

# 聚酰胺在机械制造业中的应用(一)

苏联專家 B. A. 波波夫, Л. B. 波波娃

在机械制造业中应用聚酰胺, 不仅对我国來說是一个新东西, 而且对世界各国也是一个新問題。目前許多国家正进行着大量的研究, 可以相信, 不久的将来, 在机械制造业中就要出現各种形状的和性能良好的制品。本文作者正是针对聚酰胺在机械制造中的应用問題, 作了極全面而又系統地闡述。由于篇幅的关系, 本刊决定从这期起陸續發表, 以供同志們學習和参考。

——編者

## 性能、零件的制造方法及其特性

在現代技术中所应用的極其多种多样的高分子化合物, 可以把一些由于具有某些特殊性能而能加工成紡織纖維著称的聚酰胺高聚物划为独立的一类。这类包括了許多在某些物理, 化学和工艺特性上相进似, 而在組成, 性能和制取方法上不同的物質。所有这些聚合物, 都有相当大的彈性, 抗拉强度高, 脆性小, 并在化学結構上, 有着以下一些特点。

这类高聚物的結構規律性很高, 因而具有較高的結晶度并且能够定向。

各大分子是不对称的, 有着空間結構, 它們的由各个相互交替的环节构成的鏈是排列在一个平面上, 有着較大的長度(不小于 1000 Å)。

聚酰胺分子的側基有着完全固定的几何形状和一定的化学本性, 这决定了产生大的分子間的力并使得鏈有着高的剛度和强度。还應該指出, 这些聚合物有这样一些性能: 熔点低于分解溫度, 能溶于某些有机溶剂, 有一定的憎水性和其他一些使易于加工成纖維的工艺性能\*。

由于在合成新的有机物以及使它們变成高分子化合物方法的科学領域里所取得的許多成

就, 纖維形成材料的种类大大的增加。以前常用使自然产物, 像植物纖維素, 动物和昆虫生机的蛋白質产物(毛和絲)以及把它們用复杂的化学加工制成改性物(所謂人造纖維: 粘液絲, 醋酸纖維素, 絲光化的纖維素等等), 而最近 10~20 年来所出現的合成纖維形成聚合物, 不仅是它們的全能代用物, 而且在某些情况下有着更好的性能和无限制的原料基地。合成纖維形成聚合物在人类生活中的意义, 只从这样一点就可看出: 从 1946 至 1956 年, 这十年中世界合成纖維的产量增長了 15 倍, 一年的出产量从二万五千吨增加到四十万吨(非官方数字)。

在用作生产紡織应用得最广泛的工业类型合成聚合物里, 主要有这样一些: 聚酰胺, 聚亞胺甲酸酯, 聚酯(对苯二甲酸酯的聚合物即滌綸或拉美綸), 乙烯类聚合物(聚氯乙烯, 聚偏氯乙烯及其它等)和丙烯类(聚烯腈及其它等)以及他們各种共聚物和改性物。很明显, 所有这些不同化学組成的聚合物, 虽然在結構上有着某些共同点, 从而使得它們可以划归为上述的一类, 但在其物里, 化学, 机械和介电性能上互相間有着很大的差异。

高分子化合物, 化学与工艺在工业上的發展及对它們的全面研究, 找到了一些新的可能实际使用的范围。例如: 聚氯乙烯和其共聚物最初只是用于生产各种塑料零件和制件(軟的和硬的)以及某些类型油漆塗層。而用氯化聚氯乙烯(过氯乙烯)为基础能够制成耐

\* 最近出現关于将聚四氯乙烯做成合成纖維的报导(泰氟論纖維), 这种聚合物是不溶于一般的溶剂, 它的熔点高于分解温度, 这种纖維的制取方法目前还没有介紹[1]。

化学，有医疗性能的“хлорин”型紡織品还是比较不久以前才知道的。像聚酰胺这一类纖維形成聚合物，初期它的制取和生产只是單純为了制造高强度的紡織品，而現在已广泛的用于生产种类繁多的机器制造业用零件，高品質的薄膜，胶液和油漆材料。聚酯亞胺羧脂在鑄制塑料零件，澆鑄料，胶液，薄膜和泡沫塑料的生产方面已获得了一定的工业意义，它在最初同样只是用来制造高强度耐化学的合成纖維。

毫无疑问：滌綸、聚丙烯腈(又名Полиак)及它們的同系物这样一些纖維形成聚合物由于一系列可貴的性能(極高的彈性，良好的介电性，耐化学和耐水性以及其它等)在不久的将来被用于生产高品質的塑料零件，这点从目前已經組織了以滌綸为主要組成的耐热，高强度薄膜(公司产品名称“Майляр”)生产的事实来看就更为明显。

