

切莫退而求其次

尼龙 66 (PA66) 与次优树脂的性能对比

尼龙 66 (PA66) 性能卓越, 尤其是出色的耐高温性, 使其广泛成为众多应用中的关键材料。在过去十年中, PA66 的需求率每年增长 3% 至 4%; 而这种增长势头预计将会持续。

由于需求持续增长以及其它市场因素, PA66 的供应在 2017 年和 2018 年收紧。一个主要原因是 PA66 的关键前体己二腈 (ADN) 的供应紧张。奥升德功能材料 (Ascend Performance Materials) 正通过增加投资以扩大己二腈 (ADN) 和 PA66 的产能来解决这一问题。

作为全球知名的一体化 PA66 树脂生产商, 奥升德对 PA66 的整个生产链进行了产能投资。2017 年和 2018 年, 奥升德扩大了己二腈 (ADN)、己二胺 (HMD)、PA66 树脂及混合改性料的产能。到 2022 年, 奥升德 PA66 的产能将再增加 10 万吨。这些扩建项目完成后, 将成为自 20 世纪 60 年代以来对 PA66 产能进行的最大投资。

奥升德正持续加大投入, 旨在把握市场的增长步伐, 以期在两年内缓解 PA66 供应紧张的情况。尽管如此, 一些客户仍然对 PA66 的短期供应紧张和成本上升有所顾虑, 因此开始寻找一些替代材料。

材料选择的考量因素包括性能、可加工性及其价值等。寻找替代材料将需投入大量精力和资源, 对替代材料的性能和加工特性等进行全面测试评估。能否真正找到一种替代材料, 不仅在长期使用中性能表现良好, 注塑成型效率高且保持性能稳定, 而其带来的经济价值远超自身每公斤的成本, 这无疑是一项巨大的挑战。

本文将就 PA66 相对于次优材料的性能、可加工性和价值等各方面进行分析。正因为替代材料中没有一款能够与 PA66 卓越的综合性能相匹配, 使 PA66 成为许多行业应用的理想材料。

次优材料

目前尚未有一款替代材料能够完全替换应用广泛的 PA66, 但有人建议了一些不同类型的工程塑料。最常见的建议有: 尼龙 6 (PA6)、聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) 和聚甲醛 (POM) 等。

将这些替代材料与 PA66 作一下直观的对比似乎一目了然: 比如熔点和可燃性。图 1 显示, 如果单独比较, 这些性能 (热性能除外) 看起来相似, 有些看起来相当近似于 PA66 在指定应用中的性能表现。

一些业内人士据此建议针对替代材料的不足进行设计, 听起来好像是一项微不足道的补缺工作。以高热环境下的汽车零部件应用为例。PA66 已成为首选材料, 因为随着汽车制造商创造的车辆更为高效, 发动机舱的热负荷急剧增加。为了能够承受瞬时和长期高温接触, 30% 玻纤填充的 PA66 被用于制造需要在苛刻条件下保持稳定运行的部件, 例如增压空气冷却器、管道和气缸盖罩等。尤其是, PA66 在车辆完整使用寿命周期可以保持稳定可靠的性能。

这些应用中被建议的次优材料是 PA6 和 PBT, 与 PA66 相比, 这两种次优材料的热变形温度低了近 50°C。如果换用这些材料中的任一种, 则汽车制造商需要设计全新的系统以减少发动机舱的热量。

“一些热塑性塑料供应商想抓住机会说服客户使用替代材料来替换 PA66 的应用,” 奥升德尼龙产品技术高级总监 Steve Manning 先生说道, “遗憾的是, 他们建议的一些简易替代材料, 事实上并不奏效。”

部件性能很少依赖于某项单一性能。例如, 电缆扎带注塑商不仅关注成品电缆扎带的抗冲击性或耐候性, 也关注原材料在注塑成型过程中的表现, 以及如何高效生产出无缺陷的电缆扎带。基于某项单一性能而替换材料通常是不可取的。

那么 PA66 卓越的综合性能是如何使其成为众多不同应用的首选材料的呢?

