

机床导轨用非金属材料的耐磨性

胡 果 明*

(机械工业部北京机床研究所)

【摘要】 本文系统地介绍了非金属材料用作机床导轨的耐磨性能和试验方法,并对国内外同类产品进行了评价。同时还考察了不同加工工艺和表面处理方法的配合件对其耐磨性的影响,测定了在油润滑和干摩擦下的摩擦系数。结果表明,填充聚四氟乙烯塑料软带和FQ-1三层复合材料的摩擦系数低,耐磨性最好,配合件以砂轮周边磨削加工为宜。经离子氮化处理的38CrMoAl钢与填充聚四氟乙烯软带作配合副的磨损量最小。

Wear Resistance of Non-metallic Materials for Guides of Machine Tools

Hu Guoming

(Ministry of Mechanical Industry, Beijing
Institute of Machine Tool)

【Abstract】 Wear resistance of non-metallic materials for guides of machine tools was presented with different experimental methods, and that of the similar products from internal and external was evaluated. The effects of the mates with different machining technology and surface treatments on wear resistance were examined. The friction coefficients of these materials during oil lubrication and dry friction were measured. The results showed, filled PTFE soft belt and FQ-1 three layers composite had low friction coefficients and the best wear resistance. The mates of these materials could grind with circumference of abrasive wheel. When 38CrMoAl steel with ion-nitrodatation sliders on filled PTFE soft belt, the wear value was the least.

* 进行本项试验工作的还有杨运升、周云芬、张永泉等同志。

前 言

机床导轨的耐磨性是影响机床精度和使用寿命的主要因素之一,是衡量机床质量好坏的重要标志。从五十年代开始,我们围绕提高机床导轨的耐磨性,进行了大量的试验研究工作,先后研制成功了多种耐磨铸铁,以及提高材料耐磨性的热处理工艺。塑料等非金属材料在机床导轨上的应用也受到重视。六十年代,美国霞板公司(W.S.Shambon)首创了聚四氟乙烯(PTFE)塑料软带 Turcite-B,使用效果较好。西德、日本、英国等国相继引进,为塑料在机床导轨上的应用开创了新的前景。由于PTFE具有较好的摩擦学特性,优良的化学稳定性,以及使用工艺简单和较明显的经济效益,在机床导轨上的使用越来越广泛。国内许多单位也研制或者仿制了多种以PTFE为主体的非金属复合材料,并逐步用于机床产品及其维修,对提高机床导轨的耐磨性、降低摩擦、防止爬行等,收到了良好的效果。

目前,用于机床导轨的非金属材料,大体可分以下四大类。

1.以聚四氟乙烯为基体,加入青铜粉等填料的填充聚四氟乙烯车削软带。如美国和西德的Turcite-B,日本的ターカイト-B,苏联的 $\phi 4 K15M5$,都是这种类型的材料。国内晨光化工研究院、陕西省塑料厂、本溪玻璃钢厂等单位都有类似产品。

2.以环氧树脂和多种填料组成的耐磨涂层。如西德的SKC-3,SKC-5,国内广州机床研究所的HNT耐磨涂层,北京第一机床厂的含氟耐磨涂层等。

3.以钢为基础,多孔青铜为中间层,填充聚四氟乙烯或其它塑料为表层的三层复合材料。如英国的DU、DX,日本的氟纶金属D,西德的MB60。国内北京粉末冶金五厂的FQ-1,太湖无油润滑轴承厂的SF-1、SF-2、SF-3,辽源市科学技术研究

所的GS-1、GS-2等。

4.其它塑料。如酚醛夹布胶木,尼龙1010,尼龙6,改性聚甲醛等。

对于上述材料的物理、机械和化学等方面的性能,国内外都进行过大量的试验研究,有过许多报道。但是,关于耐磨性的试验一般都不系统,试验条件也各不相同,无法进行比较;多数试验规范同机床工作条件相差太大,不能反映这些材料用作机床导轨时耐磨性的好坏,而且有的数据还有很多矛盾。为了进一步搞清机床导轨用非金属材料的耐磨性,从1980年开始,我们在实验室条件下,用同样的试验规范对聚四氟乙烯塑料软带等非金属材料进行了多次耐磨性试验。本文主要论述对聚四氟乙烯软带进行耐磨性比较试验及其摩擦系数的测定结果。