除了乙烯系的某些聚合物外，其它纖維形成聚合物而首先是目前生产規模最大的聚酰胺在用作塑料零件和制件的加工及应用方面，文献上叙述的比較少。而纖維形成聚合物的这种应用方向是非常重要和有前途的，所以本文試圖把有关用聚酰胺制成机器制造业用零件的特性，性能和制造方法的文献材料和实验材料加以彙集整理和闡述。

I 概述

聚酰胺——这个名称指的是在重复的基本結構單位里含酰胺基(—N—C—)的聚合物\*。

聚酰胺可以用各种不同方法制取。其中最重要的是：各种氨基羧和它們的内酯的聚合或綫状縮聚以及各种二胺和各种二元羧与它們相互作用产物的縮聚。有些作者認為可以把二异氰酸酯和多元醇或聚酯的相互作用产物——聚

\* 脲同甲醛的縮合物，即所謂聚碳酸酰胺也屬此类聚合物。但它們大多数是热固性聚合物，沒有纖維形成性能，所以在本文里不予闡述。

亞胺甲酸酯或者聚胺酯这样一些高分子化合物划归此类[ 2， 3 ]。

然而，这种归类，从这两种高聚物化学结构和性能的特点来看是不够精确的，因此把它們分別說明比較适宜。

虽然聚酰胺的生产，現在在許多国家里已建立起来，但这些材料至今还没有統一的分类命名。

德国的研究者建議把所有的聚酰胺，其中包括聚亞胺甲酸酯，分为以下各类[ 2 ]:

甲类——是已二胺和二元酸的縮聚物，其基本結構是
$$\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}(\text{CH}_2)_6\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}(\text{CH}_2)_n\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}\text{—}_n\text{—}$$
，指数“*n*”为二元酸中的亞甲基数。屬於这类的包括已二胺同已二酸(*n* = 4，“A-4”树脂)癸二酸(*n* = 8，“A-8”树脂)以及其他各种酸的相互作用化合物。

乙类——是多种氨基酸和它們内酯的聚合物或綫状縮聚产物，其組成公式为
$$\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}(\text{CH}_2)_n\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}(\text{CH}_2)_n\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}\text{—}_{\frac{\text{N}}{2}}$$
，指数“*n*”为原始單位化合物中所含亞甲基数。屬於这类的包括W-氨基己酸或其内酯(*n* = 5，B-5树脂)的聚合物；W-氨基十一酸(*n* = 10，B-10树脂)的聚合物等。

丙类——是二异氰酸同含羟基的化合物(多元醇，有羟基和羧基的聚酯等)相互作用产物，它們的共同組成
$$\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}(\text{CH}_2)_m\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}(\text{CH}_2)_n\text{—}\text{O—}\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}\text{—}\text{—}_n\text{—}_n\text{—}$$
，指数“*m*”和“*n*”相应的表示二异氰酸酯和多元醇或聚酯中亞甲基的数如用六亞甲基二异氰酸酯和丁二醇1：4(*n* = 4)制成的高聚物，按这种命名法符号为“C-64”。

美国人提出一种更简单的聚酰胺数字分类法。其实质是：“聚酰胺”（这类聚合物总的化学名称）或者“尼隆”（在美国、英国用来表示纤维形成物的聚酰胺的统称，同于聚酰胺），在这名词旁伴有表明该聚合物化学组成的数字。同时，该名词后的单位数字如：聚酰胺6或尼隆6，聚酰胺11或尼隆11等等，表示该产物为氨基酸（或其内酯胺的聚合物，在其组成中含有的碳原子数（数字“6”指氨基已酸，数字“11”指氨基+一酸等）。双位数如聚酰胺66，尼隆610等等表示该聚合物是由二胺和二元酸制得的。第一个数指二胺的碳原子数，第二个数指二元酸的碳原子数。如果用的是两种聚酰胺的混合物，则相应地用两个指数表示并用分数符号予以分开，在这后面的括号里以相同的次序表明了两种成分的数量比。例如：数量比为40：60的聚酰胺66和聚酰胺66和聚酰胺610的混合物表示法是：聚酰胺（或者尼隆）66/610，140：60），依次类推等等。在以后的叙述里我们将尽可能沿用比较方便的美国的命名法。

聚酰胺和其它高聚物一样，其化学组成和结构决定了它们的全部性能。像尼隆6，尼隆66，尼隆6，10等，这些聚酰胺在性能上的差异首先是决定于构成大分子重复环节的原始物质的结构不同。取决于含亚甲基的重复结构单位的长短对聚酰胺的熔点，耐湿性，硬度，介电性等等性能，有着很大影响。例如： $(CH_2)_n$ 基在基本结构单位中的数量愈多，聚合物的熔点，硬度愈低，耐湿性和电介性愈高等。这种相互关系的特点对其他许多聚合物也是一样的（见图1）。亚甲基除了纯数量上对聚酰胺性能有影响外，它们在大分子基本结构单位里的数是偶数或是奇数同样有着重要的意义。许多研究工作表明含奇数亚甲基 $(CH_2)_n$ 相应的高聚物一般具有较低的熔点。基本环节里亚甲基数相近而不同于偶数或者奇数的聚酰胺，它们在熔点上所显出的差异范围是很大的（相互的差别可达9到55°C之间）。说明这种现象的原

