

机械工业技术革新技术改造

粉末冶金摩擦材料

北京市粉末冶金研究所编著

机械工业出版社



机械工业技术革新技术改造选编

粉末冶金摩擦材料

北京市粉末冶金研究所编著



机械工业出版社

内容提要 本书简要地介绍了一般粉末冶金摩擦材料的特点、性能、使用范围，为设计部门选用摩擦材料提供了一些具体的例子和实际的数据。书中介绍了我国生产的粉末冶金摩擦材料的牌号、成分、生产工艺和质量检验方法等，可供机械行业的广大工人、技术人员参考。

粉末冶金摩擦材料

北京市粉末冶金研究所编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $1^{5/8}$ · 字数 30 千字

1977 年 1 月北京第一版·1977 年 1 月北京第一次印刷

印数 0,001—14,000 定价 0.12 元

*

统一书号：15033·4409

毛主席语录

社会主义革命和社会主义建设，
必须坚持群众路线，放手发动群众，
大搞群众运动。

我们必须打破常规，尽量采用先进
技术，在一个不太长的历史时期
内，把我国建设成为一个社会主义的
现代化的强国。

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、电工及仪器仪表、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大职工阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎广大读者对这些书多提宝贵意见。

3 0721

目 录

一、概述.....	1
二、粉末冶金摩擦材料的特点.....	5
三、我国生产的粉末冶金摩擦材料.....	11
四、粉末冶金摩擦材料的装配.....	15
五、粉末冶金摩擦材料的组成.....	19
六、粉末冶金摩擦材料的生产.....	26
七、对摩材料.....	37

一、概 述

摩擦材料是制动器、离合器使用的一种材料。它对制动器、离合器的工作起着重要的作用。例如，自行车的闸皮、汽车的刹车带等，是用作制动器中的摩擦材料。汽车的离合器片则是用在离合器中的摩擦材料。与摩擦材料一起摩擦进行工作的材料称为对偶，或叫作对摩材料。摩擦材料和对摩材料构成一组摩擦副。尽管摩擦副的工作是由摩擦材料和对摩材料的共同性质所决定的，但是在其中起主要的、决定性作用的仍然是摩擦材料。对摩材料的作用只能是第二位的。特别是一般机械的对摩材料，往往选择铸铁和钢，例如自行车的瓦圈、汽车的刹车鼓、离合器压盘等。正因为如此，所以本来是摩擦副两单元的摩擦性能，在习惯上却只称摩擦材料的摩擦性能，除非有特殊的要求，一般不特别说明对摩材料的性质。

制动就是强制运转的机器或机械减速和停止的过程。在制动器中，摩擦副吸收机器或机械的动能，并把它转化为热能。一部分热量散发到周围的环境中去，而另一部分为摩擦副所吸收，使摩擦副本身的温度升高。传递扭矩摩擦副的工作和制动摩擦副的工作没有什么本质的区别，同样都是摩擦副中摩擦材料和对摩材料的相对速度发生变化。工作开始时相对速度最大，而后逐渐减小到零的过程。区别是工作时间的长短（制动时间一般是从一秒到十几秒，传递扭矩的时间一般是十分之几秒到几秒）不同，吸收能量的大小不

同，因而摩擦副的工作温度也不同。

摩擦副在工作过程中总是要吸收能量，使本身的温度升高。因此，摩擦材料不是在室温，而是在较高的温度下工作的。

摩擦材料工作时的温度和升温速度，在结构一定的情况下，主要和摩擦副工作时必须吸收的能量大小，吸收这些能量的时间间隔有关。吸收的能量越大，时间间隔越短，那么摩擦材料的温度越高，升温速度也越大。在某些情况下，发生热冲击，也就是在很短的时间间隔之内，摩擦表面产生极高的温度。例如，飞机在着陆制动时，在 3 ~ 5 秒钟之内，摩擦材料工作表面温度可达 1000℃ 以上。

还有一种在油中工作的摩擦副（称为湿式工作），尽管吸收的能量也很大，但由于有油的存在，一般工作表面的温度和整个摩擦材料的体积温度不超过 200℃。

摩擦材料是靠表面工作的，在工作中，摩擦材料的工作表面温度很快升高，而后靠传导，使整个摩擦材料的温度升高。因此，摩擦材料的工作表面温度和整个体积的温度相差很大。一般讲摩擦材料的温度特性，都是指摩擦材料表面工作温度而言。

