


实用工程塑料合金技术与应用丛书

聚酰胺合金 技术与应用

郭宝华 张增民 徐 军 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

62

实用工程塑料合金技术与应用丛书

聚酰胺合金技术与应用

郭宝华 张增民 徐军 编著

TQ323.4

G782



机械工业出版社

本书共分 11 章, 在全面、系统介绍各种聚酰胺品种的特点和应用技术的基础上, 重点介绍以改性技术为基础的聚酰胺(尼龙)合金及其他改性聚酰胺, 包括填充增强尼龙、阻隔尼龙、纳米复合尼龙、阻燃尼龙, 以及反应加工、增塑和增粘技术等, 并对尼龙的各种成型方法予以详细介绍。

本书适于塑料行业的技术、研发人员阅读, 也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

聚酰胺合金技术与应用/郭宝华, 张增民, 徐军编
著. —北京: 机械工业出版社, 2010. 3
(实用工程塑料合金技术与应用丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 29735 - 2

I. ①聚… II. ①郭… ②张… ③徐… III. ①聚酰胺-合金
IV. ①TQ323. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 024120 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 赵晓峰 责任编辑: 曲彩云 版式设计: 霍永明
封面设计: 姚毅 责任校对: 任秀丽 责任印制: 杨曦
北京京丰印刷厂印刷

2010 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷
169mm × 239mm · 24. 5 印张 · 544 千字
0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29735 - 2

定价: 48. 00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

聚酰胺塑料（俗称尼龙）是产量最大、品种最多、用途最广的五大工程塑料之一。近年来，随着汽车工业、电子、交通运输、机械、航空航天和各种日用工业等应用领域的迅速发展，显著地推动了聚酰胺塑料的研究、生产和应用等方面的发展，极大地促进了聚酰胺塑料品种的多样化及性能的改进和提高。

经过六十多年的发展，聚酰胺塑料已成为一种具有多品种、多功能、专用化和系列化等特性的优良工程塑料品种，可实现超韧性、高强度、阻燃、耐热、耐低温等高性能。取得这样的进展，完全得益于高分子材料合成技术和塑料改性技术的发展。

聚酰胺塑料的生产和需求量一直位于五大工程塑料的首位。在 20 世纪 70 年代以前，聚酰胺主要是以发展新品种为主，如开发 PA6、PA66 之后，又接着开发了 PA610、PA1010、PA11、PA12 等；而在 70 年代以后，则主要是以原有品种为基础，利用共聚、共混等改性技术，开发出大量具有不同特性的新品种，其中最突出的是出现了大量具有优良特性的尼龙合金品种。这些产品的开发成功，对全球汽车、电子和电器等工业的发展起到了极大的促进作用。

基于这种形势，我们编写了这本比较全面地介绍聚酰胺工程塑料、各种聚酰胺品种的特点和应用的书籍。在全面总结我们研究成果的基础上，书中还广泛收集了国内外高分子方面同行和专家们的有关研究成果，重点介绍以改性技术为基础的尼龙合金及其他改性尼龙（如填充增强尼龙、阻隔尼龙、纳米复合尼龙、阻燃尼龙，以及反应加工、增塑和增粘技术等）。

随着我国经济的持续高速发展，塑料工业也得到了快速发展，从 2007 年的统计数据来看，我国已成为聚酰胺产品的生产和消费大国。例如，2007 年中国的聚酰胺产量占全球产量的 30%（见 Nylon chain Report 2008），为世界第一。由此可见，随着聚酰胺生产的发展和应用的扩大，我们将会预见到一个聚酰胺性能研究高潮的到来，希望本书能对从事有关聚酰胺塑料研究的读者有所帮助。

本书由清华大学化学工程系郭宝华教授、张增民教授、徐军副教授编著。段久芳、高兵、张冰清、李元婷、范劲松、王雁、陈孜铎、叶海木、万贤为本书的顺利出版提供了支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

受能力所限，书中的疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

目 录

前言	56
第1章 聚酰胺树脂历史及概述	1
1.1 聚酰胺树脂发展史	1
1.2 聚酰胺树脂概述	4
1.2.1 聚酰胺树脂的定义与命名	4
1.2.2 聚酰胺树脂的种类与特征	5
1.3 聚酰胺树脂的生产与应用	11
1.3.1 聚酰胺树脂的生产情况	11
1.3.2 聚酰胺树脂的应用	12
1.3.3 聚酰胺树脂的发展前景	29
参考文献	31
第2章 尼龙6	33
2.1 尼龙6的基本结构与制备方法	33
2.1.1 尼龙6的基本结构	33
2.1.2 尼龙6的制备方法	33
2.1.3 原料 ϵ -己内酰胺的制备	34
2.2 尼龙6的性能	38
2.2.1 尼龙6的基本物理性能	38
2.2.2 尼龙6的力学性能	40
2.2.3 尼龙6的表面特性	42
2.2.4 尼龙6的热性能	43
2.2.5 尼龙6的结晶性能	44
2.2.6 尼龙6的电性能	45
2.2.7 尼龙6的其他性能	46
2.3 尼龙6的用途及发展方向	46
2.3.1 尼龙6的用途	46
2.3.2 尼龙6的发展方向	49
参考文献	51
第3章 尼龙66	53
3.1 尼龙66的基本结构与制备方法	53
3.1.1 尼龙66的基本结构	53
3.1.2 尼龙66的合成工艺路线	53
3.2 尼龙66的性能	56
3.2.1 尼龙66的基本物理性能	56
3.2.2 尼龙66的力学性能	57
3.2.3 尼龙66的热性能	59
3.2.4 尼龙66的结晶性能	60
3.2.5 蠕变	63
3.2.6 疲劳特性	64
3.2.7 尼龙66的耐候性	64
3.2.8 尼龙66的电性能	65
3.2.9 尼龙66的化学性质	66
3.3 尼龙66的用途	68
参考文献	69
第4章 尼龙1010、11、12、610、612	71
4.1 尼龙1010	71
4.1.1 尼龙1010的制备原理和生产工艺	71
4.1.2 尼龙1010的结构与性能	72
4.1.3 尼龙1010的应用	74
4.2 尼龙11	77
4.2.1 尼龙11的反应原理及生产工艺	77
4.2.2 尼龙11的结构与性质	79
4.2.3 尼龙11的用途	82
4.3 尼龙12	83
4.3.1 尼龙12的反应原理和生产工艺	84
4.3.2 尼龙12的结构与性能	84
4.3.3 尼龙12的应用	86
4.4 尼龙610、612	86
4.4.1 尼龙610、612的生产工艺	86
4.4.2 尼龙610、612的结构	