因至今还没有澈底明确。某些研究者认为，含奇数亚甲基的聚合物分子间的相互作用力被削弱了。其原因：或者是各基在相互间的排列上不均匀，使得不是所有的 $>C=O$ 和 $=NH-$ 基都能形成氢键；或者是当基本结构单位内的亚甲基数为奇数时，降低了聚酰胺大分子之状键的起伏效果，而其起伏效果又同样是依各基排列均匀情况的为转移的[4]。

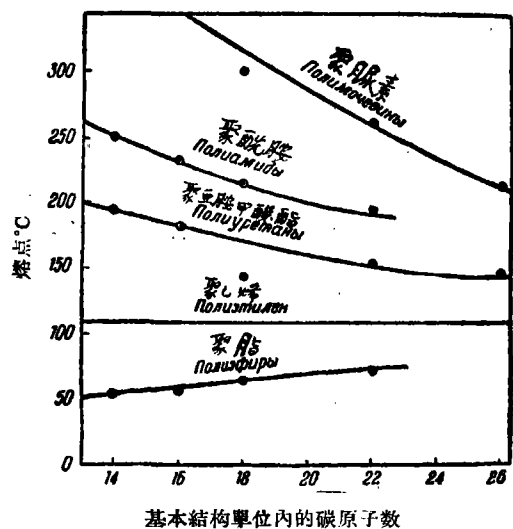
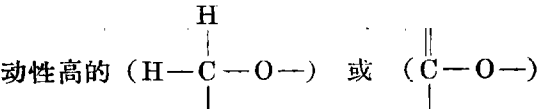


图1 各类线型聚合物的熔点与其大分子重复环节内碳原子数的关系(按Хилл著一书介绍[4])。

基本环节的长短和其化学组成决定着各大分子间极性很强的酰胺基和氢键确定了聚酰胺固有的大分子间的相互作用力。例如尼隆66克分子内聚能是每一个原子键3400卡。此外这两个因素对聚酰胺特有高熔点和高机械强度都有着决定的意义（见表1）。聚酰胺在弹性性能（冲击强度，弹性程度等等）方面优于其它某些线状结构的聚合物如聚苯乙烯，聚甲基丙烯酸甲酯及其它等，但在柔韧度方面不及含有活



型化合键的热塑性聚酰胺甲酸酯和碳键聚酯。从X光结构研究表明：聚酰胺是高结晶聚合物（如不定向的尼隆66内结晶部分的含量约占50~60%），是由氢键相互連結成之形结构的键

表 1 聚酰胺（苏联生产的）主要物理-机械性能

项号	指 标	單 位	聚酰胺66(阿尼特)	聚酰胺 610(68号树脂)	聚酰胺 6 (卡布隆)
1	密 度	克/公分 <sup>3</sup>	1.14~1.16	1.10~1.13	1.14
2	熔 点	°C	250~260	215~225	212~220
3	变形耐热性(馬丁氏)	°C	65	—	55
4	單位冲击强度	公斤公分/公分 <sup>2</sup>	20~30	25~40	100~160
5	抗拉强度極限	公斤公分/公分 <sup>2</sup>	700~1000	500~600	500~700
6	断裂延伸率	%	50~100	100	200
7	靜力弯曲强度極限	公斤/公分 <sup>2</sup>	800~1000	600~700	600~800
8	耐压强度極限	公斤/公分 <sup>2</sup>	700~1000	400~500	500~600
9	24小时之吸水性	%	0.5~0.6	0.12~0.14	1.3~1.4

状大分子。

实验結果表明：聚酰胺內一个大分子中的羰基（>C=O基）总量对着临近分子的>NH基,同时它們的距离大約等于2.8 Å。这个距离是氫鍵的特点，要比产生范得瓦尔力行显示距离短些[ 4 ]。这些材料由紅外綫光譜法的研究結果所証实，它証明了綫状聚酰胺大分子在結晶部分排列紧密，可以用上述結構式所說明的聚酰胺化学結構是可靠的。根据分布的材料，聚酰胺与其它纖維形成聚合物不同，氫鍵数較少，它們的互相距离相当大[ 5 ]，这种状况决定了它們比聚乙烯对苯二甲酸乙二醇酯和聚丙烯腈这些高分子聚合物在抗拉强度大約相同的情况下有着較小的剛度和較高的柔曲度。同时在这些物質无定形部分可能含着用現代方法所不能加以分析的其他化学基[ 4 ]。从上述角度看来，聚合鏈較短的（聚合度較小的）、分子量比較低的聚酰胺含有較多的結晶相这个事实[ 5 ]也是很有意思的。

