



# 孔隙在粉末冶金铁基材料 磨损中的作用

方宁象\*

(浙江省冶金研究院, 310007)

徐润泽

(中南工业大学, 410083)

**摘要** 采用销盘型磨损试验研究了 Fe-3Cr-2Ni-2Cu-0.8C-3WC 烧结钢密度对其磨损率的影响; 通过扫描电子显微镜(SEM)的磨损表面形貌观察, 分析讨论了孔隙在室温, 500℃条件下磨损过程中的作用。结果表明, 密度对室温磨损影响较大, 密度提高则磨损减小; 密度对高温磨损率影响不大, 磨损以混合机制发生。

**主题词** 粉末冶金 孔隙 磨损

## 1 前言

粉末冶金材料的多孔性为材料摩擦磨损行为的研究增加了新内容, 成为区别于其它致密材料磨损的一大特点。

对孔隙在磨损过程中的作用, 至今还未得出一致的看法。

1973 年, Amsallen 等<sup>[1]</sup>最先研究了烧结铁的无润滑磨损特性。以 0.55m/s 的低滑动速度, 在不同载荷和不同环境条件下试验, 发现烧结铁的摩擦磨损行为与非烧结铁类似, 只是摩擦系数略高, 磨损较小。S. C. Lim 和 J. H. Brunton<sup>[2]</sup>用装有扫描电镜的动态销盘型磨损台架研究了烧结铁的无润滑磨损机制和孔隙在磨损过程中的作用。发现磨损与开口孔隙的数量有关。在干磨情况下, 孔隙是产生和留集磨屑的地方, 这一作用使材料的磨耗降低。实验结果表明, 低载时, 孔隙度高反而磨损小, 高载时影响不大。当表面产生材料流变(滑移或机械抛光)而将大多数开口孔隙覆盖时, 磨损行为与非烧结铁相似。

A. I. Taskinen 和 M. H. Tikkanen<sup>[3]</sup>则发现高载时随烧结钢密度提高, 磨损率增大, 低载时相反, 尤其是对未经热处理的烧结钢。Eyre 和 Walker<sup>[4]</sup>的实验结果则表明烧结铁的耐磨损性可通过增加压制压力和提高烧结温度, 即减小孔隙度而得到改善。

K. Kazavijadeh 等<sup>[5]</sup>在研究蒸汽处理对烧结铁和铁铜合金抗磨粒磨损性能的影响时发现孔隙对磨损行为的作用很大, 认为磨粒磨损与裂纹的形成和扩展有关。孔隙, 尤其是开口孔隙相当于先在裂纹。蒸汽处理通过改变开口孔隙数量和孔隙周围的析出颗粒而影响耐磨损性。

可以看到, 孔隙的上述作用大多是从塑性较好的烧结铁的研究中得到的。对硬度较高, 塑性较差, 或加有硬质相的烧结钢来讲, 孔隙起怎样的作用尚未见报导。本文从这方面作了尝试, 研究了相对密度对含 3%WC 的烧结铁基合金在室温和 500℃下磨损过程中磨损率的影响, 用扫描电镜(SEM)观察磨损

\* 1988 年毕业于中南工业大学, 硕士, 浙江省冶金研究院粉末冶金研究室副主任。

收稿日期: 1995. 6. 12.

表面，并分析孔隙在磨损过程中的作用。

## 2 试验方法

试验方法：磨损试验在 MG200 型高温摩擦磨损试验机上进行。试验采用销盘型结构，烧结试样作磨销，对偶材料作磨盘。试验过程中磨销不动，磨盘转动。

磨损率以试样在磨盘上相对滑动单位距离所磨耗的重量来评价。

磨损试验后，用 SEM 作磨损表面形貌观察来分析研究孔隙在磨损过程中的作用及磨损机制。

试验材质组成 (wt%)：Fe-3Cr-2Ni-2Cu-0.8C-3WC。

试样制备：将  $\phi 12 \times 15\text{mm}$  的烧结坯车加工成  $\phi 6 \times 15\text{mm}$  的磨销，平磨端面，再经金相砂纸磨平，绒布抛光后作真空处理。

对偶材料： $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ , 35~40HRC。

试验条件：载荷 2MPa，滑动速度 0.79 m/s；温度：室温 (RT)，高温 (500°C)；环境气氛：空气。

## 3 结果与讨论

密度对磨损率的影响是孔隙在磨损过程中微观作用的宏观表现。实验结果如图 1 所示。可以看到，材料的室温磨损率随密度的提高而急剧降低，相对密度从 77.7% 增大到 88.2%，磨损率从  $1.75 \times 10^{-4}\text{g/m}$  降低到  $6.83 \times 10^{-6}\text{g/m}$ ，下降了两个数量级；在 500°C 下，磨损率对密度不敏感，只是在同一数量级范围内略有降低。另外还可看到，在较低密度下，室温磨损率大于高温磨损率。

