

尼龙的摩擦磨损性能

刘维民 黄春祥

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑开放研究实验室)

【摘要】本文评述了尼龙的摩擦磨损性能, 讨论了速度、负荷和温度的影响, 并介绍了几种填料在尼龙中的作用。

The Friction and Wear Properties of Nylon

Liu Weimin Huang Chunxiang

(Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics,
Chinese Academy of Sciences)

【Abstract】The friction and wear properties of nylon are described in this paper. The effects of temperature, velocity and load on friction and wear of nylon are discussed. Also, the function of several fillers in nylon is reported.

一、引言

尼龙是在本世纪三十年代末开发的一种工程塑料。大规模的尼龙生产始于本世纪四十年代。到八十年代初, 国外市场上的尼龙牌号已有六百余种。其中, 最引人注目的是近几年开发的增韧尼龙、尼龙弹性体、反应注射(RIM)尼龙、互穿网络(Interpenetrating Networks, 简称IPN)尼龙、阻燃尼龙及透明尼龙等品种。这些不同品种的尼龙在汽车、电子、电气、机械制造、医疗器械、办公用品、建筑材料及食品工业等许多领域中得到了越来越广泛的应用, 而且其年消耗量还在以10%左右的速度增长^[1~3]。众多尼龙品种的出现为其作为自润滑材料的选择和应用开辟了广阔的途径。

二、纯尼龙的摩擦磨损性能

尼龙是半晶态的高聚物, 其结晶度远低于聚四氟乙烯(PTFE)和聚乙烯(PE), 一般只有25%~40%。尼龙分子为线型不对称分子, 分子链通常呈绕曲状态。由于分子链中存在氮(N)、氧(O)、氢(H)原子, 因而其分子链之间易生成氢键。尼龙有比PTFE和PE高得多的表面能, 这通常预示着其与另一物质接触时有较大的粘附功^[4~6]。上述特点决定了尼龙在干摩擦时有较高的摩擦系数。但由于尼龙的机械强度高, 耐磨性好, 故它是最早被用作轴承材料的塑料之一。

1. 速度、负荷及温度对磨损的影响

也许正是因为尼龙具有很高的表面能,

才使其在摩擦时能很好地向钢表面转移〔7〕。K.Tanaka等人的实验结果已证明了无论是起始摩擦阶段还是稳定摩擦阶段（摩擦和磨损都很平稳时）尼龙在钢对偶面上形成的转移膜都比在相同条件下PTFE, HDPE, LDPE形成的转移膜要厚〔8〕。

图1~2是K.Tanaka及Y.Yamada用栓-盘试验机测得的尼龙6的实验结果（栓为 $\phi 3\text{ mm}$ 的尼龙棒材，盘为特种钢）〔8〕。图1表明，随转数的增加，转移膜增厚，1000转后，膜厚基本趋于稳定，当达到稳定摩擦时，速度对转移膜厚的影响甚微。由图2看出，磨损率随速度增加而降低。