一、耐磨性试验方法及试验规范

国内外所进行的耐磨性试验,绝大多数使用的是Amsler试验机和Timken试验机。我们采用模拟机床导轨的运动方式和工作条件的MS-3型往复运动磨损试验机,用加有直径小于 $10\mu\text{m}$ 的 Cr_2O_3 粉的 20° 机械油作润滑剂,进行耐磨性试验。MS-3往复磨损试验机的外形如图1。图2是它的示意图。上试样7固定在上试样卡头8内,下试样6固定在试验机工作台5上,工作台通过电机1、减速箱2以及曲柄连杆机构3实现往复运动。试验规范是:速度为 $20\text{m}/\text{min}$ (往复62次/min,行程为 160mm);比压为 5.92MPa ;润滑用 20° 机械油+ 0.4% (重量比) Cr_2O_3 ;跑合用 20° 机械油+ 0.8% Cr_2O_3 润滑,待表面加工痕迹全部去掉后,换用 20° 机械油+ 0.4% 的 Cr_2O_3 润滑,再跑合八小时。总的跑合时间一般不少于45小时。试验时上试样每20小时称重一次,下试样60小时后进行测量。

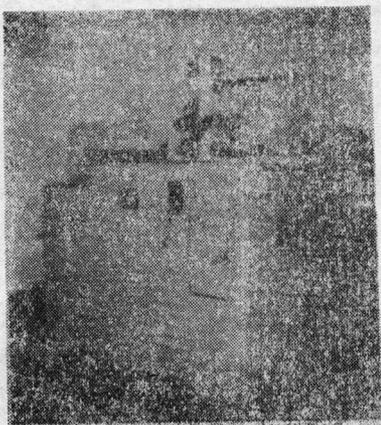


图1 MS-3 往复运动磨损试验机外形

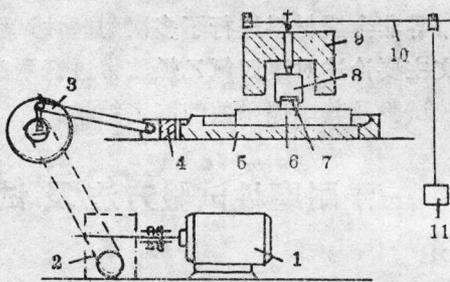


图2 MS-3 往复运动磨损试验机示意图

1—电机(0.6kW); 2—减速箱; 3—曲柄连杆机构; 4—十字头; 5—工作台; 6—下试样; 7—上试样; 8—试样卡头; 9—上试样装卡机构; 10—杠杆; 11—法码

上下试样的形状如图3。上试样的摩擦面积为 $20 \times 30 \sim 4 \times 30$ (cm^2), 如果所试材料的厚度不够, 则用胶粘剂将其粘在加工好的金属块上, 经过修整, 以达到图纸要求的尺寸。

上试样的磨损量用称重法和尺寸法测

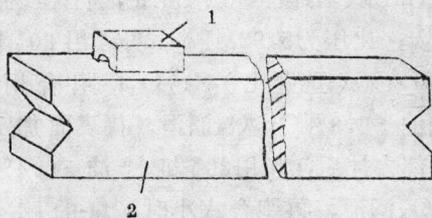


图3 上下磨损试样
1—上试样; 2—下试样

量。称重是在感量为万分之一的DT100半自动光学天平上进行; 尺寸变化用精度为 $1 \mu\text{m}$ 的光学投影仪测量, 测量六个点, 取其平均值为线磨损量。由于尺寸测量误差较大, 所以根据试验前后的重量变化换算成厚度方向的线磨损量比较合适。计算公式如下:

$$\text{线磨损量 } h = \frac{q}{s \cdot r} \quad (\text{cm})$$

式中 S 为摩擦面积 (cm^2), r 为试验材料的密度 (g/cm^3), q 为失重量 (g)。

下试样磨损前后的变化是利用DWY振动位移测量仪进行的, 工作原理如图4。DWY型振动位移测量仪是一种电容、调频、无接触测量仪器。测量时, 把试样放在工作台上, 通过横向调平螺钉、纵向调平斜铁, 将试样的试验面(四个角)调整到水平位置, 把未磨损部分调到读数为零的位置, 被测量的下试样随工作台纵向移动。试验后, 定点测量传感器和摩擦面之间间隙的大小, 即为磨损量; 沿长度测量22个点(两排), 取中间10个点的平均值作为试样的磨损量。传感器的直径为4mm, 满量程为 $10 \mu\text{m}$, 分度值为 $0.25 \mu\text{m}$ 。

