

润滑与润滑材料文献译丛

5

中国科学院兰州化学研究所

(1962)

В. Ф. 普拉托諾夫

聚酰胺轴承

黃学儉 党鴻辛 周國民 譯

(譯自 В. Ф. Платонов, Подшипники из
полиамидов, Машиз, М. 1961)

本书综述了利用聚酰胺作为轴承材料的一些经验，研究了各种聚酰胺，其中特别是那些用在轴承结构上的聚酰胺的性能，阐述了计算原理，引述了在摩擦部件中使用聚酰胺轴承的一些例子，相当大的篇幅是用来叙述将聚酰胺加工成零件的问题。描述了生产轴承中的设备以及它们的生产规程。

本书可供工厂及从事于把新型塑料，特别是以聚酰胺树脂为基础的塑料运用到机器制造业中去的机构的工作人员使用，也可供从事于研究塑料零件的基本设计及计算原理的机器制造院校的学生使用。

目 录

| | |
|---------------|-------|
| 緒 言 | 5- 1 |
| 作为抗磨材料的聚酰胺之性質 | 5- 3 |
| 組成与制备方法 | 5- 3 |
| 机械强度 | 5- 6 |
| 吸水性 | 5-10 |
| 冷流性 (蠕变性) | 5-14 |
| 硬 度 | 5-16 |
| 摩擦系数 | 5-17 |
| 耐 磨 性 | 5-20 |
| 磨合性能 | 5-23 |
| 热 性 質 | 5-24 |
| 疲劳强度 | 5-25 |
| 介电性能 | 5-26 |
| 化学安定性 | 5-26 |
| 比 重 | 5-27 |
| 单位重量强度 | 5-27 |
| 聚酰胺轴承的結構 | 5-28 |
| 計算原理 | 5-36 |
| 承荷能力 | 5-37 |
| 受热温度之測定 | 5-44 |
| 結構参数之选择 | 5-58 |
| 轴承計算步序 | 5-63 |
| 轴承試驗 | 5-66 |
| 聚酰胺轴承的制造 | 5-77 |
| 加工聚酰胺的基本方法 | 5-77 |
| 压鑄法的特点 | 5-86 |
| 結 論 | 5-106 |
| 参考文献 | 5-107 |

緒 言

近年來工業發展的特点是緊張的使用着各種新型的合成材料，對於這些材料的需求也就格外的增長了。

蘇聯的塑料生產增長的速度比許多最發達的資本主義國家要高得多。

已經出現了許多新型的聚合物材料，建成了製造它們和加工成零件的工藝流程，顯著地擴展了塑料的使用部門。

它們已經由代用品變成了有價值的結構材料。

在國民經濟當中塑料應用之所以日益開展其原因在於塑料具有綜合的物理~機械性能。其中有：

1. 比重小而機械强度高；
2. 摩擦及抗摩性能良好；
3. 在潤滑劑供給不充分時具有耐磨傷性能；
4. 對各類溶劑，鹼、汽油、油類等的高度化學穩定性。
5. 優良的吸收振動及沖擊負荷的能力。
6. 高的伸縮性及彈性。

塑料除了兼有各種寶貴的物理~機械性能之外，還有一個特點是它們可用最先進的工藝方法：壓制，壓鑄，連續擠壓（擠出）等加工成各種零件。

生產塑料用的原料為石油加工工業的一些廢料，煤焦生產中的副產品以及各種分析廣泛的普通的天然物質。

在蘇聯的以聚酰胺樹脂為基礎的塑料當中，聚己內酰胺（卡普綸）應用最為廣泛。由卡普綸可以製造軸承、軸瓦、齒輪、管件等等。

聚酰胺的一個主要用途是用來作為滑動軸承中的抗摩材料。摩擦係數低，耐磨性高，强度高，自潤滑下運轉能力高，吸振性能高，對短時超載與超沖擊不很敏感，應合迅速，化學穩定性高，在磨料介質中的工作能力高，所有這些都是聚酰胺樹脂與現有的一些抗摩材料不同的有利特點。在各種摩擦部件中應用聚酰胺軸承，由於代替了各種有色金屬和合金，節省了潤滑材料，特別是當軸承在無潤滑下工作時。

