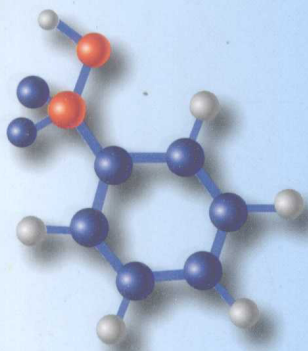




21世纪全国高等院校材料类 **创新型** 应用人才培养规划教材



MATERIALS

摩擦材料及其制品生产技术

主 编 申荣华 何 林

Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

摩擦材料及其制品生产技术

主 编 申荣华 何 林
参 编 ~~陈之奇~~ 阎建伟



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书对摩擦材料及其制品生产技术作了系统、全面的阐述,共分7章,主要内容包括概论、摩擦与磨损基础知识、摩擦材料的组分构成及作用、摩擦材料组分的配方技术、模压型摩擦材料制品生产工艺、编织型摩擦材料制品生产工艺、制品性能检测手段和方法。

本书在内容上既注重理论讲解的清晰性,又紧密地结合生产的实际性,语言通俗易懂,知识全面,具有指导性、实用性强的特点。

本书可作为机械工程类和材料工程类研究生课程或本科生选修课程的教材,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

摩擦材料及其制品生产技术/申荣华,何林主编. —北京:北京大学出版社,2010.7
(21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-17463-0

I. ①摩… II. ①申… ②何… III. ①摩擦材料—高等学校—教材 IV. ①TB39

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第130019号

书 名: 摩擦材料及其制品生产技术

著作责任者: 申荣华 何 林 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-17463-0/TG·0006

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 25.25印张 593千字

2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

定 价: 45.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单 (按拼音排序)

白培康 (中北大学)	陈华辉 (中国矿业大学)
崔占全 (燕山大学)	杜彦良 (石家庄铁道学院)
杜振民 (北京科技大学)	耿桂宏 (北方民族大学)
关绍康 (郑州大学)	胡志强 (大连工业大学)
李楠 (武汉科技大学)	梁金生 (河北工业大学)
林志东 (武汉工程大学)	刘爱民 (大连理工大学)
刘开平 (长安大学)	芦笙 (江苏科技大学)
石海芳 (辽宁工程技术大学)	孙凤莲 (哈尔滨理工大学)
孙玉福 (郑州大学)	万发荣 (北京科技大学)
王春青 (哈尔滨工业大学)	王峰 (北京化工大学)
王金淑 (北京工业大学)	卫英慧 (太原理工大学)
伍玉娇 (贵州大学)	夏华 (重庆理工大学)
徐鸿 (华北电力大学)	余心宏 (西北工业大学)
张朝晖 (北京理工大学)	张海涛 (安徽工程大学)
张敏刚 (太原科技大学)	张锐 (郑州航空工业管理学院)
张晓燕 (贵州大学)	赵惠忠 (武汉科技大学)
赵莉萍 (内蒙古科技大学)	赵玉涛 (江苏大学)

前 言

自世界上运载机械和动力机械问世以来,摩擦材料就在其制动和传动机构中被使用了。

随着汽车、运载机械工业的发展,如汽车的功率、速度和载荷日益提高和运行工况条件日益严峻,以及人类环境保护意识的增强,对摩擦材料制品的要求也越来越高,如要求产品技术先进、质量好、寿命长、对环境少或无污染、造价低等。因此,在摩擦材料产品设计与制造过程中,会遇到越来越多的材料及材料成形加工方面的问题,这就要求工程技术人员必须掌握必要的材料科学与材料工程知识,具有正确选择材料和制造加工处理方法、合理安排加工工艺路线、科学地组织和管理生产等的能力。

摩擦材料及其制品生产技术是一门综合性的专业技术课,主要包括摩擦及磨损理论知识、摩擦材料的组分构成及作用、摩擦材料组分的配方技术和模压型及编织型摩擦材料制品生产工艺、制品性能检测手段和方法等部分。本课程以摩擦材料及其制品生产技术为主要研究对象,论述了粘结剂、增强纤维、性能调节剂或填料的分类、成分、组织及性能特征;材料的改性原理及方法;制动或传动的摩擦材料制品设计中的组分配方试验设计与优化方法;各类摩擦材料制品成形加工原理、材料的成形加工性能;制造加工工艺路线安排;制造加工工艺过程及技术的特点和应用;制品性能检测等。通过学习,使读者掌握摩擦材料配方试验设计及制品生产技术的基本理论及其应用特点,建立起摩擦材料及其制品加工工艺理论与在工业生产之间的关系。

摩擦材料及其制品生产技术涉及摩擦学、矿物学、高分子材料、无机非金属材料、机械制造加工等多个学科,相关书籍甚少,本书的主要特点在于围绕其核心内容“组分、作用、选配和制品生产技术”,按逻辑思维进行内容编排,以性能—组分及选配—制造加工为主线,较系统地阐述了制动或传动的摩擦材料制品的性能要求、各种组分材料的性质和作用以及实际应用、工业上各类摩擦材料制品的生产技术方法原理、工艺过程、特点及应用等。

本书结构清晰,信息量大,每章相对独立而又相互衔接,文字叙述力求精练,科学性、实用性强。

本书由贵州大学申荣华教授、何林教授主编,陈之奇副教授和博士研究生阎建伟参编。申荣华编写第1章、3.1节、第4章、第5章,何林编写第2章、第6章,陈之奇编写第7章及附录,阎建伟编写3.2节和3.3节。全书由申荣华统稿。

本书在编写过程中,参阅和引用了部分国内外相关专著及论文,在此一并向文献作者致以深切的谢意!