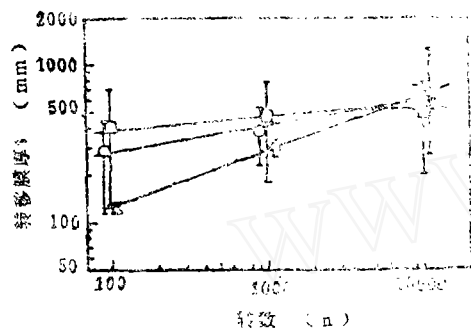


图1 不同速度下转数与转移膜厚的关系

○—0.01m/s; □—0.1m/s; △—1 m/s

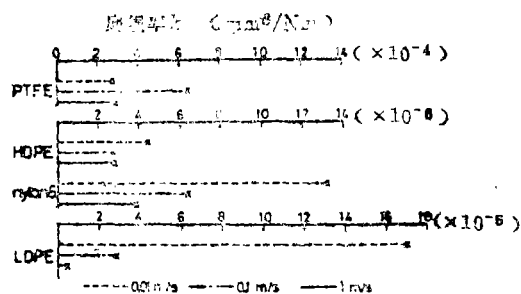


图2 不同速度下几种高聚物的磨损率
负荷10N; 稳定摩擦状态

K.Tanaka及Y.Yamada认为，这种影响是由不同速度下产生的摩擦热不同而造成的。他们认为当尼龙表面没有熔化时，尼龙极易向对偶面转移，因而磨损很高；当尼龙

表面熔化时，转移率则降低，因而磨损很小。转移膜摩擦表面的显微照片显示，当速度为0.01m/s时，表面没有熔化痕迹；而在1 m/s时，熔化痕迹极为明显。

图3~5是M.Watanabe等得出的速度、负荷及温度对尼龙6磨损率的影响曲线

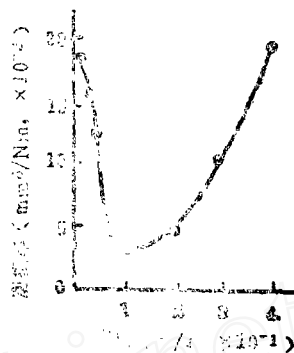


图3 速度对磨损率的影响
负荷为196N

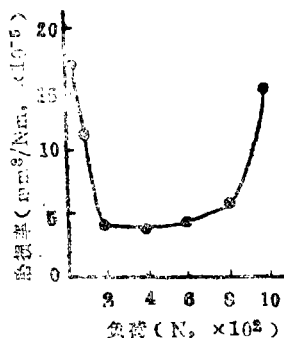


图4 负荷对磨损率的影响
速度为20mm/s

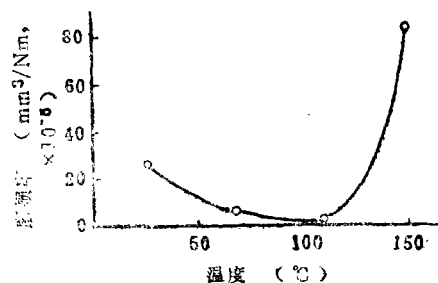


图5 温度对磨损率的影响
负荷为196N; 速度为20mm/s

(试验机为圆筒-圆筒型, 其内径为20.0mm, 外径为25.6mm, 端面摩擦, 上端为钢, 下端为尼龙6)〔9〕。图3和图4的形状与图5的类似, 这说明速度、负荷对磨损的影响也是通过温度来实现的。由图可看出, 随速度、负荷及温度的增加, 磨损率先是降低, 继而又增加。M.Watanabe等认为这种现象与尼龙在不同温度下向钢表面的转移性有关。他们认为100℃下的转移率比25℃下的要低, 因而100℃下的磨损率比25℃下的要低, 这与文献〔8〕中的观点是一致的。当继续增大速度、负荷或提高温度时, 则材料的机械强度将会降低, 并且会由于熔化量的增多而导致外溢, 这些原因都会使磨损增大。

2. 速度、负荷及温度对摩擦的影响

摩擦条件对尼龙6摩擦系数的影响是很明显的, 摩擦形式、负荷、速度、温度及时间等因素都有影响。在这方面M.Watanabe等做了不少工作〔9,10〕。图6~9就是他们得出的速度、负荷及温度对尼龙6摩擦系数的影响曲线(试验机同前)。图6为负荷和速度的影响, 当负荷加大时, 摩擦系数迅速升高, 达到一个最高点后, 又开始降低, 最后趋于平稳。还可以看到, 当摩擦速度升高时, 摩擦系数的最大值会在较低的负荷下出现。这个最大值的出现是与摩擦速度和负荷共同作用产生的摩擦样品的温升有关。这可从图7和图8的结果看到, 当速度或负荷升高时, 样品温度为迅速升高, 当温度达到120℃左右后, 升温速度大大减缓。这个温度转变点, 相应于摩擦系数的最高位置。这种温度效应, 可由图9进一步说明。在可以忽略摩擦热效应的低速度和低负荷下摩擦, 尼龙6试样在温度升高时也出现摩擦系数的最大值。作为一种半结晶态的热塑性材料的尼龙, 在温度升高时, 依次存在玻璃态、粘弹态和粘流态三种状态。图中摩擦系数急剧上升的温度区域相当于尼龙6由玻

