

®  
**IXEF**



基于聚芳香酰胺的增强型复合物

# 技术手册



## 概述

---

### IXEF®: 基于聚芳香酰胺的增强型复合物

尽管不同牌号的特性各异，但所有采用 IXEF 复合物制作的部件的突出特征均可归纳为：

- **非常高的刚度**  
在 20 °C 时，拉伸模量高达 23 GPa。
- **卓越的耐机械应力性能**  
在 20 °C 时，挠曲强度可达 400 MPa。
- **加工容易，即使薄壁也一样**  
优良的注塑能力和高的生产力，即使采用高纤维含量也一样。
- **低的模具收缩率，高的可重复性**  
可实现精确成型、没有凹陷及精密的尺寸公差。
- **微型化部件的概念**  
可注塑具有刚度的复杂、细小形状。
- **优异的表面光泽性**  
增强的产品具有优异的表面外观，即使采用高的玻璃纤维含量也一样。
- **非常低的线性热膨胀系数**  
其值可与金属相比。
- **高的热机械特性**  
在 140 °C 时，挠曲模量高达 7 GPa。
- **非常低的蠕变性**  
例如，在 50 °C 和 50 MPa 作用下 1000 小时之后，某些复合物的变形小于 1 %。
- **吸水速率缓慢**  
与所有聚酰胺一样，聚芳香酰胺对水有一定的敏感性。尽管如此，与采用 PA 6 和 PA 66 模塑的部件相比，聚芳香酰胺的半芳香性质在 IXEF 复合物中仅产生较低且较缓慢的吸水性，而前者对湿度要敏感得多。

# 目录

<b>IXEF 概述</b>	1	<b>IV. 耐环境性</b>	
<b>IXEF® 产品系列的命名</b>	4	A- 耐化学性	26
<b>I. 机械特性</b>		1- 耐水性	26
A- 引言	5	2- 耐汽车工作液	30
1- IXEF, 一种复合材料	5	• 耐汽油性	30
2- IXEF, 一种半结晶性材料	6	• 耐机油性	31
B- 短期机械特性	8	B- 各种试剂	32
1- 拉伸特性	8	C- 热老化	34
2- 挠曲特性	11	D- 自然老化	35
3- 冲击特性	12	E- 加速老化	36
C- 长期机械特性	14	F- 食品和水接触认证	37
1- 拉伸蠕变	14	1- NSF 51	37
2- 疲劳	15	2- BS 6920	37
		3- 欧洲标准	37
<b>II. 物理特性</b>		G- 其它认证	38
A- 密度	16	1- 微生物培养	38
B- 线性热膨胀系数	17	2- 汽车认证	38
C- 硬度	18	3- ISO 9002	38
D- 摩擦和磨损		<b>V. 与竞争性材料的比较</b>	
1- 摩擦系数	19	A- 热可塑性工程材料	39
2- 耐磨性	19	B- 轻合金	40
<b>III. 电特性和燃烧行为</b>		<b>VI. IXEF 复合物的加工</b>	
A- 电特性	20	A- 注塑成型	41
1- 体积电阻率	20	1- 水分含量和干燥	42
2- 介电强度	20	2- 设备温度	43
3- 介电常数和介电损耗角	20	3- 塑化阶段	45
4- 相比漏电起痕指数	20	• 温度	45
B- 保险商实验所 (UL) 和 IEC 216	22	• 螺杆速度	45
1- 相对热指数 (RTI)	22	• 背压	45
2- UL 94	22	4- 注塑阶段	46
3- 热丝点燃试验 (HWI)	22	5- 保压阶段	47
4- 大电流电弧点燃 (HAI)	22	6- 冷却阶段	48
5- 高压电弧起痕率 (HVTR)	22	7- 添加剂	48
6- 高压 / 低强度耐电弧性	22	• 润滑剂	48
7- 相比漏电起痕指数 (CTI)	22	• 色母料	48
8- 基于 IEC 216 标准的热稳定性	23	• 发泡剂	48
C- “燃烧” 分类	24	8- 回收	49
1- 依照 UL 94	24	9- 常见加工问题的解决方案	50
2- 极限氧指数	24		
3- 发光金属丝试验	24		
4- 依照 SNCF-RATP 标准	25		
5- 航空	25		

B- 注塑成型设备	51
1- 注塑设备	51
• 合模力	51
• 料筒	51
• 螺杆	51
• 止逆阀	52
• 喷嘴	52
2- 模具	53
• 制作材料	53
• 热调节	53
• 流道	54
• 注塑浇口	55
• 排气口	57
• 顶针	57
• 分型线	57
C- 安全措施	57

## VII. 部件设计

A- 应力的估算	58
1- 拉伸应力	59
2- 梁的挠曲应力	59
B- 部件的设计	61
1- 壁厚	61
2- 脱模角度	62
3- 内拐角半径	63
4- 加强筋结构、凸台、孔	63
C- 收缩率和公差	65
1- IXEF 聚芳香酰胺的收缩率	65
2- 尺寸公差	66
D- 装配技术	67
1- 机械装配技术	67
• 嵌入模塑	67
• 拉扣件配合装配	67
• 螺纹装配	67
2- 焊接装配	68
3- 粘合装配	69
E- 装饰技术	71
1- 烤漆喷涂	71
2- 金属化	71
3- 复合物的彩色成型料	71
F- IXEF 复合物的机加工	72

## IXEF 产品系列的命名

IXEF 复合物由不同的产品系列组成，基本上都适合注塑成型：

牌号	特性
<b>IXEF 1000 系列</b> IXEF 1002 IXEF 1022 IXEF 1023 IXEF 1025 IXEF 1027 IXEF 1028 IXEF 1032	<b>采用玻璃纤维增强的复合物</b> 30% 玻璃纤维 50% 玻璃纤维 50% 玻璃纤维；紫外稳定适合内部用途 50% 玻璃纤维；紫外稳定适合外部用途 50% 玻璃纤维；热稳定牌号 50% 玻璃纤维；可激光印刷 60% 玻璃纤维
<b>IXEF 1500 系列</b> IXEF 1501 IXEF 1521	<b>玻璃纤维增强的阻燃复合物 (UL 94 V-0)</b> 30% 玻璃纤维 50% 玻璃纤维
<b>IXEF 1600 系列</b> IXEF 1622	<b>增强的耐冲击改性复合物</b> 50% 玻璃纤维和部分弹性体成份
<b>IXEF 2000 系列</b> IXEF 2004 IXEF 2011 IXEF 2030 IXEF 2057	<b>单独矿物增强 或与玻璃纤维联合增强的复合物</b> 65% 矿物和玻璃纤维增强物 矿物增强 55% 矿物和玻璃纤维增强物 矿物增强
<b>IXEF 2500 系列</b> IXEF 2530	<b>含矿物增强物和 / 或玻璃纤维的阻燃复合物 (UL 94 V-0)</b> IXEF 2030 牌号的阻燃规格
<b>IXEF 3000 系列</b> IXEF 3006	<b>采用碳纤维增强的复合物</b> 30% 碳纤维
<b>IXEF 5000 系列</b> IXEF 5002	<b>采用玻璃纤维增强的复合物，自润滑</b> 20% 玻璃纤维，含 PTFE