聚酰胺的分子量比較不大（約1~2万），因此聚酰胺熔融物的粘度比較小聚酰胺这一特性在解决有关加工成制件和纖維的問題上以及用它作复面材料时是很重要的。

應該注意到，当其聚合度（即在大分子中的基本环节数）不小于100时，才能制得質量最优量的聚酰胺（具有高强度，热稳定性及其他等等）[ 2 , 7 ]。否則，所制得的产物常是脆的，低粘度的产物，对技术用途不太适用。在表 1 和表 2 里类型聚酰胺强度性能的絕對

值。圖 2 和圖 3 里表明了它們的变化溫度。从圖 2 里可以看出，随着溫度的提高它們的抗拉强度降低（在冷却时可达最高值），而断裂延伸率提高。在圖 3 里則說明拉剪彈性模数与溫度之曲綫关系，曲綫是根据德国研究者实验数据繪成的[ 8 ]。所繪曲綫鮮明地表明了这类化合物特有的热塑性証实了，虽然随着溫度的提高，彈力性能显著下降，但是直到开始熔化，它們仍保持最低的强度儲备（ECII= 1 公斤/公厘<sup>2</sup>）。此外还可以看出結晶度比較高的聚酰胺——聚酰胺 66, 610 和11，它們的剪切模数变化性質大致相同，而聚酰胺 6 的特性是无定形相的含量比較多，它的这些变化規律就有些不同了。虽然聚酰胺的熔点較高（185~265°）并在未到熔点以前熔化程度較小，但因为它是綫状結構，所以变形耐热性不高。各种方法測定的这个指标（馬丁氏法，ASTM-g 648 等）不超过70~75°C（見表 1 和表 2 ）。因此下列事实是值得注意的：聚酰胺无定形部分的軟化点測定結果很接近它們的变形耐热性。測得的无定形相平均軟化点：尼隆66为+65°；尼隆 610 为+60°；尼隆 11 为+55°；而尼隆 6 为+40°[ 2 ]。

由于有酰胺基（以C—N鍵表示，該鍵在能量方面比C—C鍵較弱），决定了聚酰胺对热氧化裂解的稳定性較低，这点当有空气氧存在时表現得特別明显。它們也不耐太阳幅射和紫外綫的作用。这些因素長期發生作用时，聚酰胺改变自己的顏色（变黃），减低分子量，

表2 各类型聚酰胺及其改性物（英国JCJ公司生产的）之物理-机械性能

项号	指 标	单位和试验方法	尼隆66	增韧的尼隆66	尼隆 610	尼隆66/610 之 共 聚 物	增韧的尼隆 66/610之共 聚物	尼隆66/610/6 之共聚物
1	比 重	ASTM-D-792	1.14	1.16	1.09	1.08	1.12	1.09
2	熔 点	°C; ASTM-D-569	264	255	220	—	184	160
3	变形耐热性	°C; ASTM-D-648	75	55	55	—	40	—
4	抗拉强度	公斤/公分 <sup>2</sup> ; AST M-D-638	809	—	598	385	—	—
5	断裂延伸率	%; ASTM-D-638	80~100	100~120	100~150	> 200	200~250	300
6	杨氏模数	公斤/公分 <sup>2</sup>	$3.02 \times 10^4$	$1.27 \times 10^4$	$2.11 \times 10^4$	$1.55 \times 10^4$	$0.36 \times 10^4$	$1.55 \times 10^4$
7	24小时吸水性	%; ASTM-D-570	1.50	0.80	0.33	0.90	0.70	1.99
8	耐寒性（低温 下之塑性）	°C	270	-60	-70	—	-70	-60~-70
9	单位体积电阻 湿度为70%， 温度为20°C	欧姆×公分	$10^{13}$	$10^{10}$	$10^{14}$	$10^{13}$	$10^{10}$	$10^{13}$

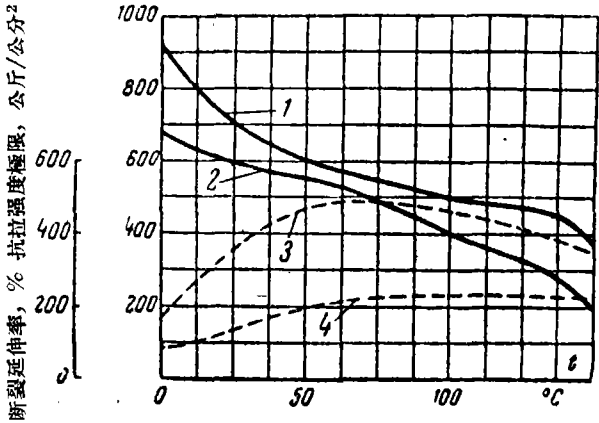


圖2 聚酰胺抗拉强度变化与温度的关系(按 Jacobi' 著一書介紹):