摩擦材料的摩擦-磨损性能，物理-机械性能，受温度的影响很大。任何摩擦材料都存在一个最高的工作温度，超过了这个温度，摩擦材料的摩擦-磨损性能急剧下降，也就是摩擦系数变得很低，磨损很快。这个温度一般叫作摩擦材料的极限工作温度。

随着工业生产和科学技术的发展，机器或机械运转的速度、负荷大幅度提高，要求摩擦副吸收的能量相应的增加很多，因而提高了对摩擦材料的要求。

摩擦材料的主要要求是：

- (1) 足够的摩擦系数及其必要的热稳定性。
- (2) 耐磨性好，使用寿命长。
- (3) 良好的磨合性。
- (4) 良好的抗卡性，平稳的传递扭矩和制动。
- (5) 足够的强度，能够承受较高的工作压力及速度。
- (6) 其他一些特殊的要求，如耐腐蚀等。

传统的摩擦材料要完全满足这些要求越来越困难。粉末冶金摩擦材料，由于粉末冶金工艺及材料的特点，相对来讲能够满足上述要求。目前常用的摩擦材料有以下几种。

1. 有机材料

皮革、橡胶、软木等是有机材料，它主要用在自行车的制动、电动缝纫机的离合器等一些低速、低负荷的机械上。

2. 金属材料

铸铁、钢片、青铜合金等金属材料，同样属于低温、低负荷的摩擦材料，主要用在机床的离合器、火车的制动上。它的优点是强度高、不易发生碎裂，而且来源广、成本低。其缺点是耐磨性差、寿命低、摩擦系数低容易发生打滑等。

3. 石棉-树脂材料

石棉-树脂材料包括石棉-塑料、石棉-橡胶以及树脂作粘结剂的树脂-金属材料等。

石棉-树脂材料广泛地用在汽车、拖拉机和其他一般机械的制动和离合器上，它们同样属于低温摩擦材料。这类材料允许的最高工作温度与粘结剂的分解温度有关，大约为 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。石棉-树脂材料的优点是：在低温、低负荷下工作，与对摩材料的焊结倾向小；瞬时摩擦系数的变动小；

比较平稳、耐磨性好及寿命长。另外，石棉-树脂材料生产工艺简单、成本低、重量轻，适合于一般条件下工作。但是，当温度升高时，摩擦系数明显降低，耐磨性急剧下降，甚至发生焦化、碎裂，以致完全破坏。石棉-树脂材料本身导热性差，更增高了材料的工作表面温度。使这类材料的使用受到了很大限制。

4. 粉末冶金摩擦材料

它是伴随着工业发展而发展起来的一种新型摩擦材料。应该承认，目前实际应用的摩擦材料中，粉末冶金摩擦材料是很有前途的。特别是由于科学技术的进步，高速、重载机械的出现，给其他摩擦材料带来困难，而粉末冶金摩擦材料，正是适应这种情况而发展起来的，因此它具有广泛使用的可能性。

早在二十年代末期，由于机械能量的增大、摩擦材料工作温度的提高，使传统的摩擦材料在工作中发生衰退，寿命很短。这就促使研制性能更好的摩擦材料，于是粉末冶金摩擦材料诞生了。开始形成了以铜为主要成分的铜基粉末冶金摩擦材料和以铁为主要成分的铁基粉末冶金摩擦材料两大类。从工作条件来讲，把粉末冶金摩擦材料又分成了在空气中工作的所谓干式和油中工作的湿式两种摩擦材料。

到六十年代，飞速发展的现代技术对摩擦材料的要求越来越高，特别是对航空用摩擦材料的工作温度要求提高了很多。这样，各国在寻找新型材料的组成方面进行了大量的工作，而且超出了铜基和铁基的概念，研究制造了其他金属或合金为基体的材料，特点是向多组元、复杂成分合金化的方向发展，以适应对摩擦材料多方面的要求。