\* 本列表并不详尽：还可根据需要提供为适合特殊用途或市场而定制的其他牌号。

## 1 - IXEF，一种复合材料

IXEF 复合物是一系列玻璃纤维或者矿物填充增强的热塑性产品，不同牌号的产品特性会有很大的差别。

IXEF 聚芳香酰胺是复合材料。注塑成型的部件不是各向同性的，相反却显示出“分层的”结构。

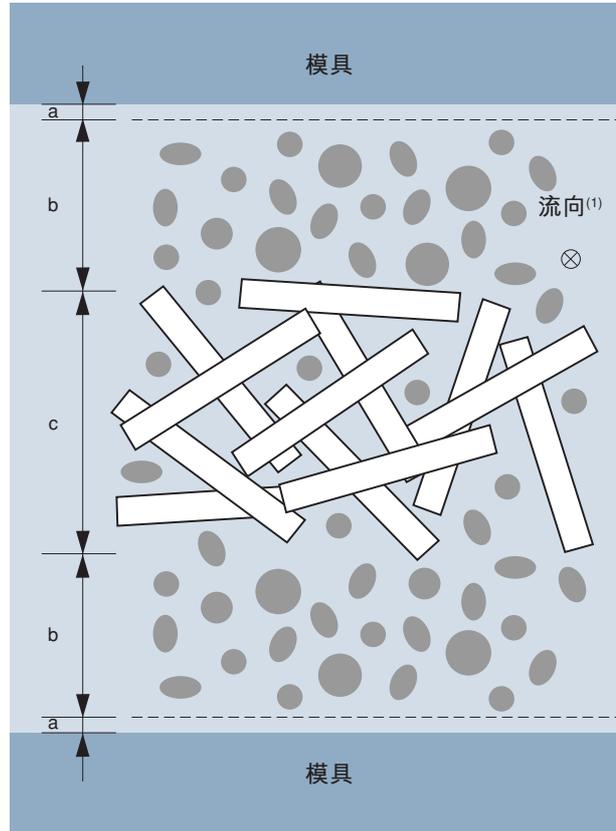
在垂直于流动方向的部件截面上，可以看到一系列的层（图 1）：

- a. 首先是表皮区，它厚约 1 微米，由纯聚合物组成，构成了部件的表面外观。
- b. 其次是中间层，这里的纤维明显在流动方向上取向，这是由注塑过程中的剪切应力造成的，在接近模具腔壁的地方剪切应力最大。
- c. 最后是中心区，这里的纤维倾向于在垂直于流动方向的平面上取向（因为处于部件中间的纤维受剪力影响的程度较小）。

取向层的定性和定量分布主要受以下参数影响：

- 模穴厚度。厚度越薄，在流动方向上取向的玻璃纤维就越多。
- 材料的流变和热性能。材料温度或者模具温度的升高会使表皮区加厚，这可改善表面外观。
- 加工条件。注塑速度越快，在流动方向上取向的纤维就越多。

图 1: 注塑部件的截面



(1) 注释：材料流动垂直于截面

## 2 - IXEF, 一种半结晶性材料

所有 IXEF 复合物所用的树脂都是半结晶性聚合物：聚芳香酰胺。“半结晶性”表示它有结晶相（对应于大分子在空间上排列有序的母体区）和无定形相（以大分子杂乱无章的排列为特征）（图 2）。

在不同的温度及 / 或应力速度下，固体半结晶性聚合物可表现出不同的形态：

- 玻璃态（玻璃转化温度（ $T_g$ ）以下的区），此区内的大分子在理论上是凝固的，无论它们是属于无定形相或是结晶相。
- 橡胶态（ $T_g$  和熔融温度（ $T_f$ ）之间的区）：可以认为无定形相已处于液态（大分子可运动），而结晶相中的大分子仍是凝固的。

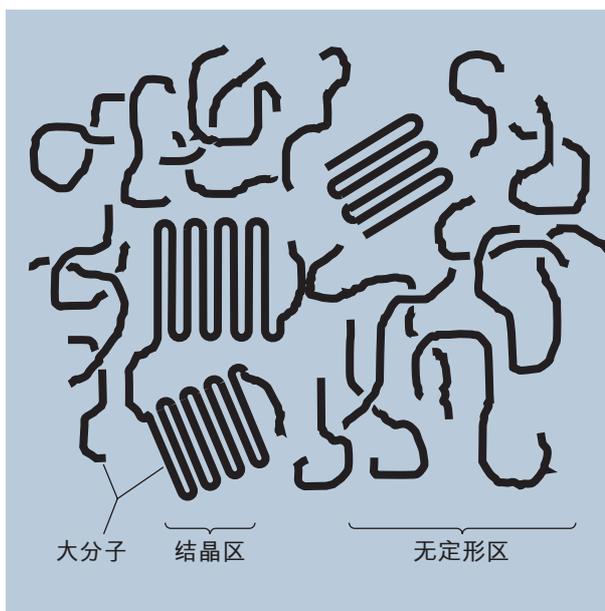
因此，玻璃转化温度是以状态的改变为特征的：从玻璃态变为橡胶态。熔融温度所对应的是结晶的熔融。

结晶的程度主要取决于材料的受热历程，尤其是成型参数：加工温度、模具温度、成型周期、成型后的后处理（退火）。

为了在正常注塑成型条件下获得高结晶度的 IXEF 复合物，必须将模具温度设在 120 到 140 °C 之间。

在这些条件下，注塑件显示出优良的尺寸稳定性、超常的表面外观，且在高温下也能表现出良好的机械特性（见第 VI.A.2. 部分）。

图 2: 半结晶性聚合物中的结晶区和无定形区示意图



相反，如果模具温度低于 120 °C，则不会在其整个厚度范围内都达到最大的结晶水平。如果这些注塑件随后暴露于其玻璃转化温度以上，那么它们会结晶然后经历退火过程，这将影响其尺寸稳定性。吸水会降低玻璃转化温度从而加剧了这种现象的产生。

因此，无定形态不如结晶态稳定：尺寸会随时间而发生变化，且对溶剂和水非常敏感。

结晶现象可以用差示扫描量热法 (DSC) 来研究。此分析方法采用在相同的加热和冷却速度下比较参考材料和试验材料所吸收或者释放的能量。

下图比较了用 120 °C（高于 T<sub>g</sub>）的模具注塑成型的 IXEF<sup>®</sup> 聚芳香酰胺部件的 DSC 分析图（图 3）和用 60 °C（低于 T<sub>g</sub>）的模具注塑成型的同一部件的 DSC 分析图（图 4）。

对于模具温度为 60 °C 的注塑部件，在 90 °C 附近的峰对应于塑料结晶时所释放的能量，这部分塑料在注塑时没有完全结晶。对于模具温度为 120 °C 的 IXEF 注塑部件，就没有出现此峰。

图 3: 模具温度为 120 °C 的注塑部件的 DSC 分析

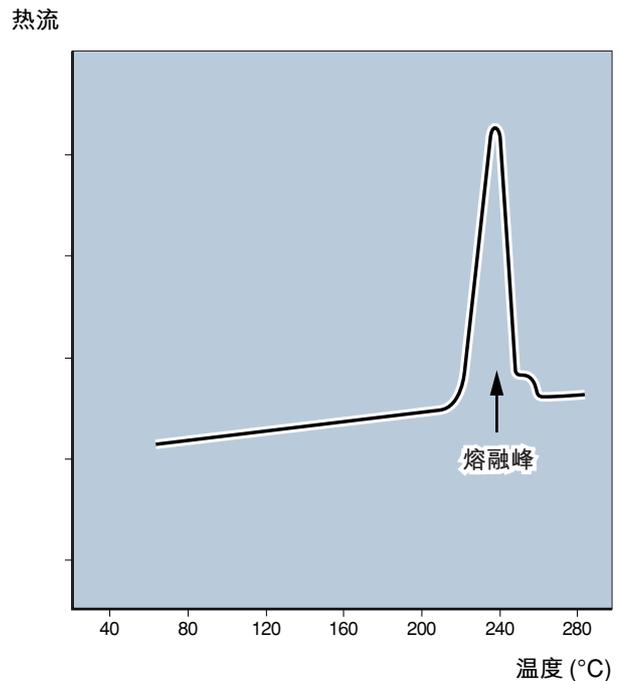
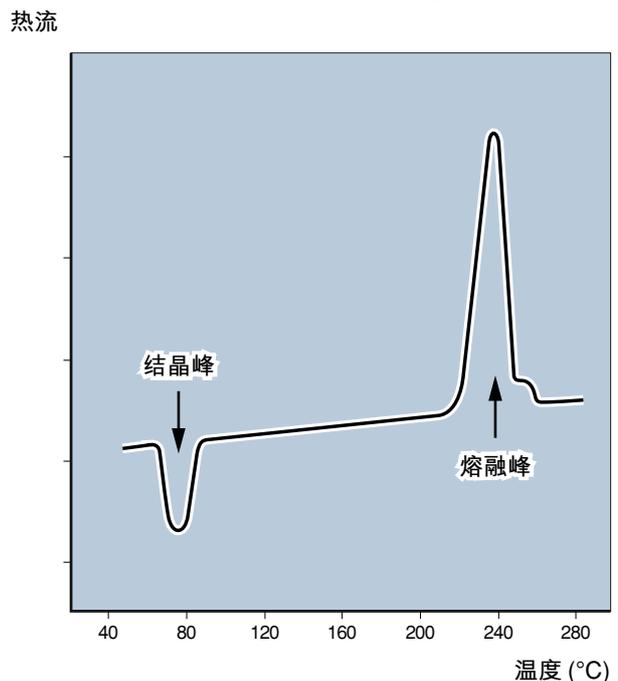