与性能·····	87
4.4.3 尼龙 610、612 的应用·····	88
4.5 几种尼龙树脂的性质对比·····	88
参考文献 ·····	90
第 5 章 共聚酰胺及聚酰胺	
弹性体 ·····	92
5.1 共聚酰胺的主要类型 与制备方法·····	92
5.1.1 无规共聚酰胺·····	93
5.1.2 嵌段共聚酰胺·····	99
5.1.3 接枝共聚酰胺·····	101
5.1.4 功能型共聚酰胺·····	101
5.2 聚酰胺弹性体·····	104
5.2.1 聚酰胺弹性体的结构·····	104
5.2.2 聚酰胺弹性体的制备方法·····	106
5.2.3 聚酰胺弹性体的发展 与国内外研究现状·····	108
5.2.4 聚酰胺弹性体的主要性能 及应用·····	110
参考文献 ·····	111
第 6 章 铸型尼龙 ·····	117
6.1 铸型尼龙概述·····	117
6.2 铸型尼龙的生产工艺·····	117
6.2.1 聚合活性料的制备·····	119
6.2.2 聚合活性料的聚合成型·····	119
6.2.3 铸型件的后处理·····	123
6.3 铸型尼龙的性能及应用·····	125
6.3.1 铸型尼龙的性能·····	125
6.3.2 铸型尼龙的应用·····	134
参考文献 ·····	136
第 7 章 其他尼龙 ·····	137
7.1 芳香族聚酰胺·····	137
7.1.1 芳香族聚酰胺的历史、 现状和发展·····	137
7.1.2 芳香族聚酰胺的制备·····	139
7.1.3 芳酰胺纤维的结构与性能·····	140
7.1.4 芳香族聚酰胺的应用·····	141
7.2 尼龙 T 系列·····	144
7.2.1 尼龙 4T·····	145
7.2.2 尼龙 6T·····	145
7.2.3 尼龙 9T·····	146
7.2.4 尼龙 12T 和尼龙 13T·····	147
7.3 尼龙 46·····	149
7.3.1 尼龙 46 的制备·····	149
7.3.2 尼龙 46 的性质·····	150
7.3.3 尼龙 46 的主要应用·····	151
参考文献 ·····	152
第 8 章 尼龙系高分子合金 ·····	154
8.1 尼龙合金的制备原则·····	154
8.1.1 概述·····	154
8.1.2 聚合物合金的相容性·····	156
8.1.3 增容技术在尼龙合金 中的应用·····	159
8.1.4 合金配方设计·····	165
8.2 尼龙/聚烯烃合金·····	166
8.2.1 尼龙/聚烯烃合金的品种 和性能特点·····	166
8.2.2 尼龙/聚烯烃合金的 增容技术·····	167
8.2.3 典型的尼龙/聚烯烃 合金举例·····	171
8.2.4 尼龙/聚烯烃共混体系的 开发与应用·····	185
8.3 尼龙/聚酯合金·····	186
8.4 尼龙/聚苯醚合金·····	192
8.4.1 尼龙/聚苯醚合金的 开发现状·····	193
8.4.2 尼龙/聚苯醚合金的 技术进展·····	194
8.5 尼龙/弹性体合金·····	199
8.5.1 尼龙 6/弹性体合金·····	200
8.5.2 尼龙 66/弹性体合金·····	206
8.5.3 尼龙 11/弹性体·····	213
8.6 尼龙/ABS 合金·····	217
8.6.1 尼龙/ABS 合金的发展 历史及应用概况·····	217
8.6.2 尼龙/ABS 合金的增容 改性·····	218

8.6.3 尼龙/ABS 合金研制实例	226	10.2.2 纳米复合尼龙材料的 制备方法	290
8.7 尼龙/尼龙合金	231	10.2.3 尼龙/蒙脱土纳米 复合材料	293
8.7.1 尼龙6/尼龙66 合金	232	10.2.4 尼龙/其他粘土纳米 复合材料	300
8.7.2 尼龙6、尼龙66/长 碳链尼龙合金	233	10.2.5 尼龙/碳纳米管复合材料	301
8.7.3 长碳链尼龙之间的 共混合金	233	10.2.6 尼龙/其他纳米粒子 复合材料	302
8.7.4 结晶尼龙/非结晶尼龙	234	10.2.7 尼龙纳米复合材料 的应用	303
8.8 三元及多元合金	234	10.3 尼龙的反应加工改性技术	305
8.8.1 PA/PP/PS 三种 共混物的形态	235	10.3.1 概述	305
8.8.2 PP/PA6/PS 三元 共混物的性能	237	10.3.2 反应挤出成型	306
8.9 尼龙的其他合金	237	10.3.3 反应注塑成型	309
8.9.1 尼龙/PS 合金	237	10.4 尼龙的阻燃技术	315
8.9.2 尼龙/PVC 合金	237	10.4.1 概述	315
8.9.3 尼龙/PPS 合金	238	10.4.2 阻燃添加剂的种类	316
8.9.4 尼龙/PC 合金	238	10.4.3 尼龙的阻燃作用	332
参考文献	239	10.5 尼龙的增塑技术	332
第9章 填充增强尼龙	250	10.5.1 尼龙11 的增塑	333
9.1 填充增强尼龙概述	250	10.5.2 尼龙1212 的增塑	337
9.2 尼龙增强用填料	251	10.5.3 尼龙1010 的增塑	339
9.2.1 填料的作用	251	10.6 尼龙的反应增粘	341
9.2.2 填料的种类	251	10.6.1 概述	341
9.2.3 尼龙增强用纤维	252	10.6.2 异氰酸酯类扩链剂	342
9.3 尼龙的增强方法及尼龙 复合材料的物理性能	256	10.6.3 亚磷酸三苯酯扩链剂	344
9.3.1 增强方法	256	10.6.4 脂环族环氧树脂扩链剂	345
9.3.2 尼龙增强材料的物理性能	257	10.6.5 噁唑啉扩链剂	346
参考文献	274	参考文献	348
第10章 其他改性尼龙	277	第11章 尼龙的成型加工	353
10.1 阻隔尼龙	277	11.1 尼龙成型加工概述	353
10.1.1 概述	277	11.1.1 尼龙的基本性能特点	353
10.1.2 MXD6 尼龙	279	11.1.2 尼龙的加工特性	354
10.1.3 Selar RB 尼龙	282	11.2 尼龙的注塑成型	357
10.1.4 纳米复合阻隔尼龙	284	11.2.1 尼龙的注塑成型过程 与工艺设计原则	357
10.1.5 尼龙阻隔材料的应用	285	11.2.2 注塑成型设备	360
10.2 纳米复合尼龙材料	286	11.2.3 尼龙系列品种的注塑	
10.2.1 概述	286		