鉴于作者学识有限,书中不足和欠妥之处在所难免,敬请读者、专家和同仁不吝赐教。

编 者

2010年5月于贵阳

目 录

第 1 章 概论 1

- 1.1 摩擦材料概述 2
 - 1.1.1 摩擦材料的分类 2
 - 1.1.2 摩擦材料的技术要求 4
- 1.2 摩擦材料发展简史及趋势 6
 - 1.2.1 摩擦材料发展简史 6
 - 1.2.2 摩擦材料发展趋势 8

第 2 章 摩擦与磨损基础知识 12

- 2.1 摩擦概述 13
 - 2.1.1 摩擦的概念与分类 13
 - 2.1.2 摩擦基本理论 14
- 2.2 磨损的分类及影响因素 22
 - 2.2.1 磨损的主要分类 22
 - 2.2.2 影响磨损的因素 25
- 2.3 摩擦材料的摩擦机理与磨损 25
 - 2.3.1 摩擦材料的摩擦机理 25
 - 2.3.2 摩擦材料的磨损 26
- 小结 41
- 习题 41

第 3 章 摩擦材料的组分构成及作用 ... 46

- 3.1 有机粘结剂 48
 - 3.1.1 酚醛树脂 49
 - 3.1.2 酚醛树脂改性 59
 - 3.1.3 橡胶 71
 - 3.1.4 橡胶和树脂共混 82
- 3.2 纤维增强材料 96
 - 3.2.1 石棉纤维 99
 - 3.2.2 天然矿物纤维 107
 - 3.2.3 人造矿物纤维 110
 - 3.2.4 有机纤维 115
 - 3.2.5 碳纤维 120

- 3.2.6 金属纤维 123
- 3.3 填料 127
 - 3.3.1 填料特性与摩擦材料性能的关系 129
 - 3.3.2 增摩填料 135
 - 3.3.3 减摩填料 141
 - 3.3.4 有机类填料 142
 - 3.3.5 表面改性剂 143
- 小结 149
- 习题 150

第 4 章 摩擦材料组分的配方技术 ... 153

- 4.1 配方设计的意义 154
- 4.2 摩擦材料制品配方设计的原则和特点 155
 - 4.2.1 摩擦材料制品配方设计的原则 155
 - 4.2.2 摩擦材料制品配方设计的特点 156
- 4.3 制品配方设计程序 158
- 4.4 制品配方试验设计与优化方法 ... 162
 - 4.4.1 制品配方单因素变量试验设计 162
 - 4.4.2 制品配方多因素变量试验设计 166
- 小结 188
- 习题 188

第 5 章 模压型摩擦材料制品生产工艺 192

- 5.1 模压生产工艺 194
 - 5.1.1 模压生产工艺方法 194
 - 5.1.2 模压生产工艺过程 195
- 5.2 盘式制动片生产 250
 - 5.2.1 盘式制动片概述 250



5.2.2 盘式制动片生产工艺	251
5.3 铆接型鼓式制动片生产	257
5.3.1 铆接型鼓式制动片 概述	257
5.3.2 铆接型鼓式制动片 生产工艺	257
5.4 粘接型鼓式制动蹄片生产	262
5.4.1 粘接型鼓式制动蹄片 概述	262
5.4.2 粘接型鼓式制动蹄片 生产工艺	262
5.5 铁路用合成制动瓦生产	267
5.5.1 铁路用合成制动瓦 概述	267
5.5.2 铁路用合成制动瓦 生产工艺	267
5.6 石油钻机制动块生产	276
5.6.1 模压型石油钻机制动块 概述	276
5.6.2 模压型石油钻机制动块 生产工艺	277
小结	278
习题	281
第6章 编织型摩擦材料制品 生产工艺	285
6.1 编织生产工艺	287
6.1.1 编织生产工艺方法	287
6.1.2 编织生产工艺过程	287
6.2 离合器面片生产	288
6.2.1 离合器面片概述	288
6.2.2 缠绕型离合器面片 生产工艺	289