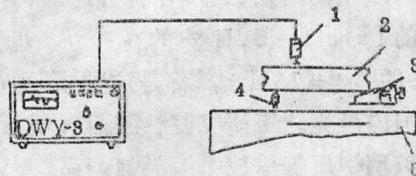


图4 DWY振动位移测量仪
测量磨损量的工作原理图

1—传感器; 2—下试样; 3—纵向调平斜铁; 4—横向调平螺钉; 5—工作台

所试验摩擦副耐磨性的好坏, 以HT20-40铸铁自磨时的磨损量为基准, 用相对耐磨性进行比较, 即:

$$\text{相对耐磨性 } \varepsilon = \frac{\text{HT20-40铸铁的磨损量}}{\text{试验用试样的磨损量}}$$

式中 ε 越大, 耐磨性越好; $\varepsilon = 1$ 时, 则

耐磨性与 HT20-40 铸铁自磨时的耐磨性相当。我们根据机床导轨采用塑料的实际情况,下试样都用 HT20-40 铸铁,同各种非金属材料的上试样进行试验。

二、耐磨性试验结果

1. 非金属导轨材料的耐磨性。几种非金属材料耐磨性试验结果列于表 1。

表 1 非金属材料耐磨性

序号	材料名称 (上试样)	耐 磨 性				材 料 来 源
		上试样磨损量 (μm)	ϵ	下试样磨损量 (μm)	ϵ	
1	HT20-40	1.78	1	0.40	1	北京第一机床厂
2	填充PTFE软带	0.51	3.49	0.18	2.22	晨光化工研究院
3	FQ-1	0.87	2.06	0.11	3.64	北京粉末冶金厂
4	SKC-3	6.02	0.30	0.13	3.08	西德
5	HNT	3.40	0.52	0.41	0.93	广州机床研究所
6	尼龙1010	3.98	0.44	0.83	0.36	
7	聚甲醛	1.37	1.30	0.15	2.67	上海
8	酚醛夹布胶木	7.73	0.18	0.48	0.80	

表 1 中的数据表明,填充聚四氟乙烯塑料软带和 FQ-1 三层复合材料耐磨性最好,其相对耐磨性最高,分别为 3.49 和 2.06,比铸铁高 1~2 倍,对下试样也有明显的保护作用。聚甲醛的耐磨性次之,其耐磨性同铸铁相当,对下试样也有很好的保护作用,使磨损大大减少。SKC-3 耐磨涂层的耐磨性很差,但对下试样也有明显的保护作用。其余几种材料的耐磨性都不如铸铁对铸铁的配合副。

2. 几种聚四氟乙烯塑料软带的耐磨性。几种聚四氟乙烯塑料软带耐磨性的比较试验结果列于表 2。

试验结果表明,不同厂家生产的聚四氟乙烯塑料软带,均能提高导轨的耐磨性,而

且也使铸铁下试样的磨损量大大降低,起到了明显的保护作用。从试验结果也可以看出,不同厂家生产的填充聚四氟乙烯软带,其耐磨性都处于同一个水平,而且纯聚四氟乙烯塑料软带也有较好的耐磨性。

3. 床身导轨终加工方式对耐磨性的影响。同塑料上导轨配合的机床床身导轨的终加工方式对配合副的耐磨性有很大影响,我们选用了五种非金属导轨材料,同机床床身导轨常用的磨削加工(周边磨削和端面磨削)和刮研加工的下试样配合,进行耐磨性比较试验。其结果如表 3 和图 5 所示。