成型工艺.....	361	11.4.2 成型机.....	374
11.3 尼龙的挤出成型.....	366	11.4.3 成型条件与成型品特性.....	374
11.3.1 尼龙的挤出成型设备.....	366	11.4.4 制品的物理性能与应用.....	375
11.3.2 尼龙的挤出成型 工艺流程.....	366	11.5 尼龙的二次加工.....	376
11.3.3 尼龙管材、棒材的 挤出成型.....	368	11.5.1 接合.....	376
11.3.4 尼龙单丝挤出成型.....	369	11.5.2 表面装饰.....	377
11.3.5 尼龙薄膜的挤出成型.....	371	11.5.3 冷加工.....	378
11.4 尼龙的吹塑成型.....	373	11.5.4 尼龙加工应用 新发展方向.....	379
11.4.1 尼龙吹塑品种选择.....	373	参考文献	381

该所有有机化学师的负责人。他主持了一系列用聚合方法获得高相对分子质量物质的研究,从一系列缩聚反应中找出了能冷延伸成纤的巨大高分子。1935年,他以己二酸与己二胺为原料制得聚合物,由于这两个组分中均含有6个碳原子,当时称为聚合物66。他又将这一聚合物溶解后经注射针压出,在张力下拉伸成为纤维。这种纤维即聚酰胺66纤维。1937年公布了这项专利(USP 2,130,948),1939年杜邦公司实现工业化。1937年,德国法本(IG)公司的K. Schlack发现在水存在的条件下可进行 ϵ -己内酰胺聚合,由此产生了尼龙6。法本公司以这一发现为基础进行开发,以“Perlon”为名。1942年,BASF公司开发了尼龙6的工业化技术,但正规的工业化生产是在第二次世界大战以后,生产后定名为尼龙(Nylon),是最早实现工业化的合成纤维品种。

杜邦公司对尼龙用途的开发主要是纤维。1939年10月24日,杜邦在公司总部所在地公开销售尼龙丝长袜引起轰动,被视为珍奇之物争相抢购,人们常用“像蛛丝一样细,像铜丝一样强,像钢丝一样美”来形容这种纤维。至1940年5月,尼龙纤维织品的销售遍及美国各地。

第二次世界大战爆发到1945年,尼龙工业被转向制造降落伞、飞机轮胎、帘子布、军服等军工产品。由于尼龙具有诸多优点和广泛的用途,因此在第二次世界大战后发展非常迅速,成为三大合成纤维之一,其产品包括丝袜、衣着、地毯、渔网等。

日本在第二次世界大战期间受杜邦公司发明的刺激,成立了军事部门、产业和学校的共同研究体制,进行尼龙6的试生产。但正规的工业化生产也是在1951年,由东洋人造丝公司(现为东丽公司)开始的。

这样,尼龙以纤维用途为中心,在战后得到迅速发展,但作为塑料的发展比较晚。美国在第二次世界大战期间,在军事方面用尼龙作电线包覆材料、电缆和若干成型品,但以塑料制品为主的塑料用途的开发,直到1950年才开始。

1941年,杜邦公司开发了尼龙610。

1941年,Joyce和Haber发表了以碱金属和碱土金属为催化剂在240~250℃制备的专利,标志着可以由己内酰胺单体通过阴离子开环聚合制备尼龙(Melcor,即MCPA6、Polyamide 6、MCPA6)。1956年MCPA6产品开始进入应用领域,大量应用于汽车工业的滑动、传动部件,卫星地面接收装置上用的罩壳、潜水艇上用的潜望镜壳等。

第1章 聚酰胺树脂历史及概述

1.1 聚酰胺树脂发展史

聚酰胺树脂的历史，是由杜邦公司的卡罗瑟斯（Wallace H. Carothers, 1896-1937）开创的。1928年杜邦公司成立了基础化学研究所，年仅32岁的卡罗瑟斯博士受聘担任该所有机化学部的负责人。他主持了一系列用聚合方法获得高相对分子质量物质的研究，从一系列缩聚反应中找出了能冷延伸成纤的巨大高分子。1935年，他以己二酸与己二胺为原料制得聚合物，由于这两个组分中均含有6个碳原子，当时称为聚合物66。他又将这一聚合物熔融后经注射针压出，在张力下拉伸成为纤维。这种纤维即聚酰胺66纤维，1937年公布了这项专利（USP 2, 130, 948），1939年杜邦公司实现工业化。1937年，德国法本（IG）公司的P. Schlaack发现在水存在的条件下可进行 ϵ -己内酰胺聚合，由此产生了尼龙6。法本公司以这一发现为基础进行开发，以“Perlon”为名。1942年，BASF公司开发了尼龙6的工业化技术，但正规的工业化生产是在第二次世界大战以后。生产后定名为尼龙（Nylon），是最早实现工业化的合成纤维品种。

杜邦公司对尼龙用途的开发主要是纤维。1939年10月24日，杜邦在公司总部所在地公开销售尼龙丝长袜引起轰动，被视为珍奇之物争相抢购，人们曾用“像蛛丝一样细，像钢丝一样强，像绢丝一样美”来赞誉这种纤维，到1940年5月，尼龙纤维织品的销售遍及美国各地。