以及制造、檢修与技術維護等簡單而可以收到很大的經濟效果。

例如，根据資料〔4〕，將汽車底架的往复式迴轉的部件更換成可以在無潤滑下工作的塑料摩擦對時，每年大約可以節省五千萬盧布。

為了有成效的應用聚酰胺起見，就必須了解它的各種性能。根据這些性能來設計摩擦部件和擬定制造聚酰胺軸承的工藝過程。

作为抗摩材料的聚酰胺树脂之性质

组成与制备方法

聚酰胺树脂是分子量为25000~30000的线形的高分子化合物。在其分子链中，CONH酰胺基官能团与含有若干CH₂基团的烷基相互交替。其结构式：

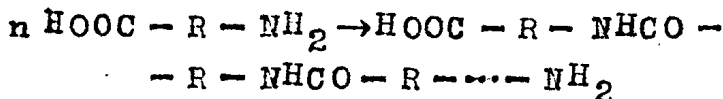


式中R为烷基。

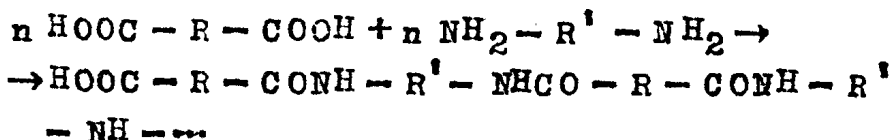
在大分子链中由于有极性的胺基官能团的存在，使得在一系列的分子排列之间形成氢键。依这些官能团交替的次序和周期的不同，可以形成大量的或者少量的氢键，这就直接影响到聚酰胺树脂的性质。

可用若干不同的方法来合成聚酰胺。制备的方法决定了分子的最终结构以及是为何种类型的聚酰胺。实际上制备树脂最广泛采用的方法是按下面两个路线进行的：

1. 原料单体的缩聚反应或聚合反应（特别是高级胺基酸或者是其内酰胺）：



2. 二元酸同二元胺的缩聚反应



聚己内酰胺（卡普隆、希隆、别尔隆）是第一类聚酰胺最广泛的代表。尼隆FM-10001、聚酰胺-68，过酰胺-A这样的一些树脂属于第二类。最主要的一些聚酰胺塑料，以及用来合成它们的原料参看表1

表 1

最重要的一些聚酰胺塑料

| 商品名称 | 组 成 | 产 地 |
|-------------------------------|--|--|
| 过酰胺 A | 由己二胺和己二酸制成的聚 合物 | 巴金什苯胺和 苏打工厂 (西德) |
| 过酰胺 B | 聚己内酰胺 | 同 上 |
| 过酰胺 5 A | 由己二酸盐和己二胺和 ϵ -聚己内酰胺用 1:1 的比例 混合制成的聚酰胺 | 同 上 |
| 尼隆 FM- 1001 (Zytel-101) | 由己二胺和己二酸制成的聚 合物 | 维尔敏格的杜 邦(美国) |
| 尼隆 FM-3001 | 由己二胺和癸二酸制成的聚 合物 | 同 上 |
| 尼隆 FM-6501 | 由己二胺和己二酸, 己二胺 盐和癸二酸和 ϵ -己内酰胺制成 的聚酰胺 | 同 上 |
| 尼隆 8 型 | 正烷氧甲基聚酰胺 | 同 上 |
| 聚酰胺 B 尼隆 A F | 聚己内酰胺 由己二酸和己二胺制成的聚 合物 | 维尔摩兹的巴 衣尔工厂(西德) 伦敦帝国化学公 司(英国) |
| 树脂 6 8 | 由己二胺和癸二酸制成的聚 合物 | (苏联) |
| 卡普隆 | 聚己内酰胺 | 同 上 |
| 里尔蓝 | 聚胺基十一酸 | 巴黎联合企业 (法国) |
| 安苦隆 | 聚己内酰胺 | 埃尔西孟 (荷兰) |

| | | |
|------------|---|-------------------------------------|
| 格里隆 | 聚己内酰胺 | (瑞典) |
| 衣格米特 85B | 由己内酰胺和 γ -酮基庚酸盐 和己二胺用 85:15 的比例混聚 酰胺 | 瓦, P 兹尔白都 西尔的 垄断联合 企业 (西德) |
| 希 隆 别尔隆 | 聚己内酰胺 同上 | (捷克斯洛法克) (东德) |

