

Effect of carburizing process on iron based high carbon materials in powder metallurgy

Zijun Ye Yongtao Cui Jun Li Long Wu Enlong Deng

Yangzhou Baolai Technology Industrial Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225002, China

Abstract

The Fe-Cu-C (0.8%C) material was pressed using powder metallurgy technology, and the effects of different conditions on the microstructure were investigated in heat treatment process. Analyzing the data through orthogonal experiments, the evaluation of carburizing temperature is the main factor affecting micro hardness; The insulation time and carbon potential also have a certain impact on it; When the insulation time is greater than 120 minutes, increasing the carburizing temperature from 830°C to 890°C during heat treatment leads to an increase in the harden depth from 1.8 mm to 2.4 mm, as well as an enhancement in surface hardness from $H_{V(0.1)}$ 710.6 to $H_{V(0.1)}$ 782.4. when the carbon potential is decreased from 1.0% to 0.6%, there is a reduction in both the harden depth—from 1.8 mm to 1 mm—and surface hardness, which decreases from $H_{V(0.1)}$ 710.6 to $H_{V(0.1)}$ 692.5. Additionally, insulation time significantly influences the depth of the hardened layer; specifically, increasing insulation time from 90 minutes to 120 minutes results in an increase in harden depth from 1 mm to 1.8 mm and a corresponding rise in surface hardness from $H_{V(0.1)}$ 680.6 to $H_{V(0.1)}$ 710.6.

Keywords

Powder metallurgy; carburization; temperature; microstructure; harden depth

渗碳工艺对粉末冶金铁基高碳材料的影响

叶子君 崔永涛 李俊 吴龙 邓恩龙

扬州保来得科技实业有限公司, 中国·江苏 扬州 225002

摘要

利用粉末冶金技术将Fe-Cu-C (0.8%C) 原料压制成型, 研究不同渗碳热处理工艺条件对其显微组织及性能的影响。结果表明: 通过正交实验对数据进行分析, 渗碳温度是影响显微硬度的主要因素; 保温时间次之, 碳势也对其有一定的影响; 在保温时间为120min的情况下, 将渗碳温度由830°C升至890°C时, 淬硬层深度可由1.8mm提高至2.4mm; 表面硬度由 $H_{V(0.1)}$ 710.6提高至 $H_{V(0.1)}$ 782.4; 碳势 (CP: carbon potential) 由1.0%降低0.6%时, 淬硬层深度由1.8mm降至1mm, 表面硬度由 $H_{V(0.1)}$ 710.6下降至 $H_{V(0.1)}$ 692.5; 同时保温时间也明显影响淬硬层深度, 保温时间由90min延长至120min, 淬硬层深度由1mm提高至1.8mm, 表面硬度由 $H_{V(0.1)}$ 680.6提高至 $H_{V(0.1)}$ 710.6。

关键词

粉末冶金; 热处理渗碳; 温度; 显微组织; 淬硬层深度

1 引言

粉末冶金工艺具有高精度, 高省材, 高效省时等一系列优点^[1]。通过压制成形, 烧结等工序赋予产品一定的物理性能。随着粉末冶金应用场景的延展, 对于产品性能要求愈发严格。但因孔隙的存在, 粉末冶金制品与传统钢件或锻件相比, 性能偏低, 热处理可作为进一步提高粉末冶金产品综合性能的有效手段^[2,3]。

粉末冶金制品常见的热处理工艺有渗碳、碳氮共渗、感应淬火等。本文主要研究热处理渗碳工艺对粉末冶金铁基中碳原料的显微组织和性能影响。

【作者简介】叶子君 (1987-), 男, 中国江苏连云港人, 本科, 工程师, 从事粉末冶金烧结、热处理工艺研究。

2 实验过程与方法

试验原料为 FC0208 铁基高碳合金粉, 该原料由赫格纳斯 (中国) 有限公司提供, 主要成分如下:

表 1 试验原料的化学成分

成分 (质量分数 /%)	Cu	C	Fe	润滑剂
含量	1.75	0.8	余	0.6

原料粉末在 600MPa 左右压力下压制得到密度 $6.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的产品。随后在宽 600 mm 网带连续炉中进行烧结, 烧结温度为 1120 °C, 高温区保温 60 min, 使用氨分解气氛, 冷却后制得烧结态试样。另将所得烧结显微组织正常的试样经由渗碳温度为 830°C、850°C、890°C; 渗碳保温时间为 60min、90min、120min; 以及不同渗碳碳势 0.6%、0.8%、1.0% 的渗碳热处理后, 经等温油淬火并冷却至室温, 最后

经 180℃ *1H 回火，得到热处理态最终试样。

表 2 试验的热处理渗碳工艺参数表

因素	温度 (A)	保温时间 (B)	碳势 (C)
1	830℃	60min	0.6%
2	850℃	90min	0.8%
3	890℃	120min	1.0%

将产品用砂轮机进行切割获得纵剖面，镶埋、打磨并抛光后制得金相镶块。使用配比为 4% 硝酸酒精溶液腐蚀，在光学显微镜下得到所取样块的金相组织及淬硬层深度；用维氏显微硬度计—Hv(0.1) 测得表面硬度；表面硬度与组织评测区域如图 1 所示。

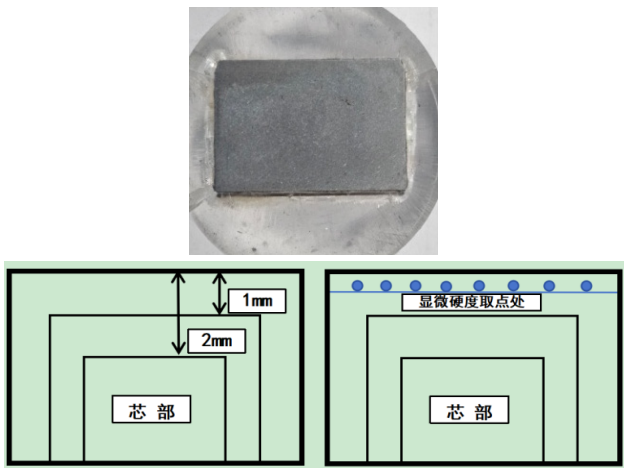


图 1 金相评定及表面硬度测量范围示意图

3 结果与分析

3.1 热处理渗碳工艺对硬度影响

对表 3 建立三因素三水平正交表，并运用直观分析法，对所得显微硬度值进行极差分析：

k1~k3 为对应因子的水平 1~3 数据的综合平均，用于得出最好水平。

Range 为 k1~k3 极差，用于评估最大影响因素。

表 3 表面显微硬度正交表

试样编号	温度 (A)	保温时间 (B)	碳势 (C)	表面显微硬度均值
1	1 (830℃)	1 (60min)	1 (0.6%)	640.4
2	1 (830℃)	2 (90min)	2 (0.8%)	680.6
3	1 (830℃)	3 (120min)	3 (1.0%)	710.6
4	2 (850℃)	1 (60min)	2 (0.8%)	657.5
5	2 (850℃)	2 (90min)	3 (1.0%)	662.7
6	2 (850℃)	3 (120min)	1 (0.6%)	692.5
7	3 (890℃)	1 (60min)	3 (1.0%)	700.8
8	3 (890℃)	2 (90min)	1 (0.6%)	720.5
9	3 (890℃)	3 (120min)	2 (0.8%)	782.4

表 4 表面显微硬度极差数据分析表

因素	温度 (A)	保温时间 (B)	碳势 (C)	误差 (D)
K ₁	2031.59	1998.70	2053.40	2085.50
K ₂	2012.70	2063.80	2120.50	2073.90
K ₃	2203.70	2185.49	2074.09	2088.59
k ₁	677.20	666.23	684.47	695.17
k ₂	670.90	687.93	706.83	691.30
k ₃	734.57	728.50	691.36	696.20
Range	63.67	62.26	22.37	4.90