从第二次世界大战爆发到1945年，尼龙工业被转向制造降落伞、飞机轮胎、帘子布、军服等军工产品。由于尼龙具有诸多优点和广泛的用途，因此在第二次世界大战后发展非常迅速，成为三大合成纤维之一，其产品包括丝袜、衣着、地毯、渔网等。

日本在第二次世界大战期间受杜邦公司发明的刺激，成立了军事部门、产业和学校的共同研究体制，进行尼龙6的试生产。但正规的工业化生产也是在1951年，由东洋人造丝公司（现为东丽公司）开始的。

这样，尼龙以纤维用途为中心，在战后得到迅速发展，但作为塑料的发展比较晚。美国在第二次世界大战期间，在军事方面用尼龙作电线包覆材料、电缆和若干成型品，但以注塑制品为主的塑料用途的开发，直到1950年才开始。

1941年，杜邦公司开发了尼龙610。

1941年，Joyce和Ritter发表了以碱金属和碱土金属为催化剂在240~250℃聚合的专利，标志着可以由己内酰胺单体通过阴离子开环聚合制备浇铸尼龙（Monomer Casting Polyamide 6, MCPA6）。1956年MCPA6产品开始进入应用领域，大量应用于各种机械工业的滑动、传动部件，卫星地面接收装置上用的罩壳，潜水艇上用的推进器机壳，火车

上用的挡板,石油钻机上用的大型管座、井架座、阀座等领域。

1944年,尼龙11由法国 Societe Organico 公司开发成功,1955年由法国 Atochem 公司首先实现工业化生产,最初的用途是制作合成纤维,20世纪70年代以后用于制造工程塑料产品。

1958年,中国上海长虹塑料厂以蓖麻油为原料,成功研制出尼龙1010,1961年实现工业化生产,至今国外未见其同类产品。

1960年前后,为了提高尼龙的耐热性,杜邦公司等开始芳香族聚酰胺的研究,并于1967年将属于全芳香族聚酰胺的聚间苯二甲酰间苯二胺,给予“Nomex”的商品名,用作纤维和纸面布。接着,作为耐热型的有机高分子材料,具有当时最高的超高强度和高弹性模量纤维聚对苯二甲酰对苯二胺(Kevlar)于1972年实现了工业化生产,商品名为“凯夫拉”。凯夫拉的拉伸强度极高,是尼龙纤维的2倍多,它的出现提高了防弹衣的防护性能。这类全芳香族聚酰胺统称为芳族聚酰胺(Aramid)。

1964年,杜邦公司实现了聚酰胺亚胺的商品化。1971年,阿莫科(Amoco)公司实现了聚酰胺亚胺的商品化。聚酰胺亚胺是以酰亚胺键取代聚酰胺的一部分酰胺键,聚酰亚胺是以酰亚胺键取代聚酰胺全部的酰胺键,二者都可以提高尼龙的耐热性。

1966年,瑞士 ERASERALS 公司与德国 HULS 公司以丁二烯为初始原料,首先实现尼龙12的工业化生产,并形成独特的市场。

1969年,作为硬质透明尼龙的脂环族聚酰胺,由诺贝尔炸药公司(Dynamit Nobel)实现了商品化。

1972年,杜邦公司开发了尼龙612的生产技术。

1975年,荷兰 Twente 大学的 Gaymans 在实验室研究出一种可以合成纯白、高相对分子质量 PA46 的方法,此后荷兰 DSM 公司以 Gaymans 的研究为基础,于1984年正式开发了具有商业价值的 PA46 的制造方法,并于1986年建立了一座年产150t的试验工厂。

20世纪80年代初,为了克服尼龙由于结晶性(尺寸稳定性和冲击强度)及吸湿性大引起的缺点(尺寸稳定性和耐水性较差),高分子合金改性的研究逐步兴起。例如,用橡胶成分改性(杜邦公司的超韧尼龙等)和用聚苯醚改性(通用电气公司的“Noryl GTX”),或用高玻璃化温度的非晶性尼龙改性(杜邦公司的“Bexloy C”)的高分子合金等。

1987年,日本首次采用原位插层聚合法制备 PA6/粘土纳米杂化材料,此后各国掀起了开发纳米杂化材料的热潮,成功制备了多种聚酰胺纳米杂化材料。

20世纪90年代初,分子复合材料和功能材料悄然兴起。丰田公司、中研/宇部兴产公司开发的尼龙6/粘土、东丽公司开发的芳纶/PC、丰田汽车/三菱油化公司开发的聚合物 SOP 都是未来轿车用保险杠材料。这种分子复合材料在理论研究和实用研究中受到各国的高度重视。

1993年,日本研制出用40%~50%(质量分数)玻璃纤维、玻璃片和无机填料增强尼龙6,其弯曲弹性模量为 8×10^3 MPa。比利时 Allied Signal 公司研制的40%(质量分数)矿物填料增强尼龙6 Capron 8260 可进行镀铬,可用于汽车门把手、外部标志、车锁、车轮罩、办公家具、医疗仪器等产品。该公司还研制出了吹塑汽车“罩下部件”。

用的尼龙6。英国 BIP 公司用 15% (质量分数) 玻璃纤维增强改性尼龙 6, 使得其在 -40°C 下仍具有优良的冲击性能。美国 RTP Winona 公司开发的 Perma Stat 200A 尼龙 6 未添加炭黑便赋予了其持久的抗静电性, 可用于空调设备。

1999 年, 西班牙 Grupo Repol 公司与两家研究所合作, 开发了一种纳米级碳纤维增强 PA, 该纤维的名称为 GANF, 该气相生长的碳纤维增强 PA 用于汽车, 可以提供低摩擦系数、导热导电、电磁屏蔽等性能。

2003 年, 日本 Kuraray (可乐丽) 公司推出了 Genestar PA9T, 这是日本市场上销售的最早的半芳香族尼龙。至 2006 年, 该公司把日本 PA9T 的生产能力扩大到了 3000t/年。Genestar PA9T 具有更低的吸湿性能, 玻璃化转变温度较高 (125°C), 在高温下比 PA46 具有更好的韧性, 同时比 PA6T 具有更好的耐化学品性、耐油性及耐水解性, 并且其润滑性能和耐磨性能比其他尼龙更优越。