图 4: 模具温度为 60 °C 的注塑部件的 DSC 分析



## B - 短期机械特性

### 1 - 拉伸特性

在所有的机械特性试验中，拉伸特性是最常进行试验的项目之一，拉伸时试样被施以均匀的单向轴向力 (ISO 527)。

拉伸试验是以恒定的速度使试样产生变形来进行的，可以从中确定以下几个重要的参数：

- 拉伸模量 E
- 断裂应力  $\sigma_R$
- 断裂伸长率  $\varepsilon_R$

图 5 是应力 [ $\sigma_R$ ] - 应变 [ $\varepsilon_R$ ] 图，显示出 IXEF® 复合物并未表现完全弹性材料行为。相反，它们表现出粘性部分低的粘弹性行为。

如表 1 所示，IXEF 复合物具有很好的拉伸机械特性。

拉伸试验也可测定垂直于应力方向的泊松比（当材料被拉伸时在宽度方向的收缩与长度方向的增加的比值）。

$$\nu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

在基准条件下（20 °C，干燥样品），IXEF 1022 牌号的平均值为 0.35。

图 7 是温度对 IXEF 1022 复合物拉伸机械特性的影响。

这两条特征曲线都随着温度的增加而下降，曲线急剧下降，并在聚芳香酰胺玻璃转化温度 (85 °C) 处出现拐点。

由于 IXEF 复合物中纤维的存在，注塑成型部件中表现出各向异性的机械行为。

一般而言，玻璃纤维倾向于在流动方向上取向（见第 I.A.1 部分和图 6）。在这个方向上机械特性因此也是最大的。

图 8 显示了用膜状浇口注塑的试板的拉伸机械特性 ( $\sigma_R$ , E) 变化与复合物流动方向的关系。

表 1: IXEF 牌号 (DAM) 的拉伸特性 (ISO 527)

类型	$\sigma_R$ (MPa)	$\varepsilon_R$ (%)	E (GPa)
1002	190	2.0	11.5
1022	255	1.9	20
1032	280	1.8	24
1501	185	2.3	13
1521	230	1.9	20
1622	235	2.6	17
2011	140	1.3	18
2030	140	1.2	21.5
2057	100	1.6	12
2530	150	1.2	20

图 5: IXEF 类型复合物拉伸强度 ( $\sigma$ ) 和伸长率 ( $\epsilon$ ) 的函数关系

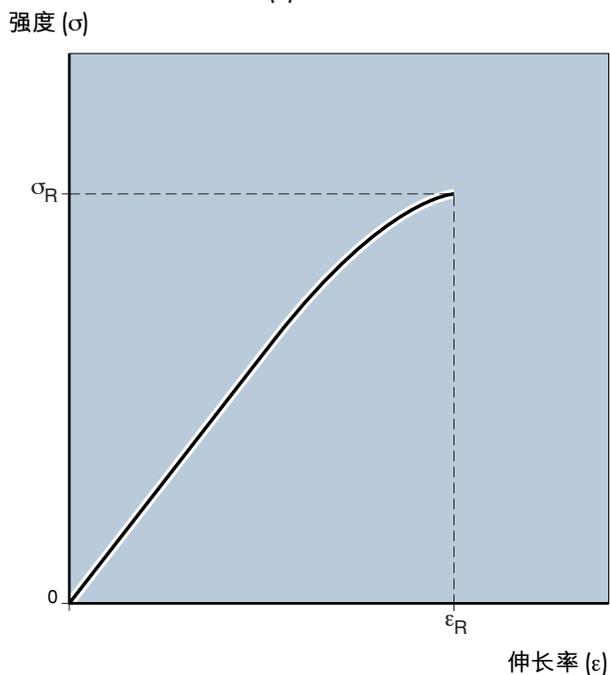


图 6: 用于测量强度和施力角函数关系的试板

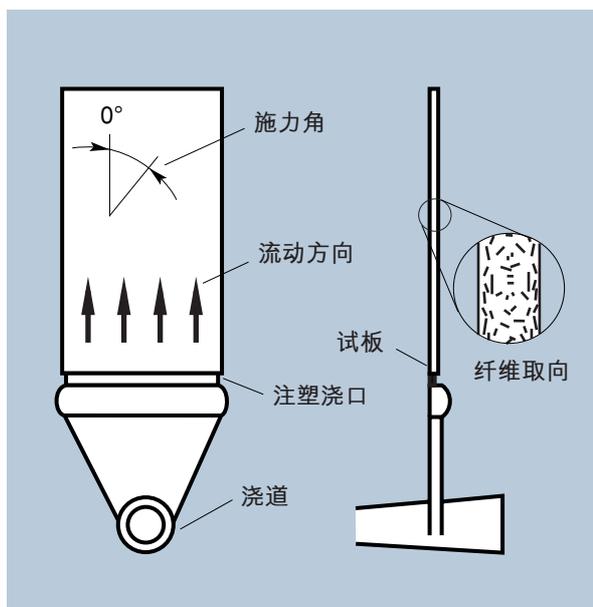


图 7: 以温度为函数的 IXEF 1022 (DAM) 拉伸特性

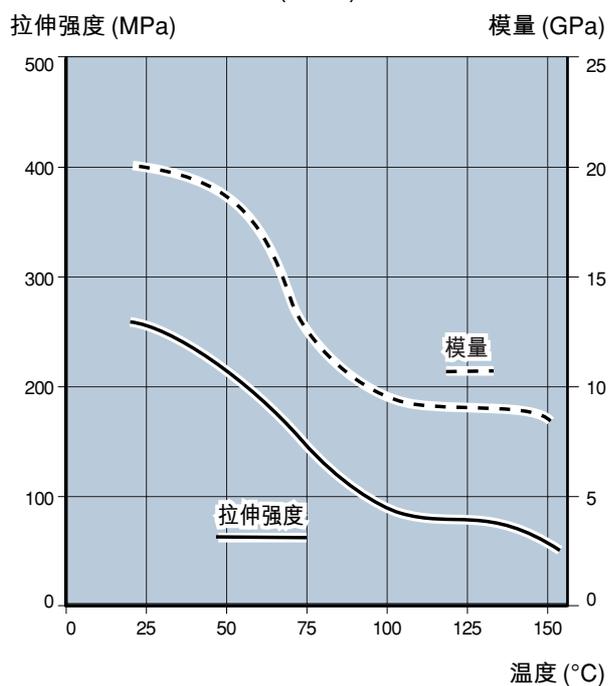
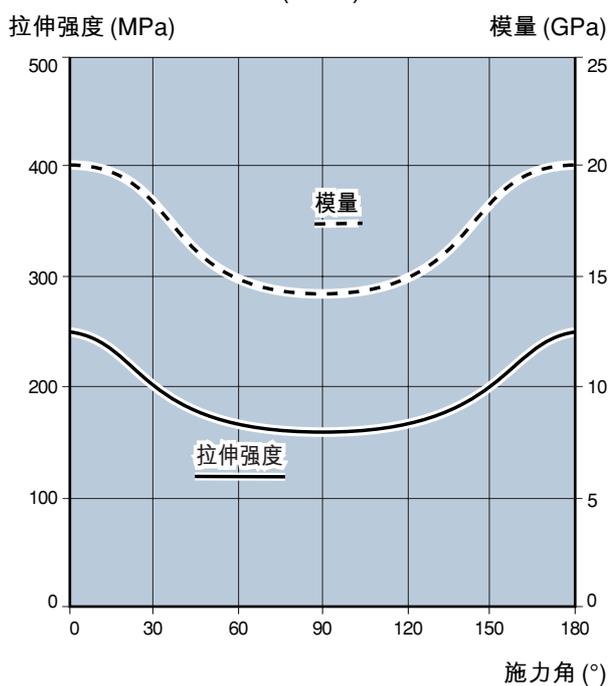