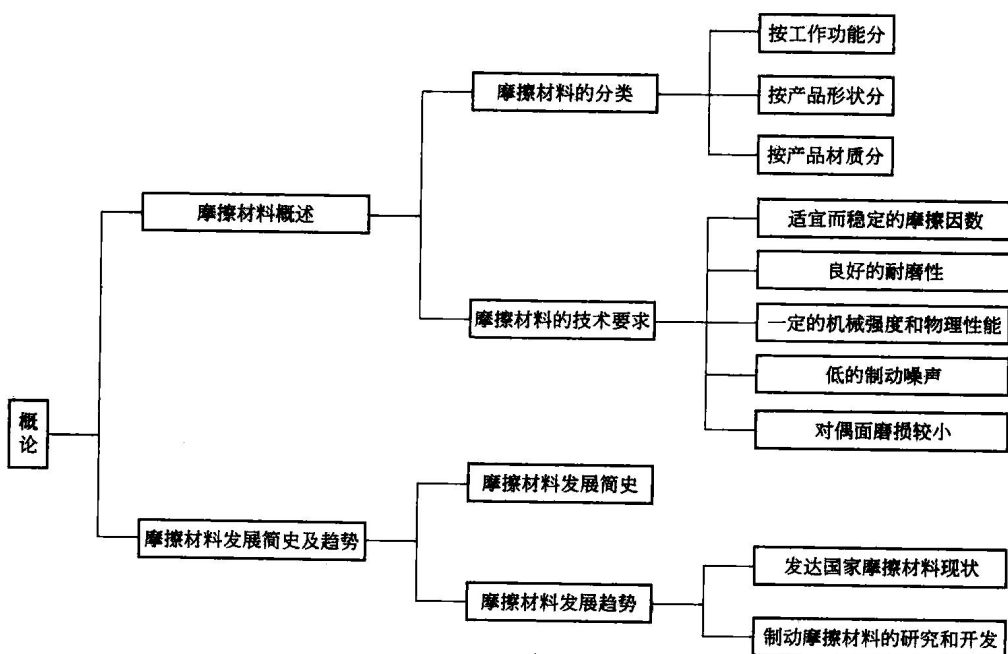
6.3 编织型和层压型石油钻机 制动瓦	298
6.3.1 编织型和层压型石油钻机 制动瓦概述	298
6.3.2 编织型和层压型石油钻机 制动瓦生产工艺	299
6.4 编织型制动带	305
6.4.1 制动带概述	305
6.4.2 橡胶基制动带 生产工艺	307
6.4.3 树脂基编织制动带 生产工艺	311
小结	316
习题	317
第7章 制品性能检测手段和方法 ...	320
7.1 摩擦性能检测设备及试验方法 ...	321
7.1.1 小样摩擦试验机	322
7.1.2 实样摩擦试验机	341
7.1.3 惯性台架试验机	346
7.2 摩擦材料理化性能检测	350
小结	360
习题	367
附录A 摩擦材料制品性能要求及 试验规范	370
附录B 部分标准代号含义	390
附录C 部分常见标准	391
参考文献	393

第1章

概 论



本章知识框架



本章学习目标与要求

- ▲ 掌握制动摩擦材料的技术要求;
- ▲ 了解摩擦材料的分类;
- ▲ 了解摩擦材料的发展趋势。



所有运载机械和大多数机械设备中都装有制动或传动装置,这种制动或传动装置上的关键性部件都需要用到摩擦材料。它最主要的功能是通过摩擦来吸收能量或传递动力,如汽车刹车片吸收动能,离合器片传递动力;由于摩擦材料能使运载机械和设备安全可靠地工作,所以被广泛地应用在汽车、摩托车、火车、农用车辆、飞机、船舰、石油钻机、矿山机械及各类工程机械设备以及自行车、洗衣机等生活用品方面,作为动力的传递或制动减速用的不可缺少的材料。

1.1 摩擦材料概述

1.1.1 摩擦材料的分类

摩擦材料是一种多元复合材料,是由粘结剂(树脂与橡胶)、增强纤维和摩擦性能调节剂三大类主要组分及其他配合剂经一系列制造加工工艺制成的,其制品具有良好的摩擦因数和耐磨性,同时还具有一定的耐热性和机械强度。

大多数情况下,摩擦材料都是同各种金属对偶相摩擦的。一般公认,在干摩擦条件下,同对偶摩擦因数大于0.2的材料,都称为摩擦材料。

材料按其摩擦特性,分为低摩擦因数材料和高摩擦因数材料。低摩擦因数材料又称减摩材料或润滑材料,其作用是减少机械运动中的动力损耗,降低机械部件磨损,延长使用寿命,这不属本书讨论的内容。

本书所述对象是高摩擦因数材料(又称摩阻材料),简称为摩擦材料。摩擦材料的分类如下。

1. 按工作功能分

摩擦材料按工作功能可分为传动与制动两大类。例如,进行传动作用的离合器片通过离合器总成中离合器摩擦面片的贴合与分离将发动机产生的动力传递到驱动轮上,使车辆开始运行;进行制动作用的制动片(分为盘式制动与鼓式制动片)是通过车辆制动机构,将制动片紧贴在制动盘(或鼓)上,使运行中的车辆减速或停下来。

2. 按产品形状分

摩擦材料按产品的形状分类见表1-1。

表1-1 摩擦材料的形状类别、特点和要求以及生产工艺和用途

种类	形状	特点及要求	生产工艺及用途
盘式片	平面状	面积较小,承受较高的制动负荷,在各类汽车制动摩擦材料中,其性能要求是最高的,其粘结剂以树脂为主,橡胶为辅,要求耐热性好、热分解温度高、热失重少	大多以干法工艺生产,主要用于轿车

(续)