从表 3 可以看出,当 HT20-40 下试样由砂轮周边磨削改为砂轮端面磨削时,摩擦副的磨损量均有增加,其中以填充 PTFE 塑料

表 2 聚四氟乙烯塑料软带的耐磨性

序号	材料(上试样)	磨 损 量 (μm)				材 料 来 源
		上 试 样	ϵ	下 试 样	ϵ	
1	HT20-40	1.78	1	0.40	1	
2	ターカイト-B	0.90	1.97	0.17	2.35	日 本
3	Turcite-B	0.60	2.70	0.21	2.0	西 德
4	填充PTFE软带	0.51	3.49	0.18	2.22	晨光化工研究院
5	同 上	0.71	2.51	0.18	2.22	本溪玻璃钢厂
6	纯PTFE软带	0.97	1.84	0.13	3.08	晨光化工研究院

表 3

下试样不同磨削加工方式对耐磨性的影响

序号	材 料 (上试样)	上试样磨损量 (μm)			下试样磨损量 (μm)		
		周边磨削	端面磨削	增加%	周边磨削	端面磨削	增加%
1	HT20-40	1.78	2.46	38	0.40	0.64	60
2	填充PTFE软带	0.51	1.2	145	0.13	0.75	477
3	ターカイト-B	0.90	1.25	39	0.17	0.51	200
4	FQ-1	0.87	2.06	130	0.11	0.23	100
5	SKC-3	6.02	6.25	4	0.18	0.38	111
6	HNT	3.40	11	223	0.41	0.49	2

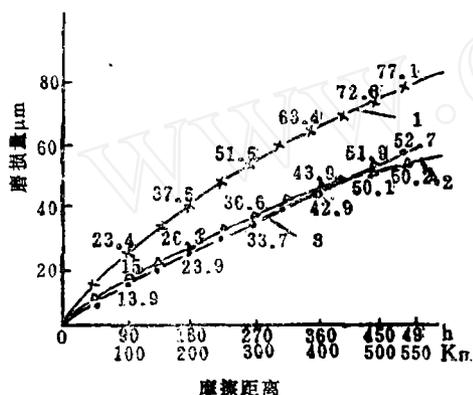


图 5 下试样终加工方式对耐磨性的影响

1—砂轮端面磨削；2—刮研；3—砂轮周边磨削

软带、FQ-1复合导轨板和HNT耐磨涂层的磨损量增加较大，SKC-3耐磨涂层增加最少。铸铁导轨的磨损量也有增加，与填充聚四氟乙烯塑料软带配合的下试样的磨损量增加最多。

图 5 是填充聚四氟乙烯塑料软带与不同终加工的下试样配合时的磨损曲线。图中数

字是塑料软带的总磨损量。由图可以看出，与砂轮端面磨削加工的下试样配合时，塑料软带的磨损量最大，而砂轮周边磨削和刮研的下试样对塑料耐磨性的影响差不多。

4. 床身导轨采用不同材料及不同热处理工艺对耐磨性的影响。目前，有很多国产机床床身已经采用了各种耐磨铸铁，以及不同的表面淬硬工艺。但是在上导轨采用填充聚四氟乙烯塑料软带之后，床身导轨是否还需要采取提高耐磨性的措施，这是很多机床生产厂家和机床修理部门提出的问题。因此，我们用填充聚四氟乙烯塑料软带与不同材料或者不同处理工艺的下试样配合，进行了耐磨性比较试验，其结果如表 4。试验时用 20° 机械油加 0.8% Cr₂O₃ 进行润滑；60 小时后测量。

从试验结果可以看出，当下试样采用耐磨铸铁和其它提高耐磨性的处理工艺后，对摩擦副的耐磨性有明显影响，可提高下试样的耐磨性，塑料软带上试样的磨损量也有下降。其中磨损量最小的是填充聚四氟乙烯塑料软

表 4

不同材料和不同处理工艺对耐磨性的影响

序号	配合材料及处理工艺 上试样/下试样	磨 损 量 (μm)		备 注
		上 试 样	下 试 样	
1	HT20-40/HT20-40	7.6	2.18	
2	HT20-40/PCuTi耐磨铸铁	6.8	0.85	
3	填充PTFE软带/PCuTi耐磨铸铁	3.4	0.81	软带是本溪玻璃钢厂生产
4	填充PTFE软带/38CrMoAl离子氮化	1.9	0.61	同上
5	JC-20填充软带/HT20-40	4.6	1.11	JC-20填充软带是晨光化工研究院生产
6	JC-20填充软带/HT20-40高频淬火	3.1	1.05	
7	JC-20填充软带/HT20-40接触电阻淬火	5.0	0.78	

