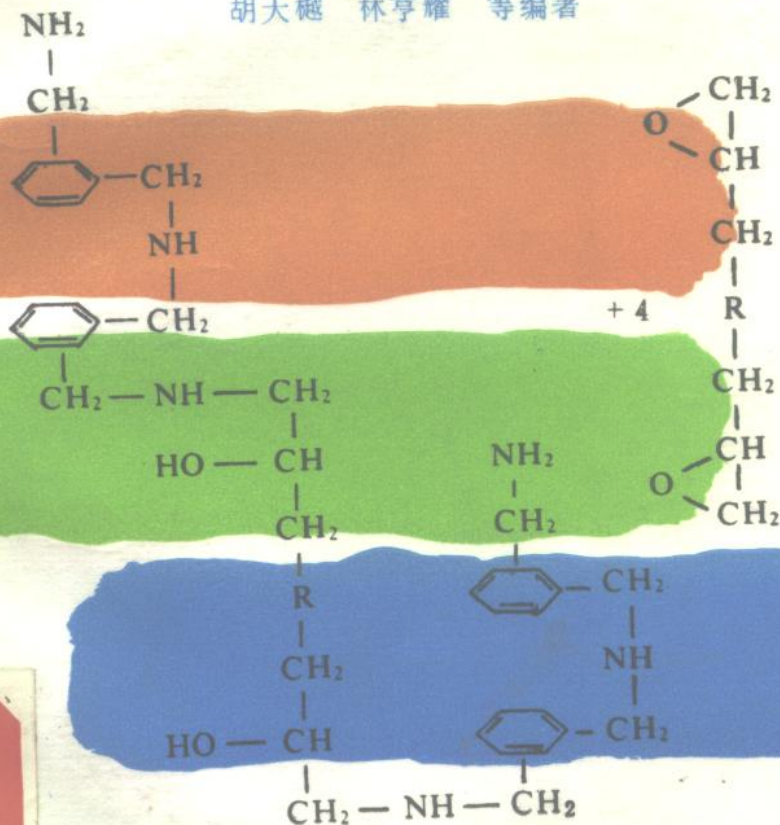


环氧耐磨涂层及其应用

胡大樾 林亨耀 等编著



机械工业出版社

f208

504

环氧耐磨涂层及其应用

胡大樾 林亨耀 等编著



机械工业出版社

DL49/25

本书总结了我国在机械产品制造和维修中采用耐磨涂层
的经验，作者首先对耐磨涂层的种类、基本组份和形成原理、
性能及其试验方法作了简要阐述；其次，较详细地介绍了涂
层的施工工艺；最后列举了十几个类型的应用实例，并作了
技术经济分析。书中所选的资料，均来源于实践，具有较大
的实用价值，可供机械制造和维修技术人员参考。

环氧耐磨涂层及其应用

胡大樾 林亨耀 等编著

责任编辑：冯永亨

封面设计：田淑文

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 4 5/8 · 字数 100 千字

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数 0,001—2,900 · 定价：1.40 元

统一书号：15033·6982

前 言

机床导轨的精度是整个机床精度的基础。随着机床工业向高精度、自动化和大型、重载的方向发展,对机床导轨等摩擦副材料及其制造工艺要求越来越高。在机床的修理工作中,传统的加工和修复工艺(如精刨、刮研、镶夹布胶木板、镶铜板等方法)也已满足不了技术发展的要求。因此,十多年来,国内外都在致力于研制具有良好摩擦学特性的高分子抗摩材料,用于制造和修理机床导轨等摩擦面。目前市售的高分子材料已有糊状物、板材、带材和薄片等多种形式。这些抗摩材料的出现,已经给机床导轨等摩擦面的制造和修理带来了很大的变革。其中,用糊状物这类材料制造的涂层导轨不但工艺简单,适用于任何滑动面,而且摩擦特性优良,经过国内十多年的实际应用,已经证明是一种优异的高分子抗摩材料。