按第一类方案, 制备树脂的工艺过程是在一定的条件下单体的聚合反应。可以举制备聚己内酰胺的过程作为一个例子进行简单的描述。

将单体浓度约为 80% 的己内酰胺水溶液放入不锈铜做成的高压釜中, 并加热至 260—270° 在这个温度下就发生己内酰胺的聚合反应。为了加速并稳定高分子生长的过程, 在溶液预先加入催化剂(醋酸)。蒸发出的水通入冷凝器中, 而熔融体则以线状或带状从高压釜中被挤出到水中。在那儿它很快被冷却并且在冷空气中也未来得及氧化。其次将树脂粉碎, 并在水中煮沸, 以便己内酰胺和低分子化合物的含量达到最低限度, 在聚合过程中, 为避免聚己内酰胺氧化, 它是在惰性介质中进行合成的; 多半是在含氧量很少(不到 0.005—0.01%) 的氮气中进行的。

近年来开始用连续过程的方法制备聚己内酰胺, 用这种方法时, 聚合反应系随着原料逐渐移向反应器出口而实现的。这时己内酰胺加入的速度是与聚合物产出的速度相适应的。为了保证聚合反应完全起见, 混合物通过的时间是要使得混合物从加入的时刻到出来, 在反应器中停留的时间是等于 10—15 小时。

由二元酸和二元胺制备树脂的过程, 与上面所讲的情形不同, 开始先是制备中间产品——相应的酸与二元胺的盐, 然后再将所得到的产品进行缩聚反应, 例如, 在合成尼隆-66 时, 最初是得到己二酸与己二胺的盐(AE 盐), 然后将此盐制成 50—60% 的水溶液, 再在有稳定剂(0.2~0.5% 醋酸或己二酸)的存在下进行其聚合反应反应过程是在温度为 260~280°C 及压力为 15~16 大气压下进行

的。A I 盐的缩聚反应所使用的装置与用来作为己内酰胺聚合反应的装置相似。

已制得的各种颗粒、粉粒、胶粒等状的树脂皆可为制造各类零件之原料。在制造零件的过程中，聚酰胺在实际上已不再改变其自身的各种性质（当遵守已定的加工制度时）。

机械强度

与金属相似，塑料的强度也是用拉伸强度极限、弯曲强度极限，弹性模量，相对拉伸，比冲击韧性，流动极限等指标来表示的。

表2中所列为国产（苏联）聚酰胺的各种强度性能指标，此表也列出了它们的某些基本物理性质。

表2 国产聚酰胺树脂的基本性质

| 性 质 | 聚 酰 胺 | | | |
|---------------------------------|---------|-----------|---------|---------|
| | II - 68 | AK- 7 | 卡普隆 | II - 6 |
| 熔化温度 °C | 213-220 | 240-243 | 215 | 223 |
| 比 重 克/厘米 ³ | 1.11 | 1.14 | 1.13 | 1.13 |
| 比冲击韧性 公斤·厘米/厘米 ² | 100-120 | 130-160 | 150-170 | 125-150 |
| 强度极限 公斤/厘米 ² | | | | |
| 静弯曲 | 800-850 | 1000-1200 | 900 | 1000 |
| 压 缩 | 750-850 | 750-950 | 700-900 | 750 |
| 拉 伸 | 500-600 | 500-650 | 600-650 | 550-600 |
| 剪 切 | 500 | 450-500 | 550 | 600 |
| 伸 长 | 100 | 100 | 150-200 | 100-200 |
| 布 硬 度 | 14-15 | 15-18 | 10-12 | 14-15 |
| 受压缩时之容许负荷 公斤/厘米 ² | 700-800 | 700-900 | 700 | 700 |
| 弹性模量 公斤/厘米 ² | 1200 | 1500 | - | - |
| BHK 耐热性 °C | 250-210 | 205 | - | 200 |
| 线膨胀系数 10 ⁻⁵ /°C | 11-12 | 10-11 | - | - |