璃态向粘弹态转变的温度区, 摩擦系数最大值发生在粘弹态区域, 而摩擦系数转低的区域发生在表面熔融的粘流态区域。

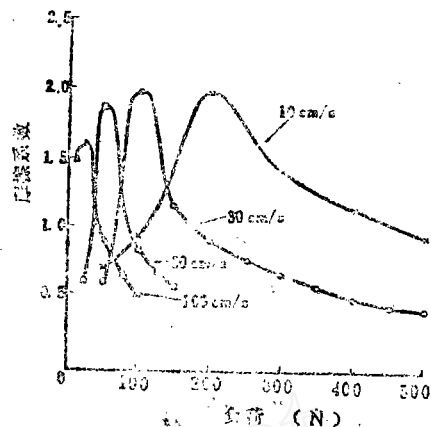


图6 不同滑动速度下负荷对摩擦系数的影响

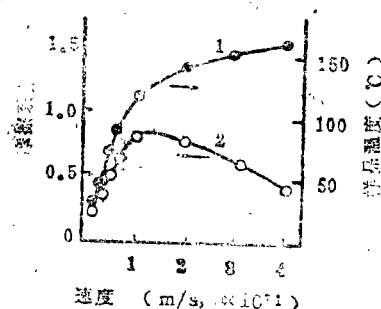


图7 速度对摩擦系数和温度的影响

负荷为196N

1—温度; 2—摩擦系数

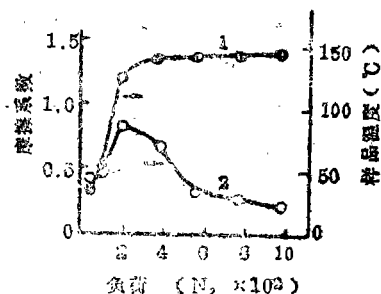


图8 负荷对摩擦系数和温度的影响

速度为20mm/s

1—温度; 2—摩擦系数

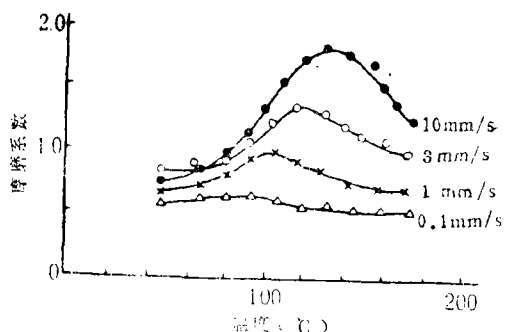


图9 不同滑动速度下温度对摩擦系数的影响

负荷为49N, 温度由外加电炉加热

三、填料对尼龙摩擦磨损的影响

为改善尼龙的摩擦磨损性能, 人们进行了大量的尝试, 包括化学改性及填充其它成份的物理改性。

1. 填充一般填料

尼龙有优良的机械强度及良好的耐磨性, 这是人们所公认的。关于填料对尼龙摩擦磨损性能的影响有各种不同的报道。一般倾向于认为硬质填料将改善尼龙的耐磨性, 特别是耐磨料磨损能力。表1是本文作者在MHK—500型环块磨损试验机上测得的几种填料对尼龙—6摩擦磨损的影响。

由表1的结果可看出, 无机填料对尼龙6的摩擦几乎没有改善, 对其耐磨性则稍有提高。高聚物填料在改善尼龙6的摩擦和磨损上都有较为明显的效果。

玻璃纤维填充尼龙会造成收缩不匀, 使制品发生翘曲, 故西欧发展了一系列矿物(包括硅酸盐)填充的尼龙。这可克服尼龙收缩不匀并具有硬度高、表面平滑和价格低廉等特点。

2. 填充固体润滑剂

用固体润滑剂来改善尼龙的摩擦磨损性能有很多报道。但是, 由于试验条件、方法

表1 几种填料对尼龙6摩擦磨损性能的影响

填料种类	填料量(wt%)	摩擦系数	磨痕宽度(mm)
铅粉	19	0.44	1.96
锌粉	26	0.46	2.30
氢氧化铝	19	0.45	2.17
聚苯乙烯	25	0.28	1.90
超高分子量聚乙烯	20	0.32	2.42
聚四氟乙烯	19	0.27	1.73
石蜡	6	0.16	1.33
纯尼龙6	—	0.45	2.50

(负荷: 98N; 转速: 0.51m/s; 摩擦时间: 40min; 对偶件: GCr15钢)