早在五十年代，我国就已开始研究和生产粉末冶金摩擦

材料。从无到有，经过十几年的努力，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，取得了显著成绩，无论是铜基材料还是铁基材料都已达到了相当水平。特别是经过无产阶级文化大革命，粉末冶金摩擦材料的研究工作更有新的发展，不仅已能生产各类航空、汽车、拖拉机、坦克、船舶、工程机械以及一般机械用的粉末冶金摩擦材料，还研究成功了湿式铁基粉末冶金摩擦材料，并在实际中得到应用。湿式铁基粉末冶金摩擦材料具有使用性能好、摩擦系数高、机械强度高、不易产生翘曲及节约有色金属等优点，为我国粉末冶金摩擦材料的发展开辟了一条新路。在摩擦材料的摩擦性能测试方面，我国自行设计和制造了摩擦试验机及各类台架试验设备，为我国粉末冶金摩擦材料的发展打下了良好的基础。

二、粉末冶金摩擦材料的特点

粉末冶金摩擦材料已经应用在飞机的制动，汽车、坦克、拖拉机、船舶、工程机械和一般机械的制动和离合器上，经过长期的使用，证明粉末冶金摩擦材料具有以下的特点：

1. 摩擦系数高

粉末冶金摩擦材料具有足够高的摩擦系数，耐高温，在不同的使用条件下比较稳定。

摩擦副在制动中的制动力矩和在离合器中传递的扭矩大小，以下式表示：

$$M = \mu n P R$$

式中 M ——力矩（公斤·米）；

P ——作用在摩擦副上的总的垂直压力（公斤）；

R ——摩擦副的作用半径（米）；

n ——摩擦副的摩擦面数；

μ ——摩擦系数。

由上面的公式可以清楚地看出，在设计结构一定的情况下，也就是 n 、 P 、 R 一定的情况下，只有摩擦材料的摩擦系数 μ 足够高，才能刹车灵、传递扭矩迅速、不打滑。反过来讲，如果摩擦系数足够高，就可以减少 n 、 P 、 R 中任何一个指标，或者都可以减少一些，使摩擦机构的尺寸减小。当然当摩擦机构一定时，对摩擦系数就有一定的要求，低了不行，高了也不好。摩擦系数太高，会造成机械零件的损坏，而且摩擦副也不能平稳的工作。

耐高温，就是在比较广泛的温度范围内，有比较平稳的摩擦系数。或者说在很高的温度下，摩擦系数仍然能够满足要求。图 1 是石棉-树脂材料和粉末冶金摩擦材料的摩擦系数随温度的变化曲线。表 1 是铁基粉末冶金摩擦材料与石棉-树脂材料对比试验的结果。

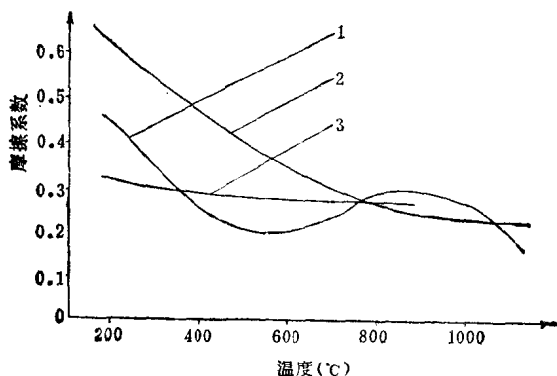


图 1 摩擦系数与温度的关系

1—石棉-树脂材料 2、3—不同的粉末冶金材料

表 1 材料性能对比试验结果

试 验 项 目	石 棉-树 脂 材 料	粉 末 冶 金 材 料
摩擦系数:		
常 温	0.55	0.53
变温(最低点)	0.40	0.55
高 温	0.42	0.55
磨损(毫米):		
常 温	0.06	0.04
高 温	0.13	0.02