| | | | | |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 煮沸一小时后的吸水性 % | 1.1 | 3.1 | 3.5 | 1.65 |
| 比表面电阻 欧姆 | | | | |
| 起始状态 | 40×10^{13} | 7×10^{12} | 21×10^{14} | 7×10^{13} |
| 在蒸馏水中放置 2 4 小 时后 | 36×10^{13} | 1.6×10^{11} | 48×10^{10} | 7×10^{12} |
| 在蒸馏水中放置 7 昼夜 | 3.8×10^{12} | 5×10^{10} | 1.7×10^9 | 1.5×10^{12} |
| 比体积电阻 $\Omega \cdot \text{厘米}$ | | | | |
| 起始状态 | 45×10^{14} | 2×10^{14} | 2×10^{14} | 2.4×10^{14} |
| 在蒸馏水中放置 2 4 小 时后 | 2.3×10^{14} | 6.8×10^{13} | 2.4×10^{12} | 2.5×10^{14} |
| 在蒸馏水中放置 7 昼夜 | 1.6×10^{14} | 2.5×10^{12} | 43×10^3 | 8×10^{13} |
| 介質損失角正切 | | | | |
| 最初状态 | 0.03 | 0.033 | 0.032 | 0.02 |
| 在蒸馏水中放置 2 4 小 时后 | 0.037 | 0.04 | 0.09 | 0.025 |
| 在蒸馏水中放置 7 昼夜 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.04 |

聚酰胺的机械强度相当低，甚至比那些机械强度不高的金属，如青铜还要低一些。强度低，首先是低的压缩强度，这便限制了作用在轴承上的允许负荷，然而当其结构正确时，在比压力为 100—150 公斤/厘米²时还可以利用聚酰胺（当压缩强度极限值为 700—900 公斤/厘米²时）。

但是必须指出，在利用聚酰胺作为轴承材料时，具有最大意义的是它的抗磨性能，如耐磨性，摩擦系数等而不是强度性质。

聚酰胺的变形特性与所加负荷之间的关系有某些独特之处。与金属一样，其间有负荷与变形大小成比例的部分（图 1），但是同时流动性的区域却比金属要大很多〔1〕。强度极限与流动极限之间没有什么明显的联系。这种情形使得难以评价其质量和按照其表上的数据来挑选用哪一种聚酰胺是好，因为表中所列的照例都是在相应的负荷移

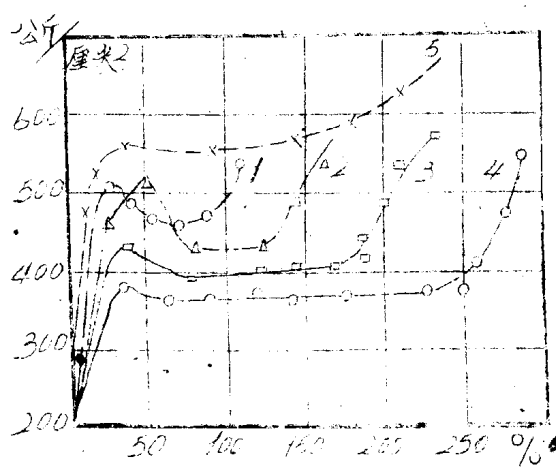
式下的强度极限值，可是设计家却首先是对流动极限感兴趣。想根据强度极限用计算的方法来求出流动极限的数值是不可能的。在图1上所示的图表已将此点明显的标示出来了。

例如，聚己内酰胺的强度极限高于树脂68，而它的流动极限却要低15%。对于其他的聚酰胺来讲也可很明显的看出来这种不相适应性。

聚酰胺的机械强度与温度有非常大的关系。当提高温度时它降低，而降低温度时则升高。图2所示为温度对某些塑料的拉伸强度极限的影响〔6〕。大致上可以说强度极限的下降是与温度的升高成反比。实际上这种依

赖关系表现在很宽的温度范围之内，直至熔点。弹性模量也有相类似的变化〔9〕。图3所示为当提高温度时聚酰胺 Zytel-101 (用己二胺和己二酸制成的聚合物) 的弹性模量降低之曲线。在寻常的条件下 (温度 20°C) 它的弹性模量等于 14000 公斤/厘米²，温度 40°C 时为 10000 公斤/厘米²，而当温度为 100°C 时则达 4000 公斤/厘米²。加热时的强度