2005 年, 哥伦比亚特殊尼龙制造商 Shakespeare 特种聚合物公司推出了牌号为 Isocor HI25SC 的尼龙 614 树脂。尼龙 614 树脂具有非常低的吸湿率和好的耐化学品性, 该产品饱和态下的吸湿率仅有 0.85% (尼龙 610 的饱和态下吸湿率为 1.3%), 在潮湿环境下仍能保持其强度; 饱和态时的弯曲模量只降低了 10% (同样情况下尼龙 610 的弯曲模量降低了 35%)。

2006 年, 信息通信设备制造商富士通集团成功研发了一种聚酰胺材料, 该材料以法国阿克马 (Arkema) 公司生产的尼龙材料 Rilsan PA-11 为基础进行改进, 具有更好的柔性, 可以经受反复弯曲的考验, 可用于笔记本电脑和移动电话的小型配件中, 如连接器护套等软浸塑配件。

2006 年, Clariant 北美母料公司推出的尼龙新系列, 把韧性、加工方便和良好的表面抛光结合在了一起。这些新材料采用一种专用助剂, 能生产出一种半透明的材料, 使之能着色并具有优异的接触透明性。这些材料可以用于草坪/花园电动工具、家具、运动器具、电气产品、汽车内饰件等。

2006 年, Techmer PM 公司提供的牌号为 PNM9404 的尼龙 6 新品, 是添加有质量分数为 35% 炭黑的新型尼龙 6, 具有优异的耐光性能, 可作为食品级材料。该公司还推出了一组导电尼龙配混料, 保持了耐冲击性能和拉伸强度, 这种导电润滑级尼龙 Luvotech TLC90036 具有很高的热稳定性和耐冲击性能。

2007 年, 东丽公司成功开发出了可耐热 300°C 以上的无色透明聚酰胺薄膜, 该薄膜具有与玻璃同等的尺寸稳定性。通常, 聚酰胺因分子间很强的吸引力而表现出良好的耐热性, 但由于它吸收可见光会发黄, 所以不宜用作要求无色透明的光学薄膜。如果提高聚酰胺薄膜的透明性, 其耐热性和刚性将下降。相反, 具有高耐热性的无色透明聚合物, 其热膨胀系数高达玻璃的 10 倍以上, 因此, 很难同时实现耐热性、刚性和无色性。东丽公司使用自主研发的聚合物设计技术和精密制膜技术实现了这方面的突破。该工艺首先采用 CAC (Computer Aided Chemistry) 来设计聚合物, 在保持分子刚性的同时, 将变色原因——分子内电荷的移动降低到极限, 从而实现高耐热、高刚性且无色。在此基础上, 通过精密制膜技术——溶液制膜法, 在改善流延与溶剂除去工艺, 大幅提高透明

性的同时,又改进了延伸工艺与热处理工艺,从而提高了材料的刚性和尺寸稳定性。这样一来,实现了玻璃化转变温度 300℃ 以上、杨氏模量 10GPa 以上、热膨胀系数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下、全光线透过率 90% 以上的性能指标。新薄膜主要用作显示器用塑料底板,另外还用于光布线底板等的电路材料、太阳能电池、全息图像等多种领域。

为克服尼龙的脆性,日本东丽公司将两种高分子材料以纳米级尺寸混合在一起,开发出了一种具有吸收冲击力的新型材料,使其同时具有强度、刚性和与橡胶相近的吸能特性。该新型塑料具有特殊结构,在尼龙中添加直径为 200nm 大小的橡胶粒子,橡胶粒子中又含有直径为 20nm 大小的尼龙微粒和橡胶微粒。用这种塑料制成的汽车零件在撞击试验中,塑料没有碎裂,而只是发生了柔软变形。据悉,这种塑料除用作汽车耐冲击能量吸收材料外,还可应用于电气电子、体育用品等领域,预计 2010 年实现商品化。

近代工业的迅猛发展,尤其是汽车工业和电子电气工业的发展,对材料性能提出了许多新的要求,对塑料也同样提出了各种特殊的要求。为此,最近十多年来,塑料业兴起了通用塑料工程化和工程塑料高性能化的技术攻关研究热潮,促使塑料工业得到了很快的发展。尼龙塑料的品种和性能也得到了很大发展,如杜邦公司的 Zytel HTN (聚邻苯二甲酰亚胺,PPA)、尼龙 1212、尼龙 612、尼龙 1313、尼龙 6T、尼龙 9T、尼龙 4T 和三聚尼龙 6/66/12 等。在高性能化方面,可以满足高强度、高模量、高韧性、耐高温、高流动性、抗静电、电磁屏蔽、阻燃、导热和透明等特殊性能。

1.2 聚酰胺树脂概述

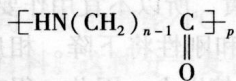
聚酰胺 (polyamide, 简称 PA) 为主链上具有酰胺键的聚合物,可由二元胺与二元酸缩聚、内酰胺开环聚合、氨基酸缩聚等方法得到。其中的线型聚酰胺俗称为尼龙。

1.2.1 聚酰胺树脂的定义与命名

聚合物的命名方法有习惯命名法和系统命名法。前者较简单方便,是最常用的方法;后者精确严谨,但较为繁琐复杂,一般较少使用。聚酰胺至今尚无统一的命名原则,一般根据其化学结构的特点,采用以下几种方法命名。

1. 脂肪族聚酰胺命名方法

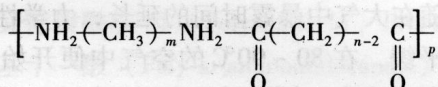
1) 由 ω -氨基脂肪酸缩聚及其内酰胺开环合成的高聚物称为聚酰胺 n , 通常称为尼龙 n , 记为 PAN, n 为重复单元的碳原子数目,其通式为



例如,用 ϵ -己内酰胺开环聚合的高聚物,重复单元的碳原子数为 6,该高聚物就叫做聚酰胺 6,通常称为尼龙 6 (PA6)。用由 ω -氨基十一烷酸合成的高聚物称为尼龙 11 (PA11) 等。

2) 由二元胺与二元酸缩聚得到的高聚物称为聚酰胺 mn , 通常称为尼龙 mn , 记为

PA m_n 。其中, m 为重复单元二元胺的碳原子数目, n 为重复单元二元酸的碳原子数目, 其通式为



例如, 由 1, 6-己二胺和 1, 6-己二酸缩聚得到的高聚物, 重复单元的碳原子数均为 6, 该高聚物就叫做聚酰胺 66, 通常称为尼龙 66 (PA66)。

