

我国固体润滑材料的发展概况

周 国 民 党 鸿 辛
(中国科学院兰州化学物理研究所)

摘 要

本文介绍了固体润滑材料在我国的发展历史,说明了研究固体润滑的意义。作者将固体润滑材料分为固体粉末润滑剂、固体润滑膜以及自润滑复合材料三大类,比较扼要地介绍了这些材料在我国的发展概况。

前 言

润滑技术在我国有悠久的发展历史,早在公元前五百七十多年《诗经》里就有“载脂载辇”的诗句(辇,读音niǎn,即“辘”字,是指车轴两端的销钉),就是说“用油脂将车轴充分润滑,对轴端的销钉仔细检查”。这说明在两千五百多年前^[1],用脂肪作车轴轴颈的润滑已达到相当普及的程度。关于“润滑”一词,首次出现在前汉时代刘安所著的《淮南子》道原篇中,他在描述水的功能时写道,“夫水所以能成其至德于天下者,以其淖溺润滑也”(淖溺,读音nào ni,是柔软而粘润之意),至今已有两千一百多年了^[2],然而现代固体润滑技术则是近二十多年才发展起来的。

所谓固体润滑,可以理解为在两个承载面间,使用固体来减少摩擦和磨损或防止摩擦表面破坏的过程。我国在五十年代末期才开始研究固体润滑材料,六十年代初期,固体润滑材料在一些国防、军工单位得到了较为满意的应用效果。1962年在兰州召开了“全国第一次摩擦磨损与润滑研究工作报告会议”后,固体润滑的研究工作蒸蒸日上,得到了较快的发展。以我国生产固体润滑剂较早的上海井岗山化工厂生产的二硫化钼产量为例,从1963年该厂正式投产后,1964年到1971年七年间产量就增加了二十五倍。

固体润滑的迅速发展,是由于现代工业技术发展的需要,特别是航空工业、空间技术的发展,其某些使用条件超过了润滑油脂的使用极限,这就促使人们不得不去寻找新的润滑材料,发展新的润滑方法以便满足生产发展的需要。实践证明,在许多场合下应用固体润滑材料,不论是从润滑效果或者是从经济意义上来讲都比使用油脂润滑更好。另一方面,由于固体润滑材料及其使用方法的研究不断取得新的成果以及对其优缺点也逐步有了更加深入的了解,这就大大提高了使用的可靠性并扩展了它的应用范围。

固体润滑材料能满足某些特殊工况条件下对润滑的要求,能适应复杂的工作环境,只要正确应用,往往可以节约人力、材料、能源和提高产品的质量,保障特殊工况条件下机器的正常运转,为机械设备实现大型化、微型化、高速、自动、自控创造有利的条件,为改进已

有的机器设备,实现新工艺、新技术,应用新材料以及为机械零件设计的改革提供很大方便;同时还可以减少繁杂而讨厌的润滑维修问题,顺便也给车间、施工现场带来文明清洁的生产环境。但是,必须看到固体润滑不是万能的,它主要应用于不能或不方便使用油脂的地方,在能有效地应用油脂润滑的情况下使用固体润滑材料的意义往往不大。同时也必须看到,有的部件用固体润滑的效果超过了油脂润滑,关键是实验研究。

固体润滑材料涉及的面很广,它包括金属材料、无机非金属材料、有机材料等等。它们各具所长,各有所短,可以说它们是处于相互补充而又彼此不断竞争的状态中。为叙述方便,本文将按一般的分类方法,将它分为固体粉末润滑剂、固体润滑膜、自润滑复合材料三大类来介绍它在我国的发展概况。

一、固体粉末润滑剂

为寻求性能良好的固体润滑剂,上海材料所、兰州化学物理研究所、上海胶体化工厂、本溪牛心台化工厂等单位在六十年代就对几十种固体粉末的摩擦特性进行过评价^[3]。目前我国常用的固体润滑剂粉末有二硫化铝、二硫化钨、石墨、二硒化铌、二硒化钨、硫化铅、聚四氟乙烯、氟化石墨、氮化硼以及聚对羟基苯甲酸等。固体粉末润滑剂的主要应用形式是作为润滑油脂添加剂、粉末飞溅润滑以及制成悬浮液来进行润滑等。