5-8



伸 长

图1 聚酰胺伸长图

- 1-树脂68 2-AK-7
- 3-聚己内酰胺 4-Zytel
- 5-尼龙-66

公斤/厘米²

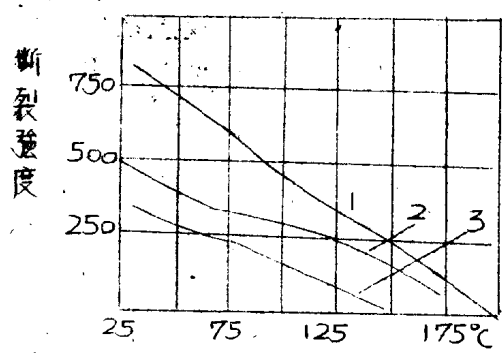
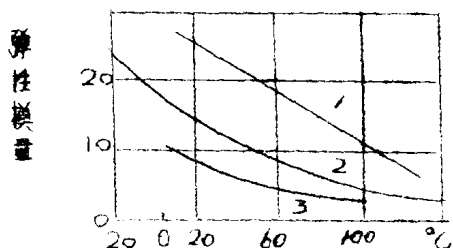


图2 依温而变化的拉伸强度极限

- 1-过酰胺 A 2-聚己内酰胺
- 3-过酰胺 6 A

性能的下落会影响疲劳极限的大小，因而在高温介质中工作的零件其疲劳极限也将显著的降低。例如聚酰胺 Zytel-101 在温度 20°C 下的疲劳极限为 $210 - 215$ 公斤/厘米² 而当温度为 100°C 时则达 140 公斤/厘米²。

塑料的标准试验都是在温度为 20°C 时进行的，因此在物理-机械性能表中所给出的数值都是相应于这个温度下的强度特性值。考虑到在温度变化时塑料的不稳定性，所以在提高或者降低温度的情况下使用塑料时就必须明确地引进校正系数或者是利用一些明确规定的附加指数。



1. 干燥的材料 (成型后)
2. 中等湿度
3. 在最大饱和水份下

图 3、在升高温度时聚酰胺 Zytel-101 的弹性系数之降低。

聚酰胺的冲击韧性高。它平均为 $100 \sim 150$ 公斤·厘米/厘米² 这些数据是按金属的一般试验方法，在标准机器上所作的一些样品的折断实验而取得的，此种数据不能全面地表示出聚酰胺冲击韧性的特点，因为在试验时有很多次样品没有被折断，而是它从稳定位置被压弯或者滑了出去，所以在那些情况下的比冲击韧性的数值是表征了样品变形时所消耗的功而不是样品被破坏时消耗的功。因此此种指标不能用来作为评价塑料的冲击强度。只能根据它来近似地评价这种或那种聚酰胺的弹性。由于缺乏较完备的冲击强度的特性标准，自然就要降低了分析机械强度的质量并且难以选择出固定型号的塑料。因此，当前的任务是确定这种标准并拟定出测定它的设备形式。

由于聚酰胺树脂具可贵的抗磨性（高韧性及高弹性），聚酰胺轴承的变化能力要比一般金属多几倍，因此聚酰胺轴承可很好的吸收冲

击和动态负荷下的振动。

吸 水 性

所有的聚酰胺在不同的程度上都要从周围环境中吸收一些水份，对某些品种来讲，最大吸水量不超过3%，而对另一些来讲则可达12-14%。表3中所列为对某些保存在室温下的水中和在沸腾下的水中之聚酰胺吸水性的一些数据，并在图4上划出了吸水曲线。在

国产的各种聚酰胺当中聚己内酰胺的吸湿性为最大，最小者为树脂68。当聚酰胺轴承是在空气中工作的时候，材料中所保存的水分量跟空气中的湿度大小有关（图5）。空气的水分与材料的水分之间有着一定的平衡关系。当降低相对湿度时，材料中的水含量也降低，提高时亦增加。要达到最大含水量的饱和湿度时得拖相当长的时间。由图4看出某些品种的树脂要经过4-6个月才能完全饱和。用煮沸的方法可将此过程加速。可举聚酰胺 Zytel-101 的吸湿性图为例。在图6上示出了到完全饱和或者到含水量为3%时的吸水时间与制品厚度间的关系〔9〕。实际上对于壁厚正5毫米的零件，在水中煮沸50~100小时后始能达到饱和状态。