2. 非脂肪族聚酰胺命名方法

(1) 二元胺与二元酸合成的高聚物 若二元胺与二元酸之一是脂肪族的, 则仍以碳原子数目表示; 若二元胺或二元酸是芳香族的, 则以它们的英文名简称表示, 再按上述原则组合命名, 即重复单元二元胺的碳原子数目简写在前, 二元酸的碳原子数简写在后, 组成聚酰胺的名称。间苯二甲胺的英文名称为 Metaxylylene diamine, 简称 MXD; 对苯二甲酸的英文名称为 Terephthalic acid, 简称 T。例如, 由间苯二甲胺和 1, 6-己二酸缩聚得到的高聚物称为聚酰胺 MXD6 (尼龙 MXD6)。由 1, 6-己二胺和对苯二甲酸缩聚得到的高聚物称为聚酰胺 6T (尼龙 6T)。

(2) 共聚聚酰胺 共聚聚酰胺的命名是以上述方法命名的聚酰胺名称组合而成的。共聚聚酰胺中的主要成分聚酰胺名称在前, 次要成分在后, 中间用斜线分开, 按比例从大到小排列, 括号内为组分比例。例如, 在尼龙 66 盐的基料中加入 1, 6-己二胺和对苯二甲酸生成共聚物, 称为尼龙 66/6T。

(3) 按习惯命名法 理论上所有聚酰胺都可以按习惯命名法进行命名, 例如, 聚酰胺 6 又可以叫做聚 ϵ -己内酰胺, 聚酰胺 66 又可叫做聚己二酰己二胺。不过通常还是用上述命名法命名。目前, 对全芳香族聚酰胺一般用习惯命名法命名。例如, 由对苯二甲胺和对苯二甲酸缩聚得到的高聚物称为聚对苯二甲酰对苯二胺。

1.2.2 聚酰胺树脂的种类与特征

尼龙中的主要品种是尼龙 6 和尼龙 66, 其产量占绝对主导地位, 其次是尼龙 11、尼龙 12、尼龙 610、尼龙 612, 另外还有尼龙 1010、尼龙 46、尼龙 7、尼龙 9、尼龙 13、尼龙 6T、尼龙 9T 和特殊尼龙 MXD6 (阻隔性树脂) 等。尼龙的改性品种数量繁多, 如增强尼龙、单体浇铸尼龙 (MC 尼龙)、反应注塑成型 (RIM) 尼龙、透明尼龙、高抗冲 (超韧) 尼龙、电镀尼龙、导电尼龙、阻燃尼龙、尼龙与其他聚合物共混物和合金等, 可以满足不同要求, 广泛用作金属、木材等传统材料的代用品, 作为各种结构材料使用。

下面简要介绍几种尼龙材料的特点。

1. 尼龙 6

尼龙 6 (Nylon 6), 又称聚酰胺 6 (Polyamide 6, PA6)、聚己内酰胺 (Polycaprolactam), 分子式为 $[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}]_n$, 是由 ϵ -己内酰胺聚合制得, 带有极性基团 (酰胺基: $-\text{NHCO}-$), 其中的氢能与另一个酰胺链段上的羧基形成牢固的氢键。它是一种

结晶性热塑性工程塑料,其熔点为215~225℃。尼龙6具有良好的物理力学性能,如较高的比强度,优异的介电性能,耐碱、大多数盐类、脂肪族烃类及芳香族化合物,韧性好。尼龙6耐候性一般,随在大气中暴露时间的延长,力学性能下降,但某些性能下降到某一数值后,便会趋于平缓,在80~90℃的空气中便开始氧化降解。尼龙6的弹性模量低,能吸收水和酸而产生溶胀,但同时具有增塑倾向。尼龙6是性价比比较高的树脂。

尼龙6主要作为注塑成型制品,用作汽车、机械和电气制品的功能性部件。除了用作注塑成型制品外,作为薄膜和单丝等挤出成型制品也被广泛使用。尼龙6纤维主要用于织造袜子、衬衫、内衣和手套等,也用于制造渔网、降落伞、绝缘材料和轮胎帘子线等。

2. 尼龙66

尼龙66 (Nylon 66),又称聚酰胺66 (Polyamide 66, PA66)、聚己二酰己二胺 [poly (hexamethylene adipamide)],分子式为 $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n$,由己二胺和己二酸缩聚制得。其综合性能好,具有强度高、刚性好、抗冲击、耐油及化学品、耐磨和自润滑等优点,尤其是硬度、刚性、耐热性和蠕变性能更佳,而且原料易得,成本低,因而广泛应用于工业、服装、装饰、工程塑料等各种领域。此外,其纤维可以用于安全气囊用丝、航空胎、特种胎、降落伞、军用帐篷、传送带、工业滤布、绳索、安全带及军工产品等领域。它比尼龙6的熔点高,耐热性优良,弹性模量较高,吸水率较低,作为成型制品的特性优于尼龙6,特别是由于其耐热性和耐油性好,适合于制作汽车发动机周围的机械部件和容易受热的电子电气制品的部件。尼龙66在车辆上的应用占63%,在电子电气和OA机上的应用占22%,在机械、光学方面的应用占5%,多属注射制品。

尼龙66作为工程塑料,市场销售增长率很快。国内生产的尼龙产品在力学性能方面均与国外产品相当,但其抗氧化性能较差,产品易变黄,给生产、使用和储存等均造成了诸多不便。郑州大学与神马集团联合开展了抗氧化尼龙66的研制与开发,提高了尼龙66的抗氧化性能。