图 1. PA66、PA6、PBT 和 POM 的特性表

	单位	PA66	PA6	PBT	POM
一般特性		30% GF			
密度	g/cm ³	1.37	1.36	1.52	1.58
T _{max} 时的结晶速率	T _{1/2} 秒 ⁻¹	1.64	0.14	0.05	0.02
相对结晶速率	对比 POM	82 倍	7 倍	2.5 倍	1 倍
吸湿 (23°C; 24 小时)	%	0.9	1.9	0.15	0.2
机械特性		30% GF			
弯曲模量 (23°C)	MPa	9600	9500	9000	8600
拉伸应力 (断裂时 23°C)	MPa	195	180	130	106
拉伸应变 (断裂时 23°C)	%	3	3.5	2.5	2
冲击强度 (23°C; 悬臂梁缺口)	kJ/m ²	12	12	10	6.4
热学特性		30% GF			
T _g		10-50	10-50	45	-65
T _m	°C	260	220	225	170
T _c		220	172	188	150
HDT (1.8 MPa, 未退火)		250	200	205	160
电气特性		纯			
易燃性	UL 94	V2	HB	HB	HB
介电强度 (1.00 mm)	kV/mm	26	26	26	26
体积电阻率 (1.00 mm)	ohms-cm	1 x E15	1 x E15	1 x E15	1 x E15
CTI (3.00 mm)	V	>600	>600	399	>600
电热丝起燃性 (1.5 mm)	PLC	3	4	3	3
灼热丝起燃性 (1.5 mm)	°C	850	650	750	825
电气相对温度指数 (0.75 mm)	°C	130	125	130	105
强度相对温度指数 (0.75 mm)	°C	85	85	120	90
耐化学性		纯和 30% GF			
H ₂ O		E	F	F	F
弱酸		G	G	G	P
弱碱		E	E	P	P
强碱		F	F	P	P
有机溶剂		E	E	E	E
乙醇		G	G	G	F
烃		G	G	P	P
燃料		G	G	G	G
伽玛辐射		F	F	G	P
紫外辐射		F	F	F	P
加工特性		纯和 30% GF			
塑料收缩率					
错流: 23°C, 2.00 mm	%	1.80/0.90	1.80/0.90	1.70/1.00	1.70/0.80
流动: 23°C, 2.00 mm	%	1.70/0.40	1.70/0.30	1.60/0.30	1.60/0.40
粘度值	cm ³ /g	155	249	160	—
分子量	g/mol	226.32	113.16	220.23	30.3

来源: 行业文献

卓越的综合性能

选择 PA66 的主要原因是它能够在承受瞬时和长时间高温和高压后保持完整性, 因此, 它已成为高要求应用中的首选材料。其强度、密度、耐热性和耐化学性、电气性能和可加工性等综合性能, 使其成为众多应用(例如电缆扎带和电子接插件)中最合适的材料。

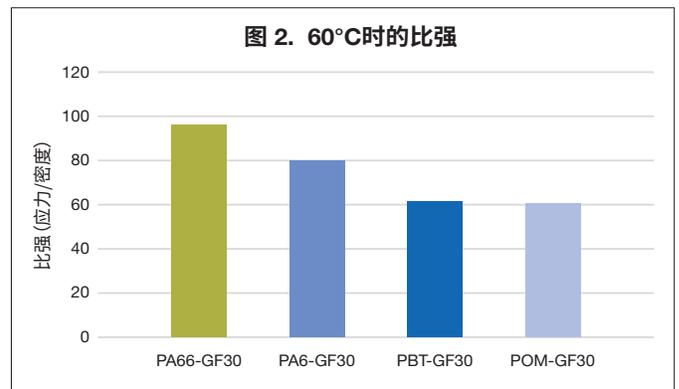
汽车: 更轻量、更坚固、更可靠

消费者对性能和舒适度的期望, 以及法规对燃油效率的要求, 使汽车制造商纷纷采用涡轮增压内燃发动机、混合动力传动系统和车身轻量化等解决方案。所有这些解决方案都需要依靠能够承受苛刻条件的可靠材料得以实现。这一点在涡轮增压内燃发动机车辆上最为明显。