注：K1~K3 为对应因子（温度、保温时间、碳势）列 1~3 水平效应的估计值，即 1~3 水平对应因素的数据和。

由表 4 极差数据分析可知，在热处理过程中对硬度影响最明显的因素温度；保温时间次之，且两者差异不大。碳势相较影响较小，当碳势为 1.0% 时，表面硬度会相对降低（表 3 中试样编号 5），这是因为随着碳含量升高，马氏体开始转化温度和转化结束温度下降，导致渗碳结束直接淬火后表面形成残余奥氏体。从表 4 中 k₁k₂k₃ 值可得，FC0208 原料若想获得较高的硬度，合理的热处理渗碳工艺条件为温度 890℃、保温时间 120min 及碳势 0.8%。

3.2 热处理渗碳工艺对组织影响

图 3 为 FC0208 铁基高碳合金粉经成形和烧结工序后试样的显微组织。

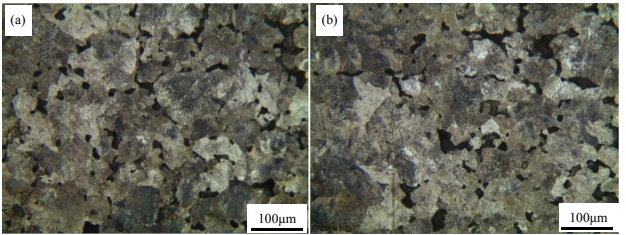


图 3 烧结试样表面和芯部的显微组织图：(a) 表面组织；(b) 芯部组织；

表面和芯部主要组织为良好的均匀分布的珠光体组织，无脱碳、网状渗碳体等异常组织；高倍下可见少量片条状铁素体夹杂在珠光体组织中，如图 3(a) 和 (b) 中所示。

图 4 为试样 1、2、3 距表面 1mm 和 2mm 处显微组织，渗碳温度均为 830℃，保温时间分别为 60、90、120min，碳势分别为 0.6、0.8、1.0%。表层组织为不同含量的马氏体，如图 4（a）所示，表面淬硬层深度约 0.4mm 且珠光体含量占有有效淬硬层区 40% 左右，在 2mm 深度已呈现均匀一致的珠光体，如图 4（b）所示；如图 4（c）所示，表面淬硬层深度约 1mm 且层内无明显珠光体，1mm 边界处出现少量珠光体，图 4（d）位置 2mm 处均为珠光体；如图 4（e）和图 4（f）所示，表面有效淬硬层深度约 1.8mm，在 1.5mm 处珠光体占 10% 左右，温度一定时，保温时间与碳势增加使得淬硬层深度加深。

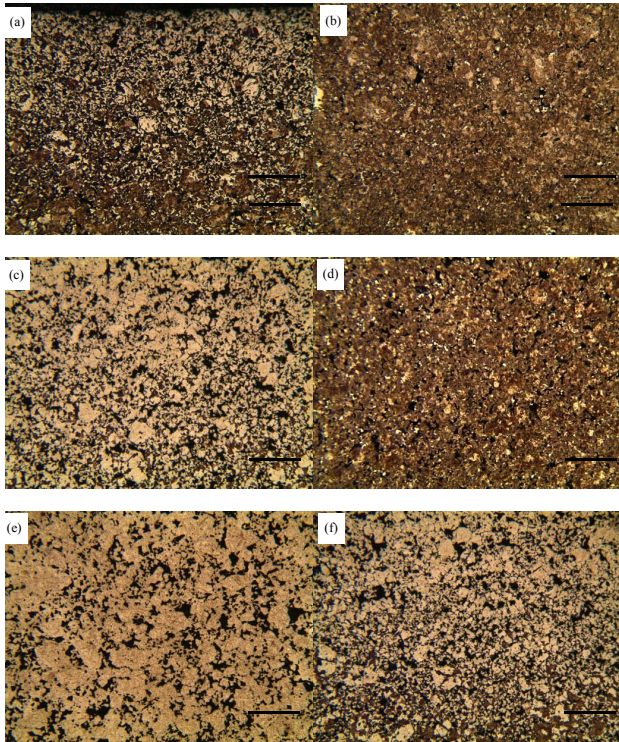


图 4 烧结试样经 830℃温度渗碳处理的微观组织图：(a) 试样 1 距表面下 1mm 处；(b) 试样 1 距表面下 2mm 处；(c) 试样 2 距表面下 1mm 处；(d) 试样 2 距表面下 2mm 处；(e) 试样 3 距表面下 1mm 处；(f) 试样 3 距表面下 2mm 处；