多年来,HNT耐磨涂层已在国内许多工厂各种不同类型的机床上使用。近年来,在HNT耐磨涂层的基础上又发展了FT-1, FT-2和FT-3等新的聚四氟乙烯耐磨涂层。1984年,机械工业部颁布了“机床涂层导轨(通用)技术条件”、“环氧耐磨涂层材料”两个部颁标准和“机床涂层导轨涂敷工艺”指导性技术文件。因而,越来越多的用户对耐磨涂层日益感到兴趣,并希望正确地加以应用,为此,我们把从1974年以来研究这项工作的成果和实践经验编写成这本小册子供参考。由于我们水平有限,错漏在所难免,敬希指正。

我们的应用试验工作得到了北京第一机床厂 济南第二

机床厂 东方机床厂、齐齐哈尔第一机床厂、武汉重型机床厂 重庆机床厂 青海重型机床厂、广州黄埔造船厂和广州重型机床厂等单位 and 盛振民、元登芝、范喆、李玉衡、于重久、何宽剑等同志的大力支持，在此谨表谢意！

参与本书编写的有：胡大樾（第一、二、四、六节），林亨耀（第三节），黎汉超、陈仕强（第五节），朱达庭、陈启秀（第七节）；全书则由胡大樾修改定稿。此外，还有陈国华等同志帮助收集资料和整理工作，顺此一并说明。

目 录

前言

第一节 概述	1
一、涂层技术发展概况	1
二、环氧耐磨涂层的特点	5
第二节 耐磨涂层的种类及基本组份	7
一、环氧耐磨涂层的种类	7
二、基本组份	8
三、双酚 A 型环氧树脂	12
四、环氧树脂固化剂	14
第三节 环氧耐磨涂层的形成原理	18
一、环氧耐磨涂层的固化反应	18
二、耐磨涂层固化剂用量的计算	24
第四节 环氧耐磨涂层的性能	27
一、摩擦特性	27
二、耐磨性	29
三、粘着强度	33
四、物理机械性能	34
五、环氧耐磨涂层的性能指标	37
第五节 环氧耐磨涂层的主要性能试验方法	40
一、摩擦、磨损性能	40
二、粘接强度	41
三、抗压强度	43
四、冲击强度	43
五、硬度	45
六、老化试验	47
第六节 环氧耐磨涂层的施工工艺	48

一、施工前的准备	48
二、涂层导轨施工工艺	58
三、耐磨涂层轴承施工工艺	72
四、耐磨涂层蜗母条施工工艺	77
第七节 涂层技术应用实例	80
一、重型龙门铣床	81
二、龙门刨床	87
三、大型滚齿机及高速插齿机	103
四、重型立式车床	112
五、重型卧式车床涂层轴承	122
六、普通车床和其他机床	125
附录	133
一、中华人民共和国机械工业部部标准JB3579-84	
机床涂层导轨通用技术条件	133
二、中华人民共和国机械工业部部标准JB3578-84	
环氧耐磨涂层材料	137
参考文献	141

第一节 概 述

一、涂层技术发展概况

机床导轨的耐磨性和抗擦伤能力是保证机床精度的关键因素之一。机床导轨副表面材料的摩擦磨损特性又是影响机床动态稳定性（尤其是重载低速情况下）的主要因素。为了满足高精度重型机床制造业发展的需要，本世纪六十年代后期，国外已研究成功和开始使用低摩擦系数，高耐磨性，无爬行和高强度的高分子合成材料来制造机床导轨等摩擦副，这种材料称为环氧树脂型耐磨涂层材料。

一对摩擦副中的一个摩擦面用金属制成并以它作为复印的模型，采用复印成型的方法用耐磨涂层材料制成另一个摩擦面，这就是涂层复印成型技术。这种方法改变了过去摩擦副的两个表面都要经过精加工的制造工艺，引起了传统制造工艺的变革。这种技术解决了在直线滑动导轨和回转滑动导轨制造和修理中碰到的许多难题，特别是解决了重型机床导轨制造和磨损后修复工艺上的困难，以及低速重载运行条件下的爬行问题。

