

## 基于激光烧结热成型腔尼龙粉吸热实验研究

孙澳楠

东北林业大学 黑龙江哈尔滨

**【摘要】**针对现有选择性激光烧结机型号 CX-B200 的成型原理,提出在成型腔四周壁贴置加热片的方案,旨在通过加热四周侧壁使热量传至内部粉末,达到改善成型腔内部温度场的目的。现有激光烧结机所使用的材料主要为尼龙、PES 等,但对于高温材料如 PEEK (聚醚醚酮)无法进行较好的烧结打印,所以从高温加热角度考虑选择加热温度范围为 400℃左右的加热片,通过调研分析加热片选择类型为铝加热片或陶瓷加热片。从优化成本角度考虑,尺寸为 100mm×100mm×20mm 的加热片使用较为普遍。

**【关键词】**选择性激光烧结; 加热片; 温度场

**【收稿日期】**2023 年 5 月 11 日 **【出刊日期】**2023 年 6 月 17 日 **【DOI】**10.12208/j.ijme.20230020

### Experimental study on endothermic heat absorption of nylon powder in laser sintering cavity

Aonan Sun

Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang

**【Abstract】** According to the forming principle of the existing selective laser sintering machine model CX-B200, a scheme of pasting heating plates on the surrounding wall of the forming cavity was proposed to improve the temperature field inside the forming cavity by heating the surrounding wall to transfer heat to the internal powder. The materials used in the existing laser sintering machine are mainly nylon, PES, etc., but for high temperature materials such as PEEK (polyether ether ketone) can not be better sintered printing, so from the high temperature heating point of view to choose the heating temperature range of 400℃ or so heating sheet, through research and analysis of heating sheet type is aluminum heating sheet or ceramic heating sheet. From the perspective of optimization cost, the size of 100mm×100mm×20mm heating sheet is more common.

**【Keywords】** Selective laser sintering; Heating sheet; Temperature field

成型腔内的工作尺寸为 220mm×220mm×400mm, 现根据成型腔尺寸设计四周侧壁每个面贴八块加热片, 竖直高度 4 块水平横向 2 块, 相邻两块加热片水平距离为 15mm, 竖直高度方向距离为 10mm。即根据加热片的尺寸将成型腔内竖直高度方向的温控区域分为四层。

#### 1 成型腔传热仿真模拟

为探究使用该布局方式的加热片时腔内粉末吸热情况, 使用建模软件对仿真模型进行简化建模, 对简化模型进行材料设定, 成型腔外壁设为铝材料, 加热片内部镍钨合金丝浇筑陶瓷, 腔内粉末材料为尼龙, 使用的仿真软件为 COMSOL, 将简化模型导入 COMSOL 软件中, 加热片功率设置为 500W, 整体采用自由四面体网格划分, 传热模型为瞬态传热

<sup>[1]</sup>, 粉末表面、加热片、成型腔壁与空气自然对流, 将环境与固体初始值温度设置为 25℃, 定义时间为 70min 随后运行计算, 得到温度场分布如图 1 所示。

根据温度场分布总结可得知, 通过加热片加热可使成型腔四周侧壁附近的粉末温度剧烈变化, 但影响范围有限<sup>[2]</sup>。为进一步探究加热片对腔内粉末传热影响距离, 现在仿真模型中, 距粉面 200mm 处沿垂直成型腔方向的粉末内部从右往左依次设置点探针 1-7 每个探针间隔距离为 10mm, 分析加热片加热侧壁时横向距离区域粉末吸热情况, 得表 1。

结合所得的数据结果, 可知使用功率 500W 的陶瓷加热片加热 70min 后, 对成型腔内有效传热距离大约为 50mm, 其中点探针 1 距离成型腔侧壁垂直距离最近为 10mm, 温度梯度变化最明显, 吸热