种类	形状	特点及要求	生产工艺及用途
铆接型鼓式制动片	弧形	铆接型鼓式制动片与制动蹄铁以铆装方式组合要求承受较大的制动负荷,在减少和克服噪声上没有盘式片苛刻。该类材料要求树脂耐热性好,摩擦性能调节剂的高温性能好,现主要以钢纤维-矿物纤维或多种矿物纤维并加少量有机纤维为增强材料	我国 20 世纪 60 年代以前用湿法工艺生产,70 年代以后大多用干法工艺生产,主要用于中、重型载重汽车
粘接型鼓式制动蹄片		将鼓式制动片和制动蹄铁通过粘结剂粘接成制动蹄片整体,制动负荷比铆接型鼓式制动片小。材料的性能要求略低于中、重型载重汽车鼓式制动片和轿车盘式片	采用干法工艺或湿法工艺生产,主要用于轿车和轻型、微型汽车
制动瓦		要求承受较大的制动负荷和具有较高的摩擦性能,比普通弧形制动片要厚得多(通常达 25~35mm)	大多以干法工艺生产,主要用于火车、石油钻机
制动带	长条状(带状)	质地比较柔软,贴合性强,特别适合与制动蹄片总成进行粘合使用。常温摩擦因数较高,遇水时的摩擦因数也相对较高。其缺陷是强度较低,高温摩擦因数较低,怕油污,属软质摩擦材料	湿法工艺生产为主,常用于农机和工程机械上如起重机、卷扬机、吊车等
离合器片	平面状	要求热稳定性好、具有较好而稳定的摩擦因数、良好的耐磨性、较高的物理机械强度等,常用的有缠绕型离合器面片和短纤维型离合器面片	湿法或干法工艺生产,主要用于汽车、机械设备
异型摩擦片	盆形、锥形、鞍座形等	具有较好而稳定的摩擦因数、良好的耐磨性、较高的物理机械强度等	湿法或干法工艺生产,多用于各种工程机械,如摩擦压力机、电葫芦等

3. 按产品材质分

摩擦材料按产品材质分类见表 1-2。

表 1-2 摩擦材料材质类别、性能特点和应用

种类	材料性能特点	应用
石棉摩擦材料	特点是有机组分含量高(50%~60%vol),低温摩擦因数高、寿命长,但是导热性差,高温摩擦性能下降,污染环境。其是在 20 世纪 20 年代发展起来的,有高分子化合物、石棉及填料等组成,相对密度为 1.6~1.8。	早期的摩擦材料基本上都使用石棉作为增强材料,由于石棉纤维对人体健康有害,其生产及应用在国外发达国家已经明令禁止,我国也已逐步限制对其的使用



(续)

种类	材料性能特点	应用
半金属摩擦材料	以金属纤维代替石棉纤维,其材料配方增强纤维主要是钢和铜等金属纤维。材料的热稳定性能好,耐磨性能好,导热性能好,对环境污染小,但制动噪声大,成本较高,密度稍大	主要用于轿车和重型汽车的盘式制动片
混合纤维型摩擦材料	采用多种纤维混合作为增强材料,如天然纤维、合成纤维、有机纤维等。充分发挥每一种纤维的优势,弥补缺陷,降低成本。通过压制成形或热压固化成形	主要用于轿车和轻、中型汽车制动片
粉末冶金摩擦材料	粉末冶金摩擦材料的基体主要是铁和铜,另外还有铁-铜基、铝基、镍基、钼基和陶瓷基等,经混合、压型,并在高温下烧结而成。粉末冶金摩擦材料在材料配比方面具有特别的灵活性和广泛性,在高负荷条件下表现出良好的摩擦性,材料使用寿命长,价格高,但制动噪声大,对偶磨损较大	适用于较高温度下的制动与传动工况条件,如飞机、重载汽车、重型工程机械的制动与传动
碳纤维摩擦材料	碳纤维具有高模量、导热好、耐热好等特点。碳纤维摩擦材料是各类摩擦材料中性能最好的一种。在碳纤维摩擦材料组分中,除了碳纤维外,还使用石墨、碳的化合物,组分中的有机粘结剂也要经过碳化处理,故碳纤维摩擦材料也称为碳-碳摩擦材料或碳基摩擦材料。但因其价格昂贵,故其应用范围受到限制。一般采用热压成形工艺	单位面积吸收功率高及密度小,特别适合生产飞机制动片,国外有些高档轿车的制动片也有使用

1.1.2 摩擦材料的技术要求

摩擦材料是车辆和机械的离合器总成及制动器中的关键安全零件,在大多数情况下,摩擦材料都是同各种金属对偶相摩擦的,故在传动和制动过程中,主要应满足以下技术要求。

1. 适宜而稳定的摩擦因数

摩擦因数是评价任何一种摩擦材料的一个最重要的性能指标,关系到摩擦片执行传动和制动功能的好坏,它不是一个常数,而是受温度、压力、摩擦速度或表面状态及周围介质因素等影响而发生变化的一个系数。理想的摩擦因数应具有理想的冷摩擦因数和可以控制的热衰退。