图 8: 以施力角为函数的 IXEF 1022 (DAM) 拉伸特性



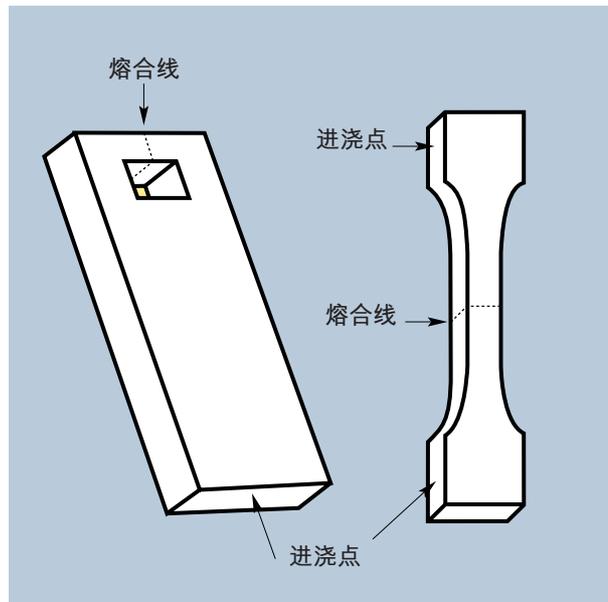
熔合线是由两股熔融的材料流体迎面汇合而形成的。在注塑成型时,熔合线的形成出于多浇口或者模具中嵌入件的存在(图9)。这种熔合线对包括 IXEF 在内所有玻璃纤维增强的热可塑性材料来说,构成了其薄弱点。

通过采用适当的加工条件(见第 VI.A 部分)、适当排气(见第 VI.B.2 部分)或者采用溢料耳,可改变整个熔合线的流型,因此使沿熔合线的机械强度达到最大。

也可以通过改进部件的设计,使熔合线出现在受力较少的地方。

在熔合线严重的情况下,大部分 IXEF 牌号的断裂拉伸强度大约为 90 MPa。显然,熔合线的质量是一个决定性的参数。

图 9: 熔合线举例



## 2 - 挠曲特性

挠曲试验通常是依照 ISO 178 或者 ASTM D 790 标准进行的。挠曲试验所测量的两个基本特性参数是：挠曲模量和挠曲强度。实际上这个试验是综合了压缩、拉伸和剪切应力。

挠曲试验得到的挠曲强度值要大于拉伸试验中测得的该值。这种现象可以用几个因素的组合效应来解释：

- “分层的”结构（见第 I.A.1 部分）。
- 在试样表皮存在的残余内部压缩应力和试样中心存在的拉伸应力（产生于注塑成型过程）。
- 由于应力分散的结果，其塑化效应要比拉伸试验中显著。

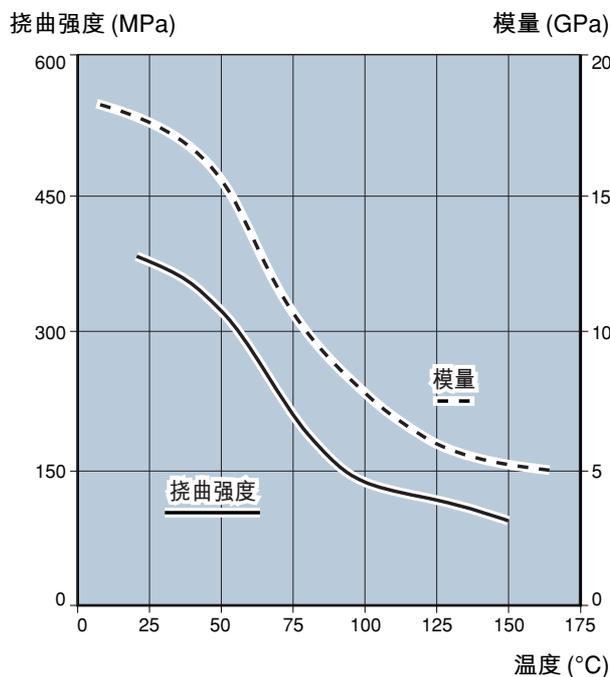
表 2 提供了对不同 IXEF® 复合物的测量值。

图 10 显示了以温度为函数的 IXEF 1022 牌号的挠曲强度和挠曲模量值。

表 2: IXEF 牌号 (DAM) 的  
挠曲特性 (ISO 178)

类型	$\sigma_R$ (MPa)	E (GPa)
1002	280	11
1022	380	18
1032	400	21
1501	275	11.5
1521	340	18.5
1622	370	17
2011	240	16
2030	220	19
2057	170	11.5
2530	220	20

图 10: 以温度为函数的  
IXEF 1022 (DAM) 的挠曲特性



### 3 - 冲击特性

冲击试验所确定的是材料或结构在受到高速应力的作用时，其变形和断裂能的大小。

在伊佐德 (Izod) 冲击试验中，重物以规定的速度作摆动。试样（缺口或者无缺口）的一端固定在摆锤击打装置的基座上。

伊佐德 (Izod) 强度所反映的是耐冲击性，它表示试样所吸收的能量与断裂平面的投影表面积之间的关系。20 °C 时 IXEF® 复合物的伊佐德 (Izod) 耐冲击性（缺口或者无缺口试样）如表 3 所示。

图 11 显示的是温度对 IXEF 1022 复合物耐冲击性的影响。我们发现此特性在玻璃转化点以下几乎保持恒定。在此温度以上，耐冲击性有所增加，这是因为无定形区的粘态所致。

伊佐德 (Izod) 试验设备的构造简单、价格便宜，可以通过这个试验大致评估材料的变形和断裂能。

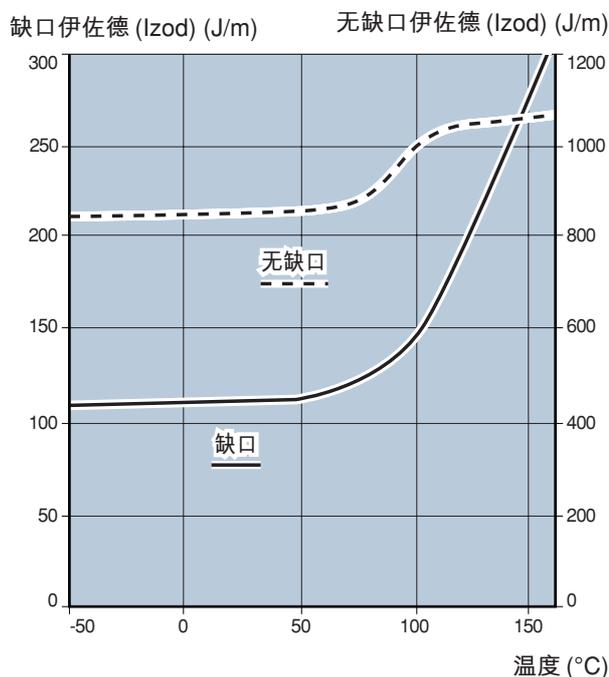
它的主要缺点在于：

- 确切的轨迹不可知（在冲击加载期间的冲击速度是变化的）。
- 存在着同时包含挠曲和剪切作用的复杂应力。
- 样品的几何形状和边界条件（支撑条件）十分重要。

表 3: IXEF 牌号 (DAM) 的耐冲击性 (ISO 180)