1. 作为润滑油脂添加剂

此项研究工作在我国约始于五十年代末期。到目前为止,作为润滑油脂添加剂的固体粉末润滑剂主要有二硫化铝、石墨、氟化石墨、聚四氟乙烯、二硒化铌、二硫化钨等等。

作为添加剂来改性润滑油脂的效果是明显的。如二硫化铝、石墨、氟化石墨分别添加在硅油-锂皂脂KK-3和矿油-锂皂脂304中,在温度法四球机上作抗摩性能对比的结果表明,在硅油脂中,氟化石墨有较好的效果;在矿油中则是添加二硫化铝有较好的效果^[4]。

将固体粉末润滑剂添加到矿油中,在SKODA试验机和MQ-12型四球机上进行抗摩性能对比的实验,结果如表1和表2所示。从这两个表中可以看出,固体粉末润滑剂的加入对其抗摩性能均有不同程度的提高。

表1 石墨与MoS₂的加入对矿油抗摩性的影响

润 滑 剂 名 称	磨 损 体 积* ×10 ⁻⁸ 毫米(平均值)	备 注
15° 齿轮油	2.1	
15° 齿轮油 + 8% MoS ₂	1.6	MoS ₂ 为上海井冈山化工厂产品, 牌号MF-0*
10° 机油	3.4	
10° 机油 + 8% MoS ₂	1.3	MoS ₂ 为上海井冈山化工厂产品, 牌号MF-0*
10° 机油 + 8% MoS ₂	1.4	MoS ₂ 为本溪牛心台化工厂产品, 牌号0*
10° 机油 + 8% MoS ₂	1.9	MoS ₂ 为天津天河化工厂产品, 1级
10° 机油 + 8% 石墨	1.4	石墨为上海井冈山化工厂产品, 牌号F-8

*SKODA试验机, 试块为45°钢, 总负荷15公斤, 转速1300转/分, 总转数4万, 不断滴油。

2. 粉末飞溅润滑

直接将固体粉末润滑剂放在需要润滑的部件的密封箱中, 利用转动部件使粉末飞扬起

来, 然后落到需要润滑的摩擦面上, 从而得到润滑效果。将固体粉末润滑剂直接加入到需要润滑的摩擦表面, 同样可以得到粉末润滑的效果。如徐州重型机械厂在回火炉、闷火炉上的轴承就是直接用二硫化钼粉末进行润滑的。他们成功地解决了原来用油脂润滑时, 润滑脂在高温下的流失、冒烟、烟雾污染的问题。此外, 实践证明, 用固体粉末润滑剂作为机械零部件跑合期的润滑剂, 其效果比用油脂润滑好。

表 2 几种固体粉末润滑剂的添加对矿油抗摩性的影响 *

油 品	临界负荷 (公斤)	烧结负荷 (公斤)	磨痕直径为 1 毫米时的负荷 (公斤)	备 注
15° 齿轮油	45	355	49	
15° 齿轮油 + 8 % MoS ₂	50	501	68	MoS ₂ 为北京天河化工厂一级产品
10° 机油	36	126	38	
10° 机油 + 8 % MoS ₂	56	316	57	MoS ₂ 为上海井岗山化工厂产品, MF-0°
10° 机油 + 8 % MoS ₂	56	286	57	MoS ₂ 为本溪牛心台化工厂产品, 0°
10° 机油 + 8 % MoS ₂	47	282	60	MoS ₂ 为北京天河化工厂一级产品
10° 机油 + 3 % 石墨	38	141	39	石墨为上海井岗山化工厂产品, F-3
10° 机油 + 8 % WS ₂	40	178	43	WS ₂ 为本溪牛心台化工厂产品

