

文章编号:1673-9981(2011)04-0267-04

# 热处理对粉末冶金温压铁基合金组织和性能的影响

李崔昕, 黄钧声, 范文涛

广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510006

**摘要:**采用粉末内润滑温压技术制备了 Fe-3.5Ni-1.95Cu-0.54Mo-1C 合金与 Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C 合金, 并对烧结试样进行了渗碳淬火和回火热处理. 通过对烧结试样和热处理试样的密度及组织的对比分析, 研究了热处理对温压铁基合金的显微组织和机械性能的影响. 结果表明: 烧结合 Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C 合金经热处理后, 其抗拉强度可由 640 MPa 提高到 1044 MPa, 表面硬度可由 88HRB 提高到 46HRC, 显微组织为回火马氏体和残余奥氏体. 它的烧结合断裂机制属于韧性断裂和解理断裂共存的混合型断裂, 而热处理态合金的断裂机制为脆性准解理断裂.

**关键词:**温压; 热处理; 显微组织; 力学性能

**中图分类号:** TF124

**文献标识码:** A

为提高粉末冶金铁基材料的性能, 目前, 众多科研工作者主要着眼于压制方式和烧结技术的改进<sup>[1]</sup>. 然而, 要获得高性能粉末冶金材料仅靠改进压制方式和烧结工艺是很难实现的, 应将压制、烧结及热处理作为一个系统进行综合考虑. 本实验采用将温压、烧结及热处理相结合的方法制备了高性能粉末冶金材料. 通过对烧结合和热处理态合金的性能和组织的对比分析, 研究了热处理对粉末冶金温压铁基合金组织和性能的影响.

## 1 试样制备与试验方法

### 1.1 试样制备

以美国海格纳士有限公司生产的含有高效温压润滑剂的温压专用粉末(化学成分 Fe-3.5Ni-1.95Cu-0.5Mo-0.2C, 松装密度 3.11 g/cm<sup>3</sup>, 流动速率 24.5 s/50g)为原料, 再另外添加 0.8% 由日本黑铅工业股份公司生产的石墨粉, 在 V 型混料机中干混 30 min, 在 100 °C, 800 MPa 的条件下, 于扬州伟达机械有限公司生产的 PH-80T 型温压粉末成型机中压制成形, 制得 Fe-3.5Ni-1.95Cu-0.5Mo-1C 合金(1号合金); 以瑞典赫格纳斯有限公司生产的 Densmix701 温压专用粉末(化学成分 Fe-3.81Ni-

1.56Cu-0.48Mo-0.25C, 松装密度 3.43 g/cm<sup>3</sup> 流动速率 22.59 s/50g)为原料, 在 130 °C, 800 MPa 的条件下压制, 制得 Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C 合金(2号合金). 将压坯在网带式连续烧结炉中以 1120 °C 烧结并保温 30 min, 然后自然冷却到室温. 分别将两种烧结合试样中的一部分试样在碳势 0.7% 的吸热性煤气气氛中渗碳, 于 850 °C 下奥氏体化 2 h, 随后淬于 60 °C 的油中, 最后在 180 °C, 于 N<sub>2</sub> 中回火 1.5 h.

### 1.2 试验方法

用排水法测定试样的密度; 用布洛维光学硬度计测试表面硬度; 用电液伺服微机控制万能试验机进行拉伸试验测试力学性能; 用金相显微镜观察显微组织; 用日本日立公司生产的 S-3400N-II 型扫描电子显微镜(SEM)对拉伸断口进行观察和分析.

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 密度

粉末冶金材料的密度对其性能有很大影响. 对铁基粉末冶金零件而言, 当密度达到 7.2 g/cm<sup>3</sup> 后, 其硬度、抗拉强度、疲劳强度及韧性等都会随密度的增加而呈几何级数的增大<sup>[2]</sup>.

收稿日期: 2011-06-10

作者简介: 李崔昕(1986-), 男, 湖南郴州人, 硕士研究生.

