

内热式电阻炉主要工作参数的匹配

陈培元 陈希达*

(精密机械工程系)

摘要 用内热式电阻炉烧结金属粉末制品, 烧结的温度、时间与电压、电流、模具的电阻和质量都有内在联系。本文通过实验和数据分析, 找出它们之间的匹配关系。

关键词 烧结, 热压, 保温, 保压

0 前言

烧结压制金属粉末零件及金刚石工具, 国外普遍采用热压工艺, 国内也开始推广。使用内热式电阻炉烧结是热压的一种。内热式电阻炉的原理是市电经变压器变成低电压大电流, 流通导电的压模。由于模具(含工件)本身有一定的电阻, 当通过电流时产生足够的热量, 由模具本身所吸收, 加热其间的工件粉末。在此同时, 上下压板会对压模轴向施压, 压缩工件粉末, 达到烧结的目的(图1)。

烧结过程如下: 先施以压制时一半的压力, 在数分钟内升温至烧结温度, 保温数分钟使温度均匀, 降温(或不降温)至较低温度, 用全压压制, 并保压数分钟, 达到烧结成型。以上的工艺参数: 压力、烧结温度、升温时间、保温时间、保压时间等, 均按被烧结件的工艺要求而定。

设计或选择某模具(含工件), 其质量和电阻值已定。在某电压下产生一定的电流。若电流太大升温太快, 不易控制烧结温度; 若电流太小升温太慢则影响生产率, 甚至达不到烧结要求。本文讨论如何选择电阻炉的电压、电流, 使能在预定的升温时间内达到工件的烧结温度, 即研究电压、电流、模具(含工件)的电阻及质量、升温时间、烧结温度六者之间的匹配。

1 试验及其结果

试验用设备是郑州三磨所生产的RYJ-C型热压电阻炉, 容量30kW, 变压器二级输出电压3.4—8V可调, 电流5kA以下。烧结铜基合金温度600—700℃上下, 升温时间一般为2—8 min。

本文1990—05—30收到。

*石材实验室陈南明、朱火明参加实验。

模具及工件的质量可称量或计算。模具及工件电阻包括材料电阻、模具间或模具与上下电极间接触面的接触电阻。前者可按电学原理计算，后者需通过测试求得。本文进行两类试验，一是求两种常用模具材料的接触电阻，二是找出在不同的电压电流下，升温温度、升温时间与模具之间的关系。根据两类数据整理分析电压 $V(V)$ ，电流 $I(A)$ ，模具及工件质量 $M(g)$ ，模具及工件电阻 $R(m\Omega)$ ，烧结温度 $T(^{\circ}C)$ ，烧结时间 $t(min)$ 的关系。由于电流流经机器上若干导电件及接头有损耗，此处电压 V 应指模具两端的电压，用表直接在上下两电极间测量。其值通常比变压器二级输出电压低1.5—2.5V。

1. 1 试验1

目的：求石墨及球墨铸铁的接触电阻率 ρ_2 。

试件材料：石墨及球墨铸铁。

试件：石墨件三种，球墨铸铁件二种。圆柱形，外径 $\phi 15-25mm$ ，有或无内孔。高度6—20mm。每种十余件。

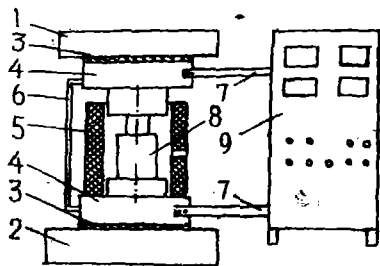


图1 内热式电阻炉

- 1——上压板；2——下压板；3——隔热绝缘板；4——电极；5——隔热套；6——冷却水管；7——汇流板；8——成型模具；9——电气柜

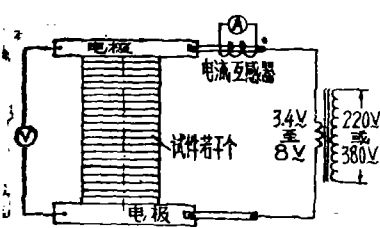


图2 试验装置简图

试验装置：见图2。上下压板对试件施压，压力为10MPa。

抄录一组石墨件试验数据如表1。

表1 试验一的石墨件数据

试件叠放个数	电压 $V(V)$	电流 $I(kA)$	电阻 $R(m\Omega)$	备注
12	5.4	0.8	6.75	试件尺寸
11	5.4	0.85	6.35	$\phi 25 \times 19.5$
10	5.4	0.9	6.00	端面积=491mm ²
9	5.4	1.03	5.20	
8	5.3	1.15	4.60	
7	5.3	1.2	4.40	
总计57			33.30	