*MQ-12四球机, 球硬度HRC61.6, 转速1500转/分, 室温, 时间1分钟。

应用固体粉末润滑剂时, 以二硫化钼与石墨或者与聚苯等二元或多元共混的效果较好。

飞溅润滑或直接加入固体粉末润滑剂进行润滑, 工艺简单。但要求有一个良好的密封环境, 因而它的使用范围受到较大的限制。

3. 制成悬浮液来进行润滑

将固体粉末润滑剂制成悬浮液(或乳液)浸渍在多孔的青铜或铬、铁、镍等烧结材料中, 作成具有自润滑性能的轴承、轴套、压缩机活塞环、导向环等等来使用。这种使用方法目前国内已经取得了很好的结果[5]。

国营安东机械厂的有关人员曾将二硫化钼粉末与酒精按不同配比制成悬浮液浸渍不同型号的磨床砂轮, 发现磨床砂轮的消耗量因而降低到原来消耗量的二分之一, 同时还减少了砂轮的修正时间和次数、消除了磨削加工的挤压噪声、还可以提高磨削加工的进刀量(可由0.05~0.15毫米增大到0.3毫米)。被研磨的零件再没有出现退火和烧伤的现象, 磨后工件的光洁度也有所提高。

此外, 也有用固体润滑剂的悬浮液喷涂、刷涂或滴放在轴承、模具或压配件中来进行润滑的, 都收到了一定的效果。

二、固 体 润 滑 膜

固体润滑膜的种类很多, 在我国已经得到了比较广泛的应用。按成膜的方法, 大致可以将固体润滑膜分为擦入膜、挤压膜、溅射和离子镀膜以及粘结膜四大类, 现分述如下。

1. 擦入固体润滑膜

这是一种借助人力或机械力的方法将固体润滑剂擦涂在要润滑的表面上所形成的膜。如果再按具体成膜工艺来区分, 还可以分为擦涂、滚涂及振涂成膜。所谓擦涂, 是指用类似于

金属抛光过程,以固体润滑剂代替抛光膏时在摩擦表面上所形成的一层极薄的润滑膜。所谓滚涂成膜,是指将固体粉末润滑剂和要润滑的零部件(如滚动轴承的钢球)一起放入滚筒中,以一定的速度转动,或是将固体润滑剂放在相对滚动的摩擦界面中,在一定的负荷、速度下滚动使之在机械力的作用下,在要润滑的部件表面上所形成的膜。所谓振涂成膜,是指将要成膜的部件放入有金属球的容器中,加入固体粉末润滑剂和某些液体介质,然后在一定振幅和频率下振动一定时间,使在要润滑部件的表面上形成一层润滑薄膜。这些擦入固体润滑膜都有一定的润滑效果,特别适宜于在低速轻负荷下运转的精密仪器上使用。这类成膜方法,必须小心控制成膜过程,才能形成有效的润滑膜。

2. 挤压膜

挤压膜就是将固体润滑成膜剂放在既有滚动又有滑动的机械力作用下在摩擦表面形成的润滑膜。科学院兰州化学物理研究所曾将P型、EM-1、SS-2和改性聚酰亚胺等成膜剂在MM-200型试验机上,以不锈钢环对超硬铝环挤压成膜并在试验机上评价了它们的摩擦磨损特性。结果表明^[6],用SS-2成膜剂制成的挤压膜有较低的摩擦系数和较长的耐磨寿命。这种SS-2挤压膜在真空滚动轴承和齿轮上已经获得了成功的应用。由于这种成膜方法可以将成膜剂直接加在需要润滑的部件的摩擦表面上,在运转过程中挤压成膜,所以成膜方法简单,膜厚能很好地适应机械运转的要求,实际使用效果较好。目前国内若干厂矿企业,用P型成膜剂或9号成膜剂在天车减速器齿轮箱的齿轮机构上,用挤压成膜法实现了“无油润滑”,效果都较好^[7]。