环氧树脂型耐磨涂层首先在联邦德国研制成功。联邦德国滑动涂层技术公司（GLEITBELAG-TECHNIK YGMbH）制造的耐磨涂层材料有SKC-3，SKC-5等；联邦德国苏尔茨公司（Schulz CO.）的耐磨涂层材料有钻石牌——Moglice-W1/B，Moglice-FL，Moglice-FX以及Moglice快速修补涂料等。据介绍，这两家公司生产的上述耐磨涂层材料在联邦德

国机床制造业中得到相当广泛的应用，取得了十分良好的效果。其它国家如民主德国、瑞士、日本、英国、美国和我国也先后使用了这项技术。

联邦德国的瓦德利希·科堡机床厂、瓦德利希·济根机床厂以及莱茵钢铁公司瓦根纳厂生产的重型和超重型龙门铣床的工作台导轨、横梁导轨、主轴箱溜板导轨、传动蜗母条的齿面、镶条、压板，以及导轨磨床工作台传动系统中的液压活塞等部件上都已成功地使用了SKC-3耐磨涂层〔1,10〕。在瓦德利希·科堡机床厂生产的机床中，几乎所有滑动面都应用了SKC-3涂层。无论静压导轨或动压润滑导轨，使用效果都很良好。据有关资料报导，该厂使用SKC-3涂层导轨时间最长的一台龙门刨床（动压润滑）到1977年已运行达10年，涂层导轨表面仍磨纹清晰，从未修理过。据介绍，涂层导轨的耐磨性除了取决于涂层材料本身的特性外，还与其它因素有关：如与涂层导轨相配合的金属导轨面的加工精度、润滑系统的过滤装置（三层过滤器，最高过滤精度 10μ ）等等。该厂在一台超重型数控双柱龙门铣、钻、镗联合机床的滑动面上使用了SKC-3涂层〔1〕。该机床长39m，高11m，宽13m，占地面积 300m^2 ，双工作台，每个工作台重60T、工作台上工件重140T。工作台导轨和传动系统采用静压技术。工作台导轨面和传动蜗母条上均采用SKC-3耐磨涂层复印成型，从而提高了静压效果，并防止静压导轨在供油系统出现故障时因磨损发生事故。上述措施使该机床具有很高的定位精度：工作台及工件总重在400T时定位精度为 $\pm 0.02\text{mm}$ 。这台机床被罗马尼亚布加勒斯特的据称是世界上最大的汽轮机制造厂（UMGB）用于加工汽轮机外壳等重型部件。

涂层技术也广泛用来制造重型龙门铣床的传动蜗母条。

用铸造毛坯经粗加工后涂敷上耐磨涂料复印成型的传动蜗母条，表面极其光滑，涂层厚度1.5mm，每根蜗母条齿牙的累积精度为0.01mm/m并有互换性，安装时两根蜗母条之间的连接处留2mm间隙。毛坯一般不精铸，蜗杆使用优质合金钢，并采用静压技术。

环氧耐磨涂层的使用在工艺上多数采用手工涂敷方法，这种工艺存在许多缺点。为了提高施工效率，减少涂料的浪费，保证涂层复印成型的质量，目前正在研究压注成型及其它的工艺方法。1977年10月在联邦德国举行的欧州第二届摩擦学学术报告会上，民主德国H·Brende博士提出了对于小面积短导轨采用压注成型的工艺方法。联邦德国，英国等国也正在用这种新工艺来制造立式铣床的涂层滑动面。

我国在1974年开始研究环氧耐磨涂层材料及其应用技术。1975年，广州机床研究所试制的HNT型耐磨涂层材料开始在重型龙门铣床工作台导轨，传动蜗母条上进行应用试验。北京第一机床厂首先应用涂层技术制造重型机床，在X2012、X2016、X2020、X2032、X2150等多种机床产品上使用了涂层导轨。1977年，我国首次试制的超重型龙门铣床X2150，由于采用涂层复印成型技术而解决了试制关键难题，达到了较理想的定位精度。1977年，HNT耐磨涂层和重型龙门铣床涂层导轨经机械工业部鉴定在全国推广使用。