牌号	缺口试样 (J/m)	无缺口试样 (J/m)
1002	70	460
1022	110	850
1501	60	450
1521	95	700
1622	115	1350
2011	15	560
2030	50	260
2057	35	300
2530	55	290

图 11: 以温度为函数的 IXEF 1022 (DAM) 伊佐德 (Izod) 冲击强度



评估冲击行为的落锤仪试验方法也有类似的优缺点。

然而，这种试验方法更接近材料的正常使用条件。

在此试验中，具有一定几何形状和大小的落锤抛落在用支架固定的材料试板试样中心。

通过调整落锤的抛落高度和质量可相应调整能量，使其约等于试样断裂能的 10 倍。

表 4 给出了各种 IXEF 牌号在冲击试验中的最大冲击力、断裂变形和回弹性。

表 4: 落锤仪冲击试验（厚度为 2 mm）  
(ASTM D 3763)

牌号	最大冲击力 (N)		断裂变形 (mm)		回弹性 (J/mm)	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
IXEF 1022	955	-	3.0	-	0.80	-
IXEF 1032	1126	1200	2.6	3.0	0.76	0.96
IXEF 1622	1020	979	4.6	6.2	1.39	1.92
PA 66 30% GF	790	-	4.4	-	0.94	-

(a) 干燥  
(b) 吸水后（相对湿度 65%）

## C - 长期机械特性

### 1 - 拉伸蠕变

“蠕变”现象指的是在恒定载荷作用下材料发生变形的过程。这个变形过程是由热可塑性材料的粘弹性本质所致的。

经过玻璃纤维增强后，其变形程度会降低但不会完全消除。

由于其本身的特点，蠕变试验通常需要很长时间。然而，在合理的时间段内，应考虑到材料的机械特性随时间的改变，这点十分重要。因此，通常依靠基于短期试验的模型来获得。这类模型是基于不同应力速度下的拉伸试验（应力-变形）所创建的，实际试验时的应力速度在  $10^{-3}$  之间，变形为每分钟 103%，同时也作短期蠕变试验（长达 100 小时）。

通过这个模型，就可以在低变形速度范围下评估应力-应变行为，然后产生在不同应力水平下的长期蠕变曲线（变形/时间）。

图 12、13 和 14 给出了几个不同应力水平下 IXEF 1022 和 1032 在 50 °C 和 120 °C 的模拟结果。

图 12: 2 mm 厚 50 °C 时 IXEF 1022 的拉伸蠕变

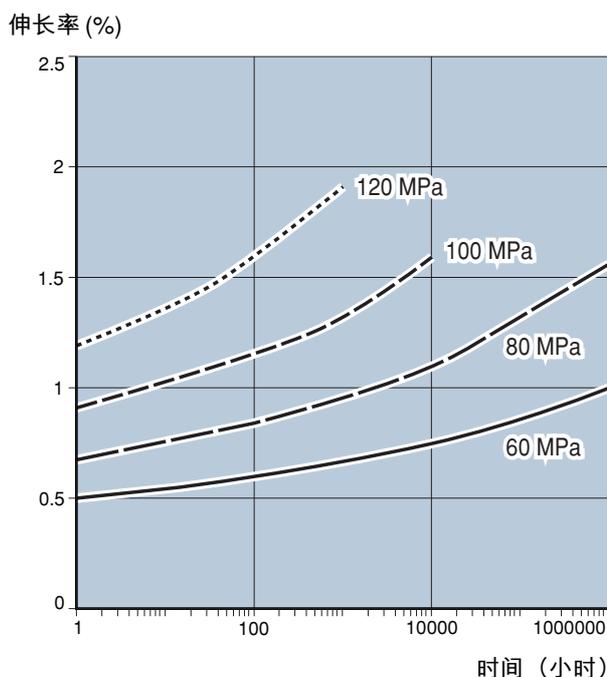


图 13: 2 mm 厚 120 °C 时 IXEF 1022 的拉伸蠕变

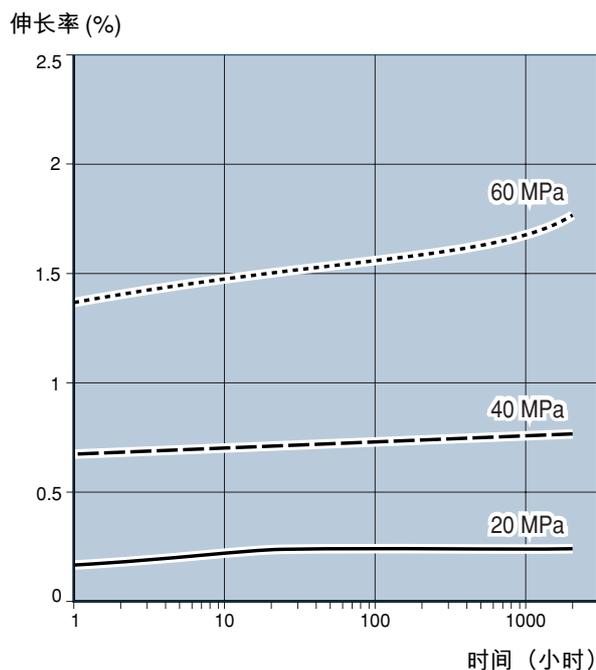
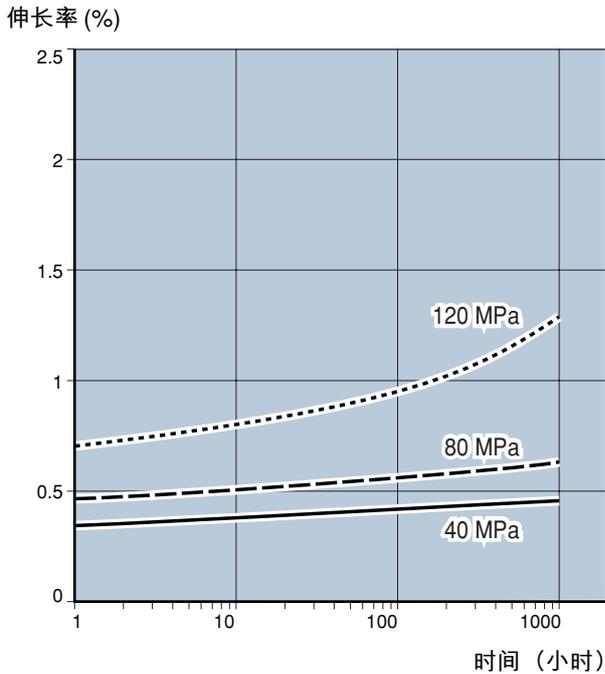