试验条件 4、5、6 渗碳温度均为 850℃，保温时间分别为 60、90、120min，碳势分别为 0.8、1.0、0.6%。试样 4 距表面下 1mm 处表面淬硬层深度约 0.5mm，有效淬硬层区珠光体含量 45% 左右；试样 4 距表面下 2mm 深度处金相组织 95% 以上珠光体；试样 5 增加保温时间与碳势后，表面淬硬层深度加深了 0.1mm 左右，即淬硬层 0.6mm；试样 6 如图 5(a)&(b) 所示表面有效淬硬层深度约 1.0mm，与同样淬硬层 1mm 的试样 5 相比，考虑到保温时间延长的作用，淬透性稍好。

试验条件 7、8、9 试样渗碳温度均为 890℃，保温时间分别为 60、90、120min，碳势分别为 1.0、0.6、0.8%。距表面 1mm 和 2mm 处观察显微组织，试样 7 距表面下 1mm 处表面淬硬层深度约 1.5mm，距表面 2mm 处珠光体占 45% 左右；试样 8 在增加保温时间的情况下淬硬层由 1.5mm 增至 1.8mm；图 6(a)&(b) 所示表面有效淬硬层深度约 2.4mm，该条件下为以上九种试验中最深淬硬层，在渗碳温度增加、保温时间延长的作用下，渗碳效果较明显。

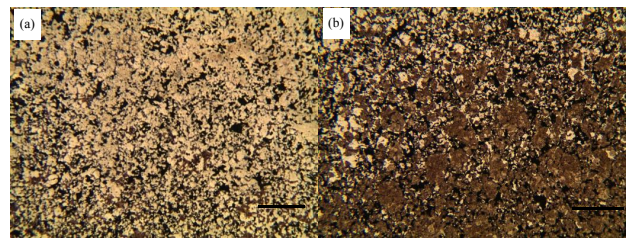


图 5 烧结试样经 850℃温度渗碳处理的微观组织图：(a) 试样 6 距表面下 1mm 处；(b) 试样 6 距表面下 2mm 处

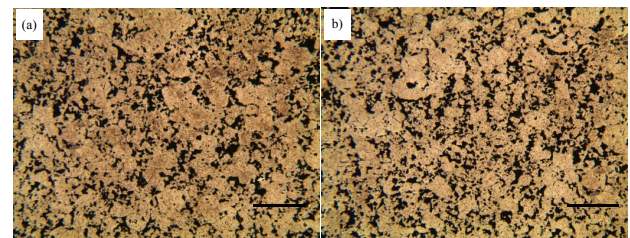


图 6 烧结试样经 890℃温度渗碳处理的微观组织图：(a) 试样 9 距表面下 1mm 处；(b) 试样 9 距表面下 2mm 处；

4 结论

①实验结果显示，淬硬层深度随着淬火温度提高而加深，在温度为 890℃、保温时间为 120min、碳势为 0.8 时，淬硬层深度最深提高至可达 2.4mm 且珠光体组织小于 5%。

②渗碳化学热处理能显著提升产品硬度，从原始烧结态组织 Hv(0.1)350 提升至最高 Hv(0.1)782.4，表面组织由烧结后珠光体变为回火马氏体；

③保温时间也影响渗碳效果，在同一温度下（830℃）保温时间由 60min 延长至 90min、120min，淬硬层深度由 0.4mm 提高至 1mm、1.8mm，表面硬度由 Hv(0.1)640.4 提高至 Hv(0.1)710.6。

④碳势对深碳也起一定作用，在碳势 1.0 时，渗碳淬火后会形成较多的残余奥氏体，表面硬度会相对降低。

参考文献

- [1] 胡号, 李雷, 许磊, 等. Cu-Fe 合金制备技术研究进展[J]. 粉末冶金技术, 2019, 37(6): 468
- [2] 黄伯云, 易健宏. 现代粉末冶金材料和技术发展现状(一)[J]. 上海金属, 2007, (03): 1-7.
- [3] 黄雨晴, 何浩, 娄嘉, 等. 烧结温度及热处理对注射成形 4605 低合金钢组织与性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2019, 24(06): 549-556.