表1 试样的密度

Table 1 Density of the samples

合金编号	生坯密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	烧结密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	热处理密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	7.18	7.32	7.22
2	7.34	7.43	7.39

两种合金试样的密度列于表1。由表1可知,石墨含量对试样的密度有较显著的影响。石墨是一种高压缩模量且密度较低的固体,会引起压坯的弹性后效增大而降低温压合金的密度<sup>[3]</sup>。由表1还可见,铁基粉末经温压和烧结后密度有所提高。

热处理后,由于回火马氏体中固溶了过饱和的C原子,导致Fe原子之间的距离增大,造成试样体积膨胀,相对烧结体而言,试样的密度有所降低。

## 2.2 力学性能

试样的力学性能列于表2。从表2可知,烧结后两种合金都达到了较高的硬度且1号合金的硬度稍高于2号合金,1号合金的烧结态硬度高达98HRB。热处理后2号合金的表观硬度由88HRB提高到46HRC,抗拉强度由640MPa提高到1044MPa,屈服强度由379MPa提高到969MPa,达到甚至超过了美国金属粉末工业联合会(Metal Powder Industries Federation, MPIF)的Materials Standards for PM Structural Parts(2007 edition)<sup>[3]</sup>所要求的性能标准。

表2 试样的力学性能

Table 2 Mechanical properties of the samples

合金编号	烧结态				热处理态			
	硬度(HRB)	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后延伸率/%	硬度(HRC)	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后延伸率/%
1	98	487	469	1.3	41	693	650	0.8
2	88	640	379	3.6	46	1044	969	0.9

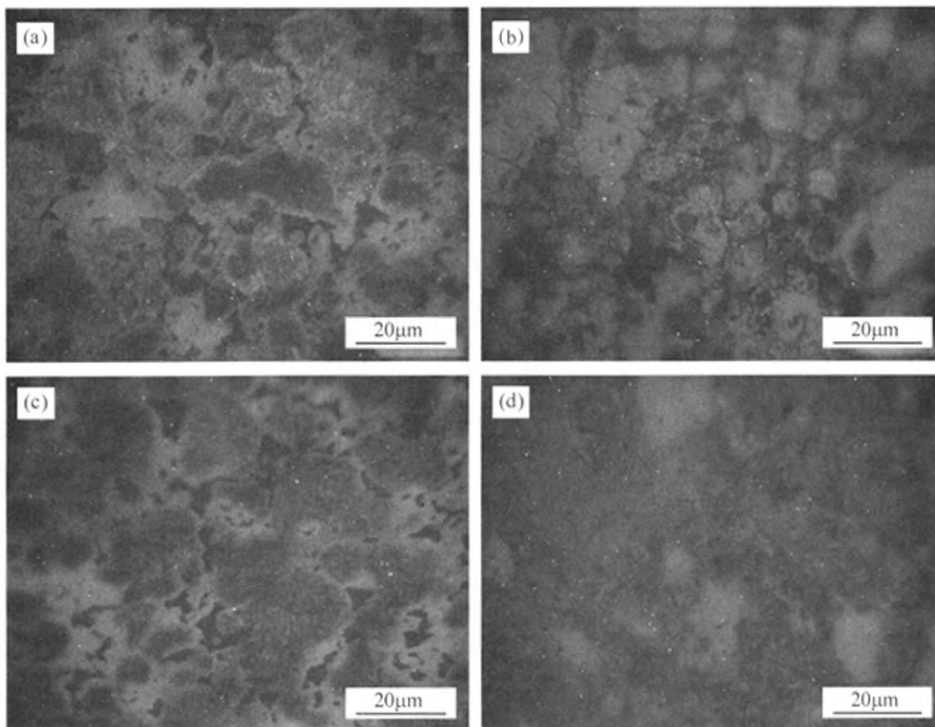


图1 试样的显微组织

(a) 1号合金烧结态;(b) 2号合金烧结态;(c) 1号合金热处理态;(d) 2号合金热处理态

Fig. 1 Microstructures of specimens

(a) Sample 1 after sintering;(b) Sample 2 after sintering;(c) Sample 1 after heat treatment;(d) Sample 2 after heat treatment