图 14: 2 mm 厚 50 °C 时 IXEF 1032 的拉伸蠕变



## 2 - 疲劳

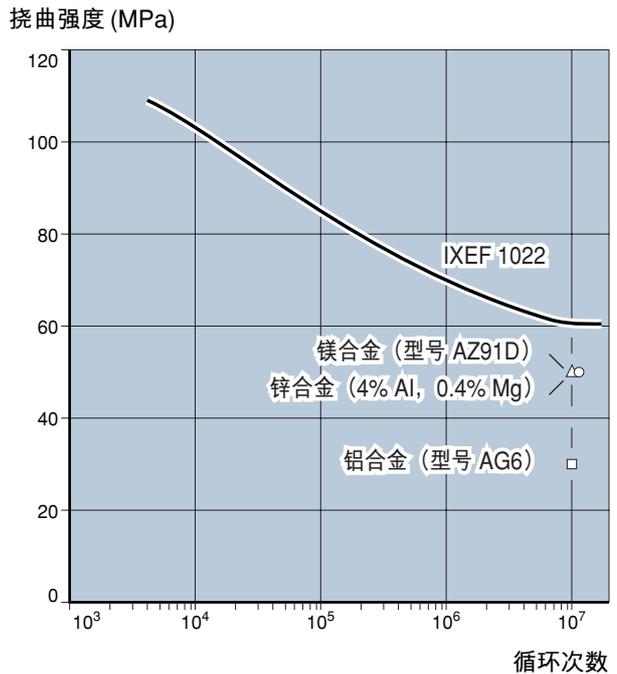
就像金属在长期动态应力下一样，热可塑性材料（不管增强与否）在应力幅度足够大时会有疲劳现象。

对任何一种受动态应力影响的结构进行计算时，都必须把材料的疲劳极限考虑进去。

在交互和波动应力的作用下进行疲劳试验，可以确定材料的 Wöhler 曲线。Wöhler 曲线表示在给定频率下以循环次数为函数的材料最大应力幅度的变化。

图 15 是和金属作对比时 IXEF 1022 复合物的 Wöhler 图（波动挠曲疲劳试验）（试验条件：频率 25 Hz - 3 点挠曲试验，23 °C）。

图 15: 23 °C 波动载荷下的 IXEF 1022 复合物的挠曲强度 (2 mm 厚)



## II. 物理特性

### A - 密度

不同牌号具有不同的密度  $\rho$  (kg/dm<sup>3</sup>)，主要取决于玻璃纤维或者矿物填充量的多少。

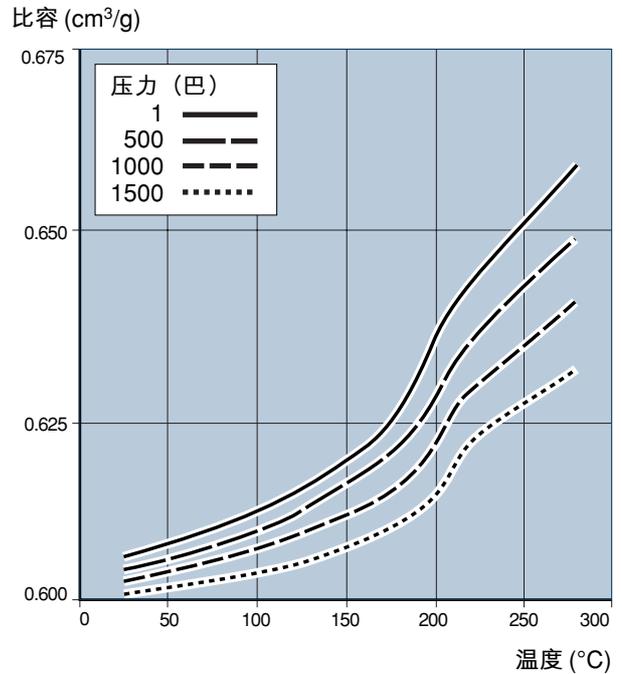
表 5 给出了在室温和大气压力下所测得的主要 IXEF 牌号的密度值。

密度和比容 ( $1/\rho$ ) 的变化以温度为函数。图 16 给出了以时间和压力为函数的 IXEF 1022 牌号的比容。

表 5: IXEF 复合物的密度 (ISO 1183)

IXEF 牌号	密度 (kg/dm <sup>3</sup> )
1002	1.43
1022	1.64
1032	1.77
1501	1.54
1521	1.75
1622	1.60
2011	1.58
2030	1.74
2057	1.61
2530	1.85

图 16: 以温度和压力为函数的 IXEF 1022 的比容



## B - 线性热膨胀系数

同所有的各向异性的复合材料一样，IXEF 复合物的热膨胀系数取决于增强纤维的取向。

23 °C 时测得的 IXEF 1022 牌号在材料流动的纵向 ( $\alpha_L$ ) 和横向 ( $\alpha_T$ ) 的线性热膨胀系数分别是  $1.5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  和  $4.6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 。

IXEF 复合物在流动方向上的热膨胀系数  $\alpha_L$  和钢材相似。

此外，在 -30 °C 到 100 °C 之间， $\alpha_L$  随温度的变化很小。当使用金属嵌件时，这是一个很重要的优点，因为它可以防止产生过度的热应力。

表 6: IXEF 牌号在流动方向上的线性热膨胀系数 (ISO 11359)

牌号	线性热膨胀系数 ( $\alpha_L$ ) ( $10^{-5} \text{ K}^{-1}$ )
1002	1.8
1022	1.5
1032	1.4
1501	1.8
1521	1.7
1622	1.5
2011	1.9
2030	1.8
2057	3
2530	2.2

图 17: IXEF 1022 的线性热膨胀系数

线性热膨胀系数 ( $10^{-5} \text{ K}^{-1}$ )

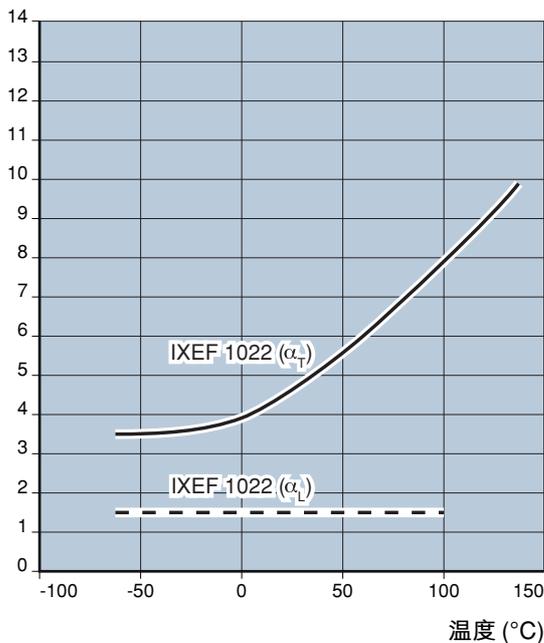
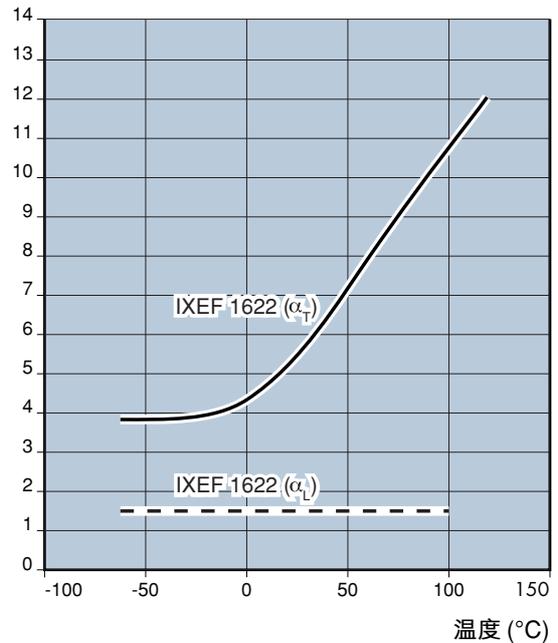


图 18: IXEF 1622 的线性热膨胀系数

线性热膨胀系数 ( $10^{-5} \text{ K}^{-1}$ )



## C - 硬度

图 19: IXEF 2011 的线性热膨胀系数

线性热膨胀系数 ( $10^{-5} K^{-1}$ )