3. 溅射和离子镀膜

所谓溅射成膜,实际上是一种真空镀敷过程,即是在高真空条件下,接通高压电源使靶与样品之间产生辉光放电,少量容易电离的气体在辉光下电离,这些电离粒子在电场下被加速,以高速轰击靶材表面,使靶材表面的原子或分子飞溅出来,镀敷在需要成膜的样品表面上而形成一层薄膜。溅射膜特别适用于高真空、高温、强辐射等特殊工况环境下的高精度、低负荷的滚动或滑动部件以及用于精密光学仪器上作固体润滑膜。到目前为止,国内已经成功地溅射了二硫化钼、二硒化钨、二硒化铌、氮化硼、金、银、铅等材料的固体润滑膜。这种成膜方法还可以通过用不同结构的溅射设备、利用多重靶、复合靶以及不同的表面处理、化学反应等手段使这种技术在选择固体润滑膜性能方面有相当大的灵活性,看来这是一种很有前途的成膜技术。所谓离子镀膜^[8],它与真空溅射一样,首先在正负两极之间建立一个低压气体放电的等离子区。在涂敷过程中,这个离子流连续轰击作为负极的工件,除去工件表面上物理吸附的气体污染层,因而整个涂敷过程始终保持膜层表面新鲜清洁。同时蒸发或溅射出的分子或原子由于受高速等离子体中电子的碰撞,其中部分被电离为正离子受负高压电场作用沉积在工件表面上。沉积速度大于溅射时的蚀刻速度,膜的生成就随着时间的增加而增厚,直到获得所需膜厚时为止。离子镀膜比溅射成膜所用的电压更高(沉积粒子的动能,溅射时为30~100eV,离子镀时约为3000~5000eV),用离子镀成膜的方法国内七十年代末期已经出现,但用这种方法来镀敷固体润滑膜还是处于探索阶段。

溅射和离子镀均系在真空条件下成膜,因此可以使用离子轰击(或蚀刻)的方法来清洁工件表面,从而可使膜与底材的结合更牢固,也提高了膜的寿命。目前国内有关单位正在进一步研究各种因素对膜的质量的影响。

4. 粘结固体润滑膜

十多年来我国发展了数十种粘结固体润滑膜。应用比较成功同时也是研究得最早的粘结膜是以无机盐（如硅酸钾）为粘结剂的膜，如 SS-2、SS-3 粘结固体润滑膜（以下简称干膜）。近年来又成功地将聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚双马来酰亚胺等高分子材料作为粘结剂发展了一大批有机干膜。与此同时，用金属、陶瓷作为粘结剂的干膜的研究也受到了各方面的重视。这些固体润滑膜已经成功地解决了润滑方面的一些难题。如 SS-2 干膜涂在变频管的滚动轴承上，在真空度为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 托、450℃、转速为 3000 转/分、轴向负荷为 0.52 公斤的条件下，轴承寿命超过了 223 小时。再如我国的某些卫星的摩擦滑动部件喷涂了 SS-2 干膜后在真空度为 5×10^{-8} 托下，防止了冷焊、粘着，起到了良好的润滑作用。

表 3 列举了一些粘结膜的性质。它们分别具有耐高温、耐腐蚀、抗辐照、低摩擦、长寿命等性能。这些粘结膜对不同底材也表现出了不同的特性。一般来说，对铜、铜合金、铝、铝合金、钛合金以及不锈钢、结构钢都有良好的粘结性能。

用金属作粘结剂的固体润滑干膜，现在国内已成功地应用了电泳电镀成膜工艺，试验结果表明，以 Au-Cu-Ni-MoS₂ 四组元复合固体润滑膜性能较好。

表 3 几种粘结固体润滑膜的一般性质

膜的名称	使用温度(℃)	主 要 用 途
SS-2 干膜	-178~700	能在液氢、液氧中工作，蒸发率低，在 10^{-9} 托真空下磨损寿命 130 米/微米
SS-8 干膜	同上	同上，磨损寿命高于 SS-2 干膜
EM-1 干膜	-196~250	抗辐照、蒸发率低，磨损寿命 298 米/微米
IF 干膜	最高到 300	磨损寿命优于 SS-8 干膜
EMF 干膜	最高到 250	磨损寿命 150 米/微米
PI 干膜	-178~300	在 10^{-9} 托真空下磨损寿命 270 米/微米
PPS 干膜	最高到 400	磨损寿命 300 米/微米
BL-1 干膜	室温~50 以下	• 磨损寿命 301~377 分钟
BL-2 干膜		• 磨损寿命 237~268 分钟