### 2.3 显微组织分析

两种合金的显微组织如图1所示.从图1(a)可见,烧结后形成了复杂的多相结构组织:1号合金由于碳含量超过了0.8%,在烧结态的C颗粒中心形成了珠光体和片层粗大的渗碳体,在富含Cu和Mo的颗粒边界上形成马氏体、下贝氏体,在富Ni区形成奥氏体,晶界上分布着少量断续、脆性的网状碳化物<sup>[4]</sup>;由图1(b)可见,2号合金烧结态的显微组织为铁素体、珠光体、奥氏体以及少量马氏体与贝氏体的混合

组织.烧结态的显微组织既取决于材料中的碳含量,还取决于奥氏体化温度以及冷却速度.当钢的成分一定且实际冷却速度小于临界冷却速度时,过冷奥氏体将发生扩散性分解,形成先共析铁素体和珠光体等类型的组织;若冷却速度大于临界冷却速度,烧结组织中还会出现马氏体和贝氏体组织.由图1(c)和图1(d)可见,经热处理后,两种合金的显微组织皆为残余奥氏体和大量的回火马氏体,1号合金主要为片状马氏体,2号合金主要为板条状马氏体.

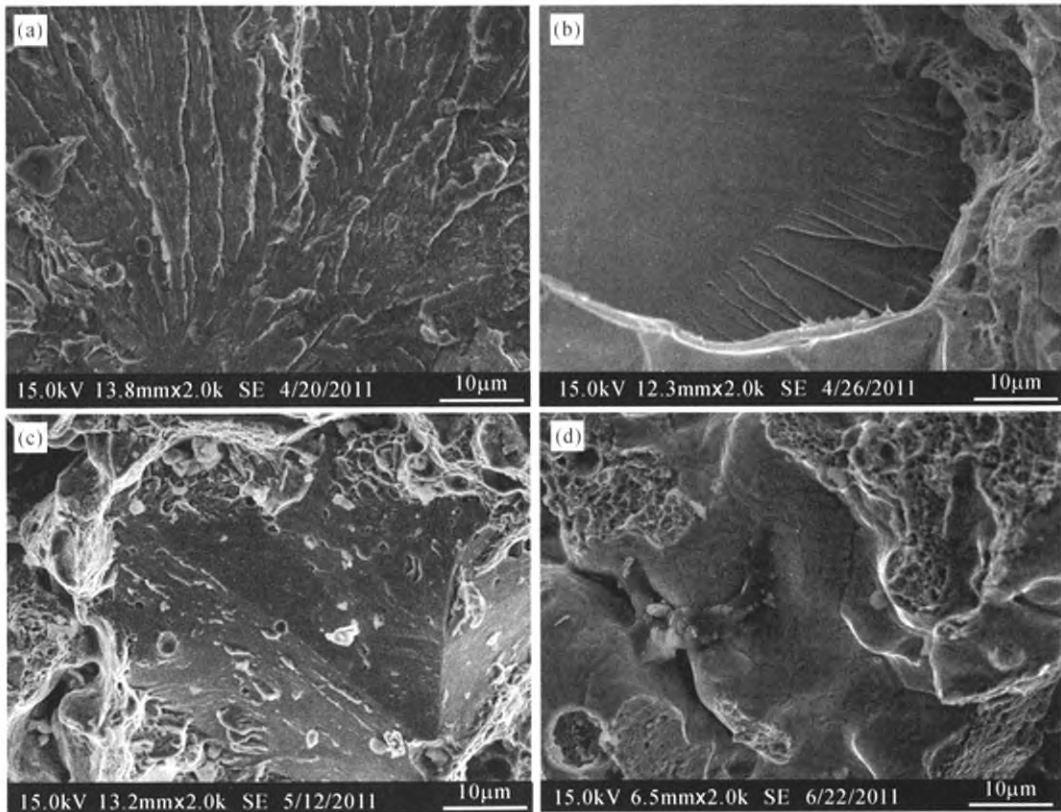


图2 试样的断口形貌

(a) 1号合金烧结态;(b) 2号合金烧结态;(c) 1号合金热处理态;(d) 2号合金热处理态

Fig.2 SEM images of tensile specimens' fracture

(a) Sample 1 after sintering;(b) Sample 2 after sintering;(c) Sample 1 after heat treatment;

(d) Sample 2 after heat treatment

### 2.4 断口分析

合金的断口形貌如图2所示.从图2(a)可见,1号合金烧结体的拉伸断口与正应力垂直,微观断口表面分布着呈放射状、无明显偏移的河流花样,属于脆性解理断裂.由图2(b)可见,1号合金烧结体的拉伸微观断口包含许多韧窝和经明显塑性变形

后形成的延伸区,在极平坦的镜面上分布着呈激增河流状花样,属于韧性断裂和解理断裂共存的混合型断裂.两种合金经淬火和回火处理后,由于碳化物坚硬质点的作用,裂纹在晶内难以严格地沿一定晶面扩展,形成了从晶内某点发源的放射状河流花样,其微观形态特征为准解理断口<sup>[5]</sup>(如图2(c)和图2(d)所示).

### 3 结 论

(1) 石墨含量为 0.25% 的 2 号合金经烧结和热处理后的密度及力学性能皆高于石墨含量为 1% 的 1 号合金;

(2) 热处理能显著提高烧结材料的力学性能; Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C 合金经 850 °C 渗碳淬火 2 h, 180 °C 回火 1.5 h 处理后, 其抗拉强度由 640 MPa 提高到 1044 MPa, 硬度由 88HRB 提高到 46HRC, 显微组织为回火马氏体和残余奥氏体;

(3) 1 号合金烧结体的断裂属于脆性解理断裂, 2 号合金烧结体的断裂属于韧性断裂和解理断裂共存的混合型断裂, 热处理态合金的断裂为脆性准解理断裂.

### 参考文献:

- [1] 胡建东. 高性能铁基粉末冶金材料复合制备方法及组织性能研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.
- [2] 黄培云. 粉末冶金原理[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 377-380.