尼龙66的玻璃纤维增强效果显著,注塑成型性能优于尼龙6,能高速注塑成型。其开发方向是以60%~65% (质量分数)增强材料或填料制备高刚性品级,以弹性体改进其韧性制备超高冲击强度品级,以及控制其结晶温度和结晶速度提高制品的表面粗糙度等级。玻璃纤维增强的尼龙66力学性能 (特别是韧性)好,适于做常用电子开关中的薄壁部件和按钮,还适用于做接插件及其他电子部件。高玻璃纤维含量、高强度的尼龙66的另一个应用是运输托盘,它要求高堆垛能力、高刚度和低变形。填充15%芳基酰胺纤维的尼龙66可以用作驱动齿轮和从动齿轮,它使用寿命长,且噪声低、磨损少,与金属齿轮相比价格更便宜。超韧性尼龙66在140℃贮存3000h,拉伸强度不变,且耐油性优良,适用于汽车吸气弯管、空气滤清器壳、油料分配管线及汽车发动机部件。高光泽度尼龙66制品已用于办公室器具和家具,此外还可用作耐高温和耐化学药品构件 (如汽车轮罩、镜框等)、冷却器水箱泵、开关、齿轮、汽车发动机构件、滚珠

轴承支架和滑冰鞋等。

3. 尼龙 11

尼龙 11 (Nylon 11), 又称聚酰胺 11 (Polyamide 11, PA11)、聚十一内酰胺 (Polyundecanoylamide)、聚 ω -氨基十一酸 (Poly- ω -aminoundecanoyl), 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}]_n$ 。它是以蓖麻油为原料, 由 ω -氨基十一酸缩聚而成的长碳链柔软尼龙, 在尼龙树脂中属于低熔点和低吸水性树脂。尼龙 11 具有耐油、耐化学腐蚀、耐高低温、耐磨、耐压、质轻、尺寸稳定性好等一系列优点, 尼龙 11 管路内壁光滑、阻力小、密封性好、不易疲劳开裂, 而且质轻、耐用、易于安装与维修。与其他尼龙相比, 尼龙 11 密度小、强度高、尺寸稳定性好、化学性能稳定、电绝缘性能优良, 因此可用于制作各种汽车用油管、软管、空压管、电路接合器、刮雨器、汽油过滤网、仪表盘、保险杠等数十种零部件。随着汽车塑料化的深入发展, 尼龙 11 已成为汽车制造的理想材料之一, 目前全球约有 50% 的尼龙 11 用于汽车工业。尼龙 11 粉末涂料涂覆于金属材料表面可以提供材料耐环境的性能。除此之外, 尼龙 11 还可应用于食品工业, 如制作速冻食品的容器、各种包装材料、牛奶等液体食品的传输管道等, 以及城市煤气管道、各种机械零件、医疗器材、体育用品等。尼龙 11 的生产技术一直被法国 Atochem 公司垄断, 导致其价格居高不下。

4. 尼龙 12

尼龙 12 (Nylon 12), 又称聚酰胺 12 (Polyamide 12, PA12)、聚十二内酰胺 (Polyaurylamide), 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_{11}\text{CO}]_n$, 由十二内酰胺开环缩聚制得。它是半结晶性热塑性材料, 其特性和尼龙 11 相似, 但晶体结构不同。尼龙 12 在尼龙树脂中属于低熔点和低吸水性树脂, 具有密度小、吸水低、柔软性好、尺寸稳定性好、能与金属粘合、流动性好, 有很好的抗冲击性、化学稳定性、耐摩擦磨损性、耐热性和耐油性, 阻燃性好、属自熄性材料, 熔点较低、易加工, 耐稀酸, 不耐浓酸, 耐碱性好, 耐溶剂性较好等特点, 广泛用于制造油管、软管、电线电缆包覆层, 光导纤维保护套、轴承支架、齿轮、精密部件、电子机器的部件、农药贮罐、稀酸容器、碱和油类贮槽、汽车刹车软管、离合器软管等。其薄膜可用于油脂和冷冻食品的包装, 制成粉末可用作金属表面防腐涂层。尼龙 12 亦可用于注塑成型, 但以挤出成型、吹塑成型和粉末涂装等用途居多。尼龙 12 与金属的粘接性优异, 所以可作为金属粘接用薄膜。尼龙 12 是很好的电气绝缘体, 并且和其他聚酰胺一样, 不会因潮湿影响绝缘性能。尼龙 12 有许多在塑化特性和增强特性方面的改良品种, 如石墨尼龙 PA12。石墨尼龙 PA12 和石墨尼龙 PA66、PA6 相比, 有较低的熔点和密度, 具有非常低的回潮率。

5. 尼龙 610 和尼龙 612

尼龙 610 (Nylon 610), 又称聚酰胺 610 (Polyamide 610, PA610)、聚癸二酰己二胺 (Polyhexamethylene sebacamide), 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_8\text{CO}]_n$, 由己二胺和癸二酸制成尼龙 610 盐 (Nylon 610 salt, Hexamethylene diamine sebacate) 后缩聚制得。尼龙 610 是一种热塑性树脂, 可用作工程塑料, 广泛用于制作齿轮、衬垫、轴承、密封材料、绝缘材料、胶板、薄膜、电器仪表等。

尼龙 612 (Nylon 612), 又称聚酰胺 612 (Polyamide 612, PA612)、聚月桂二酰己二胺 (Polyhexamethylene dodeca-1, 12-dioylamide), 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}]_n$, 由己二胺和月桂二酸制成尼龙 612 盐后经加压缩聚制得。尼龙 612 除了具有一般尼龙的特点以外, 还具有吸水性低、尺寸稳定性好等优点, 并且有较高的拉伸强度和冲击强度, 适合注塑和挤出成型, 主要用于制作单丝、电缆包覆、各种高精密度机械零部件、工具架、弹药箱、线圈骨架等。

与尼龙 66 相比, 尼龙 610 和尼龙 612 的亚甲基链长、熔点低、较柔软, 可制成玻璃纤维增强成型制品。因其具有优良的柔软性和耐磨性, 因而用作电线包覆或单丝等居多。

位于美国哥伦比亚的 Shakespeare 单纤维公司最近推出具有特种用途的新型尼龙 612 和尼龙 610 树脂。据介绍, 使用尼龙 612 生产出的 HG19SC 和 HG26SI 产品具有低吸水性、高体积稳定性和良好的绝缘性。其中, GH19SC 是一种低粘度树脂, 可用于成型汽车连接器和草坪、花园修整器部件; 而 HG26SI 是一种高粘度挤出产品, 可用于制造耐磨损单纤维制品、电缆护套、管材、薄膜等。该公司还有两种新的透明尼龙 610 的聚合物 CN3OBT 和 CN3OXT (紫外线稳定产品), 用以注塑成型或挤出薄膜, 两者都具有中等粘度并具有良好的透明性与耐溶剂性, 可用于制药、基因工程等研究中微成型的生物分析设备。