温度是影响摩擦因数的最重要因素。摩擦材料在摩擦过程中,由于温度的迅速升高,一般当温度达 200℃ 以后,摩擦因数开始下降,若温度达到树脂和橡胶的分解温度范围,会使摩擦因数骤然降低,这种现象称为热衰退。严重的热衰退会导致制动效能变差和恶化,在实际应用中会降低摩擦力,即降低了制动作用,这很危险,也是必须要避免的。在摩擦材料中加入高温摩擦调节剂填料,是减少和克服热衰退的有效手段。经过热衰退的摩擦片,当温度逐渐降低时摩擦因数一般会逐渐恢复至原来的正常情况,但也有时会出现摩擦因数恢复得高于原来正常的摩擦因数即恢复得过头,对这种摩擦因数恢复过头的现象称

为过恢复。

摩擦因数通常随速度增加而降低,但过多的降低也不能忽视。我国汽车制动器衬片台架试验标准中就有制动力矩速度稳定性的要求,因此当车辆行驶速度加快时,要防止制动效能的下降。

摩擦材料表面沾水时,摩擦因数也会降低,当表面的水膜消除,恢复至干燥状态后,摩擦因数就会恢复正常,称为涉水恢复性。

摩擦材料表面沾有油污时,摩擦因数会显著下降,但应保持一定的摩擦力,使其仍有一定的制动效能。

2. 良好的耐磨性

摩擦材料的耐磨性是其使用寿命的反映,也是衡量摩擦材料耐用程度的重要技术指标。耐磨性越好,表明它的使用寿命越长。但是摩擦材料在工作过程中的磨损,主要是由摩擦接触表面产生的剪切力所造成的。

工作温度是影响磨损量的重要因素。当材料表面温度达到有机粘结剂的热分解温度范围时,橡胶和树脂等会产生分解、碳化和失重现象,随着温度的升高,这种现象加剧,粘接作用下降,磨损量急剧增大,称为热磨损。

选用合适的减摩填料和耐热性好的树脂、橡胶,能有效地减少材料的工作磨损,特别是热磨损,延长其使用寿命。

摩擦材料的耐磨性指标有多种表示方法。GB 5763—2008《汽车用制动器衬片》规定的磨损指标是,测定材料样品在定速式摩擦试验机上在100~350℃的每档温度(50℃为一档)时的磨损率。磨损率因样品与对偶表面进行相对滑动过程中作单位摩擦功时的体积磨损量,可由测定其摩擦力的滑动距离及样品因磨损的厚度减少而计算出。

由于被测样品在摩擦性能测试的过程中,受高温影响会产生不同程度的热膨胀,掩盖了样品的厚度磨损,有时甚至出现负值即样品经高温磨损后的厚度反而增加,这就不能真实正确地反映出实际磨损,故有的生产厂除测定样品的体积磨损外,还要测定样品的质量磨损率。

国内一些汽车制造厂,对配套用的制动片的磨损率规定要求,在对检测样品进行定速式摩擦试验中,在100℃、150℃、200℃、250℃、300℃五档温度下的磨损率总和不应超过限定值(一般规定为 $2.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 或 $2.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 以下)。

3. 一定的机械强度和物理性能

摩擦材料制品在装配使用之前,有的需要进行钻孔、铆装、装配等机械加工,才能制成刹车片总成或离合器总成。在摩擦工作过程中,摩擦材料除了要承受很高温度以外,还要承受较大的压力与剪切力。因此,要求摩擦材料必须具有足够的机械强度,以保证在加工或使用过程中不出现破损与碎裂。例如,对制动片,就要求有一定的抗冲击强度、铆接应力、抗压强度等;对于粘接型制动片(如盘式片),还要具有足够的常温粘接强度与高温(200~250℃)粘接强度,以保证制动片与钢背粘接牢固,在经受盘式制动片制动过程中的高剪切力时而不产生相互脱离,造成制动失效的严重后果;对于离合器片,则要求具有足够的抗冲击强度、静弯曲强度、最大应变值以及旋转破坏强度,这是为了保障离合器片在运输、铆装加工过程中不致损坏,也是为了保障离合器片在高速旋转的工作条件下不发生破裂。



4. 低的制动噪声

制动噪声关系到车辆行驶时的舒适性,而且关系到是否对周围环境特别是对城市环境造成噪声污染。对于轿车和城市公交车来说,制动噪声是一项重要的性能要求,有关部门已经提出了标准规定:一般汽车制动时产生的噪声不应该超过 85dB。

引起制动噪声的因素很多,因为制动片只是制动总成的一个部件,制动时制动片与制动鼓(或盘)在高速与高压比的相对运动下强烈摩擦,彼此产生振动,从而产生不同程度的噪声。

就摩擦材料而言,长期使用经验得出造成制动噪声的因素大致有:

(1) 摩擦材料的摩擦因数越高,越易产生噪声。摩擦因数达到 0.45~0.5 或更高时,极易产生噪声。

(2) 制品材质硬度高,易产生噪声。

(3) 高硬度填料用量多时,易产生噪声。

(4) 制动片经高温制动作用后,工作表面形成光亮且硬的碳化膜(又称釉质层),在制动摩擦时会产生高频振动及相应的噪声。

由此可知,适当控制摩擦因数,使其不要过高,降低制品的硬度,减少硬质填料用量,避免工作表面形成碳化膜,使用减振垫或涂膜以降低振动频率,均有利于减少与克服噪声。

由于制动噪声产生原因相当复杂,目前还未能完全了解,因此解决摩擦材料制动过程中的噪声问题是一个重要的课题。

5. 对偶面磨损较小

摩擦材料制品的传动或制动功能都要在与对偶件即摩擦盘或制动鼓(或盘)在摩擦中来实现,在此摩擦过程中这一对摩擦偶件相互都会产生磨损,这是正常现象。但是作为消耗性材料的摩擦材料制品,除自身的磨损尽量小外,对偶件的磨损也要小即使对偶件的使用寿命要相对较长,这才充分显示出具有良好摩擦性能特性。同时在摩擦过程中不应将对偶件即摩擦盘或制动鼓(或盘)的表面磨出较重的擦伤、划痕、沟槽等过度磨损情况。