1—聚酰胺 66 (A-4 树脂) 的抗拉强度極限; 2—聚酰胺 6 (B-5 树脂) 的抗拉强度極限; 3—聚酰胺66 (A-4 树脂) 的断裂延伸率; 4—聚酰胺 6 (B-5树脂) 的断裂延伸率。

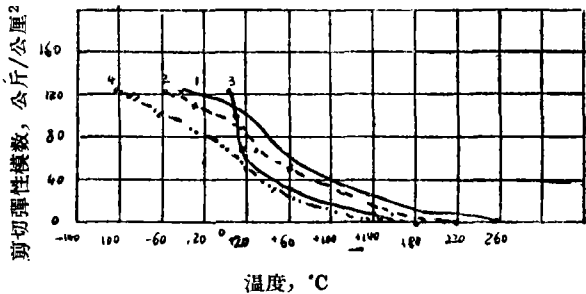


圖3 各种聚酰胺剪切彈性模数与温度之关系[15]:

- 1 ——— 尼隆66;
- 2 - - x - - x - 尼隆610;
- 3 ····· 尼隆 6 ;
- 4 - · - · - 尼隆11。

变得比較脆，强度也小了。

从聚酰胺热解方面的專門研究表明，試样在高温分解时有气体析出 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 及其它等)。分解溫度自 240°起始，至 400°[ 9 ]。

从圖 4 和圖 5 中的曲綫說明了各种牌号的聚酰胺依其在高温下所处的時間 (于空气里) 强度的变化性質。也曾明确了由于日光和在空气中受热的影响，聚酰胺裂解时分解出水，一氧化碳，二氧化碳和形成羟基等等[ 4 ]。

公斤×公分/公分<sup>2</sup>

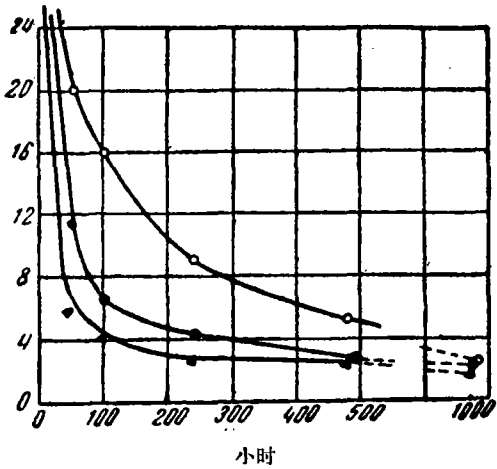


圖4 各类聚酰胺单位冲击强度变化与在120°下受热時間的关系[15]

- 尼隆 6 (卡布隆);
- ▲— 尼隆66(阿尼特);
- 尼隆610。

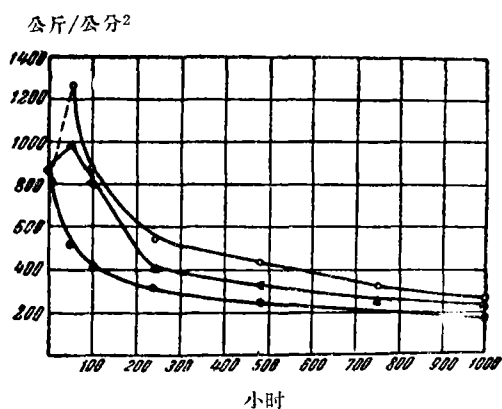


圖 5 各类聚酰胺的靜力弯曲强度变化与在125°C下  
受热时间的关系[15]

——○—— 尼隆6(卡布隆)  
——▲—— 尼隆66(阿尼特)  
——●—— 尼隆610。

如果受热的和被幅射的聚酰胺不与含氧的气氛發生接触，所有上述現象在很大程度上能够予以消除。例如，尼隆6比起其他工业牌号的聚酰胺对热氧化的稳定性最小，但在一般情况下（在空气里）能够長期耐受約100°的溫度作用而不發生变化。

当尼隆6被浸入油內时其性能在135°的溫度下还能保持稳定。

这种情况是所有聚酰胺的特征，只不过在溫度的高低上有着不大的差异。如用尼隆11做的制件在沒有氧的情况下能在150°C溫度下工作。在某些情况下，用聚酰胺6，66和610制成的制件可以短时间在空气中于≥100°C等溫度下加热。

聚酰胺加工时，是要長時間处于熔融状态（紡絲，制薄膜等等），因此要尽可能在无氧的气氛中进行。

用原子分裂物照射聚酰胺时，可以看到其結構和性能的显著变化。根据已公布的資料[10]，当尼隆66受原子反应堆幅射作用时（幅射量等于 $3 \times 10^{17}$ 中子/公分<sup>2</sup>）它的結晶度就發生降低（从57%降到47%），分子間产生了約4%的化合鍵（縫合或者架桥）。照射量越高則这些聚合物的变化也会更深化，照射量等于 $2.8 \times 10^{18}$ 中子/公分<sup>2</sup>时无定形相的含量达90%。