6. 尼龙 1010

尼龙 1010 (Nylon 1010), 又称为聚癸二酰癸二胺 [Poly(decamethylene adipamide)、Polydecamethylenesbacamide]、聚亚氨基癸二酰亚氨基十亚甲基 [Poly(iminoadi polyiminodecamethylene)], 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_{10}\text{NHCO}(\text{CH}_2)_8\text{CO}]_n$, 由癸二胺与癸二酸制成尼龙 1010 盐后缩聚制得。尼龙 1010 是中国在 1958 年研制的, 1959 年由上海赛璐珞厂最早投产。它是一种长碳链尼龙品种, 具有密度小、吸水率低、耐低温、耐磨、抗冲击等优点。尼龙 1010 的应用开发已经有多年, 广泛应用于代替金属制作各种机械、电气仪表、纺织器材等的零部件, 可以用注塑法制作齿轮、轴承、活塞环、叶轮、叶片和密封圈等, 亦可挤出制成管材、棒材和型材, 可以吹制成多种容器和薄膜, 还可熔融抽丝制成纤维制品。尼龙 1010 的相对密度和吸水性比尼龙 6 和尼龙 66 低, 机械强度高, 冲击韧度、耐磨性和自润滑性好, 耐寒性比尼龙 6 好, 熔体流动性好, 易于成型加工, 还具有一定的电气绝缘性和化学稳定性, 无毒。但其熔体温度范围较窄, 高于 100℃ 时长期与氧接触会逐渐呈现黄褐色, 且机械强度下降, 熔融态时与氧接触极易引起热氧化降解。

7. 尼龙 46

尼龙 46 (Nylon 46), 又称聚酰胺 46 (Polyamide 46, PA46)、聚己二酰丁二胺 (Polytetramethylene adipamide), 分子式为 $[-\text{NH}(\text{CH}_2)_4\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n$, 一般用 1, 4-丁二胺和己二酸制成尼龙 46 盐 (nylon46 salt; tetramethylene diamine adipate) 后缩聚制得。尼龙 46 是一种具有高耐热性的热塑性树脂, 有较高的热稳定性, 熔点为 300℃, 最高软化温度为 170℃, 抗冲击强度比尼龙 6、尼龙 66 和聚对苯二甲酸丁二酯要高两倍, 耐磨强度是尼龙 6 的 3 倍, 并具有优良的耐腐蚀性能。尼龙 46 的出现使其他尼龙工程

塑料大为逊色，被称为普通尼龙的强敌。尼龙常因吸水而产生尺寸变化和性能变化，尼龙46因含有较高浓度的胺基，吸水性稍高，但由于它有极高的结晶度，其吸水引起的尺寸变化远小于尼龙6。尼龙46在较宽的温度范围内都具有较好的刚性，在高温下冲击强度高、蠕变性低、结晶速度快、结晶度高、耐化学药品性较好，耐热性和弹性模量优于其他尼龙，但与尼龙66相比价格方面不利。由于尼龙46含有极高浓度的极性亚胺基，因此它与涂料的粘接性较好，这使其能够承受汽车部件、电子零件在线作业中整体烤漆时所需要的高温。尼龙46的摩擦磨损特性优良，适用于制作对耐摩擦、耐磨损要求较高的零件，如齿轮、轴承保持架、转动轮、轴承等，并且尼龙46具有较好的流动性，这使得它作为薄壁电子零件时能顺利地进行成型加工。以上这些优点使得尼龙46可用作工程塑料，制作耐高温纤维，制备能承受高温和机械重压的各种部件，如汽车、飞机等的发动机、内燃机和蒸汽机设备中的部件等，并越来越多地应用于电子电气等行业。

8. 共聚尼龙

共聚尼龙是嵌段共聚物，由相当长的软链段和硬链段在一个分子链内交替排列而成。硬链段是聚酰胺，如聚己内酰胺、聚十二内酰胺等；软链段是聚酯、聚醚等，通过共聚后形成主链为ABA型的嵌段共聚物。改变软、硬链段的长度，可控制共聚尼龙的结构和性能。它们熔点低，柔软，根据共聚比的不同，可以成为非晶性材料，亦可成为醇溶性材料。共聚尼龙可制得低结晶度、高抗冲性的制品。利用其耐磨耗性、自润滑性和低熔点的特点，可以用于制作轴承、齿轮等成型制品、电线包覆材料和粘接用薄膜等。与聚乙二醇等共聚得到的水溶性尼龙，可作为感光树脂印刷板材。

9. 单体浇铸(MC)尼龙

单体浇铸尼龙在结构上属于尼龙6，是由 ϵ -己内酰胺在碱催化下聚合制得。将己内酰胺置于充满氮气的容器内，加热熔化后，加入NaOH等催化剂和稳定剂于常压下注入150~200℃的模具中，聚合反应30min，即可凝结固化成型，用此法制成的尼龙称为MC尼龙。MC尼龙的聚合工艺根据制造方法的不同，可以分为常压法和减压法；根据脱水形式的不同，可以分为氮气法和真空法；根据浇铸状态的不同，可以分为静态法和动态法。

MC尼龙具有强度高、密度小、耐磨性能好、有自润滑性、吸振、抗冲击、耐热性好等优点，聚合成型工艺简便，可以自行浇铸，所需零件可直接浇铸成型或经少量切削加工即可成型，并且产品成本比钢材便宜得多，质量轻80%。与普通尼龙6相比，MC尼龙的结晶度较高。

纯的MC尼龙也存在一些不足，某些情况下不能满足实际应用的要求，如低温抗冲击性能较差、线膨胀系数大、导热系数低、易吸水；在高负荷条件下使用的零件，其耐磨性、自润滑性欠佳，磨损率较大；MCPA6的尺寸稳定性和热稳定性不是很好，常造成机械配合偏差，磨损加重，这些缺陷都大大限制了其应用范围。因此MC尼龙的改性成为一个热门的研究课题。MC尼龙新的成型工艺，如反应挤出、反应注塑成型、滚塑成型、离心浇铸成型等不断开发成功。