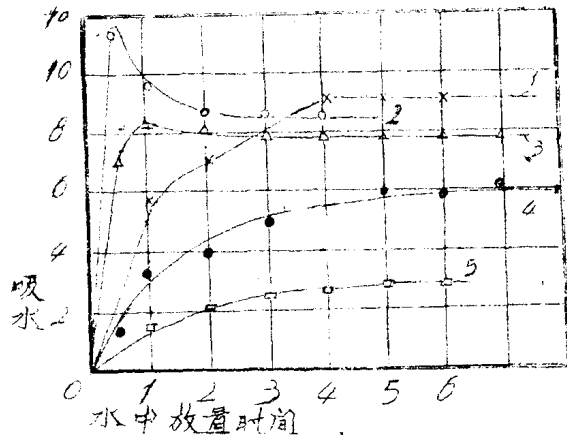


图4 聚酰胺树脂之吸水性

1-聚己内酰胺； 2-II-54树脂； 3-AK-7树脂； 4-II-6聚酰胺； 5-II-68聚酰胺

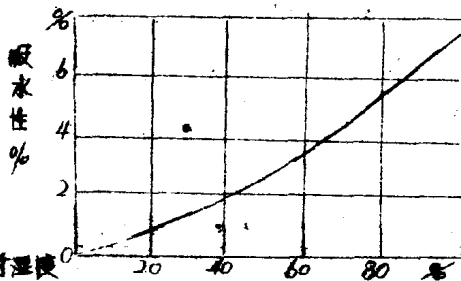


图5 尼隆FM-10001在空气中的吸水性

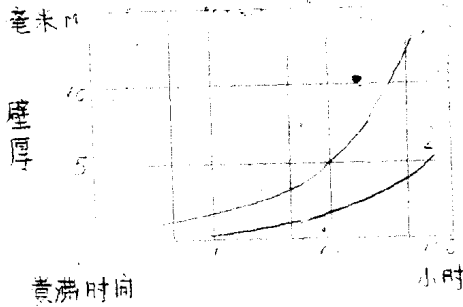


图 6 聚酰胺 Zytel-101 在沸水中的饱和时间
1-含水量3%
2-到完全饱和态。

表 3 聚酰胺之吸水性

| 材 料 | 吸 水 性 % | | |
|-------------|------------------|------|--------|
| | 室温下放于水中 14天之后 | 最 大 | 煮沸3小时后 |
| 过 酰 胺 A | 10.0 | 10.0 | 8.5 |
| 过 酰 胺 B | 6.8 | 10.9 | 3.3 |
| 尼隆 FM-10001 | 10.2 | 10.2 | 8.6 |
| 阿 摩 隆 M2 | 10.6 | 11.6 | 8.3 |
| 格 利 隆 | 10.0 | 11.2 | 6.8 |
| 树 脂 68 | - | 3.0 | 1.5 |
| 聚己内酰胺 | - | 11.0 | 5.5 |

聚酰胺树脂的吸水性不仅会导致了零件重量的改变，而且也会使制好的零件的强度性能和尺寸大小有所改变。随着含水量的提高，弹性模量和强度极限（在拉伸与压缩时）也要降低。图 7 表明：当温度为 20°C 时潮湿的聚酰胺的强度极限要比干燥的聚酰胺低 24%。

聚酰胺的硬度随着含水量的增加而有某些降低。

但是随着含水量的增加，各零件却都得到了很大的柔韧性，它们的弹性，相对冲击韧性提高了，弹性变形的范围也扩大了。

含水量对性能的影响具有可逆性。如果将其中的含水量恢复到原来的情况，则材料也就恢复了其原有的性能。

吸水时，轴承的体积和重量都要有明显的增加。含水量增加 1%，

体积就增加 0.33 ~ 0.37%。由于零件的成型都是在含水量为最小时进行的，因此在制成之后其尺寸大小即开始畸变，图 8 所示为由尼隆 66 组成的各种零件的尺寸与材料当中的含水量之间的关系图。在含水量最大时 (A 点)，零件的体积差不多要比含水量最小时大 3%。在一般条件下尺寸的变化是比较小的。如果材料是处于相对湿度为 50% 的环境中时，那么，在这种情况下其含水量将等于 2.6% (见图 5)。相应于状态下 (图 8 B 点) 的尺寸变化为 0.8%。