而鍵桥的濃度約增加到95%。照射量等于 $5.5 \times 10^{18}$ 中子/公分<sup>2</sup>时結晶相完全沒有，并且除了縫合体濃度有某些（不大的）增加（~10%外），在被照射試样里發現有双鍵。关于照射聚酰胺所产生的結晶度降低和出現縫合物的現象在其它文献也有叙述[11]。其中提到由于約 $10^{10}$ ΦЭР\*照射量的作用使尼隆66化学結構發生这种变化因而提高了它的硬度和脆性。

幅射作用对聚酰胺熔点不会引起重大变化，这一点应予以注意。例如：在真空和空气中以 $10^{-7}$ 量的X光照射尼隆6和尼隆66，該項指标变化情况如下。照射前尼隆6和尼隆66熔点分别等于218和252。照射之后这项指标是尼隆6为211°C（在空气中）和222°C（在真空中），而尼隆66为250~251°C（在空气中）和253~254（在真空中）[12]。

所有聚酰胺都是易燃的。然而它們的起燃都比较困难，比木柴、紙及其它物質要慢得多。

大多数聚酰胺的耐寒性都比较低。在-60°变脆，除尼隆11外，所有其它尼隆在-30~-40°即变脆和易碎。通过增加塑剂的方法可以提高这些聚合物的耐寒性。但是，与此同时也降低了它們的变形耐热性。

在耐化学方面聚酰胺是相当惰性的，这决定了它們对各种侵蝕介質有着相当高的稳定性。

聚酰胺的这个特性像其它一些性能一样是与大分子結構有关，是由于聚合物主要是由碳原子所构成的。实际上，为数不多的端基——酰胺基和直接碳原子結合的氮原子具有反应能力。矿物酸，像二元羧如草酸及其它等能对聚酰胺起破坏作用，使之水解，产生相应的二胺和二元羧（酸解反应）[13]。

在加热的时候，这些过程进行的特别快。几乎所有的聚酰胺都能溶解于苯酚，甲酰胺，水化三氯乙醛，和濃醋酸及濃蟻酸溶液里。在加溫下与氨相互作用时，可以观察到聚酰胺的

(\*) ΦЭР——是倫琴物理当量，1ΦЭР=84 尔格/克=  
 $1.61 \times 10^{12}$  电子/克= $5.3 \times 10^7$  百万电子伏/克。

裂解（氨解反应）[13]。聚酰胺对濃鹼的作用要稳定得多，实际上濃鹼的水解作用只是在升高温度时才能表现出来。各种氧化剂对聚酰胺的效应是不一样的。硝酸可以相当快的破坏所有这类聚合物。过氧化氢，过猛酸钾、次氯酸鈣及其它等的裂解作用情形也差不多。尼隆11对这些物質的稳定性要大一些。各种聚酰胺都无臭无味，并且在正常条件下对动物有机体不發生有害的生理作用。

聚酰胺对水的关系是很有意思的，差不多所有的聚酰胺都能在某程度上吸水，与溶液直接接触时能吸收水，而且也能从空气中吸收水。各种牌号的聚酰胺在这方面的差异是决定于其本身結構的特点。聚酰胺結構的規整性愈高和結晶相含量愈多，它們的吸湿性也愈低。照吸湿性大小各种工业用聚酰胺可以排列成以下次序：尼隆11（吸湿、吸水性最小），尼隆66和尼隆6；后者在这方面是最不稳定的。必須指出聚酰胺的吸水性和其尺寸、机械性能及介电性能之間有着一定的相互关系。許多試驗証明，随着含湿量的增加其强度特性要降低，流动范围将延長、彈性会提高和介电性要变坏。此外，在聚酰胺与周圍大气接触自然地改变含湿量时，它的尺寸也要發生变化。在含湿量多的时候（空气中相对湿度高），可以看到聚酰胺尺寸的增大（膨胀）。当含湿量剧烈降低时（空气中相对湿度低），聚酰胺要發生“过饱和”現象，产生收縮。了解聚酰胺的这类特点对于在各种气候条件下正确的可靠地使用聚酰胺是具有非常重要的意义的。

圖6、圖7和圖8表明了各种聚酰胺由于各种不同条件所具有的某些吸水特性。从圖7中看出，差不多聚酰胺在大于100°C热老化过程中能提高水稳定性。虽然酰胺基倾向于水解，但水对它的破坏作用只在100°C温度时才能表表出来\*。据已公布的材料，聚酰胺在压力下于180°C时受水作用才能完全水解[4]。