为了在不牺牲性能的情况下提高燃油效率, 许多汽车制造商都要缩小发动机尺寸, 并加装涡轮增压器。结果导致发动机舱的工作温度升高。金属虽能够有效地控制热负荷, 但如果金属过重, 则会降低燃油效率。

使用 PA66 在减轻重量的同时, 也具备出色的高温表现和机械应力, 因而成为越来越多汽车制造商的首选材料。PA66 的比强比其他次优材料高很多。例如, 选择 30% 玻纤填充的 PA6 时, 可能需要增加约 21% 的材料, 才可匹配 60°C 时的 PA66 强度要求, 而 60°C 只是发动机舱的一般温度而已。PBT 和 POM 则更加不及 PA6, 分别需要增加 56% 和 59% 的材料。如果增加材料用量以期达到同等强度, 就会抵消使用热塑性塑料所节省的大部分重量的初衷。

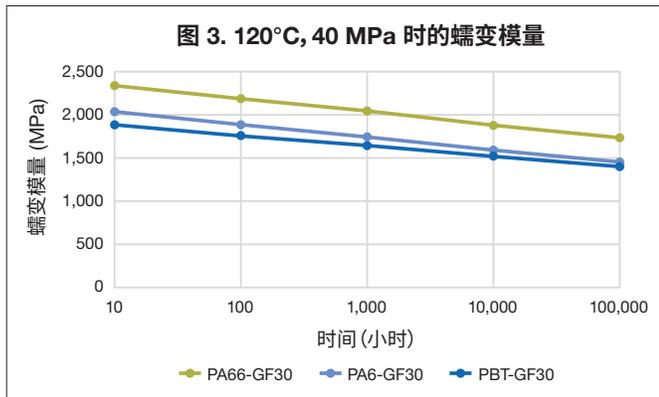
如此广泛多样的应用正是基于 PA66 卓越的综合性能。PA66 为客户实现了综合性能和成本之间的最佳平衡。以下列举了一些以 PA66 作为理想材料的应用, 并阐述了为什么替代材料可能无法满足要求。



次优于 PA66 的材料如果要达到 PA66 的强度, 需要使用更多该材料, 由此降低了节省整体重量的可能性。

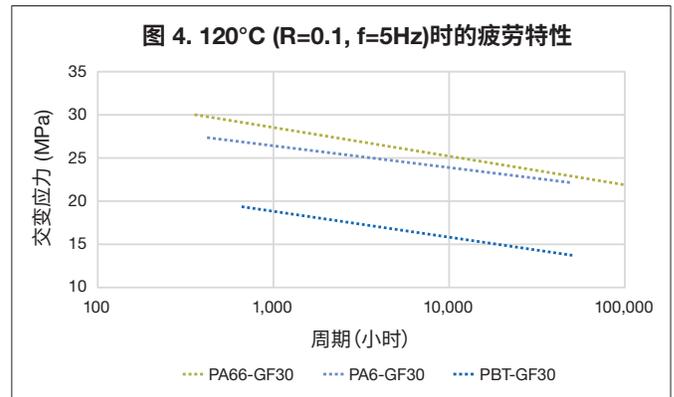
即使人们愿意放弃部分减重的可能性, 但次优替代材料制造的部件在可靠性上通常也不如 PA66。从蠕变和疲劳性能考虑, 很明显 PA66 比其他材料更好地处理恒定和周期性应力, 在车辆使用寿命期间提供更可靠的性能。