1.2 摩擦材料发展简史及趋势

1.2.1 摩擦材料发展简史

自世界上出现动力机械和运载机械后,在其传动和制动机构中就使用了摩擦材料。初期的摩擦材料是用棉花、棉布、皮革等作为基材。例如,将棉花纤维或其织品浸渍橡胶浆液后,进行加工成形制成制动片或制动带,这就是早期应用的摩擦材料品种之一,但它的耐热性较差,当摩擦面温度超过 120℃后,棉花和棉布会逐渐焦化甚至燃烧。随着车辆速度和载重的增加,其制动温度也相应增高,这类摩擦材料已经不能满足使用要求,于是人们开始寻求耐热性好的、新的摩擦材料类型,石棉摩擦材料由此诞生。

石棉是一种天然的矿物纤维,它具有较高的耐热性和机械强度,还具有较长的纤维长度、较高的劈裂性和很好的分散性,其柔软性和浸渍性也很好,可以进行纺织加工制成石

棉布或石棉带并浸渍粘结剂。石棉短纤维和其布、带制品,都可以作为摩擦材料的基材。更由于其具有较低的价格,所以它很快就取代了棉花与棉布成为摩擦材料中主要的基材料。1905年石棉制动带开始被应用,其制品的摩擦性能和使用寿命、耐热性和机械强度均有较大的提高。以后人们又把铜丝线捻入石棉线中做成铜丝石棉线,再进一步织成铜丝石棉布,然后将铜丝石棉布涂浸橡胶,这样做成的制品具有更好的机械强度。1918年开始,人们用石棉短纤维与沥青混合后制成模压制动片。20世纪20年代初酚醛树脂开始工业化应用,由于其耐热性明显高于橡胶,所以很快就取代了橡胶成为摩擦材料中主要的粘结剂材料。并且由于酚醛树脂与其他的各种耐热型的合成树脂相比价格较低,所以从那时起,石棉-酚醛型摩擦材料被世界各国广泛使用至今。

20世纪60年代,人们逐渐认识到石棉对人体健康有一定的危害性。石棉在开采加工过程中以及在石棉摩擦材料的生产和使用过程中,微细的石棉纤维易飞扬在空气中被人吸入肺部,长时间处于这种环境下的人,比较容易患上石棉肺或间皮瘤一类的疾病,因此人们开始寻求能取代石棉的其他纤维材料来制造摩擦材料,即无石棉摩擦材料或称非石棉摩擦材料。20世纪70年代,以钢纤维为主要替代材料的半金属型摩擦材料在发达国家中首先采用。至20世纪80年代末至90年代初,半金属摩擦材料已占据了整个汽车用盘式片领域,对机械强度要求较高的鼓式制动片和离合器面片品种则采用多种纤维及耐热型有机纤维的混合类型作为基材来取代石棉。

20世纪90年代后期以来,NAO型摩擦材料在欧洲的出现是一个值得注意的趋势。NAO型摩擦材料是无石棉摩擦材料,它与半金属摩擦材料的不同处在于不含有钢纤维及铁粉或只含有少量钢纤维,它所使用的是非金属型的无机纤维和耐热有机纤维。一般认为NAO型摩擦材料有助于克服半金属型摩擦材料固有的高密度、易生锈、易产生制动噪声及导热系数过大等缺点。目前,NAO型摩擦材料在欧共体(已于1993年更名为欧盟)国家已得到广泛应用,且有取代半金属型摩擦材料之势。

20世纪60年代初,我国一些企业与研究所合作进行干法生产工艺研究开发,使用粉状酚醛树脂为粘结剂,以短石棉纤维为骨架材料,在干式状态下混合、经模压加工成制品。这种生产工艺稳定简单、制品强度高、摩擦因数较高、耐磨性较好、成本又低,所以很快在全行业中推广应用,并取代了湿法工艺。至20世纪70年代时,国内有近80%、约20多家石棉摩擦材料重点企业将湿法生产工艺转为干法生产工艺。

20世纪70年代末期,由于我国汽车工业进一步发展,汽车行业对摩擦材料提出了更高的要求,原有的产品标准已不能满足汽车行业的使用要求。国家建材部和汽车主管部门,开始着手合作进行新标准的制定工作,在参考日本JISD标准的基础上1986年颁布了GB 5763—1986《汽车用制动器衬片》(已作废,现使用的为GB 5763—2008《汽车用制动器衬片》)与GB 5764—1986《汽车用离合器面片》(已作废,现使用的为GB/T 5764—1998《汽车用离合器面片》)两个国家标准,这两个标准对提高我国摩擦材料的质量与推动摩擦材料的发展起到了很重要的作用。