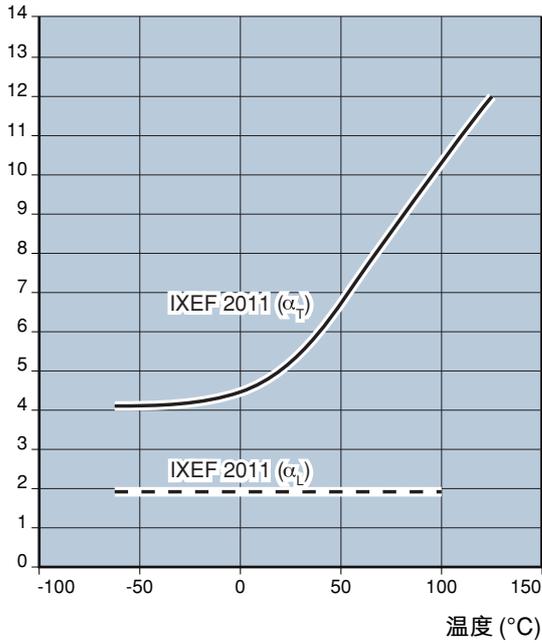


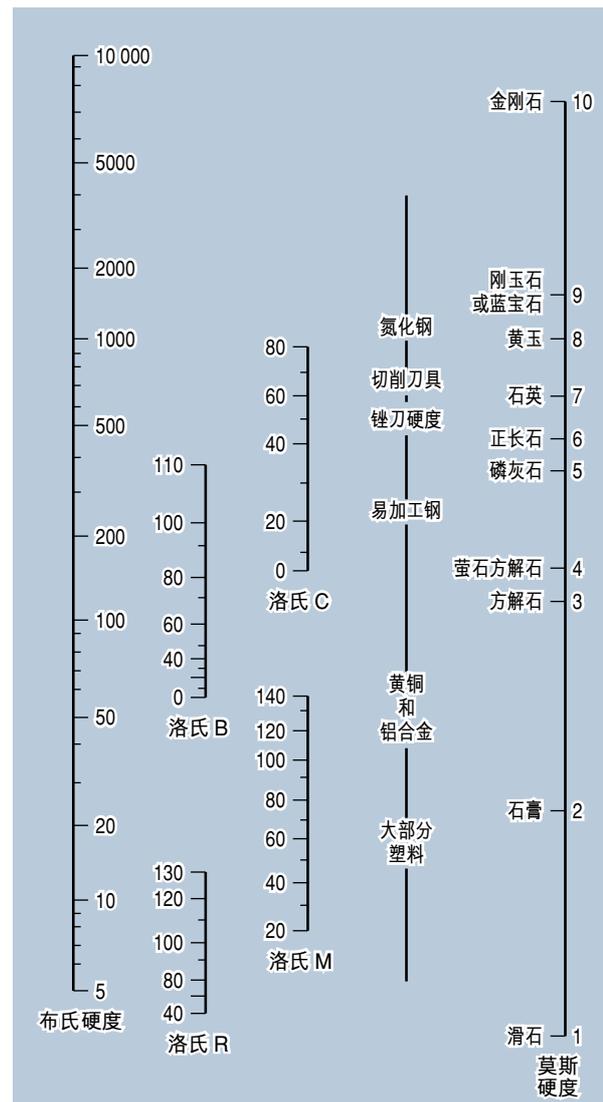
表 7 给出了采用最常用的试验方法所获得的 IXEF 1022 牌号的硬度值。

表 8 给出了各种硬度标度之间的关系。

表 7: IXEF 1022 复合物的硬度

试验	标准	数值
布氏硬度	ISO 2039/1	HRC 145
洛氏硬度	ISO 2039/2	M 110
肖氏硬度	ISO 868	D 90

表 8: 硬度标度之间的关系



## D - 摩擦和磨损

### 1 - 摩擦系数

指示 IXEF 1022 与 XC 45 型钢材之间的动态摩擦系数的数值是在下列条件下通过试验测得的：

- 速度：10 m/min
- 压力：1.15 MPa
- 起始温度：23 °C

用下列方程式计算动态摩擦系数

$$\mu = \frac{F}{N}$$

其中：

- $\mu$  = 摩擦系数
- F = 测得的摩擦载荷，以牛顿为单位
- N = 应用在作用块上的法向力，以牛顿为单位

表 9 给出了 IXEF 1002 和 IXEF 1022 牌号的动态摩擦系数。

然而，其结果会因所采用的测量技术不同而异。因而，这些数据只供在不同的 IXEF 牌号和材料之间作比较。

### 2 - 耐磨性

用泰伯 (Taber) 磨耗试验仪测得的 IXEF 1022 复合物的耐磨值是：

- CALIBRASE CS17 磨轮，1 kg 载荷，  
损耗：16 mg/1000 转。
- CALIBRASE H22 磨轮，1 kg 载荷，  
损耗：53 mg/1000 转。

在真实条件下的试验将会给出更准确的信息。

表 9: IXEF 复合物和其它材料的动态摩擦系数 ( $\mu$ )

牌号	$\mu$
IXEF 1002	0.36 至 0.45
IXEF 1022	0.40 至 0.53
PA 6 30% FV	0.32 至 0.42
POM 25% FV	0.49 至 0.61

## III. 电特性和燃烧行为

## A - 电特性

IXEF 复合物在电气和电子行业中的应用已越来越多，特别是应用在电路断路器的控制机构中。之所以有这方面的用途，是因为该材料不仅具有良好的电绝缘性，而且在很宽的温度范围和很长的时间范围内具有高的介电强度。下面描述了各种不同的电特性试验。试验结果列在表 10、11 和 12 中。

### 1 - 体积电阻率

通过测量样品薄片的电阻即可评估体积电阻率。它描述了电压和电流的关系，在两个电极之间的电压是固定的（IEC 93/167）。

### 2 - 介电强度

介电强度的单位是 kV/mm，决定其大小的参数是试样在不断增加的交变电压作用下发生穿孔的电压。它给出了暴露于短暂高电压应力下的材料行为信息，因此所描述的是其电绝缘能力（IEC 243）。

### 3 - 介电常数和介电损耗角

在交变电场中，可用两个主要特征参数来定义介电材料的行为：

- 介电常数  $\sigma$  或电容率 (IEC 250)，是置于电场中的材料积累电荷能力的一个量度。
- 介电损耗角 ( $\tan \delta$ ) (IEC 250) 是相对于电场发生电极化偏移的结果，它导致电能转换为热能而损失。

### 4 - 相比漏电起痕指数

相比漏电起痕指数 (CTI - IEC 112) 描述了绝缘材料在潮湿环境下阻止电应力建立导电通路的能力。

CTI 指数就是：在施加于材料表面的两电极之间滴 50 滴电解液 ( $\text{NH}_4\text{ClO}$ , 1% - 每 30 秒一滴) 而不会形成导电起痕的最大电压值（以伏特为单位）。

表 10: 玻璃纤维增强的 IXEF 牌号的电特性

特性	标准	单位	IXEF 1002	IXEF 1022	IXEF 1032	IXEF 1622
体积电阻率	IEC 93/167	$10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$	2	2	2	2
介电强度	IEC 243	kV/mm	30	31	24	25
介电常数 (110 Hz)	IEC 250		3.9	4.6	4.5	4.4
介电损耗角 (110 Hz)	IEC 250		0.010	0.017	0.009	0.007
相比漏电起痕指数	IEC 112	V	> 400	570	600	570

表 11: 阻燃 IXEF 牌号的电特性

特性	标准	单位	IXEF 1501	IXEF 1521	IXEF 2530
体积电阻率	IEC 93/167	$10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$	2	2	2.5
介电强度	IEC 243	kV/mm	31	29	23
介电常数 (110 Hz)	IEC 250		3.8	4.1	5.3
介电损耗角 (110 Hz)	IEC 250		0.010	0.012	0.023
相比漏电起痕指数	IEC 112	V	> 250	> 400	475