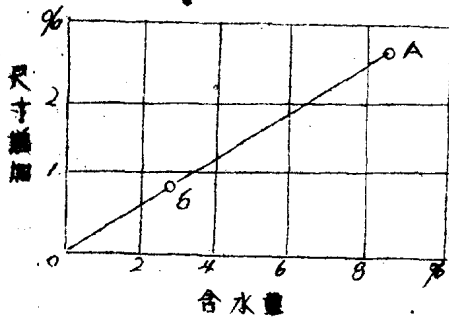


图 8 聚酰胺零件尺寸与含水量间的关系

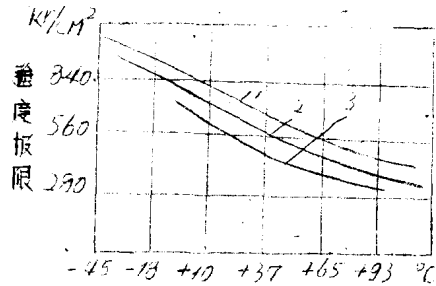


图 7 在不同湿度下温度对尼隆-66之拉力强度之影响：1—干燥的聚酰胺；2—中等湿度 (2.5~3%)；3—全湿的。

滑动轴承的内径应当是很稳定的。被水分的饱和的轴套在未被压榨的状态下，不论是内径或外径都要有所增大。图 9 所示为由尼隆

Zytol-101 所组成的轴承在相对湿度为 50% 的空气以及在水中时其内径的变化情况。轴承的尺寸为内径 25 毫米，壁厚 2.5 毫米。

由图可以看出，在最大饱和时轴套的内径加了 2.5%。

聚酰胺轴承常常都是有金属的外夹圈的，在这种结构下轴套的外径在吸水时不会增大而其长度在强压下也不会有所改变。在这样情况下轴承的内径却减小了。

图 1-0 所示为压在金属夹圈中的聚己内酰胺轴承尺寸之变化图。

轴承的内径同过去的情形一样为 25 毫米，而壁厚为 1.25 毫米。虽然壁的厚度不大，但是内径却减少得相当显著，大约为 1.5%。由于吸湿而引起尺寸上有所改变，这是聚酰胺很大的缺点之一。假如不预先看到这种情况将可能发生轴的卡住，而引起整个机件的损坏，因此在设计时必须准确地计算湿度对于尺寸变化的影响。

虽然在轴与轴承的啮合中间隙的大小是依空气的湿度而变化，但是在聚酰胺轴承当中还可以保证达到有较高的啮合精度。

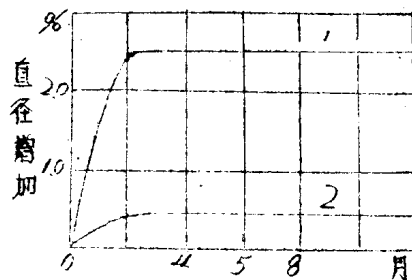


图 4 由于吸收水分而引起的轴套内径之改变

1—水中；2—在相对湿度为 50% 之空气中

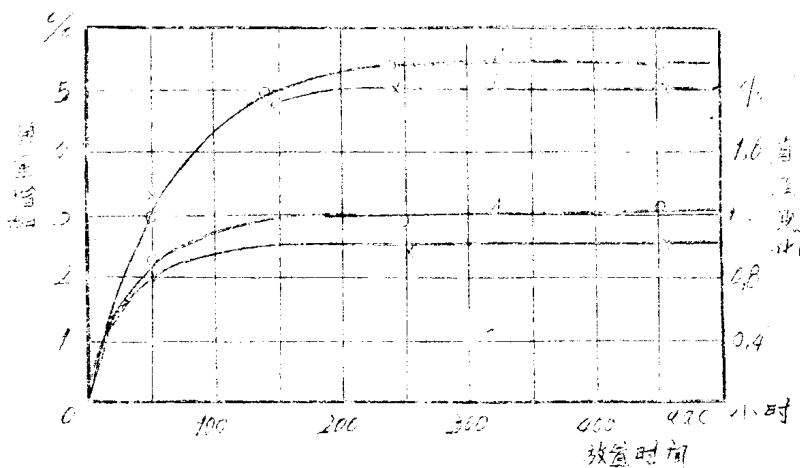


图 10 压在金属夹圈中之轴承，在静置于水中后其重量及内径的变化：1—重量改变；2—直径的变化。

所以能这样的原因是因为在一般条件下零件被水所饱和进行得很慢。甚至于当湿度为 100% 的情况下要使聚酰胺的含湿度达到最大值也得需要几个月的时间，在临近于平衡状态时吸湿量的变化特别之慢，也就是说这正如在实际上最常迁到的那种湿度变化不太大的条件一样。这时材料中之含湿度之波动就更小。由此可见由于湿度的波动而引起的零件尺寸的变化是很小的。所以在最后一步加工之前就要预先提出