

# 橡胶轮磨粒磨损试验机的“等摩擦面” 试验方法的研究

水正閤 刘竞生 刘佐民

(武汉工学院摩擦学研究室)

## 摘 要

作者针对橡胶轮磨粒磨损试验机存在的主要问题,为实现“等摩擦面”试验方法改进了试验机的结构,制定了一套较为合理的试验规范,以保证平均单位压力在试验过程中始终保持不变,从而获得了精度较高的试验数据。

## 一、布氏试验机存在的问题

橡胶轮磨粒磨损试验机是国内、外广泛用于研究矿山机械,工程机械和农业机械零件耐磨性能的一种试验机<sup>[1]</sup>。这种类型的半固定磨粒磨损试验机最早是由瑞典的布列尼尔研制的(图1),简称为布氏试验机,其回转轮是用含碳量为0.1%的退火平炉软钢制成,直径为100毫米,厚度4毫米,转速19转/分,按在试样上被圆盘磨出的月牙洼深度不大于0.8毫米,不小于0.2毫米来选定持续时间和载荷。布氏发现磨出的月牙洼体积与摩擦行程长度之间没有预期的比例关系,因此,他认为圆盘材料,载荷和摩擦行程的每一种组合都有它自己单独评定抗磨强度的标准,不能与其它的组合直接比较。其原因是,在试验过程中,钢轮与试样间的接触弧长度逐渐增大,即摩擦面积逐渐增大,而平均单位压力逐渐下降,加之不同材料有着不同的耐磨性,接触弧长度增大的速率也就各异,于是这个影响磨损量的重要试验参数——平均单位压力在试验过程中发生了变化,也即是不同材料的磨损试验是在不同的平均单位压力下进行,显然,这样得到的试验数据是无法用来对不同材料的耐磨性进行比较的。

针对上述问题,布列尼尔提出了另一种试验方法,其特点是保持摩擦面积恒定(图2)。试样P被紧固在夹持架H内,並以一定的载荷将试样压在圆盘上,为了使试样一开始就能均匀地紧贴在圆盘上,将试样表面制成其半径等于圆盘半径的圆柱形表面。布氏认为这种结构可用来比较各种材料的耐磨性<sup>[2]</sup>,遗憾的是他未能找出实现这一设想的具体办法。

美国的哈沃尔思于1949年对布氏试验机作了重要的改进<sup>[3、4]</sup>,在钢制回转轮上加了一个橡胶轮缘。由于橡胶有弹性,在试验过程中,接触弧长度变化比用钢轮时小,于是平均单位压力的变化亦就小些。但接触弧长度随试验过程而变化的问题仍未根本解决,这是由于为使橡胶轮具有较高的耐磨性,常选用较硬的橡胶(邵氏60~70度),它的弹性是有限的。特别是为了消除系统误差,用相对耐磨性来评定材料的耐磨性时,这种影响就更不能忽

视。表 1 列出了 A<sub>3</sub> 作为标准试样, 45<sup>#</sup>、40Cr 为试验试样以哈氏法进行试验所得结果。从表中可看出, 在试验过程中, 接触弧长度的变化较大, 由此而引起的单位压力变化也是不容忽视的。如果进一步提高载荷, 则不同材料试样的接触弧长度的差别将更大。

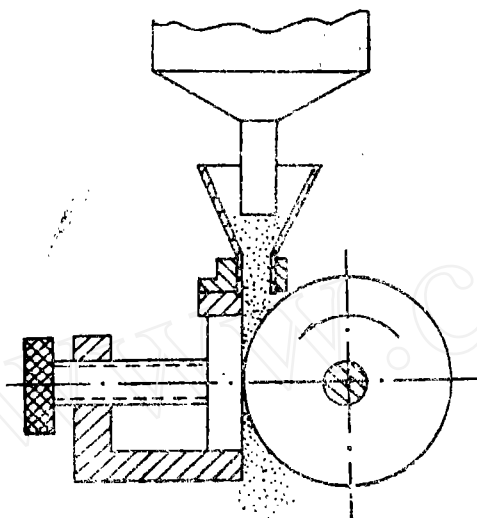


图 1 布氏试验机示意图

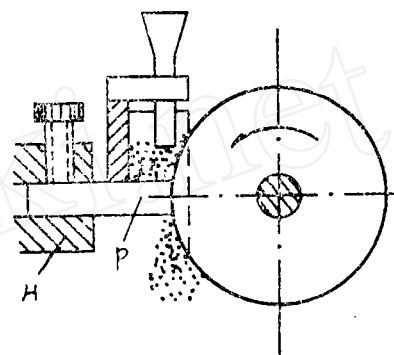


图 2 布氏“等摩擦面”示意图

根据相对耐磨性  $e = \frac{\text{标准试样的失重量(毫克)}}{\text{试验试样的失重量(毫克)}}$  求出各种转数下 40Cr 和 45<sup>#</sup> 钢的相对耐