注: 1. 试验系按 JG 129-66 部颁标准进行的。

2. 高温指250℃, 常温指120℃。

3. 磨损指半小时的磨损。

从图 1、表 1 不难看出, 粉末冶金摩擦材料, 在很高的工作温度下, 仍有比较稳定的摩擦系数。石棉-树脂材料, 到 300℃就开始发生衰退现象, 温度再升高, 出现一个摩擦系数较低, 但较稳定的阶段。这主要是由于材料表面形成了一层比较稳定的薄膜, 膜层主要由氧化物、硫化物、磨损产物以及材料中粘结剂组织破坏产物等组成。这种薄膜能起较稳定的润滑作用, 所以摩擦系数是很低的。当温度再继续升高时, 由于材料表面的碳化作用而形成焦化层, 使摩擦系数增高。而材料的剧烈分解和燃烧, 使材料的磨损急剧增加, 甚至造成彻底损坏。

粉末冶金摩擦材料的摩擦系数, 对于不同的速度和工作压力的变化, 同样也是比较稳定的。图 2 和图 3 分别为粉末冶金摩擦材料的摩擦系数与制动初速度、制动压力的关系。

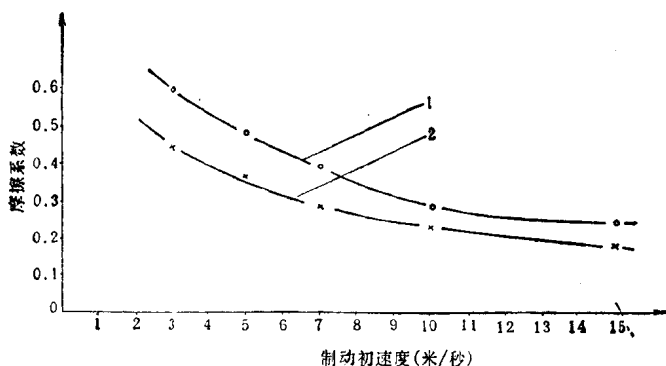


图2 摩擦系数与制动初速度的关系
(制动压力为 10 公斤/厘米²)
1—FB02 2—FB01

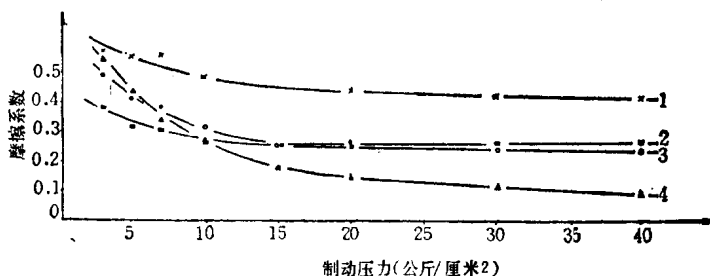


图3 摩擦系数与制动压力的关系
(制动初速度为 6.27 米/秒)
1—FE02 2—FB03 3—FB01 4—CB01

2. 耐磨性高、使用寿命长

对于摩擦材料来讲，耐磨性也是十分重要的。材料的耐磨性高，使用寿命就长。如果使用期限一定，就可以将摩擦材料的厚度减小，减小摩擦副的尺寸。

粉末冶金摩擦材料的寿命，一般比石棉-树脂基材料高

5~10倍。汽车离合器片（7吨汽车，单片干式）用粉末冶金摩擦材料代替石棉-树脂材料，尽管粉末冶金摩擦材料的总面积只有石棉-树脂材料总面积的57%，但其使用寿命仍比石棉-树脂材料高10倍以上。在山西、四川使用的解放牌汽车（4吨），刹车采用粉末冶金摩擦材料后，使用寿命比原用石棉-树脂材料高5倍以上。

在油中工作的铜基粉末冶金摩擦材料，寿命很长，磨损很小，一般一次离合磨损为 10^{-6} 毫米。图4是经不同的离合次数后，湿式铜基粉末冶金摩擦材料的磨损情况。

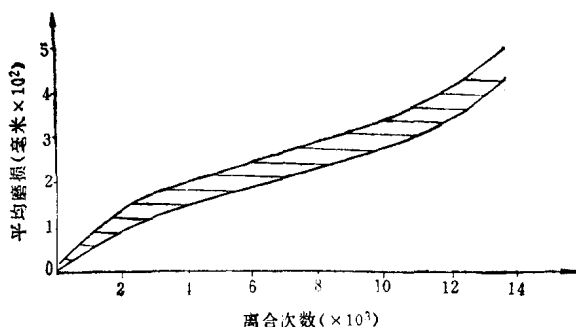


图4 湿式离合器磨损带

3. 良好的磨合性

磨合性一般是指摩擦副工作时，摩擦材料表面在压力和速度的作用下，以塑性变形和磨损的方式，增加摩擦副实际接触面积的特性。对于摩擦机构来讲，摩擦副获得最大可能的实际接触表面是很重要的。材料的磨合性好，便可以比较快的达到这种情况，也就是说比较快的达到最好的工作状态。