(\*)：据某些資料介紹，聚酰胺在60°C温度下長時間置于水中会使之变脆易碎[2]。

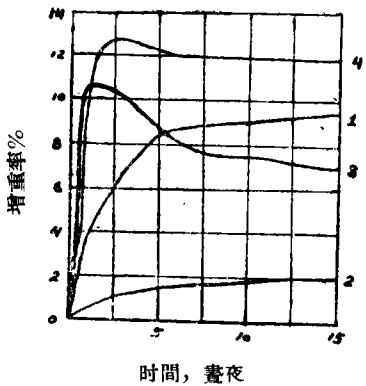


圖6 各类聚酰胺的重量变化与其在水中放置時間的关系（用直徑60公厘，厚3公厘的圓片試样在20°温度下測定的，按Yacobi著一書介紹）  
1—聚酰胺66(A-4树脂)；2—聚酰胺610(A-8树脂)；  
3—含單体的聚酰胺6(B-5树脂)；4—不含單体的聚酰胺61(B-5树脂)；

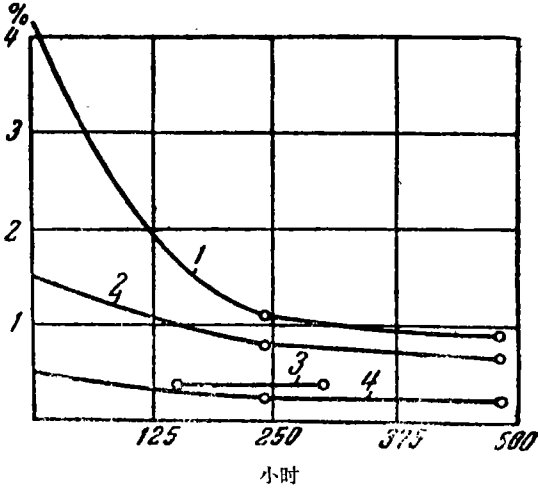


圖7 各种聚酰胺吸水性与在125°受热時間的关系[15]:  
1—尼隆6(卡布隆)；2—尼隆66(阿尼特)；3—尼隆610；4—聚亞胺甲酸脂(与C-64树脂类同)。

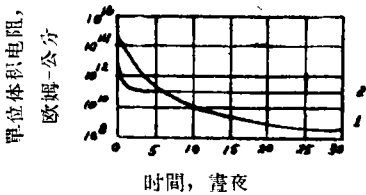


圖8 聚酰胺66和610單位体积电阻变化与其在水中放置時間的关系(用5公厘厚的平板測定的，按Jacobi著一書介紹)  
1—聚酰胺66(A-4树脂)；2—聚酰胺610(A-8树脂)。

因此应该指出在制造聚酰胺（为在聚合物熔融物上造成保护空气）或者在其加工（为在聚合反应锅里挤出熔化物）的过程里使用水蒸汽时就有可能發生一些反作用，即使聚酰胺水解，增加熔融物粘度，由于結構發生变化，在成品材料里产生气泡等。

用聚酰胺熔融体挤出并經水冷却的絲，棒和帶等，必須将制出的材料和半制品仔細地加以干燥。

同样为化学結構特点，即存在結晶相位，大分子間作用力，大分子的綫狀結構等所决定的聚酰胺强度特性在很大程度上取决于一些与其流变（Реологический）性能不分割的相关着的間接原因。

聚酰胺零件制造过程的溫度条件对其机械强度指标有着重大的影响〔3〕。

例如：熔融的聚酰胺快速冷却时（澆注到冷模或水浴等等），能造成以无定形結構为主的材料。原因是快速冷却时生成由氢鍵連結各个大分子规律区位的可能性大大降低。这样制造的材料具有高冲击强度和高彈力性能。用聚酰胺熔融物慢慢冷却制成的零件（澆鑄到热模里并逐漸冷却模子和模內的聚合物），制造出的材料常表現鮮明的結晶状态，这样就具有高

的耐磨損性和剛性，抗拉强度大，和拉断延伸率小等特性。

像其它热塑性材料一样，聚酰胺的机械性能也是随着溫度的变化而变化。在低溫度下它們变得剛性較大和發脆。在升高溫度下（直到某种界限）其彈力特性如單位冲击韌性，抗靜力弯曲，拉断时延伸率的絕對指标均会增加，而抗拉强度則降低。此后过了这个界限，就可以看到聚酰胺机械强度的整个下降（如圖2所示）。

如上所述，聚酰胺含湿量的改变对其技术特性，其中包括机械强度指标在內，会产生重大影响。从整体來說这些变化归結为：提高含湿量能够少許增加它的彈性而縮小其彈力性能变化的溫度界限，使之朝着更低的溫度移动。降低含湿量則会使这些变化朝相反的方向进行。

聚酰胺的特点是具有良好的耐磨性（在互成对偶以及同其材料組成对偶工作时摩擦系数低）和耐磨損性高。这些性能是由其較低的彈性模数决定的〔14〕。

所有的聚酰胺都比較柔軟，比較剛度不大和疲劳强度高。

它們的持久变号变形※稳定性是由于有高

表 3 各种聚酰胺介电性能  
(根据技术文献，公司說明書和技术条件上的数据)