1976年，济南第二机床厂，东坊机床厂等重型机床制造厂开始在各种型号龙门刨床产品上试验应用涂层技术，并对涂层导轨磨损情况进行了长期考察与检查测量，取得了重型龙门刨床涂层导轨的实际生产使用数据，确认了涂层导轨应用于重型龙门刨床的使用年限可达10年以上；涂层导轨平均年磨损率在0.001~0.028mm范围内。济南第二机床厂在B2012

A、B2020Q、B2031、B2140等重型或超重型龙门刨床产品上均使用了涂层导轨。其中，国内首次试制的超重型龙门铣刨床XB2140总重量300T，工作台重57T，加工负荷100T，最大加工尺寸13000×4000×4000mm，机床工作台长×宽14000×3900mm，从中心分为4块，经加工后对接而成。工作台三条导轨总宽度1.3m，总面积18.2m²。由于采用静压结构，导轨接触精度要求高，机械加工方法无法达到。估计人工刮研最低限度需5000多工时以上，而且研合十分困难。采用涂层技术后，导轨制造仅用6天时间，既达到设计精度，还节省了工时90%以上。东方机床厂及许多机械工厂的设备修理部门，经过广泛使用，全面肯定了重型龙门刨床使用涂层导轨的技术经济优越性，许多不具备大型机床修理能力的工厂采用涂层技术修理重型龙门刨床，节约修理费用分别达到30~90%。1980年重型龙门刨床涂层导轨经机械工业部鉴定在全国推广使用。

涂层技术在其它类型机床的制造和修理上都同时得到了应用，齐齐哈尔第一机床制造厂、重庆机床制造厂等工厂以及其它机械工厂的设备修理部门广泛重视这项新技术。各种类型的立式车床、滚齿机等均应用了涂层技术〔6,7,8,9〕。1981年，广州机床研究所研制并生产了FT型耐磨涂层材料，1983年，广州机床研究所协助哈尔滨电机厂使用FT涂层修复16m立车的回转工作台导轨，提高了机床精度，取得了节约修理费用并缩短修理时间2/3的技术经济效果。

至此，我国最大型的龙门铣床(X2150)，龙门铣刨床(XB2140)、立式车床(KY-16)均使用环氧耐磨涂层导轨。在上述几种重型机床使用涂层技术取得的经验与技术数据的基础上，1984年机械工业部颁布了“机床涂层导轨通用技术

条件”、“环氧耐磨涂层材料”两项部颁标准和“机床涂层导轨涂敷工艺”指导性技术文件。

近几年来,耐磨涂层作为解决机械零部件的摩擦磨损问题,节约能源和材料损耗以及简化零件修复的手段,不但受到了机床制造和修理工作者的重视,而且其应用已扩大到铁道、冶金、轻工机械的制造和修理方面。例如,铁路蒸汽机车某些摩擦副使用耐磨涂层已运行3~10万公里,其效果明显地优于金属摩擦副。因此,耐磨涂层必将得到更为广泛的应用和推广。

二、环氧耐磨涂层的特点

环氧耐磨涂层应用于机床导轨或其它摩擦面的制造和修理具有下列特点:

(1) 工艺简单方便,容易掌握,并可以节省时间和人力。由于涂层技术是采用复印成型的方法来制造或修复摩擦面,即在摩擦副的一个面上涂以涂层材料,然后靠其经加工已达到使用要求的配对摩擦面复印成型。这样就减少了一个摩擦面的精加工,省去人工刮研,大大减少加工工时,降低了加工技术难度和复杂性。

(2) 适用范围广,工艺性好。耐磨涂层既可用于制造大尺寸或因配合精度高而无法用机械加工方法达到的零部件配合面,还可用于恢复磨损尺寸或某些有缺陷的零部件。这一点,对于不具备大型零部件加工能力的中小型工厂尤其重要。

(3) 涂层材料摩擦系数低。由于涂层材料含有各种自润滑材料,所以摩擦特性良好,摩擦系数低和防爬性能好。重型龙门铣床、重型龙门刨床采用涂层导轨,其摩擦功耗可

降低约30%。

(4) 抗擦伤能力强,可减少设备事故,提高生产效率。重型机床采用涂层导轨可以避免导轨烧伤,降低导轨面的磨损,而且修复方便,从而大大延长了机床的有效使用时间,提高了生产效率。