试样磨损表面的 SEM 观察发现，在磨损过程中，孔隙是磨屑产生源之一。这种作用可用图 2 所示的模型来描述。即孔隙以两种形式产生磨屑：

1) 孔隙边缘物质碎裂、脱落。当对偶微凸体滑动至图 2 中①处时，由于孔隙边缘没有足够的强度支撑微凸体所施加的局部压应

力而碎裂。

2) 孔隙作为应力集中源产生裂纹，裂纹沿粉末颗粒的弱连接处扩展而引起撕裂。

当试样与对偶材料相对滑动时，由于摩擦发生粘着，使试样表面产生剪切应力  $\tau$ ，见图 2②。当  $\tau$  超过屈服强度时，表面材料发生塑性流变，并在孔隙边缘发生应力集中，当应力达到材料剪切强度时，便出现裂纹。裂纹沿粉末颗粒、烧结颈等脆弱处或沿连通孔隙扩展，于是发生撕裂，产生磨屑。

磨痕的 SEM 观察证实了孔隙的上述作用，见图 3、图 4。

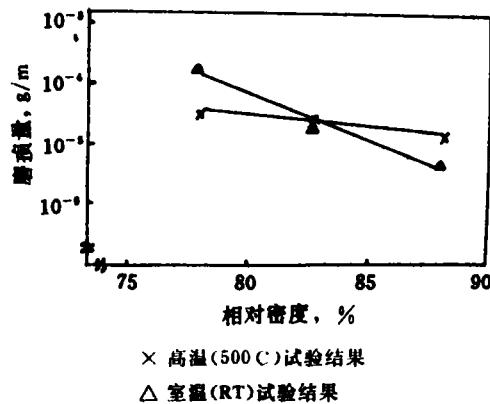


图 1 材料相对密度对磨损率的影响  
Fig. 1 Influence of relative density on wear rate

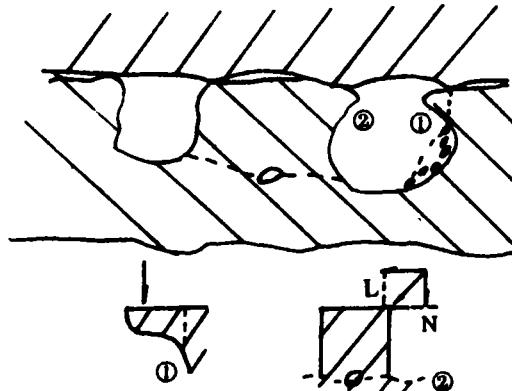


图 2 孔隙在材料磨损过程中的作用  
Fig. 2 Role of pores on wearing process of material



图3 孔隙边缘碎裂

Fig. 3 Fragmentation on pore edge



图4 剪切撕裂

Fig. 4 Shearing tear

在室温磨损情况下,显然,材料密度越低,孔隙的上述作用越强烈。WC的加入使材料变脆,因为烧结后在WC与基体的界面上形成了 $(\text{FeW})_6\text{C}$ 脆性相<sup>(1)</sup>,促进了材料在磨损过程中的起裂和裂纹的扩展,这一作用在材料密度低时尤为明显。磨损过程中产生的磨屑一部分作为磨粒参与了磨损。磨粒中WC硬质点的存在又使得磨粒磨损加剧。因此在较低密度下,材料的室温磨损主要为磨粒磨损,见图5。

随密度提高,孔隙减少,孔隙的上述作用相应变弱,磨粒也随之减少。此时,试样与对偶间的贴接,焊合增多,粘着磨损机制的作用变得明显起来。

对偶试样的磨痕观察也说明了这一变化,见图6。可以看到,随试样密度提高,磨痕由暗变亮。说明试样密度较低时,主要是试样的严重磨损,密度提高后,对偶也发生了磨损。

在高温(500℃)条件下,随密度提高磨损率在同一数量级范围内略有降低,这与高温下材料塑性的改善和孔隙作用程度的变化有关。由于高温(磨损表面实际温度超过500℃),材料的塑性得到改善,表面切应力在

孔隙前沿产生的应力集中得以缓和,裂纹形核与扩展也变缓,因而孔隙的撕裂与边缘碎裂作用变小。在此前提下,孔隙中的留集磨屑使表面开口孔隙数量减少(如图4),降低了材料的磨损率。在密度较低时,这种作用尤为显著,类似于烧结铁的磨损行为<sup>(1)(2)</sup>。另外,由于高温下磨屑的硬度降低和数量减少,导致磨粒磨损减弱,因此密度对磨损率的影响不明显。但另一方面,高温下组织的软化又提高了磨损率,使得在提高密度后,磨损率大于室温情况。