- [3] 曹顺华, 高海燕, 曲选辉. 用作温压基粉原料的 Fe-Ni-Mo 合金钢粉温压与烧结行为的研究[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2001, 6(2): 129-130.
- [4] Metal Powder Industries Federation, MPIF Standard 35-2007, Materials Standards for PM Structural Parts[S]. New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 2007: 10-17.
- [5] 王从曾, 刘会亭. 材料性能学[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2001: 28.

## The effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of iron based P/M materials

LI Cuixin, HUANG Junsheng, FAN Wentao

Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** Fe-3.5Ni-1.95Cu-0.54Mo-1C alloy and Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C alloy were fabricated by powder lubrication warm compaction, and then the sintered specimens were heat-treated with quenching and tempering. The influences of the heat-treatment on the microstructure and mechanical properties of the P/M iron-based materials were investigated. The results show that with the application of heat-treatment after sintering, mechanical properties of two kinds of materials are enhanced obviously. For Fe-3.81Ni-1.56Cu-0.48Mo-0.25C alloy, the ultimate tensile strength is increased from 640MPa to 1044MPa, the hardness is increased from 88 HRB to 46 HRC, and the microstructure is of tempered martensite and retained austenite. The sintered alloy shows a dimpled and cleavage fracture surface, and the fracture mechanism of heat-treated alloy is quasi-cleavage brittle fracture mode.

**Key words:** warm compaction; heat treatment; microstructure; mechanical properties