(5) 采用涂层技术改造旧机床可以提高旧机床的加工精度,节省维修和改造费用。

然而,由于涂层技术的操作与制造方法同机械加工完全不同,因此,在机械制造修理部门采用时,必须注意下列两个问题,才能取得理想的效果:

(1) 尽管涂层技术工艺简便,比较容易掌握,但有些操作也很严格。因此,从事这项工作的人员必须具备基本的化学常识,全面了解环氧耐磨涂层材料的基本特性,对涂层的成形原理以及在各种不同条件下的使用方法和操作要点。同时,操作必须认真、细致,否则难于保证质量;

(2) 涂层硬度低,抗冲击性能较差,不能承受直接的强烈撞击。因此必须小心加以保护,在使用中尽量避免损伤。

第二节 耐磨涂层的种类及基本组份

一、环氧耐磨涂层的种类

目前，国内使用的环氧耐磨涂层材料有两大类，即HNT耐磨涂层和FT（或称含氟）耐磨涂层。图2-1 为环氧耐磨涂层种类及基本成份。这两大类耐磨涂层材料都使用高分子粘接剂环氧树脂作为基体，因此称为环氧树脂耐磨涂层材料。

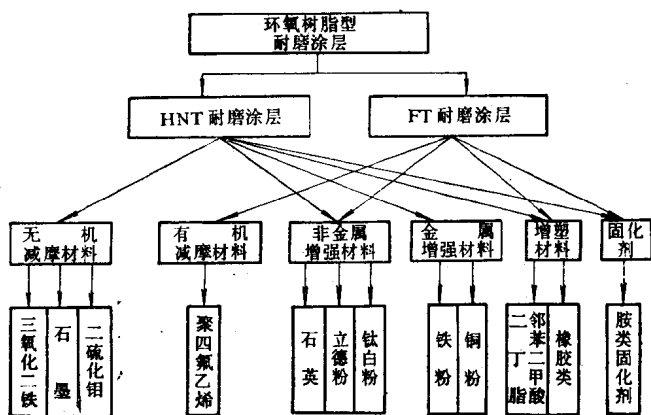


图2-1 耐磨涂层的种类及主要成份

上述两类环氧耐磨涂层材料中，HNT耐磨涂层使用二硫化钼、石墨等无机材料作为减摩材料，因而呈黑灰色。FT涂层材料则使用有机减摩材料，如聚四氟乙烯等，因而呈白色或淡黄色。HNT耐磨涂层材料使用金属和非金属作为增强材料，而FT涂层材料则只使用非金属增强材料。

二、基本组份

耐磨涂层材料产品虽然有各种不同的配方，但其基本组份均可归纳为下列几种，即：

(1) 粘结剂；

(2) 减摩材料；

(3) 增强材料；

(4) 改进剂；

(5) 固化剂。

根据上述五种基本组份所起的作用，使用者可以按照不同的使用条件和性能要求，经过试验，调配出适应各种不同要求的涂层材料。

下面扼要介绍上述五种基本组份的作用及其含量对涂层性能的影响〔2〕。

(一) 粘结剂

粘结剂的作用是把涂层中的各种材料包容并牢固地粘着在金属基体表面形成涂层。因此，要求粘接剂对金属的粘接强度尽可能地高。其次，由于它还要作为涂层的基体，因而固化物还应具有较高的机械强度及优良的耐油性和抗老化性，其弹性模量和稳定性也要高。为了使用上方便，还必须能在室温下固化，固化收缩率要小。环氧树脂是粘接强度较高的粘接剂，也具有上述要求的某些特性。然而，环氧树脂固化物抗冲击强度较低。耐磨性和摩擦特性还不能满足耐磨涂层的要求，因此要满足涂层机械性能及摩擦特性等要求必须加入其它组份。