的限制和研究角度的等不同, 这些研究没能得到统一的结果。R.T.Steinbuch在实验中发现3%(wt)的 MoS_2 对尼龙6的磨损几乎没有影响, 仅使摩擦系数稍有升高, 15%(wt)的石墨添加到尼龙6中后也会使摩擦系数升高。他认为这可能是填料影响了材料的硬度, 而且认为石墨, MoS_2 在尼龙中起了磨料的作用^[11]。D.C.Mitchell则发现, 添加5%(vol)的 MoS_2 , 使尼龙的耐磨性有所提高, 但对摩擦系数几乎没有影响^[11]。T.J.Risdon等也发现 MoS_2 能提高尼龙66的耐磨性并同时使摩擦系数升高^[12]。T.E.Powers将 MoS_2 与尼龙66混合注射成型后发现, MoS_2 能降低尼龙的摩擦系数及磨损量。他认为 MoS_2 起到了润滑作用, 并促进了尼龙66的结晶, 从而使材料的某些机械性能得到了改善^[13]。黄春祥将石墨添加到芳香尼龙中发现, 石墨能明显降低芳香尼龙的摩擦磨损^[14]。

填充PTFE的尼龙^[15]、填充PE及玻璃纤维的尼龙^[16], 其摩擦磨损都有不同程度的降低。

但上述作者没有对摩擦磨损的影响机理进行探讨, 尤其没有结合摩擦中的各种现象

及摩擦表面各种成份的变化来解释摩擦磨损。

3. 含油尼龙

为了改善尼龙的自润滑性, 提高耐磨性, 人们将润滑油先吸附于活性碳或PE等材料中, 然后与尼龙混合均匀, 挤出成型。也有的直接使用润滑油, 如硅油等, 用螺杆挤出机在一定的温度和压力下挤出成型。由于填加的油量较少〔2~5% (wt)〕, 一般不会使其强度有明显的损失。材料的润滑性是由尼龙中所含油的微滴所保证的。由于这些油微滴之间互不相通, 因而材料的摩擦磨损性能可在长期的运行中保持稳定〔17〕。表2所列几种含油尼龙的摩擦磨损性能。可以看到, 含油可进一步降低填充尼龙的摩擦磨损。

表2 几种含油尼龙、填充尼龙摩擦磨损性能的比较

基 材	材 料			磨 损 率 ($\times 10^{-7}$, $\frac{\text{mm}^3}{\text{N} \cdot \text{m}}$)	摩 擦 系 数*	
	填 料				静	动
	PTFE (wt%)	玻 璃 纤 维 (wt%)	二 甲 基 硅 油 (wt%)			
尼 龙 6	—	—	—	40	0.22	0.26
	20	—	—	3	0.10	0.19
	—	—	2	10	0.10	0.12
	18	—	2	2.2	0.09	0.11
	—	30	—	18	0.26	0.32
	13	30	2	2	0.17	0.20
尼 龙 66	—	—	—	40	0.20	0.28
	5	—	—	12	0.13	0.20
	20	—	—	2.4	0.10	0.18
	—	—	2	8	0.09	0.09
	18	—	2	1.2	0.06	0.08
	13	30	2	1.8	0.12	0.14

*静、动摩擦系数在 2.7×10^5 Pa的负荷下测定; 动摩擦系数在0.02m/s的速度下测定。

4. IPN尼龙

近几年美国及西欧开发了尼龙与硅树脂聚合而得到的互穿网络尼龙(IPN尼龙)。其方法是将含有乙烯基的有机硅与尼龙, 或含有羟基的有机硅与尼龙混合均匀, 在5~

10ppm的铂(Pt)催化剂存在下加工, 硅树脂中两种不同的官能团就发生交联而形成互穿网络的超高分子量硅树脂, 并在基体尼龙树脂里形成三维网状结构。硅树脂的含量一般在3~15% (wt)之间, 也有的高达50% (wt)〔18〕。IPN尼龙不仅改善了尼龙的自润滑性(见表3), 而且还对制品的翘曲性, 光洁度和尺寸稳定性都有较大的改善。

表3 尼龙12与尼龙12-有机硅(IPN尼龙)的性能对比

性 能	单 位	尼 龙12	尼 龙12-有 机 硅 (IPN尼龙)
密 度	g/cm ³	1.02	1.02
24小时 吸水率	%	0.25	0.15
抗张强度	Pa, 10 ⁷	50	40
抗弯强度	Pa, 10 ⁷	49	58
耐温性 (1.85× 10 ⁷ Pa)	℃	52	66
静摩擦系数	—	0.24	0.18
动摩擦系数	—	0.31	0.17