指 标		阿 尼 特 (苏联)	68号聚酰胺 (苏联)	尼隆 610 (英国)	卡 布 隆 (苏联)	尼 隆 6 (德国)	尼 隆 11 (法国)
介电系数	50赫芝时	4~5	—	—	4~5	—	—
	10 <sup>6</sup> 赫芝时	—	4.0	4.0	—	4.2	3.2~3.3
介电损失角正切	50赫芝	0.01~0.02	0.035*	—	0.04	—	—
	10 <sup>6</sup> 赫芝时	—	0.03	0.03	—	0.025~0.04	0.03~0.05
單位体积电阻	原状态下	2—1×10 <sup>14</sup>	2—8×10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	4—9×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	3×10 <sup>14</sup>
欧姆公分	受湿24小时后	5—6×10 <sup>12</sup>	8—9×10 <sup>13</sup>	7×10 <sup>12</sup> *	1—3×10 <sup>9</sup>	10 <sup>2</sup> *	12* 7×10 <sup>12</sup>
抗电强度	原状态下	30	31~37	30~34	15~18	16	34~35
	千伏/公厘 受湿24小时后	10~12	30~32	—	6~7	—	—

(\*) 在水中放置7晝夜后。

表 4 各种聚酰胺單位体积电阻和抗电強度与温度之关系  
(按 В. Баев 和 А. Варденбург 著一書之数据)

指 标		阿 尼 特	68 号 树 脂	卡 布 隆
單位体积	在原状态下	$2-5 \times 10^{11}$	$2-8 \times 10^{14}$	$4-9 \times 10^{12}$
	100°下	$3 \times 10^{10}-1 \times 10^{11}$	$2-9 \times 10^9$	$1-3 \times 10^9$
电阻欧姆公分	在100°下(于125°下 受热100小时后)	$1-2 \times 10^{12}$	$5 \times 10^{10}$	$1.4 \times 10^{11}-1.1 \times 10^{12}$
抗电强度千伏/公厘 (試样原变为 1 公厘)	在原状态下	30	31~37	15~18
	在100°下	6~7	5.5~6.5	6~7

的彈力——彈性能和其内部松弛过程进行迅速的原因所形成的。后面这两个特性是取决于聚酰胺大分子結構規律性高和很大的分子間作用力。聚酰胺的这些性能在用作耐磨損的減磨零件中有着决定意义。

所有的聚酰胺都是不坏的介电質。但是它們依周圍空气相对湿度情况能在相当大範圍內改变含湿量有着較高的吸水性和对高温的敏感性，要求在直接使用它們时考虑这些情况。在表內列举了工业牌号聚酰胺的介电性能。而各种牌号聚酰胺單位体积电阻依置于水中的時間的变化性質表示于圖 7 里。較高的介电損失角正切和介电系数使得它們不太适用于高频和超高频。所以用聚酰胺制成电工的零件主要是用于低频和中频的工作条件。

聚酰胺随着溫度增高而使其單位体积电阻相当明显下降（見表 3），这一特点性可以通过在空气中長時間加热予以稳定（見表 4），这个事实是具有一定意义的。專門的研究[15]曾表明对聚酰胺長時間加热（热态化过程）会在一些程度上降低單位体积电阻及击穿强度（見圖 8）。如同其它介电質一样聚酰胺傾向于在自己表面上形成靜电荷。在很干燥的条件下聚酰胺同其它絕緣材料摩擦时这种現象显得特別明显。增加空气的相对溫度和使用專門的导电装置是可以消除这种現象的[ 3 ]。

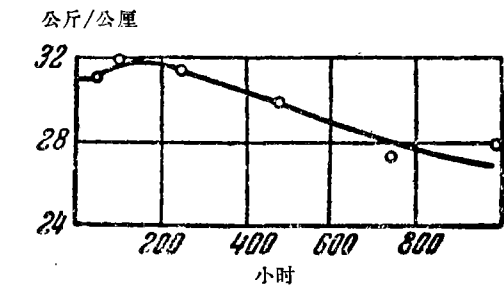


圖 9 阿尼特击穿强度变化与在125°下受热時間的关系

(下期待續)

王兆吉譯  
沈嗣唐校

参考文献将在下期文末一并刊出——編者。

(上接54頁)

行鈍化，然后提交檢驗。

34 在存放及使用过程中鍍鋅表面产生黑点的零件，以及大部分表面变黑的零件是否應該报廢？如何排除鍍鋅和鍍錫表面的黑点？

答：如果發黑只是表面現象，則不能作为报廢的理由。如果發黑現象已經严重到露鋼，那么这样的表面需重复鍍鋅或鍍。

在加 3~4 克/立升硫酸的鉻酸溶液中或在工厂現用的鈍化溶液中，或甚至是在 2~3% 的硝酸光化溶液或鉻酸和硫酸的混合光化溶液中均能容易地除掉黑点。

郭澤沛譯