20世纪70年代末至80年代初,由于一些石棉矿与石棉制品厂的生产工人中,石棉肺和间皮瘤患者比例明显增多,国家有关部门开始关注石棉制品企业的环境污染问题,并对不具备石棉防尘条件的企业提出了限期整改措施,当时西方发达国家已全面推广无石棉摩擦材料的生产和应用,我国一些重点摩擦材料企业和科研院校也开始对无石棉摩擦材料进行研究和开发,并在20世纪80年代后期开始了半金属摩擦材料的生产和应用。



20 世纪 80 年代末至 90 年代初这段时期,可以认为是我国摩擦材料行业快速发展和发生了根本性变化的一个时期,它主要表现在以下几个方面:

(1) 一些重点企业从国外引进了关键生产设备和检测设备以及少量的技术软件。同时一些新建摩擦材料企业,主要是中外合资与外商独资企业,从发达国家引进了具有 20 世纪 80 年代后期水平的盘式制动片和鼓式制动片生产设备和技术软件的整条生产线。这些生产线的机械化和程序控制程度较高、生产效率高、环境污染少。产品性能执行北美 SAE 标准或欧洲标准。产品销售方面,除部分销售国内,主要面向国际市场。这些先进的进口设备,对各摩擦材料厂起了很好的样板作用。国内一些设备制造单位在参照进口设备的基础上,研制开发出具有自主知识产权的类似水平的各种生产设备和检测设备。近几年,它们已成功地为许多摩擦材料企业所使用,从而极大地提高了我国摩擦材料行业的整体水平。

(2) 由于国家汽车政策的调整,我国汽车生产的品种结构发生了重大变化,中、轻型载重汽车的产量比例,由 20 世纪 60~70 年代占主要地位降至次要地位,而轿车产量比例迅速上升并居主要地位,其产量占汽车总产量的 30% 以上。因此我国摩擦材料行业中盘式制动片的产量,也在摩擦材料总产量中比例上升到主要地位。

(3) 在 20 世纪 90 年代后期,轿车用盘式和鼓式制动片基本上实现了无石棉化;离合器片和载重汽车用鼓式制动片也有一部分实现了无石棉化。

(4) 我国摩擦材料向国际市场出口量明显增长,20 世纪 90 年代初的年出口量仅为几十万套,至 2001 年年出口量已超过 3000 万套,产品主要销往北美、欧洲、东南亚、非洲、中东等地。

(5) 在 20 世纪 90 年代末期,我国有关部门和汽车行业为了和国际市场接轨,根据联合国欧洲经济委员会(ECE)第 13 号法规及 ISO 有关道路车辆制动性能试验方法的国际标准和法规,颁布了 GB 12676—1999《汽车制动系统结构、性能和试验方法》国家标准,它是一个强制性标准,其中规定:从 2003 年 10 月开始,制动片中不能含有石棉。这实际上宣布了我国汽车摩擦材料强制性全面无石棉化的决定,将使我国摩擦材料行业发生换代性的变化。因此,对于摩擦材料行业的专业人士来说,研究开发各种无石棉摩擦材料产品并及早全面应用,已是摆在面前的紧迫任务。

1.2.2 摩擦材料发展趋势

1. 发达国家摩擦材料现状

目前,代表世界摩擦材料先进水平的欧洲和北美国家中,摩擦材料的配方技术和生产检测设备的特点主要表现在以下几个方面:

1) 先进配方的研发

发达国家的先进配方中组分无石棉、无或少金属、无 kevlar 等化学纤维和天然纤维,树脂含量减少至 5%~6%,采用第二粘结剂及多孔性结构的原料,热压时间 30~90s,热处理温度高达 240~280℃。

上述类型配方的优点为:

(1) 无石棉符合环保要求。

(2) 无或少金属和多孔性材料的使用可降低制品密度,有利于减少损伤制动盘(鼓)和

降低产生制动噪声的程度。

(3) 不使用化学纤维和天然纤维,可大幅度降低制品原料成本,并减少摩擦材料热衰退的程度。

(4) 降低树脂含量,有利于减少热衰退的发生,减少制品起泡、膨胀的发生,并有利于降低制品成本。有的低树脂含量的制动片中树脂含量仅为5%~6%。第二粘结剂是某种填料在高温下发生化学变化形成高温粘结剂以弥补低用量比例的树脂在高温工况条件下因热分解、碳化而导致对制品材料其他组分粘接作用的降低。

(5) 热压时间的缩短可大幅度提高热压机的生产效率,适合于自动化生产;240~280℃的热处理温度,更有利于高温摩擦性能的稳定。

在配方设计理念上,为减少热衰退、降低制动噪声,不单纯是采用具有多孔性结构的原料组分,而是构思设计摩擦材料的内部结构。如用造粒技术,全部或部分采用颗粒料可以有效控制摩擦材料密度、气孔率、可压缩性和导热性。

2) 采用自动配料系统

自动配料系统是仓储与计量的机电一体化系统。例如,摩擦材料制品生产中使用的三层自动配料系统上层是仓储系统,中层是配料系统,下层是混料系统。控制系统和计算机则在中层的专门控制室内,通过计算机选定配方,输入计量数据和程序后,输送器向自动运行到各个编号料仓下的称料车中加料,称完配方中规定的所有原料组分后,称料车直接运行到混料机投料口上方,自动投料。