120°C 的条件下 PA66 的蠕变性能优于 PA6 或 PBT, 该温度完全符合三种材料的热变形温度范围。蠕变是在恒定负荷下材料变形的长期量度值。40 MPa 负荷时, PBT 在 10 小时后的蠕变模量约为 1,900 MPa。PA6 实现该蠕变模量值需要 100 小时出头, 而 PA66 需要 10,000 小时以上才会达到相同蠕变模量。这意味着, 采用 PA66 制作的部件保持稳定形态的时间是 PA6 的 100 倍, 是 PBT 的 1000 倍。对于油底壳或气缸盖罩等应用, 这种较高的抗蠕变性可以降低漏油或其他关键部件故障的可能性。



持续负荷和高温下, PA66 的表现明显优于 PA6 或 PBT。POM 的热变形温度较低, 不适合在高温环境下使用。

同样, PA66 在循环应力或疲劳下的性能优于 PA6 或 PBT。交变应力为 25 MPa 时, PA6 的循环次数为 30,000 次。相同应力条件下, PA66 可承受 100,000 次循环, 使用寿命几乎是 PA6 的三倍。120°C 条件下时, PBT 无法完全满足应力负荷。



在周期性负荷条件下, PA66 在超过一百万次循环中的性能优于次优材料。POM 的热变形温度较低, 不适合在高温环境下使用。

因此对于以坚固、可靠和轻量为主要特征的汽车零部件应用, 选择 PA66 材料的原因显而易见。PA66 制作的部件可承受更多应力、持续时间更长, 故障率优于次优材料。

“在汽车应用中, 主要考虑 PA66 的热性能, 但其承受巨大应力同时减轻总体部件重量的性能同样至关重要,” 奥升德高级技术副总裁 Vikram Gopal 先生表示, “因此, 我们可以在越来越多的汽车应用领域中看到它, 而不仅仅局限于发动机舱周边。”

电气和电子: 耐受性至关重要

对于电气和电子领域应用, PA66 卓越的综合性能赋予其独特的优势。电流产生热量, 用于引导电流的连接器和电线和其他基础设施必须能够承受持续暴露在高温环境下。此外, 鉴于电气系统发生故障的潜在危险, 材料在发生故障时的表现至关重要。

可通过一些国际标准确保电气设备中使用的材料符合临界安全阈值。这些标准中的材料分类决定了它的适用性。

例如, 美国汽车研究委员会 (USCAR) 基于材料对环境温度的承受能力, 对电气系统组件进行了分类。PBT 的 USCAR 温度分类 T2 至 T3 意味着它可以承受高达 125°C 的环境温度, 因此只适用于乘客舱。PA66 的 T5 分类表明它可以承受 175°C 的环境温度, 因此适用于任何汽车应用, 包括发动机舱的连接器和。

另一个重要标准是 UL 94, 对用于制造设备和装置内电子部件的塑料的易燃性进行了评级。PA66 的固有 UL 94 等级为 V2, 这意味着在发生严重故障时, 材料产生火焰的可能性较小。建议的次优材料的等级为 HB, 这意味着它们更易燃。阻燃添加剂虽然可以提高这些次优材料的性能, 但同时也提高了成本。

	单位	PA66	PA6	PBT	POM
一般特性					
易燃性	UL 94	V2	HB	HB	HB
介电强度 (1.00 mm)	kV/mm	26	17	22	26
CTI (3.00 mm)	V	600	600	399	>600
USCAR 分类		T5	T3	T3	T2

最后要介绍的是, 介电强度测定了一种材料在不分解的情况下所能承受的最大电压。PA66 的热阻性能轻松超越其它次优材料。

PA66 作为用于电气元件的材料, 其特性非常适合要求苛刻的应用。PA66 阻燃性更佳, 更高电压下绝缘性能更好, 并且能够更好地承受高环境工作温度。

“能源趋势的未来, 是更趋电气化的未来, 从高电压混合动力汽车和电动汽车到永不关机的智能设备,” 奥升德工程塑料事业部高级总监 Dharm Vahalia 先生表示, “在向电气化转型的过程中, PA66 确保了安全性和可靠性, 其重要性不言而喻。PA66 在电气应用方面的性能, 是任何次优替代材料都无法取代的。”