磨性数值, 列入表 2 中。可看出在同一载荷作用下, 随着转数的不同, 可得到多个相对耐磨性的值, 这显然是不正确的, 而且这些数值是在不同的平均单位压力下, 由 A<sub>3</sub>、45<sup>#</sup>、40Cr 的失重求得的, 这就不可能确切地反映出这些材料的相对耐磨性。

表 1 失重、磨痕长度、平均单位压力与试验磨程关系表

| 试验<br>转数 | A <sub>3</sub> |                  |                    |                                           | 40Cr       |                  |                    |                                           | 45 <sup>#</sup> |                  |                    |                                           |
|----------|----------------|------------------|--------------------|-------------------------------------------|------------|------------------|--------------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|-------------------------------------------|
|          | 失重<br>(毫克)     | 累计<br>失重<br>(毫克) | 磨痕理<br>论长度<br>(厘米) | 理论平均<br>单位压力<br>(公斤/<br>厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克) | 累计<br>失重<br>(毫克) | 磨痕理<br>论长度<br>(厘米) | 理论平均<br>单位压力<br>(公斤/<br>厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克)      | 累计<br>失重<br>(毫克) | 磨痕理<br>论长度<br>(厘米) | 理论平均<br>单位压力<br>(公斤/<br>厘米 <sup>2</sup> ) |
| 1        | 894.7          |                  | 2.31010            | 3.5766                                    | 706.3      |                  | 2.02409            | 4.0819                                    | 583.0           |                  | 2.0053             | 4.1202                                    |
| 2        | 666.8          | 1561.5           | 2.76134            | 2.9921                                    | 590.2      | 1296.5           | 2.56698            | 3.2186                                    | 509.0           | 1092.0           | 2.49102            | 3.3168                                    |
| 8        | 584.1          | 2145.6           | 3.10987            | 2.6568                                    | 521.1      | 1817.6           | 2.95571            | 2.7953                                    | 487.7           | 1579.7           | 2.76134            | 2.9921                                    |
| 4        | 527.2          | 2672.8           | 3.30200            | 2.5022                                    | 487.6      | 2305.2           | 3.18580            | 2.5934                                    | 447.6           | 2027.3           | 3.03167            | 2.7253                                    |
| 5        | 481.3          | 3154.1           | 3.49413            | 2.3646                                    | 456.7      | 2761.9           | 3.33998            | 2.4737                                    | 424.4           | 2451.7           | 3.18580            | 2.5934                                    |
| 6        | 457.3          | 3611.4           | 3.61031            | 2.2885                                    | 426.7      | 3188.6           | 3.49413            | 2.3646                                    | 410.7           | 2862.4           | 3.38019            | 2.4443                                    |
| 7        | 422.8          | 4034.2           | 3.76446            | 2.1948                                    | 410.1      | 3598.7           | 3.61031            | 2.2885                                    | 381.2           | 3251.6           | 3.49413            | 2.3646                                    |
| 8        | 410.0          | 4444.2           | 3.87840            | 2.1303                                    | 386.4      | 3993.1           | 3.76446            | 2.1948                                    | 378.2           | 3629.8           | 3.64829            | 2.2647                                    |

试验条件:

试样: A<sub>3</sub> (H<sub>B</sub> = 115); 40Cr (H<sub>RC</sub> = 30.5); 45<sup>#</sup> (H<sub>RC</sub> = 56)