注：未注有•号的磨损寿命是在 Timken 试验机上评定的，试验条件为：负荷 32 公斤，线速 2.5 米/秒。注有•号的磨损寿命是在 MM-200 型试验机上评定的，试验条件：上试环转速 400 转/分，下试环转速 360 转/分，负荷为 175 公斤。

在武汉材保所、上海新跃电机厂、四川新都机械厂、四川晨光化工研究所、兰州化学物理所等单位已经用等离子喷镀技术，以金属作为粘结剂成功地研制了等离子喷镀固体润滑膜。他们还设计了双口复式、长口复式喷枪，可以使作为粘结剂的金属或陶瓷材料在喷枪中处于高温区、固体润滑剂处于低温区，这样既避免了如 MoS₂、WS₂、聚合物等粉末固体润滑剂由于高温变质，同时也提高了这类金属、陶瓷粘结膜的质量。

成都科技大学高分子研究所固体润滑材料研究组，四川省化工研究所，近几年来在分子粘结固体润滑膜方面取得了不少研究成果。他们用乙基纤维素、邻苯二甲酸二丁脂、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙酸乙酯等作成了高分子润滑膜，成功地解决了钢壳挤孟电机护环冷扩孔等润滑问题。

目前有关粘结膜的研究工作，正在从探索新的表面处理、寻找新型的粘结剂、改进已有的成膜润滑剂的配方等方面来提高其性能[9]。作者认为，还必须注意加强干膜的摩擦磨损机理的研究，否则要进一步提高干膜性能、扩大它的应用范围是比较困难的。

三、自润滑复合材料

所谓复合材料,可以解释为由两种或两种以上的组分混合或组合而成的材料体系,这些组分的性质、形状都是不同的,而且基本上是互不可溶的。复合的最终目的是要获得具有新性能的材料;为促进对固体润滑材料的了解,本文的介绍只涉及与润滑有关的复合材料。这类材料大致包括金属基自润滑复合材料(粉末冶金压制品)、石墨基、陶瓷基自润滑复合材料、塑料基自润滑复合材料、多层复合自润滑材料以及复合镀层和粘结膜。后两类前面已有所介绍,下面仅就前四类复合材料简介如下:

1. 金属基自润滑复合材料

金属基自润滑复合材料的研制工作是北京粉末冶金研究所、北京钢铁学院、杭州粉末冶金研究室、上海粉末冶金厂、武汉材保所、北京邮电学院、兰州化学物理研究所等单位最早开始的。十多年来,我国在这方面的研究与应用都取得了丰硕的成果。

所谓金属基自润滑复合材料,是借用粉末冶金的工艺,研究以各种金属材料为基础的自润滑复合材料。国内若干单位针对这类材料的机械强度与摩擦特性之间的矛盾进行了大量的研究工作^[10]。与此同时,还针对特定的用途作了若干种配方,在很多实际应用中获得了满意的结果。这类材料一般多用作滚动轴承保持架、小型套筒轴承、滑动电触点材料^[11]等。近年来为获得具有高机械强度、低摩擦系数和长寿命的金属基自润滑复合材料,发展了一种含难熔金属的烧结材料,这是一种以高百分比的固体粉末润滑剂与难熔金属如钨、钼、铌、钽的一种或多种混合物,装在石墨模具中、用电磁感应快速加热的热压成型材料。这类材料在滚动与滑动摩擦时都具有很好的自润滑性能,它的特点是在高温、高真空环境下有较长的耐磨损寿命。缺点是抗冲击强度不高。