可加工性

当然了,如果材料本身很难用,这些特性就毫无意义。制造商注塑零部件的能力,依赖于通过可靠、稳定、经济的方式将聚合物加工成零部件。

在谈论原材料成本时,常常忽视材料在加工过程中的表现如何。

业内所建议的几种替代材料,都无法达到 PA66 出色的可加工性。低粘度、更高的结晶速率以及更快的冷却,使 PA66 的性能超越了各种次优材料。这种性能优越性的效益就是更快的周期时间,使制造商能够更快地注塑出更高质量的零部件。

	单位	PA66	PA6	PBT	POM
加工特性					
螺旋流	cm	76.7–101.4	39.1–106.9	17.0–35.0	29.9–35.0
T_{max} 时的结晶速率	$T_{1/2}$ 秒 ⁻¹	1.64	0.14	0.05	0.02
相对结晶速率	对比 POM	82 倍	7 倍	2.5 倍	1 倍

螺旋流测试测定了熔化的材料在 6.9 MPa 的固定压力下穿过螺旋模具的流动性。材料流的越远,灌装零部件模具时该材料的性能就可能越好。

PA66 的性能超越 PBT 和 POM 三倍之多,并且性能比 PA6 更稳定。对于加工来讲,这意味着 PA66 较任何替代材料都能更快、更完整且更可靠地灌装模具。

此外,PA6 在加工过程中受到其他因素的影响。在用己内酰胺生产 PA6 时,实现 100% 转化是极为困难的。残留的己内酰胺黏在模具上,可能导致零部件局部畸形。解决己内酰胺残留的问题,就要缩短周期时间,由此影响生产。

快速稳定地灌装模具,是缩短周期时间的第一步。而下一步是材料的结晶和冷却。

PA66 的结晶速度比 PA6 快 12 倍,比 PBT 快将近 33 倍,比 POM 快 82 倍。快速结晶意味着零部件硬化更快,能提前从模具中取出。

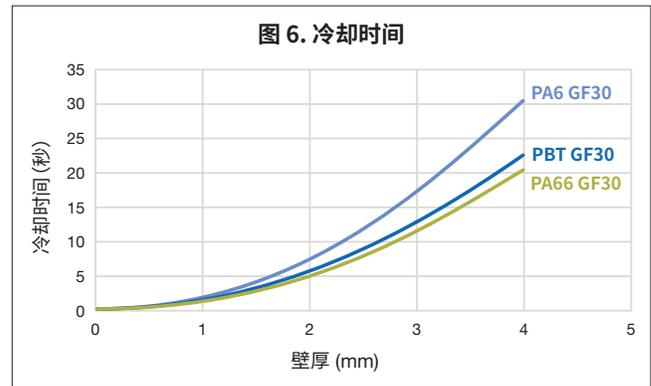
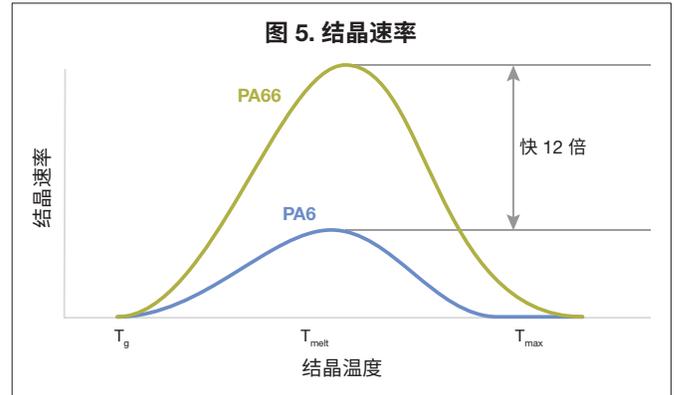