橡胶轮直径：22.341厘米，  
橡胶轮宽度：1.27厘米，  
橡胶轮硬度：邵氏63度，  
橡胶轮转速：224转/分，

磨粒：20~40目长沙试验石英砂，  
磨粒流量：125克/100米磨程，  
载荷：总接触压力10.493公斤，  
每轮试验转数：500转

表 2 相对耐磨性与转数的关系

| 数 转          |      | 500    | 1000   | 1500   | 2000   | 2500   | 3000   | 3500   | 4000   |
|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 相 对<br>耐 磨 性 | 40Cr | 1.2667 | 1.2044 | 1.1805 | 1.1595 | 1.1420 | 1.1326 | 1.1210 | 1.1124 |
|              | 45°  | 1.5346 | 1.4299 | 1.3582 | 1.3184 | 1.2865 | 1.2617 | 1.2407 | 1.1751 |

## 二、国内、外常用的几种提高试验数据精度的方法

为了提高这类试验机的试验数据精度，在实际应用中，从试验规范和试验机结构方面都采取了一些措施，归纳起来有如下几种：

（1）根据不同耐磨性能的材料选择不同的磨合与试验行程，以减少由于耐磨性能的差异引起的接触弧长度的差别。例如，ASTM-STP615中规定：硬的材料磨合和试验行程为5000转，而软的材料磨合和试验行程为1000转，并以其失重量的五倍与硬材料的试验结果对比<sup>[5]</sup>，显然，这种方法是极其粗糙的。

（2）选择与试验材料耐磨性能相近的材料作标准试样，这样可以缩小磨合后标准试样和试验试样的磨痕长度差别，使两者在平均单位压力相近的情况下进行试验，但这势必造成多种标准试样，而且难以对各种材料的耐磨性进行比较。

（3）近年来，国内、外新设计的橡胶轮磨粒磨损试验机中，采用了加载杠杆系统支点可调的机构，使载荷的合力方向因橡胶轮直径变小的影响减少，以提高加载精度。但这种办法提高加载精度是很有限的。

## 三、“等摩擦面”试验方法

上述提高试验数据精度的一些措施在一定程度上完善了这类试验机及其试验方法。但是，这类试验机所得的试验数据是比较粗糙的，它不能真实地反映材料的耐磨性。因此，我们对现行的试验机和试验方法作了些改进，提出用“等摩擦面”试验方法确定材料的耐磨性。

“等摩擦面”试验方法就是在试验的整个过程中，试样和橡胶轮之间的接触面积始终保持不变，也就是试样的全长与橡胶轮接触。于是在载荷作用下，试样将紧紧地压在橡胶轮上，这就使得磨粒很难进入摩擦面。为了使磨粒能顺利地进入摩擦面，我们在试样的上方加了一“导板机构”（见图3），使导板与橡胶轮之间形成一个“砂楔”。实践证明，只要正确地调正导板与橡胶轮和试样间的相对位置，就能保证磨粒顺利地进入摩擦面，从而得到精度较高的试验数据。