评价磨合性，最主要的是以实际接触面积与名义工作面积之比的大小，或者以制动力矩、传递扭矩达到平稳来估价。

在实际应用中，摩擦副在进入实际运行之前，一般都需要进行磨合或者称为跑合。跑合时间的长短，就取决于材料的磨合性。磨合性好，跑合的时间就可以缩短，实际上提高了机器或机械的效率。

4. 良好的导热性

铁基粉末冶金摩擦材料的导热系数约为 10^{-1} 卡/厘米·秒·度的数量级（铜基材料还要高一些），石棉-树脂材料大约为 10^{-3} 卡/厘米·秒·度，相差 100 倍之多。导热性能好，非常有利于散热，因而摩擦副的工作温度就比较低。这一特点对重负荷工作的摩擦副，将是非常有利的。

由于摩擦副工作温度比较低，从而保护了对磨材料，使对磨材料不致由于过热而造成金相组织的改变，发生碎裂或翘曲等。试验指出，在相同的条件下，与石棉-树脂材料相配的铸铁对磨材料，发生了马氏体相变，相变深度为 0.18 毫米，表面产生了热裂纹。而与粉末冶金摩擦材料相配的同样对磨材料，表面光亮，没有发生相变和产生裂纹。

从图 1 上还可以看到，摩擦材料的摩擦系数随温度的升高而下降，摩擦副工作温度比较低，那么摩擦系数就可以比较高，这对摩擦副的工作也是有利的。

由于粉末冶金摩擦材料的导热性能好，在汽车点盘式制动器中，摩擦材料靠近刹车油压活塞，容易造成油温过高而影响刹车，因此在设计时要考虑隔热的问题。

5. 使用负荷高

粉末冶金摩擦材料比石棉-树脂材料具有更高的物理-机械性能，因此可以在更高的速度、更高的压力下工作。在比较高的冲击负荷下工作，不碎裂、不破坏。粉末冶金摩擦材料允许使用的负荷高，还由于粉末冶金摩擦材料的摩擦系

数，随温度和工作压力的增加变化很小。从摩擦副传递扭矩和制动力矩的公式上还可以看出，总的压力提高，就可以减少 n 、 R ，使摩擦机构的尺寸更为紧凑。如果是结构设计一定的摩擦副，便可以减少粉末冶金摩擦材料的铺面，这对提高材料的磨合性也是有利的。一般石棉-树脂材料允许的使用压力为 $1.5 \sim 8$ 公斤/厘米²，最高允许为 $11 \sim 26$ 公斤/厘米²。而粉末冶金摩擦材料允许的使用压力为 $28 \sim 40$ 公斤/厘米²，最高可以允许达到 100 公斤/厘米² 以上。

6. 工作可靠性高

粉末冶金摩擦材料在极其严苛的条件下变质小、效率高，因而是比较安全的。而且油、水对粉末冶金摩擦材料的影响也比较小，特别是由于装配、清洗、过水时，使摩擦材料表面沾上水或油的情况下，对粉末冶金摩擦材料的工作影响很小。

粉末冶金摩擦材料有这样一些有利于工作的特点，所以世界各国都先后采用它，而且发展也是很快的。我国随着工业、农业、国防工业的现代化，粉末冶金摩擦材料的品种、产量增加很快，使用范围也越来越广。

三、我国生产的粉末冶金摩擦材料

我国目前正式投入生产的粉末冶金摩擦材料，包括铜基和铁基两大类。既有作干式应用的，也有作湿式应用的。使用范围很广，从飞机的制动材料，到一般机械制动和离合器的材料都有生产，这里只介绍其中几个。

1. 我国生产的粉末冶金摩擦材料

我国现在生产的粉末冶金摩擦材料的牌号、成分、性能见表 2、表 3。