带对离子氮化38CrMoAl钢的配合副,它对降低塑料软带上试样的磨损尤为明显。

三、摩擦系数测量结果

在干摩擦和油润滑的条件下,测定了机床导轨用非金属材料在不同滑动速度时的摩擦系数。测定是在导轨爬行试验台上进行的,下试样为精刨加工的铸铁,上试样是各种非金属材料。上试样滑动面尺寸为50

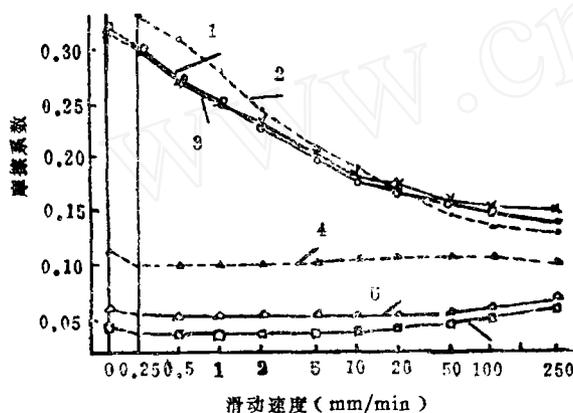


图6 干摩擦时摩擦系数与滑动速度的关系

1—HT20-40铸铁; 2—尼龙; 3—酚醛夹布胶木;
4—改性聚甲醛; 5—填充PTFE软带; 6—FQ-1
试验条件: 干摩擦; 比压为0.1MPa

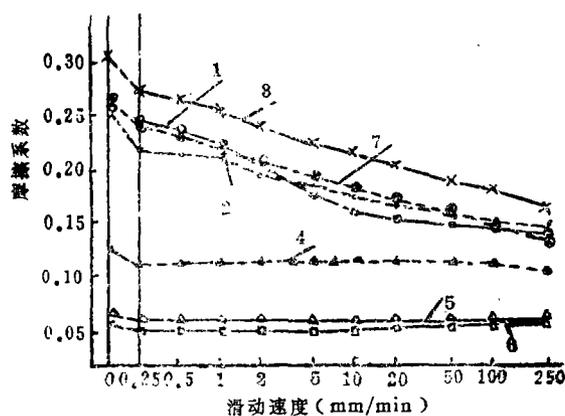


图7 油润滑时摩擦系数与滑动速度的关系

1—HT20-40铸铁; 2—尼龙; 3—酚醛夹布胶木;
4—改性聚甲醛; 5—填充PTFE软带; 6—FQ-1;
7—塑料涂层
试验条件: 30°机械油润滑; 比压为0.1MPa

×400(mm²),下试样为50×550(mm²),摩擦面积为200cm²,压力为2000N(比压为0.1MPa)。测试结果如图6和图7所示。

由图可以看出,摩擦系数—滑动速度曲线可粗略地分为三类:酚醛夹布胶木、尼龙、塑料涂层与精刨铸铁配合同铸铁与铸铁配合有相似的摩擦系数—滑动速度曲线,即规律一致,而且数值大小也差不多;随着滑动速度的增加,摩擦系数迅速下降,干摩擦时下降更快一些。改性聚甲醛(添加5%的聚四氟乙烯)与铸铁配合时的摩擦系数大大低于铸铁对铸铁的配合副,曲线十分平坦,滑动速度对摩擦系数无明显影响。

填充聚四氟乙烯塑料软带和FQ-1三层复合材料与铸铁配合时,摩擦系数非常小,约为铸铁对铸铁配合时的1/3~1/8。动摩擦系数随滑动速度的增加而略有升高,动、静摩擦系数非常接近。这能有效地避免摩擦自振现象,防止机床导轨产生爬行,减小机床启动时传动元件的振动和跳动,从而保证了机床导轨运动的平稳性,减少了摩擦损失,降低了能源消耗。据一些单位测量,机床导轨采用填充聚四氟乙烯塑料软带后,移动部件的拖动功率可降低30%~50%,移动手柄的拖力降低40%以上。