达到的温度也最高为 145.55℃，探针 2、3、4 的温度变化也较为显著，而探针 6、7 经过 70min 后温度

变化低于 5℃，即说明外置加热片加热对距侧壁水平 50mm 以外区域的粉末热量影响不大。

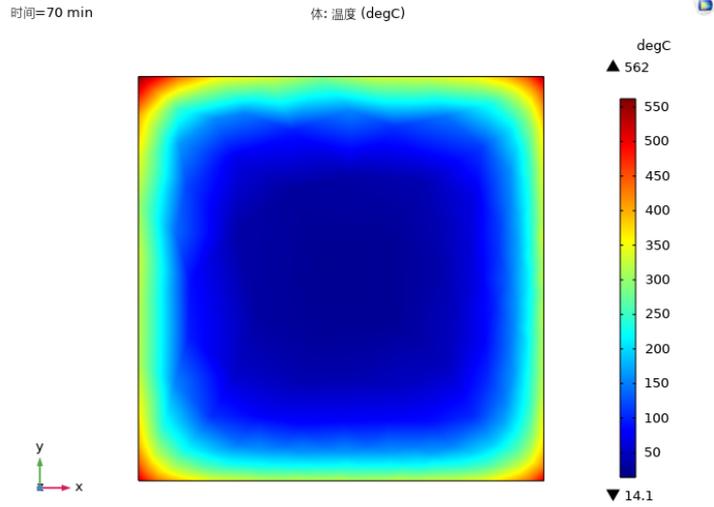


图 1 成型腔内粉末温度场分布图

表 1 点探针 1-7 温度变化表

时间/min	温度/℃						
	点探针 1	点探针 2	点探针 3	点探针 4	点探针 5	点探针 6	点探针 7
10	23.82	20.78	20.30	20.07	19.98	19.99	20.00
20	32.98	24.34	21.33	20.86	20.09	20.05	20.02
30	54.40	34.70	25.90	21.70	20.82	20.09	20.66
40	68.09	42.33	29.79	23.35	21.80	20.81	20.90
50	99.95	61.88	40.90	28.77	23.05	20.96	21.01
60	117.64	74.38	48.01	32.64	27.24	21.78	21.33
70	145.55	99.65	64.98	42.61	30.14	24.40	21.70

再在距离侧壁 40mm 距粉面 100mm 处，竖直方向上设置点探针 2-1 至 2-9 探针间隔距离为 10mm，根据加热片尺寸 100mm×100mm，现探究竖直高度 100mm 区域内粉吸热情况。

分析所得数据可知采用陶瓷加热片加热侧壁时，在距侧壁特定距离的竖直高度方向上，由上往下区域的粉末温度呈升高趋势，且随着加热时间的增加，点探针竖直变化大致相同，可推断出该区域内粉末吸热情况总体较稳定<sup>[3]</sup>。

点探针 2-1 至点探针 2-9 竖直高度距离为 100mm，前 60min 内粉温度上升趋势为每间隔 10min 升高 1~5℃，加热至 70min 时粉体温度上升趋势增大总体温度在 39℃~42℃区间内，总结数据可看出在加热至某一特定时间时，这个高度区间范围内相

邻 10mm 区域的粉温度差距为 1~3℃左右，温度梯度较小，表明在竖直高度 100mm 这个范围内总体温度变化曲线近似相同<sup>[4]</sup>。

## 2 加热片传热实验

在仿真软件中对加热片高温加热侧壁的情况进行了模拟仿真，现根据已有成型腔进行陶瓷加热片与铝加热片传热实验，探究使用这两种加热片加热侧壁时，成型腔内的粉末温度分布情况及变化幅度。

采用陶瓷加热片加热成型腔外壁，向现有成型腔内倒入深度为 100mm 的 PA12 尼龙粉，将陶瓷加热片外置紧贴在成型腔侧壁，制作一个简易定位移动装置，该装置上固定安装有 K 型 M6 螺钉热电偶，热电偶间隔距离为 20mm。

由于选择的尼龙粉末材料热变形温度大致为 80℃

左右,故将陶瓷加热片温度设置为 $80^{\circ}\text{C}$ ,成型腔侧壁中心位置放置陶瓷加热片,将热电偶横向垂直于侧壁埋入尼龙粉中,热电偶距离粉面竖直高度为 $50\text{mm}$ ,热电偶1距侧壁距离为 $20\text{mm}$ ,热电偶5则位于成型腔中心附近,将陶瓷加热片与汇邦多路控制器连接,加热 $70\text{min}$ 后整理热电偶反馈的数据。

根据所得结果,分析热电偶1、2、3经过一段加热时间后,数值变化较为显著,而热电偶4、5所得到的数值反馈与开始时间初始值相差不大。现更改热电偶组竖直方向埋入粉面的高度,整理数据。