平均每个电阻阻值： $R_{\text{平均}} = 0.584\text{m}\Omega$ 。

设材料电阻率为 $\rho_1(\text{m}\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}})$ ，接触面电阻率 $\rho_2(\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ，12个石墨柱，有13个接触面。柱总长 $19.5 \times 12 = 234.5\text{mm} = 0.2345\text{m}$ 。则 $\rho_1 \cdot 0.2345/491 + \rho_2 \cdot 13/491 = 0.0004766\rho_1 + 0.02648\rho_2 = 0.584 \times 12 = 7.008\text{m}\Omega$ 。

按文献[2]， $\rho_1 = 8000\text{m}\Omega \cdot (\text{mm}^2/\text{m})$ ，得 $\rho_2 = 120.66\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ 。从另两组石墨试件得 $\rho_2 = 111.6$ 及 125.8 ，所以 $\rho_2(\text{平均}) = 119.35\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ 。

用类似的球墨铸铁试件两种，圆柱端面加工光洁度1.6，同样的试验方法，求得球墨铸铁接触面1.6的接触电阻率*， $\rho_2(\text{平均}) = 128\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ 。

1. 2 试验2

目的：求 $B(=VI/M)$ 、 T 、 t 的关系。

试件及材料，试验装置：同试验一。

抄录一组石墨件数据如表 2。

表 2 试验二的石墨件数据

试件叠放个数	$V(\text{V})$	$I(\text{kA})$	$R(\text{m}\Omega)$	升温($^{\circ}\text{C}$)	升温时间 $t(\text{min})$	备注
12	2.6	0.41	6.34	室温至	4' 06''	试件尺寸
11	2.7	0.44	6.14	600 $^{\circ}\text{C}$	2' 18''	$\phi 25 \times 19.5$
10	2.7	0.46	5.87		2' 20''	端面积
9	2.3	0.52	4.42		2' 28''	491 mm^2
8	2.25	0.54	4.17		2' 04''	每件重量
7	2.2	0.57	3.86		1' 40''	16.3g
6	2.2	0.63	3.49		1' 22''	

升温时间 t 与 VI 的积成反比，与被加热件质量 M 成正比。所以 VI/M 是很重要的参数，以 B 表示，称为单位质量瓦数。

从室温升至600 $^{\circ}\text{C}$ ，叠放12试件的 B 值。

$$B = \frac{VI}{M} = \frac{2.6 \times 0.41 \times 10^3}{12 \times 16.3} = 5.45(\text{W/g})$$

同样计算得11件至6件的 B 值为：6.625，7.62，7.34，9.317，10.99，14.17。

绘制 $B-t$ 曲线，见图 3 曲线 1。从室温升至700 $^{\circ}\text{C}$ 进行同样试验，绘制图 3 曲线 2（虚线）。对球墨铸铁试件也进行同样试验，得图3曲线 1，2（实线）。

2 应用步骤及举例

试验结果的具体应用步骤：（1）热压某粉末件，首先选择或设计模具。若为类似金剛

*球墨铸铁材料电阻率 $\rho_1 = 600\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

石结块的小零件,应考虑并行压制及重叠压制以提高生产率。求模具(含工件)总重 M 。

(2) 计算模具(含工件)电阻 R ,应为 $m\Omega$ 级。

$R=R_1+R_2$, 其中, R_1 为材料电阻,按电学原理计

算; R_2 为接触面电阻。 $R_2=\rho_2 \frac{(n+1)}{A}$, 其中 A 为模具端

面接触面积(mm^2), n 为叠放的模具数。(3)按工艺

要求确定烧结温度($^{\circ}C$)及升温时间 t 。(4)按图3相应

曲线得 $B=V/I/M$ 值,并计算 $BM=VI$ 。(5)根据 R,I 、

V 、 BM 诺模图(图4),选择合理的电压 V 及电流 I 。

(6)若不合适,可改变模具以变动 R 及 M ,改变烧结时

间 t 等。使6个参数得到合理匹配,(7)核算电阻炉

的电压、电流及容量。

图3 石墨和球墨铸铁的 $B-t$ 曲线
——表示石墨;——表示球墨铸铁。
1.室温至 $600^{\circ}C$; 2.室温至 $700^{\circ}C$

现举例进行说明。在 RYS-C 型机上压制某环形金属粉末件,使用球墨铸铁压模,叠放10个模同时压制。每个模及工件重318.75g,共重 $M=3187.5g$ 。模具端面接触面积 $A=1.492mm^2$ 。10个模具总高0.125m。