（1）试验步骤：

①试样退磁；

②清洗並擦干试样；

③用2\*氧化铝砂纸修磨橡胶轮（加载10.493公斤），修磨好后测量橡胶轮的直径，厚度和硬度；

④将试样放入试样架内；

⑤调证导板位置；

⑥加载；

⑦选定转数；

⑧打开流砂阀门，让干砂流一会，使砂流量达到稳定；

⑨开动试验机，试样开始磨合，直至试样全长与橡胶轮贴合为止；

⑩清洗试样，冷却至常温后称试样重量（用感量为0.0001克的天平；然后将试样装入试样架内；

⑪添加砝码以获得试验所需的载荷；

⑫将定值转数表调至200转的位置；

⑬打开流砂阀门，开动试验机，进行正式试验；

⑭清洗试样，冷却至常温后称试样重量；

⑮将试样装入试样架内，重复⑬⑭步骤，这样做3~5次，计算出失重的平均值；

⑯以每100米磨程的平均失重（毫克）来表示该材料的失重量，用相对耐磨性表示试验材料的耐磨性能。



图3 导板装置的结构及安装位置

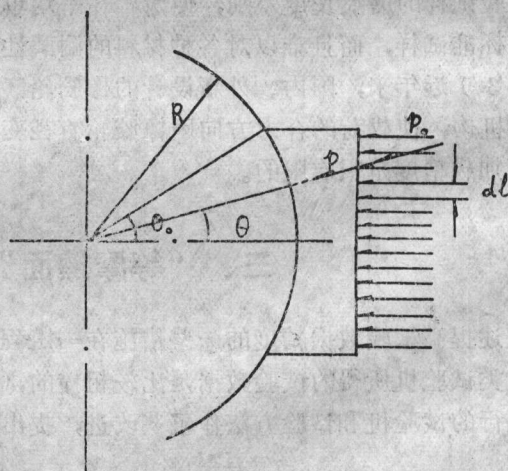


图4 受力分析

## (2) 几点说明

### ①单位压力的确定

显然，等摩擦面试验方法能保证不同材料的试样在相同的平均单位压力下进行试验，所得相对耐磨性数值较为正确。由于试样与橡胶轮是圆弧接触，接触弧上各点的法向力是不相同的（见图4），我们可近似地用平均单位压力来表征试验单位压力。从图4简而论之：

$P_{min} = P_0 \cos \theta_0$  因  $\sin \theta_0 = \frac{\frac{1}{2}l}{R} = 0.1531$  可求出  $\theta_0$ ，则  $P_{min} = 0.9898P_0$ ，也即试验

是在基本相同的法向单位压力下进行的。

## ②橡胶轮的修磨

为确保试验数据的精度，修磨橡胶轮的工艺要严格控制，保证经修磨后橡胶轮的表面粗糙度与不圆度基本一致，我们采用的工艺是：

A. 选择尽可能低的转速，以避免修磨橡胶时因过度发热而使橡胶轮软化变质；

B. 用20~40目的石英砂做试验时，选用2\*氧化铝砂纸修磨橡胶轮（若用细磨粒做试验时，应用细砂纸修磨橡胶轮），将砂纸裹在75×23×10毫米的试样上，再装入试样架中；

C. 加一较大的载荷（10公斤）使砂纸比较稳定地固定在修磨橡胶轮的位置上，这样，即可使修磨后橡胶轮表面均匀一致，又可使橡胶轮的不圆度误差控制在±0.1毫米以内；

D. 开动试验机，修磨橡胶轮。

## ③试样的磨合

保证试验数据精度的另一个关键是试样磨合的质量。必需严格控制影响磨合质量的各种因素，除了在磨合前要修磨好橡胶轮以外，还要选择好两次修磨橡胶轮间的磨程及其载荷。一般来讲，软的或特别硬的材料磨合时容易起沟槽，两次修磨橡胶轮间的磨程要取得短一些，载荷也要选得轻一些。

## ④导板调整

这是保证磨粒顺利进入接触区的关键。当采用20~40目磨粒做试验时，只要将导板调到 $m \leq 0.3$ 毫米， $n \leq 0.2$ 毫米（见图5），就可使磨粒顺利地进入接触区，若选用更小的磨粒进行试验时， $m$ 和 $n$ 的数值要控制得更小些。

## ⑤磨程的选择

为得到比较精确的试验数据，需要控制一定的磨程，以减少随机因素的影响（主要是指磨粒流量、粒度和形状）但过长的磨程将浪费时间和能源，我们认为选用的磨程以能使试验试样失重量稍大于50毫克为最适宜。

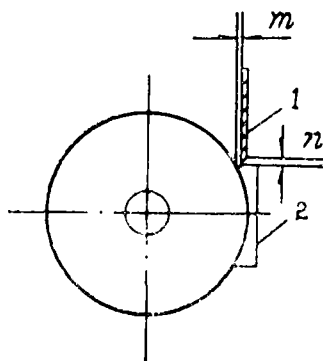


图5 导板的相对位置

1—导板 2—试样

# 四、试验结果与讨论

表3~7分别列出用等摩擦面试验方法对40\*、45\*钢、T8钢，40Cr，GCr15进行试

验所得的结果。从表中可以看出,在试验压力范围内(0.979~4.48公斤/厘米<sup>2</sup>),试验数据的相对误差都可控制在5%以内,这说明导板装置很好地保证了磨粒顺利而稳定地进入摩擦面,也说明我们提出的试验方法是可行的。

图6示出了磨损量与平均单位压力的关系从图可看出:

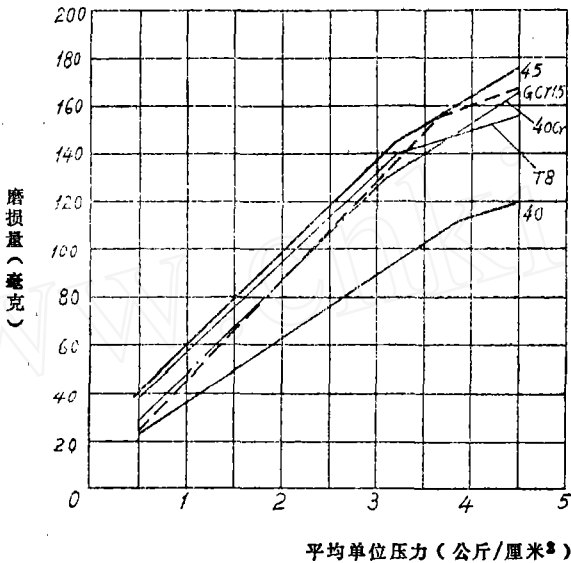


图6 磨损量与平均单位压力的关系

表3 40\*钢(H<sub>Rc</sub>=57)磨损试验结果\*

| 平均单位<br>压力(公<br>斤/厘<br>米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(σ%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(φ%) | 平均单位<br>压力(公<br>斤/厘<br>米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(σ%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(φ%) |
|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------|-------------|--------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------|-------------|--------------|
| 0.979                                   | 22.3                | 22.4                  | -1.7       | 0.458       | 2.0          | 2.327                                   | 59.7                | 59.9                  | +0.3       | 0.265       | 0.4          |
|                                         | 21.9                |                       | +2.2       |             |              |                                         | 59.8                |                       | +0.2       |             |              |
|                                         | 22.5                |                       | -0.4       |             |              |                                         | 60.2                |                       | -0.5       |             |              |
| 1.33                                    | 35.0                | 36.0                  | +2.7       | 0.872       | 2.4          | 2.66                                    | 64.7                | 65.0                  | +0.5       | 0.361       | 0.6          |
|                                         | 36.6                |                       | -1.7       |             |              |                                         | 64.9                |                       | +0.2       |             |              |
|                                         | 36.4                |                       | -1.1       |             |              |                                         | 65.4                |                       | -0.6       |             |              |
| 1.538                                   | 40.3                | 40.1                  | -0.5       | 0.200       | 0.5          | 3.026                                   | 79.6                | 79.8                  | +0.3       | 0.362       | 1.1          |
|                                         | 39.9                |                       | +0.5       |             |              |                                         | 79.0                |                       | +1.0       |             |              |
|                                         | 40.1                |                       | 0          |             |              |                                         | 80.7                |                       | -1.2       |             |              |
| 1.961                                   | 51.1                | 51.0                  | -0.2       | 0.173       | 0.3          | 3.81                                    | 111.8               | 111.2                 | -0.5       | 0.777       | 0.7          |
|                                         | 50.8                |                       | +0.4       |             |              |                                         | 110.3               |                       | +0.8       |             |              |
|                                         | 51.1                |                       | -0.2       |             |              |                                         | 111.4               |                       | -0.2       |             |              |
| 4.48                                    | 118.0               | 118.9                 | +0.3       | 0.306       | 0.3          | 4.48                                    | 118.0               |                       | +0.3       | 0.306       | 0.3          |
|                                         | 119.2               |                       | -0.3       |             |              |                                         | 119.2               |                       | -0.3       |             |              |
|                                         | 118.8               |                       | +0.1       |             |              |                                         | 118.8               |                       | +0.1       |             |              |

\*表3~7所列数据的试验条件均为:试样长度35毫米;  
磨粒流量:125克/100米; 磨粒:20~40目长沙石英砂; 橡胶轮硬度:邵氏60°;  
橡胶轮转速:224转/分 橡胶轮直径:φ228.6毫米; 橡胶轮厚度:12.7毫米