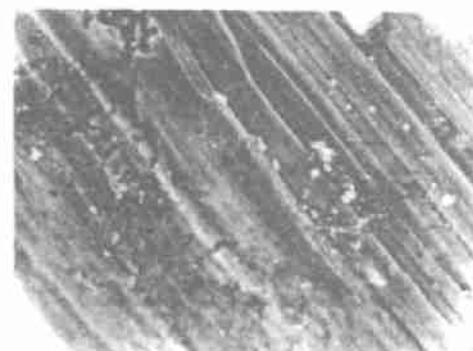


图5 室温磨粒磨损形貌

Fig. 5 Wearing morphology of abrasive particle at room temperature



图 6 对偶件磨痕

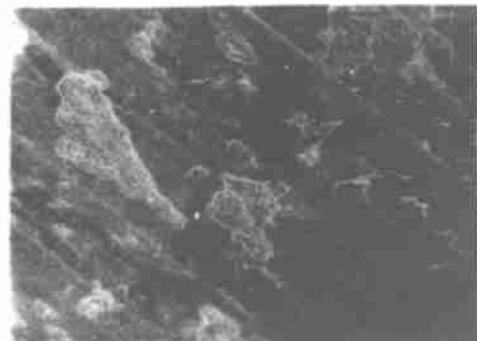
Fig. 6 Grinding track of coupled component

用 SEM 对 500℃ 磨损试样表面观察发现, 相对密度为 77.7% 与 88.2% 的试样, 磨损表面具有相似的形貌(见图 7), 说明高温

下进行着相同机制的磨损, 即磨粒磨损和粘着磨损两者的混合机制。密度越高, 粘着磨损的作用越大。



a. 相对密度 77.7%



b. 相对密度 88.2%

图 7 500℃ 磨损试样的磨损形貌

Fig. 7 Wearing morphology of wear specimen at 500°C

#### 4 结论

1. 在试验条件下, 密度对试样材料的室温磨损率影响很大。相对密度从 77.7% 提高到 88.2% 时, 磨损率从  $1.75 \times 10^{-6} \text{ g/m}$  降到  $6.83 \times 10^{-6} \text{ g/m}$ ; 500℃ 下的磨损率对密度变化不敏感。

2. 孔隙是产生磨屑的源, 以孔隙边缘碎

裂和撕裂两种形式产生磨屑。

3. 孔隙在室温和高温磨损过程中对磨损的影响不一样。室温下, 材料密度由低到高变化时, 孔隙的作用由强转弱, 磨损机制由磨粒磨损为主变为混合机制。高温下, 孔隙的作用进一步变弱, 磨损以单一的混合机制进行, 密度越高粘着磨损的程度加大。

#### 5 参考文献

- 1 C. Amsallen, A. Gaucher and G. Guilhot. Wear, 1973, 23(1), 97~112.
- 2 S C Lim, J H Brunton. Wear, 1986, 113(3), 371~383.

- 3 A I Taskinen, M H Tikkanen, *Modern Developments in Powder Metallurgy*, Vol 17, 545.  
 4 T S Eyre, R K Walker, *Powder Metallurgy*, 1976, 19(1), 22~30.  
 5 K Razavizadeh, B L Davis, *Wear*, 1981, 69(3), 355~367.  
 6 方宁象, 硕士论文《WC含量和工艺参数对粉末冶金铁基阀座材料性能的影响》, 1988.

## ROLE OF PORES ON WEAR OF P/M IRON BASED MATERIALS

Fang Ningxiang

(Metallurgical Research Institute of Zhejiang province, 310007)

Xu Runze

(Central-South University of Technology 410083)

**Abstract** Influence of the density of Fe-3Cr-2Ni-2Cu-0.8C-3WC sintered steel on its wear rate has been studied by using pin-disk type wearing test. The morphology of wearing surface has been surveyed by SEM. The role of pores on wearing process under the conditions of room temperature and 500°C has been analyzed.

**Key words** powder metallurgy pore wear.

## 第四届北京国际汽车工业展圆满结束

由中国汽车工业总公司和中国国际贸易促进委员会联合举办的“第四届北京国际汽车工业展览会”于6月24日在北京国际展览中心圆满结束。来自日本、德国、法国、美国、意大利、英国、瑞典、中国和港澳及台湾等25个国家和地区的近1000家厂商参加了展览,我国粉末冶金行业首次以“中国机械工程学会粉末冶金分会”的名义组团参加了本届展览会。北京市粉末冶金研究所、北京粉末冶金公司、宁波东睦粉末冶金有限公司、上海合众汽车零部件公司粉末冶金厂、山东诸城华日粉末冶金有限公司、青岛赵施奈德测量技术有限公司等企、事业单位在展览会上展示了他们精良的粉末冶金汽车零部件及配套产品,获得了中外参观者的赞誉,纷纷留言洽谈,馈赠名片,索取资料。学会组织编印的《粉末冶金宣传手册》一抢而空。参展单位对此次展览也非常满意。他们认为,参加本次展览既开了眼界又交流了信息,还有机会与国内外汽车主机厂接触洽谈,增进了解,希望学会今后多组织一些类似的大型活动。

本次展览会扩大了粉末冶金行业的影响,宣传了粉末冶金制品,提高了粉末冶金企事业的知名度。学会将继续组织类似活动,为行业发展服务。

(中国机械工程学会粉末冶金分会秘书处)