试验结果还表明,填充聚四氟乙烯塑料软带等含氟塑料与铸铁配合时,即使在干摩擦的情况下,摩擦系数也很小。在我们的试验条件下(比压为0.1MPa,滑动速度小于250mm/min),干摩擦时的摩擦系数比用30°机械油润滑时还要小一些。这可能有试验条件带来的误差,但也说明填充聚四氟乙烯塑料软带有优良的润滑性能,使用这种材料的机床导轨,在短时间缺油或干摩擦的情况下也能正常运行。

此外,我们还把比压从5.92MPa增加到10.84MPa进行了耐磨性对比试验。结果表明,在一般情况下,比压增大,磨损量也增大。

(下转第19页)

Pa, v_R 即使达到 6 级, 硬度仍为 600×10^7 Pa 左右。我们认为, 高的法向应力使屈氏体塑性流动, 碳氮化合物硬质相使黑色组织区产生高的跑合磨损量。高温奥氏体固溶的碳、氮等溶质原子对位错有强烈的钉扎作用, 因而不利于奥氏体向马氏体转变, 这就使部份奥氏体保留到室温形成 v_R 。固溶强化提高了表面组织的抗塑性变形能力。在这种情况下, 摩擦热造成的局部高温使极薄层中出现位错滑移、缠结和碳向表面迁移, 由于表面形成晶粒细化、化学组成发生重大变化, 其内部元素出现重新排列的二次结构层, 它具有比基体更高的硬度。D 组与其它三组对比, 则说明只要在 v_R 和马氏体混合组织中仍有部份黑色组织, 也将导致抗磨性能下降。

四、结 论

1. 25MnTiBR 钢经碳氮共渗工艺处理, 跑合阶段磨损运动的数学模型为指数函数型, 磨损性能与跑合期长短及跑合期累积磨损值有关; 稳定阶段为直线函数型, 磨损性能反映在磨损速度上。

2. 本实验磨损数据分析采用数理统计法, 跑合阶段求解磨损回归函数; 稳定阶段求解母体速度分布函数, 结果反映了母体的特性, 具有较大的可靠性。

3. 表层黑色组织使跑合磨损期显著延长, 跑合阶段累积磨损量和稳定磨损速度显著加大; 残余奥氏体对磨损性能的影响反映在稳定磨损速度上, 在有黑色组织存在的情况下, 抗磨损性能随 v_R 量的增加而下降。

参 考 文 献

- [1] Czichos, H., Tribology, 1980.
- [2] 高振同, 疲劳性能测试, 国防工业出版社, 1980.

(上接第 25 页)

但增加的幅度不一样, 填充聚四氟乙烯塑料软带增加幅度最小, 涂层材料增加幅度最大。

四、试验结果分析

1. 从多种形式的耐磨性对比试验可以看出, 任何摩擦副, 只要其中有一方是以聚四氟乙烯为基体的材料, 都有很好的摩擦学性能, 而填充聚四氟乙烯塑料软带制造工艺简单, 使用方便, 具有更大的优越性, 这类材料将会越来越普遍地在各类机床导轨上得到应用。

2. 与填充聚四氟乙烯塑料软带配合的下导轨, 如果再采用提高耐磨性的措施, 则能进一步减小磨损。下导轨采用不同的终加工方式, 对摩擦副的耐磨性也有较大的影响, 以砂轮周边磨削加工最好。

3. 通过试验, 我们认为日本、西德等的填充聚四氟乙烯塑料软带与国产的软带在摩擦

学性能方面处于同一水平, 国产塑料软带在某些方面还要更好些。例如日产ターカイト-B 填充塑料软带中的铜粉粒度很不一致, 粗大片状的较多, 往复滑动过程中容易从软带上掉下来。而国产的塑料软带, 一般所用铜粉的粒度都比较细而且均匀, 粘结在机床导轨上, 经磨削加工后, 表面光洁, 比日本的ターカイト-B 塑料软带外观更好。国产塑料软带同日本、西德等国产品的差距主要是在制造质量、尺寸精度等方面。例如日本生产的ターカイト-B 塑料软带, 最大宽度达到 600mm, 外形光洁, 边沿平直, 粘结时无翘曲, 容易展平。而国内几家工厂目前生产的聚四氟乙烯塑料软带, 宽度一般只能达到 200mm (厚度 1.2mm), 而且有扭曲, 厚薄不均的现象, 边沿不规则, 使用时都需要裁去。

参考文献 (略)