2. 石墨基自润滑复合材料和陶瓷基自润滑复合材料

石墨基自润滑复合材料是石墨加上其它材料,如碳黑、灯烟等,混以粘结剂后用模压或挤压的方法压制成型,然后在539~1648℃的温度下烧结成石墨基自润滑复合材料。这类材料兼有石墨及填入组分材料的共同优点,因此它具有足够的机械强度,良好的自润滑性能,低的热膨胀系数,高的热传导能力以及良好的耐腐蚀性,电传导性等。这类材料如碳-石墨材料,常被用作机械的密封环、活塞环、轴承、电刷、电触点、泵、阀的部件。近十多年来,我国石墨基自润滑复合材料的发展较快,很多电碳材料的专业生产厂,如上海电碳厂、哈尔滨电碳厂、自贡电碳厂、甘肃海石湾电碳厂等,以及上海材料所、哈尔滨电碳研究所,兰州化学物理所等都对石墨基自润滑材料进行了大量的研究工作。这类材料的主要缺点是抗冲击性能差。提高它的冲击强度仍是今后努力的方向。

陶瓷基自润滑复合材料,是以陶瓷作粘结剂的自润滑复合材料,这类材料具有良好的减摩耐磨特性,如兰州化学物理所研制的氧化铅基敷层材料,它是首先由氧化铅、四氧化三铁、二氧化硅等材料烧结并冷淬研磨而得到氧化铅基粉末粘结剂。再把氧化铅与石墨的混合粉料与粘结剂混合后用热压的方法把它粘结在钢背上而得到的具有自润滑性能的敷层材料。图1是这种材料的结构示意图,它曾在鞍钢第二薄板厂镀锌装置上,在氢气气氛中,于400℃左右的温度下作为轴瓦,完全满足了该装置对摩擦磨损性能的要求^[12]。

3. 塑料基自润滑复合材料

这类材料包括填充塑料和增强塑料两大类。我国已经研制了以酚醛、尼龙、聚四氟乙烯、聚甲醛、聚乙烯、聚砒、聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚全氟乙丙烯、聚双马来酰亚胺等为基体的自润滑复合材料^[13]。从六十年代初期到现在,这类材料的实际应用非常广,以致很难完全列举它们的应用情况。

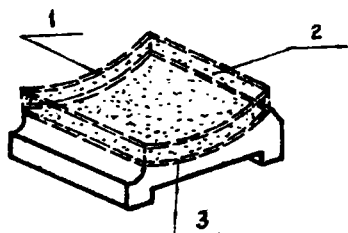


图1 氧化铅基敷层轴瓦外形示意图

1—石墨层, 2—PbO基成材料,
3—PbO基粉剂

上海塑料研究所、四川晨光化工研究所、北京化学所、兰州化学物理所、成都工学院等单位在塑料基自润滑复合材料的研究方面,进行了大量的工作。我国最初是以酚醛树脂的层压材料为代表应用于轻载、低速的滑动轴承和齿轮方面,稍后一段时期,出现了不同树脂制成的套筒、推力轴承的应用,这些塑料轴承在某些特殊环境下,如强腐蚀介质中,成功地代替了金属轴承,解决了很多润滑方面的难题。七十年代初,在滚动轴承中,用模制的含有固体润滑剂填料的塑料保持器得到了很大的发展,今天这种保持器正向传统的金属保持器提出了挑战。

在七十年代中还发展了用玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维以及金属纤维、聚四氟乙烯纤维增强、改性的各种塑料基复合材料的衬套、轴承、密封垫片、活塞环等具有自润滑性能的零部件^[13]。它们在不能使用油脂润滑的场合下,得到了有效的应用。塑料基自润滑复合材料在近十多年得到较快的发展,是因为人们逐渐深入地了解塑料有许多金属材料难以比拟的优点,同时也在实践中更清楚地掌握了塑料固有的缺点。