表 4

45\*钢 ( $H_{RC} = 57.7$ ) 磨损试验结果

| 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) | 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 0.979                                | 39.4                | 38.7                  | -1.8      | 0.702       | 1.8         | 2.735                                | 116.7               | 117.0                 | +0.3      | 2.212       | 1.9         |
|                                      | 38.0                |                       | +1.8      |             |             |                                      | 114.0               |                       | +1.8      |             |             |
|                                      | 38.6                |                       | 0.2       |             |             |                                      | 119.3               |                       | -2.0      |             |             |
| 1.346                                | 61.7                | 59.6                  | -3.5      | 1.858       | 3.1         | 3.070                                | 133.4               | 131.1                 | -1.7      | 2.517       | 1.9         |
|                                      | 59.1                |                       | +0.8      |             |             |                                      | 128.4               |                       | +2.0      |             |             |
|                                      | 58.1                |                       | +2.5      |             |             |                                      | 131.4               |                       | -0.2      |             |             |
| 1.556                                | 67.0                | 65.1                  | -2.9      | 2.120       | 3.3         | 3.317                                | 144.6               | 144.8                 | +0.1      | 0.173       | 0.1         |
|                                      | 65.4                |                       | -0.5      |             |             |                                      | 144.9               |                       | -0.07     |             |             |
|                                      | 62.3                |                       | +3.5      |             |             |                                      | 144.9               |                       | -0.07     |             |             |
| 1.984                                | 82.1                | 81.5                  | -0.7      | 1.274       | 1.5         | 3.710                                | 156.8               | 155.5                 | -0.8      | 4.259       | 2.7         |
|                                      | 82.3                |                       | -1.0      |             |             |                                      | 158.9               |                       | -2.2      |             |             |
|                                      | 80.0                |                       | +1.8      |             |             |                                      | 150.7               |                       | +3.0      |             |             |
| 2.354                                | 101.0               | 101.9                 | +0.9      | 0.961       | 0.9         | 4.081                                | 166.3               | 164.4                 | -1.2      | 1.850       | 1.1         |
|                                      | 102.9               |                       | -1.0      |             |             |                                      | 164.4               |                       | 0         |             |             |
|                                      | 101.7               |                       | +0.2      |             |             |                                      | 162.6               |                       | +1.2      |             |             |
| 2.354                                | 101.0               | 101.9                 | +0.9      | 0.961       | 0.9         | 4.483                                | 177.8               | 176.1                 | -1.0      | 2.831       | 1.6         |
|                                      | 102.9               |                       | -1.0      |             |             |                                      | 172.8               |                       | +1.9      |             |             |
|                                      | 101.7               |                       | +0.2      |             |             |                                      | 177.6               |                       | -0.9      |             |             |

表 5

T 8 钢 ( $H_{RC} = 48$ ) 磨损试验结果

| 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) | 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 0.979                                | 31.5                | 31.2                  | -1.0      | 0.436       | 1.4         | 2.735                                | 107.2               | 106.2                 | -0.9      | 1.060       | 1.0         |
|                                      | 31.4                |                       | -0.6      |             |             |                                      | 106.4               |                       | -0.1      |             |             |
|                                      | 30.7                |                       | +1.6      |             |             |                                      | 105.1               |                       | +1.1      |             |             |
| 1.35                                 | 59.0                | 58.1                  | -1.5      | 1.069       | 1.8         | 3.07                                 | 116.4               | 116.4                 | +0.06     | 1.350       | 1.2         |
|                                      | 58.3                |                       | -0.4      |             |             |                                      | 115.1               |                       | +1.1      |             |             |
|                                      | 56.9                |                       | +2.0      |             |             |                                      | 117.8               |                       | -1.2      |             |             |
| 1.561                                | 66.9                | 64.0                  | -3.9      | 2.166       | 3.4         | 3.317                                | 145.1               | 139                   | -4.4      | 5.667       | 4.1         |
|                                      | 63.2                |                       | +1.8      |             |             |                                      | 138.0               |                       | +0.72     |             |             |
|                                      | 63.1                |                       | +2.1      |             |             |                                      | 133.9               |                       | +3.6      |             |             |
| 1.99                                 | 85.1                | 83.3                  | +2.1      | 1.531       | 1.8         | 3.71                                 | 144.0               | 140.3                 | -2.6      | 3.308       | 2.4         |
|                                      | 82.4                |                       | +1.1      |             |             |                                      | 139.1               |                       | +0.8      |             |             |
|                                      | 82.5                |                       | +1.0      |             |             |                                      | 137.7               |                       | +1.8      |             |             |
| 2.361                                | 102.9               | 98.7                  | -4.8      | 3.704       | 3.8         | 4.081                                | 148.7               | 146.1                 | -1.3      | 3.439       | 2.4         |
|                                      | 97.3                |                       | +1.2      |             |             |                                      | 147.4               |                       | -0.8      |             |             |
|                                      | 95.9                |                       | +3.2      |             |             |                                      | 142.2               |                       | +2.5      |             |             |
| 2.361                                | 102.9               | 98.7                  | -4.8      | 3.704       | 3.8         | 4.483                                | 151.3               | 155.1                 | +2.4      | 3.293       | 2.1         |
|                                      | 97.3                |                       | +1.2      |             |             |                                      | 157.4               |                       | -1.5      |             |             |
|                                      | 95.9                |                       | +3.2      |             |             |                                      | 156.5               |                       | -1.9      |             |             |