四、结束语

尼龙作为工程塑料已经得到广泛的应用, 但尼龙的摩擦学性能, 尤其是填料在尼龙中的作用机理, 尚无明确的认识和结论。因此, 为了开辟尼龙在自润滑材料中的应用, 进一步研究其摩擦磨损机理就显得非常必要。本文作者认为可在以下几个方面进行深入的研究:

- 1. 速度、负荷和温度对尼龙转移性的影响。这包括对转移膜厚、转移膜粘附性, 及其对尼龙磨损性能的影响。
- 2. 尼龙的结晶度, 尤其是表层的结晶状态对其摩擦磨损的影响, 以研究尼龙的粘弹性对其摩擦性能的作用。
- 3. 尼龙分子链中所含的N、O原子与对

偶件的相互作用和摩擦过程中降解产物与对偶件的相互作用, 以及其对尼龙摩擦磨损的影响。

4. 一些典型填料在不同的摩擦形式下对尼龙摩擦磨损的影响。

5. 固体润滑剂作为填料对尼龙摩擦磨损的影响, 及其作用机理的探讨。

参考文献

- [1] 徐茂昌, 塑料工业, 1986, 4:43.
- [2] Wehrenberg, Rob., Plastics World, 1984, 9:39.
- [3] Wehrenberg, Rob., Plastics World, 1984, 10:62.
- [4] Hornbogen, E., Schafer, K., Fundamentals of Friction and Wear of Materials—Papers Presented at the 1980 ASM Materials Science Seminar, p.409.
- [5] Erhard, G., Wear, 84(1983), 167.
- [6] Czichos, H., Wear, 88(1983), 27.
- [7] Tanaka, K., Wear, 75(1982), 183.
- [8] Tanaka, K. and Yamada, Y., Wear of Materials, 1983, p.617.
- [9] Watanabe, M. and Yamaguchi, H., Wear, 110(1986), 379.
- [10] Watanabe, M., Karasawa, M. and Matsubara, K., Wear, 12(1968), 183.
- [11] Steinbuch, R.K., Wear, 5(1962), 458.
- [12] Risdon, T.J. and Richard, D.L., ASLE Proceedings 2nd International Conference on Solid Lubrication, 1978, p.230.
- [13] Powers, T.E., Modern Plastics, 37(1960), 148.
- [14] 黄春祥, 固体润滑, 2(1982), 8:165.
- [15] Chen, J.H. and Gage, P.E., ASLE Proceedings 8rd International Conference on Solid Lubrication, 1984, p.320.
- [16] Lipatov, Y.S., Petrenko, S.D. and Prvalko V.P., Journal of Applied Polymer Science, 30(1985), 3451.
- [17] 邱有德, 润滑与密封, 1981, 6:49.
- [18] Keuerleber, R., München, Kunststoffe (German Plastics), 73(1983), 509.

新产品介绍

MFC—1 白色润滑成膜膏

MFC—1 白色润滑成膜膏是依据油-固复合润滑原理和固-固协同效应, 选用新型固体润滑剂和科学配方精制而成。本产品具有低剪切、长寿命、承载能力高和在摩擦面上不断生成固体膜的能力, 以及可有效地防止爬行、减低噪音、降低摩擦和磨损、杜绝漏油等优点。

本产品为粘稠膏状物, 使用时用毛刷刷涂在清洗干净的导轨、齿轮等零部件的摩擦表面, 也可加热至60℃左右后用喷枪喷涂。

适用范围: 本产品适用于机床卡盘、导轨、齿轮、齿条、涡轮蜗杆、轴承、滑块、垫板等的润滑和防锈。本产品已在国产数控机床的卡盘和造纸厂的有关设备上得到成功的使用。

主要技术指标:

颜色	滴点(℃)	针入度	游离碱(%)	烧结负荷(N)	摩擦系数
白成或灰色	180~210	260~280	0.06~0.15	7000~8000	0.06~0.19

本产品生产工艺先进, 配方合理, 精工配制、实行三包, 欢迎选用。

本产品分 1 kg、4 kg 和 8 kg 三种包装。

研制单位: 中国科学院兰州化学物理研究所

联系人: 聂明德

地址: 兰州市南昌路247号

电话: 22871—484

电报挂号: 4496