在繁多的塑料基自润滑材料中,对聚四氟乙烯的复合材料研究得最多,从大量的实践证明,几乎任何填料,不论是具有润滑性能的或者是具有研磨作用的填料,对提高聚四氟乙烯的耐磨损性都是有益的。问题是这些填料如何影响聚四氟乙烯的摩擦特性的基础研究不多,因此填料的添加多年来是靠经验来决定的。这是今后值得注意的问题之一。

怎样通过化学的共聚、共混等方法来改性塑料,也是今后值得重视的问题之一。

用纤维增强塑料的方法,我国在六十年代就有人开展了研究,而且取得了很好的结果。实践证明,不论是用长纤维或是短纤维来增强塑料,都会有明显的增强效果。纤维增强很成功地解决了某些塑料(如聚四氟乙烯)在载荷下的冷流问题。近年来用碳纤维增强塑料的研究工作虽然得到了一定重视,但是用碳纤维增强的塑料的耐磨损性的研究还没有取得满意的结果。这方面还必须作进一步的研究。

在选择不同填料和增强材料时,近年来对于添加硬质相物质(如二氧化硅、碳化硅等)来改性某些塑料的工作,正受到大家的重视,而且在实际应用中也取得了可喜的成果,例如广州机床研究所在1977年研制成功了HNT耐磨涂层材料,这种耐磨涂层材料可以把它看作是加入了硬质相的改性树脂材料,这种材料在实际应用中得到了国内众多单位的高度评价^[14]。问题是对磨件的磨损问题应加以注意。

4. 多层复合自润滑材料

我国已成功应用的多层复合自润滑材料有金属塑料、聚四氟乙烯织物敷层材料等。

金属塑料是与英国 Glacier 金属公司的DU材料相类似的材料。这类材料在六十年代中期国内就已经有一些单位(如兰州化学物理研究所、北京粉末冶金研究所、上海材料研究所等单位)开始了研制工作。目前,它已作为一种减摩、耐磨且具有良好自润滑性能的材料

应用于无油润滑轴承、各种密封垫、活塞环等方面，而且收到了很好的效果^[15]。现在各单位还在进一步改善制作工艺、选用了不同配方的塑料层，使金属塑料的PV值和摩擦特性有了新的提高。

聚四氟乙烯织物敷层材料，是在聚四氟乙烯织物纤维出现后发展起来的一类多层复合自润滑材料，它是将聚四氟乙烯织物用粘结剂粘结在钢背上所得到的敷层材料。这种材料在MM-200型试验机上得到的干摩擦试验结果如图2所示。从图2中可以看出，其摩擦系数低而平稳。可以设想这类材料将会随着聚四氟乙烯织物纤维的工业化生产而获得广泛的应用。

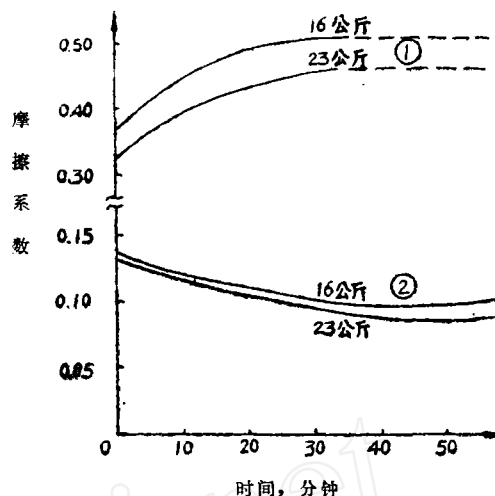


图2 聚四氟乙烯织物敷层与MC尼龙的干摩擦曲线
①MC尼龙 ②聚四氟乙烯织物敷层

结 束 语

我国在固体润滑材料方面近二十多年来有了较大的发展。有关的研究工作十分活跃，并且已经解决了一些国防尖端和国民经济建设中的课题。但是，过去的成果多偏重于经验、模仿和实际应用，基础研究以及新型固体润滑材料的探索工作不多。已有的固体润滑材料，质量还不够稳定，品种不全且没有标准化、系列化。与国际先进水平相比，是落后的。为更快更好地发展这门科学，满足国家的急需，必须大力开展并加强基础研究，注意学习国外的先进技术，以适应我国实现四个现代化的需要。