自动配料系统具有配方保密性好,便于管理,操作自动化,环境污染小的特点,已被越来越多的摩擦材料制品生产企业所应用。

3) 热压工艺和工装的特征

北美和欧洲生产摩擦材料制品的热压工艺,就盘式制动片而言,占主流的是二步成形法(板式模)和一步成形法(对顶模)。

(1) 二步成形法即先预成形制成冷坯,然后再热压成形固化,最主要的特征是热压时使用板式模,模腔数为6~16个,板式模优点是快速高效,模具成本低,更换方便,但由于压制压力同时作用于产品和模具顶部框边,模具的厚度决定了产品的厚度,当称料有误差时,会导致产品密度的不一致,影响产品质量的一致性。板式模生产的盘式片占全世界售后市场的八成左右。

(2) 一步成形法工艺采用对顶模,压制时上模(阳模)的压制压力直接作用于产品上,只要压力稳定,产品密度就一定,从而达到产品质量的一致性。这种工艺主要用于制造OEM(协作生产)制品。

压型设备方面,全自动多腔预成形机和六层热压机作为二步法工艺的骨干设备,已相当成熟和完善。我国的摩擦材料设备公司已完全可以自行设计和制造出达到国外先进水平的各种规模产量的盘式和鼓式制动片生产线全套设备。

4) 制品摩擦性能测试

在制品摩擦性能测试上,着重于采用更接近实际工况的克劳斯试验机和惯性台架试验。

5) 制动产品可压缩性的研究

普遍认为制动片的可压缩性对摩擦材料制品的硬度、密实度和孔隙度、显气孔率、制动的平稳和舒适度、制动片的固有振动频率及与此相关的制动噪声均有密切关系,研究通



过调节和控制摩擦材料的压缩特性来间接控制材料的密度,进而控制其固有频率,以达到降低制动噪声、提高制动的平稳和舒适度的目的。

2. 制动摩擦材料的研究和开发

随着人们生存环境和运载机械的发展,对制动摩擦材料提出越来越高的要求,各国研究者进行了一系列的研究与开发工作,研究领域涉及摩擦学、制动系统热力学、运动学、动力学等,研究方面主要有:

1) 产品摩擦因数稳定性和耐磨性的机理及应用

影响产品摩擦因数稳定性和耐磨性的因素很多,除摩擦副的材质及产品制作工艺外,在摩擦过程中形成的界面膜的结构和性能是最关键的因素,因此,深入探讨界面膜的形成、界面膜的组成和形态、膜的结构与性能的相关性,揭示摩擦材料的摩擦磨损机理,特别是高温界面膜的成膜机理,是从根本上解决产品摩擦因数稳定性和耐磨性的重要基础问题。

2) 摩擦制动热力学研究

就能量的观点而言,摩擦制动过程就是将运动部件的动能和位能转换为热能并耗散的过程。能量被吸收将引起摩擦副元件温度升高,导致材料摩擦表面一系列物理化学变化,如金属对偶件的氧化及金相组织的变化,聚合物基摩擦材料的基体热分解等,进而影响摩擦副的摩擦磨损性能,导致制动性能热衰退,尤其高温下更为突出。因此,制动能量的转换,摩擦热的产生和摩擦副的温度分布成为制动器设计的重要内容和摩擦材料选用的理论依据。

针对制动器结构及工作条件,从系统角度探讨制动系统摩擦热的产生机理、摩擦件与对偶件摩擦生热机理及能量转换机理,在此基础上,建立摩擦制动表面及摩擦件温度场模型,通过摩擦件温度场计算分析不同体系摩擦材料的温度影响特点,为摩擦材料设计及其摩擦磨损机理研究提供依据。

3) 多体系复合摩擦材料的结构优化和配方优化

多体系复合摩擦材料由于不同组成相间目前还仅是微米尺度上的复合,复合体系不可避免地存在缺陷,控制不好有可能引起复合体系的性能恶化,因此,如何通过结构优化,控制复合体系的复合效应,尤其是非线性效应(如乘积效应、交叉耦合效应、系统效应、诱导效应等)的运用与掌握,是实现优异性能材料体系的关键基础问题。

以摩擦学理论和现代材料设计理论为基础,在研究摩擦件结构、工艺与性能的相关性基础上,进行混杂复合体系摩擦材料的配方设计。尤其是现代优化设计方法(如模糊优化方法、混料优化方法)和计算软件的应用,为新型高性能摩擦材料的设计、应用提供理论和技术基础。

4) 摩擦材料的可控性研究

为降低摩擦材料选择的任意性、盲目性、经验性和性能的不确定性,应积极探索摩擦材料复合体系结构与机械物理性能、摩擦磨损性能的影响机理和相关性,探寻制备工艺与性能的相关性影响,努力研究材料结构和性能的可控制性,建立摩擦材料的性能设计原则,以实现摩擦材料性能的稳定可控。

5) 纳米摩擦材料的研究

纳米摩擦材料比常规摩擦材料有更好的综合性能,特别是高温综合性能,这对改善和