(二) 减摩材料

减摩材料的作用是降低涂层与金属摩擦面之间的摩擦

力，改善其摩擦特性。通常采用各种固体润滑剂，它们在涂层中起润滑作用，使涂层与金属间的摩擦系数随着表面的磨合逐渐降低，磨损速率也随之迅速下降，因而能起抗摩与减摩作用。

耐磨涂层所使用的减摩材料有无机减摩材料和有机减摩材料。前者如二硫化钼、石墨、红丹等；后者如聚四氟乙烯。无机减摩材料一般成本比较低，也有较良好的减摩作用和摩擦特性。如HNT耐磨涂层，联邦德国的SKC-3,TF-1, Moglice等耐磨涂层都以二硫化钼为主要减摩材料。但由于其颜色为灰黑色，因而涂层呈黑色。而且，由于二硫化钼吸潮后往往略带酸性，从而引起涂料在存放期间粘度变化。FT涂层采用聚四氟乙烯为减摩材料，聚四氟乙烯是一种摩擦系数很低的优良减摩材料，其摩擦系数随滑动速度的降低及负荷加大而减小，这个特性对于解决机床导轨的爬行问题尤为有用，它的性能稳定，本身为白色粉末，因而所配制的涂料比较稳定，色泽较浅。但聚四氟乙烯的缺点是难于均匀分散在涂料中，而且成本也较高。

耐磨涂层中减摩材料含量的高低对涂层的摩擦特性和耐磨性有很大影响。减摩材料增加，涂层与金属之间的摩擦系数降低，涂层的机械强度也有所下降，超过一定量以后磨损率反而增大。尤其在涂层中减摩材料所占比例较高时，这种影响更为显著，图2-2为在100g环氧树脂中加入60~160g二硫化钼时耐磨涂层性能的变化曲线。由图看出，二硫化钼加入量由60g增加到160g，涂层的摩擦系数明显下降，但其耐磨性（磨损试验中磨痕的宽度），硬度、粘接剪切强度和不均匀扯离强度均下降。HNT耐磨涂层中二硫化钼的加入量一般为80~100g（即在每100g环氧树脂中的加入量，下同）。FT

抗磨涂层中聚四氟乙烯加量与涂层性能之间也有类似的关系。因此,减摩材料的加入量必须通过试验来确定。

(三) 增强材料

耐磨涂层中的增强材料起提高涂层的机械强度和耐磨性的作用。耐摩涂层材

料属于高分子抗磨材料的一种。通常,高分子抗摩材料都可采用金属粉末或无机材料进行填充增强。前者称为“半金属增强抗摩”材料。它以各种金属粉末,如铁粉、铜粉、铝粉等均匀混合于涂层中来提高机械强

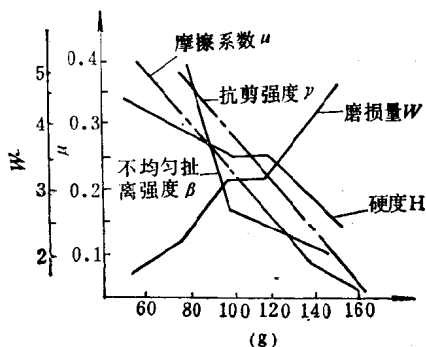


图2-2 MoS_2 加入量对耐磨涂层性能的影响

度、耐磨性和导热性。无机增强材料则采用石英砂、钛白粉、立德粉、玻璃纤维等。其特点是成本低,耐磨性好、热膨胀小。增强材料在涂层的体积中所占的比例对涂层的耐磨性和强度有很大的影响,在一定范围内,随着增强材料所占的体积比增大,涂层的耐磨性、强度和硬度均有所提高,但摩擦系数也会随之增大。其次,随其加入量的增大,涂料增稠,流动性下降,对金属基体表面的渗透力减弱,因而其加入量超过一定比例以后,涂层对金属基体的粘结强度也会下降。所以,增强材料在涂层中所占体积比例也不能太高,一般应在10~70%范围之内。

(四) 改进剂

为了改善涂层的抗冲击性能及耐热性,提高涂料的涂敷