$$R_1=600\times\frac{0.125}{1491}=0.0503m\Omega, \quad (A) \quad (V) \quad \text{模个数叠放}$$

$$R_2=128\times\frac{11}{1491}=0.9443m\Omega, \quad 14.0 \quad 2.5 \quad 51$$

$$R=R_1+R_2=0.9943m\Omega. \quad 44.0 \quad 1.5 \quad 11$$

$$R=R_1+R_2=0.9943m\Omega. \quad 28.2 \quad 24.0 \quad 10$$

若要求在5min左右升温至 $700^{\circ}C$,按图3(b)曲线2,得 $B=5.3$ 。计算 $BM=16894$ 。查图4,在 $R=0.9943m\Omega$, $BM=16894$ 条件下,匹配电压电流 $V=4.2V$, $I=4.22kA$,如虚线所示。二级输出电压3.4~3.8V分级可调,考虑损耗1.5~2.5V后,到模具两端电压应在4.2V

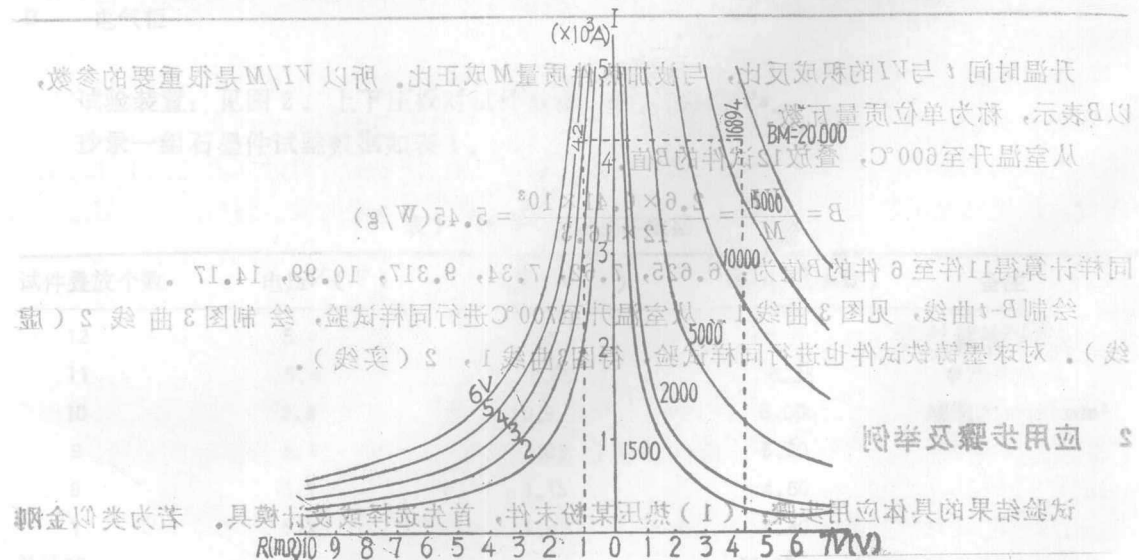


图4 R, I, V, BM 诺模图

左右。若 $V > 4.2V$ ，则升温时间比5min短；若 $V < 4.2V$ ，则时间长些。所选择的工作参数均在RYJ-C型机的范围内。

必须强调指出，上述数据及绘制的曲线是在特定条件下用试件试验得出的。生产中，由于模具不同，表面积不同，材质不同，环境不同，有无加隔热套（本实验未加）等等，因此图3的曲线位置，上下左右会有些移动。

云 游 游 平 考 吴 文 献 献

- [1] 日本机械学会，机械技术手册，机械工业出版社，（1984）。
- [2] [美] 豪斯纳，H. H. 著，粉末冶金，冶金工业出版社，（1982）。
- [3] 刘连寿，物理学辞典，科学出版社，（1982）。

The Matching of Essential Working Parameters of Internal Heating Type Resistance Furnace

Chen Peiyuan Chen Xida

(Department of Precision Mechanical Engineering)

Abstract In sintering of metallic powder products with internal heating type resistance furnace, there exists an inner link between some running parameters. These include sintering temperature, time, electric current, resistance of die, and mass of die. The matching of these running parameters are found by the authors through experiment and data analysis.

Key words sintering, heat press, heat insulation, pressure preservation