参 考 文 献

- 〔1〕广州机床研究所编，摩擦磨损润滑学，1979；姚际恒等，诗经通论，中华书局出版，1958，63。
- 〔2〕周国民、党鸿辛，固体润滑剂和特殊工况条件下的摩擦与润滑，一机部全国第一次润滑技术短训班教材，洛阳，1979。
- 〔3〕中国科学院兰州化学物理研究所，固体抗摩材料，科学出版社，1973。
- 〔4〕聂明德、薛群基，固体润滑，1(1981)，1：28。
- 〔5〕北京市粉末冶金研究所，润滑与密封，1980，2：12。
- 〔6〕赵家瑶、胡修元，合成润滑材料，1981，2：1。
- 〔7〕本溪牛心台化工厂，润滑与密封，1978，1：59，3：38。
- 〔8〕张祥生，真空技术，1979，1：54。
- 〔9〕党鸿辛，合成润滑材料，1975，3：19。
- 〔10〕中国科学院兰州化学物理研究所，润滑与密封，1978，3：24。
- 〔11〕北京邮电学院，工人日报，1980年6月5日。
- 〔12〕党鸿辛、张绪寿等，润滑与密封，1978，5：1。

〔13〕中国科学院兰州化学物理研究所, 填充聚四氟乙烯的膜压成型工艺, 石油化学工业出版社, 1976。

〔14〕广州坚红化工厂, 润滑与密封, 1978, 3 : 36。

〔15〕张登高, 润滑与密封, 1979, 6 : 56。

◁☆▷

◁☆▷

◁☆▷

◁☆▷

(上接第65页)

剂(聚合物)的润滑油的性能, 并与无任何添加剂的矿物油的性能作了比较。结果表明在用表面硬化齿轮时, 含极压添加剂的合成油可延长点蚀疲劳寿命和提高疲劳极限。但有些含或不含极压添加剂的合成油表现出比矿物油较低点蚀疲劳寿命。在用淬火、回火齿轮时, 在较低负荷下, 几乎所有被研究的合成润滑剂都具有优于矿物油的性能。在较高负荷下, 合成油往往会比矿物油有较短的点蚀疲劳寿命。

在较低负荷时, 含有粘度指数改善剂的润滑油增加了引起点蚀疲劳的负荷和运转数目。但聚苯乙烯-丁二烯共聚物未看到改善的效果。

在“在矿物油中油溶性添加剂和弥散的二硫化钼的润滑效果”的报告中, 教授介绍了二硫化钼对某些油溶性添加剂润滑效果的影响。在负荷低于转变点的条件下, MoS_2 添加到矿物油和化学添加剂混合物中其抗磨损性能得到了改善。尤其在三甲苯基磷酸盐和二甲苯二硫存在的情况下, 发现了它们的协同作用。

由矿物油、 MoS_2 和正二辛基二硫代磷酸锌的混合物所获得的结果表明, 在多数情况下 MoS_2 提高了液体润滑剂的负荷承载能力。然而由事实证明, 在某些情况下, 这种改善是由磨痕的扩大所引起的。于是磨痕的接触应力降低了。总的来说, MoS_2 的使用要和其他油溶性添加剂以及操作条件相配合。

在“金属成型润滑剂的标准及其应用”的报告中, 教授介绍了金属成型工艺中摩擦和润滑的特征。并以深拉延和冲孔工艺为例简述了金属成型工艺中润滑剂的重要性。他用图表简介了金属成型润滑剂体系的组成和标准规格, 各种金属成型工艺与材料和润滑剂之间的关系以及合适的选择。并给出了金属成型润滑剂最佳使用、有限使用和不宜使用的调查情况。

这些报告的内容对我国有关的工人、教师和科技人员有一定的参考价值。为了让更多的读者了解其详细内容, 本刊准备整理后陆续给予发表。