表 6

40Cr ( $H_{RC} = 48$ ) 磨损试验结果

| 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) | 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 0.979                                | 27.1                |                       | -4.6      |             |             |                                      | 111.2               |                       | -0.8      |             |             |
|                                      | 24.8                | 25.9                  | +4.2      | 1.250       | 4.8         | 2.70                                 | 109.8               | 110.3                 | +0.5      | 0.808       | 0.7         |
|                                      | 25.9                |                       | 0         |             |             |                                      | 109.8               |                       | +0.5      |             |             |
| 1.35                                 | 39.7                |                       | -3.1      |             |             |                                      | 131.4               |                       | -0.2      |             |             |
|                                      | 38.0                | 38.5                  | +1.3      | 1.044       | 2.7         | 3.13                                 | 128.6               | 131.1                 | +1.9      | 2.318       | 1.8         |
|                                      | 37.8                |                       | +1.8      |             |             |                                      | 133.2               |                       | -1.6      |             |             |
| 1.81                                 | 61.2                |                       | +3.7      |             |             |                                      | 140.6               |                       | -1.3      |             |             |
|                                      | 65.9                | 63.6                  | -3.6      | 2.359       | 3.7         | 3.59                                 | 142.1               | 138.8                 | -2.4      | 4.480       | 3.2         |
|                                      | 63.9                |                       | -0.1      |             |             |                                      | 133.7               |                       | +3.6      |             |             |
| 2.24                                 | 90.9                |                       | -3.2      |             |             |                                      | 160.7               |                       | +2.9      |             |             |
|                                      | 87.3                | 88.1                  | +0.3      | 2.663       | 3.0         | 4.48                                 | 165.6               | 165.5                 | -0.1      | 4.750       | 2.8         |
|                                      | 85.6                |                       | +2.8      |             |             |                                      | 170.2               |                       | -2.8      |             |             |

表 7

GCr15 ( $H_{RC} = 10$ ) 磨损试验结果

| 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) | 平均单位<br>压力 (公<br>斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 失重<br>(毫克/<br>100米) | 平均失重<br>(毫克/<br>100米) | 偏差<br>(%) | 标准误差<br>(S) | 相对误差<br>(%) |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 0.979                                | 24.1                |                       | +2.4      |             |             |                                      | 130.9               |                       | -3.3      |             |             |
|                                      | 24.7                | 24.7                  | 0         | 0.600       | 2.4         | 3.13                                 | 122.7               | 126.1                 | +2.7      | 4.276       | 3.4         |
|                                      | 25.3                |                       | -2.4      |             |             |                                      | 124.7               |                       | +1.1      |             |             |
| 1.356                                | 35.4                |                       | -0.6      |             |             |                                      | 156.6               |                       | -2.5      |             |             |
|                                      | 35.0                | 35.2                  | +0.6      | 0.200       | 0.5         | 3.71                                 | 152.9               | 152.8                 | -0.1      | 3.851       | 2.5         |
|                                      | 35.2                |                       | 0         |             |             |                                      | 148.9               |                       | +2.6      |             |             |
| 1.984                                | 67.4                |                       | -3.2      |             |             |                                      | 170.7               |                       | -2.2      |             |             |
|                                      | 64.7                | 65.3                  | +0.9      | 1.834       | 2.8         | 4.48                                 | 168.4               | 167.0                 | -0.8      | 4.508       | 2.7         |
|                                      | 63.9                |                       | +2.1      |             |             |                                      | 162.0               |                       | +3.0      |             |             |
| 2.35                                 | 95.3                |                       | -1.0      |             |             |                                      |                     |                       |           |             |             |
|                                      | 97.3                | 94.4                  | -3.1      | 3.439       | 3.6         |                                      |                     |                       |           |             |             |
|                                      | 90.6                |                       | +4.0      |             |             |                                      |                     |                       |           |             |             |

