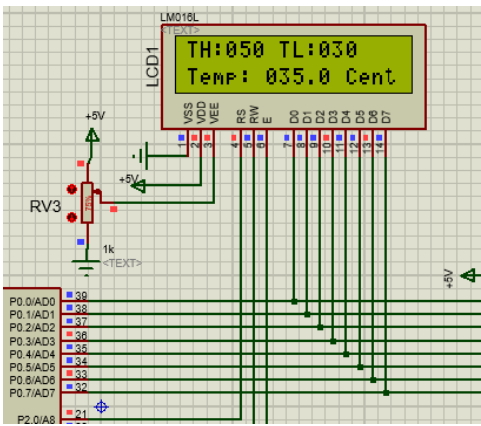


Figure 12. Circuit simulation results
图 12. 电路仿真结果

4. 小结

本文设计了一种温控型微型粉末合金冷压烧结机，旨在提高微型粉末合金零部件生产的效率和质量。粉末冶金作为一种高效的制造技术，广泛应用于精密零件和合金材料的生产，其中冷压烧结技术是实现粉末成型和烧结的重要手段。为了优化这一过程，本文提出了一种温控系统，该系统通过单片机控制温度变化，确保烧结过程中的温度精度，从而避免温度波动对产品质量的负面影响。

设计的设备包括高精度的压制系统和温控系统。压制系统通过通用压力机和专用模具将粉末合金压制成型，而温控系统则利用温度传感器实时监测炉体内的温度，并通过单片机自动调节加热元件的工作状态，保持温度在理想范围内。设备的加热元件与冷却装置配合，确保烧结温度稳定，并在烧结完成后快速降温，以避免过热对产品造成损害。

实验结果验证了该设备的性能，表明温控型微型粉末合金冷压烧结机能够有效提高产品的密度、硬度和尺寸精度，同时节能环保，符合现代制造业对高效、绿色生产的要求。该设备不仅提升了微型粉末合金零部件的生产效率，也在保证产品质量的同时，降低了生产成本，具有较强的应用前景和推广价值。

参考文献

[1] 李鹏旭. 金刚石工具用铁基水雾化预合金粉末的性能测试及改性应用[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学,

2020.

- [2] 陈庆军. 金属粉末激光烧结机的功能分析与系统设计[J]. 科技创新与应用, 2016(13): 148.
- [3] 杨雯, 刘梦豪, 蔡苗. 颗粒金属有压烧结工艺的压力加载装置设计[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(8): 156-158.
- [4] 何震, 黄小容. 基于单片机的智能环境质量监测系统[J]. 电子世界, 2016(11): 72.
- [5] Srivastava, N., Matthews, G.A.B., Liu, J., Speller, S.C., Grovenor, C.R.M. and Santra, S. (2024) Effect of Dopant Solubility and Excess Doping on the Superconducting Properties of Doped Nb₃Sn Prepared by Field Assisted Sintering Technique. *Journal of Alloys and Compounds*, **1002**, Article 175526. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175526>
- [6] Wei, X. (2022) Intelligent Temperature Control System of Greenhouse Based on STM32 Single Chip Microcomputer. *Journal of Physics: Conference Series*, **2254**, Article 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2254/1/012046>
- [7] 殷晓辉, 赵海萍. 基于单片机的热处理炉温度控制系统设计与实现[J]. 工业加热, 2024, 53(8): 27-30.