图 5 和 6: PA66 的快速结晶速率和更短的冷却时间, 意味着特定时段内比任何次优替代材料都能产出更多零部件。

价值

如前所述, PA66 的性能和可加工性在任何替代材料都无法替代的。涉及成品部件性能时, PA66 部件长期表现更可靠, 能够耐受更高的温度, 而且单位公斤强度更高。

替代材料则只能接近上述部分特性。例如, 增加 PA6、PBT 或 POM 的用量(分别增加 21%、56%、59%)可以匹配 PA66 的强度, 但是原材料成本也随之增加。

并且, 根据实际应用情况, 以替代材料注塑成品的故障率明显高于 PA66。如更换故障部件, 则会增加材料的长期需求, 并可能对制造商的声誉产生负面影响。

使用次优材料在每一项性能的妥协和权衡中都需要通过材料或其它成本的增加以实现期望的效果。任何加工方面的缺点都导致周期时间延长, 且需要换装, 由此增加了材料的实际成本。

以纯粹的“每公斤成本”来作对比与只考虑某一项特定特性一样, 都无法全面展示 PA66 相对于次优材料的优势。综上所述, 以次优材料替换 PA66 可能造成对产品性能的妥协, 而对成本也并没有积极地影响, 反而降低了整体经济效益。

切莫退而求其次

PA66 卓越的热性能、耐受性、强度、电气特性和加工特性使这种材料广受欢迎。其受欢迎程度加上其它市场因素, 导致 2017 年和 2018 年出现了供不应求。而随着各大生产商对 PA66 及其重要原材料的产能扩充, 供应紧张的状况有望在不久的将来得到缓解。

PA66 俨然已是各行各业不可或缺的材料, 而奥升德将继续加大投入, 研发新的 PA66 等级产品。新的更高耐热性、高流动性和阻燃等级进一步提升了 PA66 的性能、可加工性和价值。

当然, 即使 PA66 不断扩充产能, 替代材料依旧虎视眈眈。这些替代材料的生产商与 PA66 生产商一样, 都须依靠各自材料的成功来获取经济利益。

而在选择材料时单挑出两种或多种材料的单一特性进行对比, 则无法全面进行评估。PA66 卓越性能的关键就在于其综合的特性组合, 这也是其很难被取代的原因所在。

关于奥升德 (Ascend)

奥升德是全球知名的大型一体化尼龙 66 树脂生产商,也是高品质塑料、纤维和化学品的全球优质供应商。奥升德的产品种类丰富,从服装到安全气囊、从电缆扎带到电子接插件、从地毯到汽车零部件等各大领域,都有奥升德产品的应用。

北美洲

1010 Travis Street, Suite 900
Houston, TX 77002
United States

+1 713 315 5700

欧洲

Watson & Crick Hill Park
Rue Granbonpré 11 – Bâtiment H
B-1435 Mont-Saint-Guibert
Belgium

+32 10 608 600

亚洲

Unit 3602
Raffles City Office Towers
268 Xi Zang Road (M)
Shanghai 200001
China

+86 21 2315 0888



如需了解更多信息,请联系我们产品应用专家或者访问
ascendmaterials.com。

© 2019 Ascend Performance Materials Operations. Ascend Performance Materials 和 Vydyne 标志和徽标均为 Ascend Performance Materials Operations 的商标或注册商标。

本文所述信息和建议(以下简称“信息”)是出于善意并且在本文发布之日被认为是正确的,但 Ascend Performance Materials Operations 对其完整性或准确性不作任何保证或承诺。有关完整免责声明,请访问 ascendmaterials.com/disclaimer, 2019 年 5 月修订

点亮每一天