(1) 平均单位压力从0.979~3.37公斤/厘米<sup>2</sup>, 试验的磨损量与平均单位压力成线性关系, 这个结果与X4-B试验机上的试验结果类似〔6〕。

(2) 不同材料的磨损量随平均单位压力变化的速率是不相同的, 因此, 材料的相对耐磨性是随平均单位压力变化而改变的, 这进一步说明了试验中严格控制单位压力的重要性。

(3) 当磨粒流量为125克/100米磨程, 橡胶轮硬度为邵氏63°, 平均单位压力大于3.37公斤/厘米<sup>2</sup>时, 磨损量随平均单位压力的增加而加大的速率变慢。这是由于试验载荷实际上是作用在摩擦区内的磨粒上, 比平均单位压力要大得多, 于是磨粒将深深地嵌入橡胶轮, 使试样更紧地贴在橡胶轮表面上, 磨粒进入摩擦面的数量将减少。当平均单位压力大于3.37公斤/厘米<sup>2</sup>时, 试样的磨损量随平均单位压力增加而加大的速率将减慢。

(4) 图中所示的磨损量与平均单位压力之间的关系曲线都不通过坐标原点, 这是由于试验机的动平衡不好, 以及杠杆系统的摩擦阻力矩和橡胶轮的不圆度误差等因素引起试验过程中产生振动, 导致附加磨损的缘故〔7〕。

## 五、结 论

(1) 等摩擦面试验法可使对试验数据准确性有重要影响的平均单位压力在试验过程中始终保持不变, 在平均单位压力小于4.48公斤/厘米<sup>2</sup>时, 试验数据的相对误差小于5%, 因而得到的相对耐磨性数据可较准确地反映试验材料的耐磨性能, 也便于模拟实际工况对材料的耐磨性进行研究。

(2) 可根据实际情况灵活地设计试样的长度, 以获得不同的平均单位压力值, 从而扩大试验机的使用范围。我们采用的试样长度较短, 而且可以在一个试样上连续地进行数次试验, 以减少试样的材料消耗, 同时也可减少因试样间性能的差异而引起的误差。

(3) 试样的磨合和正式试验的磨程都比现行的试验方法短, 因而试样的发热量也较小, 可减少由于发热而对试验数据的影响。同时, 能源、材料(橡胶轮、磨粒、试样)和时间的消耗都要少得多。

(4) 虽然增加了一个导板装置, 使试验机的结构较原试验机复杂了些, 但只需较精确地调正导板装置, 试验数据的精度即可保证。

## 参 考 文 献

- 〔1〕中国农机院工艺所磨料磨损组, 摩擦磨损, 1980, 3: 11~17。
- 〔2〕赫罗绍夫, M.M., 巴比契夫, M.A., 金属的磨损, 机械工业出版社, P312~317。
- 〔3〕Haworth, R.D., Metal Progress, 55(1949), 6: 842。
- 〔4〕Haworth, R.D., Trans, A.S.M., 41(1949), 819~854。
- 〔5〕Borik, F., ASTM-STP615, P4~5。
- 〔6〕同〔2〕, P58。
- 〔7〕Proceedings of the International Conference on the Fundamentals of Tribology, Edited by N.P.Suh and N.Saka, The MIT Press, 1978, P523。

(下转第225页)

# The Mechanical and Tribological Properties of MoS<sub>2</sub>-Ta-Mo Self-Lubricating Materials

Li Weilin, Niu Shuchin, Ruan Hushen, Ouyang Jinlin  
(Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences)

## Abstract

This paper reports the study and preparation of the MoS<sub>2</sub>-Ta-Mo composite materials. The investigation has been focused on the influence of the hot-press temperature and composition on the tribological property and mechanical strength of these materials. The effects of molybdenum content and press temperature on the grain size of the produced materials are also studied.

---

(上接第209页)

# A “Constant Frictional Area” Method For Rubber Wheel Abrasive Testing Machine

Sui Zhengkai, Liu Jingsheng, Liu Zuomin  
(Tribology Lab, Wuhan Technical College)

## Abstract

To counter the main problem in rubber wheel abrasive wear tester, the authors have improved the structure of the tester and laid down a set of rational operating rule for this machine to achieve a “Constant Frictional Area” test method.

A constant average pressure is maintained during the test period, thereby providing the experimental data with higher accuracy.