将热电偶竖直放置,探究采用陶瓷加热片加热时不同竖直高度区域粉吸热情况,由于水平放置时热电偶3之后区域的粉温度变化不显著,现将热电偶组竖直放置距侧壁 $50\text{mm}$ 处,热电偶之间的间距仍为 $20\text{mm}$ ,热电偶1距底部距离为 $20\text{mm}$ ,同样加热 $70\text{min}$ 。后续再采用铝加热片加热成型腔外壁,收集所得到的数据进行分析对比。从上述实验中对铝加热片与陶瓷加热片温度为 $80^{\circ}\text{C}$ 加热侧壁时,腔内尼龙粉温度分布情况,当水平放置热电偶组距粉面深度 $50\text{mm}$ 时,热电偶1采集的初始值分别为 $19^{\circ}\text{C}$ 与 $22^{\circ}\text{C}$ 左右,热电偶1距侧壁距离最近为 $20\text{mm}$ ,当外置热源为陶瓷加热片时,加热 $70\text{min}$ 后,热电偶1采集的温度值从 $22.1^{\circ}\text{C}$ 升至 $50.9^{\circ}\text{C}$ ,热电偶5则是由 $23.5^{\circ}\text{C}$ 升至 $27.5^{\circ}\text{C}$ ,收集数据时间间隔为 $10\text{min}$ ,热电偶1升温幅度最大,在前 $30\text{min}$ 时间段内每 $10\text{min}$ 升温 $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ 左右,但加热至 $30\text{min}$ 后升温幅度开始减小,每隔 $10\text{min}$ 上升 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 左右,而对于热电偶3、4、5从表中数据可以看出总体升温幅度较稳定,一直以 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 的趋势上升。当外置热源为铝加热片时,加热 $20\text{min}$ 后距离侧壁最近的热电偶1发生较大的温度增幅,后续则变化为每隔 $10\text{min}$ 上升 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ ,此外,热电偶1、2、3的数值明显大于陶瓷加热片加热时的数值。现更改热电偶组距粉面深度使其为 $25\text{mm}$ ,同样发现采用铝加热片时热电偶1的数值高于采用陶瓷加热片加热,温度变化趋势大致相同。根据实验结果来看,对比两种加热片,铝加热片能传递较多热量至腔内粉末,但由于铝加热片前期传热效果好,腔内尼龙粉温度梯度较大,而陶瓷加热片总体加热相比较缓慢<sup>[5]</sup>。即从粉吸热效率看,铝加热片优于陶瓷加热片,但两者都对中心处粉末的影响较小,从数据中看出热

电偶1、2、3处温度变化幅度较显著,初步推断此实验中使用 $80^{\circ}\text{C}$ 加热片对成型腔侧壁垂直距离约 $50\text{mm}$ 区域内的粉末传热效果较显著。陶瓷加热片加热得到的热电偶温度温差变化较铝加热片平稳,说明使用陶瓷加热片,腔内尼龙粉会缓慢升温,温度变化幅度较小,而对于铝加热片,靠近侧壁附近区域的尼龙粉会快速升温,加热一定时间后升温幅度变小再趋于稳定,前期温度梯度较大。

### 3 结论分析

探究距离成型腔侧壁 $50\text{mm}$ 时竖直方向上不同区域温度分布,从实验结果分析,采用两种加热片时每隔 $10\text{min}$ 竖直方向上收集到的各热电偶值大致相同且相邻两热电偶之间的温差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ ,从热电偶1至热电偶5数值逐渐减小,可分析出上部区域粉末吸热效果较低于下部区域粉末,但在同一竖直高度 $100\text{mm}$ 这个区间范围内<sup>[6]</sup>,尼龙粉总体温度梯度较小。

综合上述实验结果,当外置热源为 $80^{\circ}\text{C}$ 时相同时间内,铝加热片传递的热量多于陶瓷加热片,但铝加热片加热状态稳定性相对于陶瓷加热片略有不足,并且该型号尺寸的铝加热片温度上限为 $350^{\circ}\text{C}$ 对比同尺寸的陶瓷加热片所能达到高温上限 $500^{\circ}\text{C}$ 要低<sup>[7]</sup>。因此,若烧结高温材料时应优先考虑陶瓷加热片,此外通过实验发现两者沿侧壁水平方向上对腔内粉末有效吸热影响区域大约为 $50\text{mm}$ ,且距侧壁特定距离时同一竖直高度方向 $100\text{mm}$ 区域内的粉末温差变化小,即能保证较小的温度梯度,与高温仿真所得到的结果大致相同。

### 参考文献

- [1] Wang Peng, Yang Yiran, Moghaddam Narges Shayesteh. Process modeling in laser powder bed fusion towards defect detection and quality control via machine learning: The state-of-the-art and research challenges[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 73: 961-984.
- [2] 顾波. 增材制造技术国内外应用与发展趋势[J]. 金属加工(热加工), 2022, 846(3): 1-16.
- [3] Campbell Ian, Bourell David, Gibson Ian. Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age[J]. Rapid Prototyping Journal, 2012, 18(4): 255-258.
- [4] 张衡, 杨可. 增材制造的现状与应用综述[J]. 包装工程,

2021, 42(16): 9-15.

展前景[J]. 中国高新技术企业, 2016, 375(24): 35-36.

- [5] 于跃强, 郭艳玲, 蒋婷, 等. 选择性激光烧结核桃壳/Co-PES 复合粉体颗粒尺度研究[J]. 应用激光, 2017, 37(4): 509-514.
- [6] 董庆楠, 赵荣霞, 赵占勇, 等. 选择性激光熔化铝合金的研究进展[J]. 热加工工艺, 2022, 51(6): 1-5.
- [7] 徐振焯, 武艺, 宋万林. 光固化成型工艺的分析及其发

**版权声明:** ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



**OPEN ACCESS**