表 12: 矿物增强 IXEF 牌号的电特性

特性	标准	单位	IXEF 2011	IXEF 2030
体积电阻率	IEC 93/167	$10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$	2	2
介电强度	IEC 243	kV/mm	25	35
介电常数 (110 Hz)	IEC 250		4.4	4.8
介电损耗角 (110 Hz)	IEC 250		0.007	0.025
相比漏电起痕指数	IEC 112	V	570	600

## B - 保险商实验所 (UL) 和 IEC 216

---

保险商实验所 (UL) 试验了主要 IXEF 复合物的下述特性:

### 1 - 相对热指数 (RTI)

相对热指数反映的是材料经过热老化后某些特性的保留 (无冲击的机械特性、有冲击的机械特性和电特性)。它描述了和参考材料相比仍保持其初始特性值 50% 的温度。此温度是对在较短的持续时间内所获得的试验结果进行外推而得到的。

凡是未经过保险商实验所 (UL) 试验的聚酰胺类材料, 其热指数均用 “65 °C” 来默认表示。

### 2 - UL 94

本手册中描述了基于 UL 94 试验标准的四种不同的 UL 分类, 以说明材料的自熄特性。UL 94 HB 类适用于在水平位置燃烧的材料。UL 94 V-2、V-1 和 V-0 类描述材料在垂直位置的自熄能力, 其程度依序增加。

### 3 - 热丝点燃试验 (HWI)

这个试验描述的是材料的可燃性, 它是指用缠绕在试样周围的电阻丝在一定电能下点燃试样所需的时间 (以秒为单位)。这个试验给出了在诸如由于电气故障而导致的异常高温下材料的阻燃能力。它可以和发光金属丝试验相比 (见第 III.C.3 部分)。

### 4 - 大电流电弧点燃 (HAI)

这个测量参数所描述的是在给定速率下可施加在材料表面但不至于导致其燃烧的电弧数。为了反映实际情况, 所用的电弧为低压大电流。

### 5 - 高压电弧起痕率 (HVTR)

这个试验给出了材料表面在给定条件下产生起痕电流的速度 (以英寸 / 分钟为单位), 对用于超过 15W 电路的部件来说它十分重要。

### 6 - 高压 / 低强度耐电弧性

当材料受到间歇的高压、低电流电弧 (ASTM D 495) 作用时在其表面形成漏电通路所需的时间 (以秒为单位)。

### 7 - 相比漏电起痕指数 (CTI)

见第 III.A.4 部分。

## 8 - 基于 IEC 216 标准的热稳定性

此试验是在被隔热的材料上进行的, 用于确定在给定的温度下材料的断裂挠曲强度降低到其初始值一半时所需的时间 (半衰期)。

采用适当的统计方法, 这些值可以给出材料在其它温度下的长期行为。

各种不同 IXEF 复合物的 UL 值见表 14。

由一个获认证的外部实验室完成对 IXEF 1521 阻燃牌号的试验, 样品厚度是 4 mm。

所得结果见表 13。

表 13: 基于 IEC 216 标准的 IXEF 1521 牌号的热稳定性

暴露时间	评估温度	IEC 216 标准的 T° 指数
5 000 h	146	TI 5 kh/146
20 000 h	126	TI 20 kh/126

表 14: 主要 IXEF 复合物的 UL 分类 (2001)

塑料 (QMFZ2)											
SOLVAY SA										E196025	
33 RUE DU PRINCE ALBERT, 1050 BRUSSELS BELGIUM											
材料名称	颜色	最小厚度 mm	UL 94 燃烧分类	H W I	H A I	RTI			H V T R	D 4 9 5	C T I
						电	机械冲击	强度			
聚酰胺 (PA), 命名为 "IXEF", 以粒料供应											
IXEF 1022/#	All	1.5	HB	0	0	130	105	105	—	—	—
		3.0	HB	0	0	130	105	120	0	5	1
IXEF 1027/#	All	1.5	HB	1	1	140	115	115	—	—	—
		3.0	HB	0	1	140	125	125	0	6	1
IXEF 1501/#	All	1.5	V-O	0	3	130	105	105	—	—	—
		3.0	V-O	0	3	130	105	120	0	7	2
IXEF 1521/#	All	1.5	V-O	0	0	130	105	105	—	—	—
		3.0	V-O	0	0	130	105	120	3	6	1
IXEF 2502/#	BK	1.5	V-O	0	1	(65)	(65)	(65)	—	—	—
		3.0	V-O	0	1	(65)	(65)	(65)	0	6	2
IXEF 2530/#	BK	0.75	V-O	0	4	(65)	(65)	(65)	—	—	—
		1.5	V-O	0	4	(65)	(65)	(65)	—	—	—
		3.0	V-O	0	4	(65)	(65)	(65)	0	5	2

# 可接一个 4 位数字。  
标记: 公司名或者商标名 (IXEF®) 和材料名称标在容器上、包在或模塑在成型制品上。

### 注意:

还可从网上获得 5 个短期电特性和它们的相应值, 网址为: <http://www.ul.com/database>

• 客户: Solvay S.A. • UL 档案号: E196025

## C - “燃烧” 分类

这部分归纳了 IXEF 阻燃牌号 (IXEF 1501、1521 和 2530) 的“燃烧”特性。

### 1 - 依照 UL 94

表 15 给出了依照 UL 94 标准的主要 IXEF 牌号分类 (见第 III.B 部分)。

### 2 - 极限氧指数

极限氧指数 (LOI) 用于测量材料试样的可燃性, 试验时试样被放置于充满氧气和氮气混合气体的密闭区中, 且氮气和氧气被控制在一定比例。通过用引燃火焰接触试样的顶部将其点燃。维持试样燃烧所需混合气体中的氧气 ( $O_2$ ) 浓度越大, 材料的阻燃性就越好。

表 16 给出了多个 IXEF 牌号的 LOI 值。

表 15: UL 94 分类

牌号	厚度 (mm)	UL 94 分类
IXEF 1022	1.5	HB
	3.0	HB
IXEF 1501	1.5	V-0
	3.0	V-0
IXEF 1521	1.5	V-0
	3.0	V-0
IXEF 2530	0.75	V-0
	1.50	V-0
	3.0	V-0

表 16: 极限氧指数

牌号	极限氧指数 (%)
IXEF 1022	25
IXEF 1032	25
IXEF 1501	31.5
IXEF 1521	31.5
IXEF 1622	25
IXEF 2530	38.5

### 3 - 发光金属丝试验

发光金属丝试验是用来模拟由热源（诸如电路中的过载电阻）所产生的热应力。用已知温度的电热丝与垂直放置的料板接触 30 秒钟。除了记录火焰高度之外，还要记录移开金属丝后的熄灭时间和烧滴（如果发生）。所得结果见表 17。

### 4 - 依照 SNCF-RATP 标准

法国国家铁路公司 (SNCF - Société Nationale des Chemins de Fer) 根据材料对燃烧的反应（分类 M 和 I）和所释放烟雾的特征（分类 F），对用于客车车辆的材料进行了分类。

按照比利时的公众服务科学研究所 (Institut Scientifique de Service Public) 所进行的测量，IXEF 1521 牌号属于 M3 级（依照 FD P 92 507 标准），I3 级（依照 NF F 16-101 标准）和 F3 级（依照 GTM 000 标准）。

### 5 - 航空

IXEF® 1501 和 1521 复合物已由多家独立实验室进行试验，均达到符合下列标准的等级：

- IXEF 1521 和 1501 符合 FAR 25.853 (b) 2532 修订版标准
- IXEF 1521 符合 FAR 25.853 (d) 标准 ABD 0031 标准

表 17: 耐发光金属丝  
(依照 IEC 60695-2-11)

牌号	2种熄灭时间下的 发光金属丝温度 (°C)	
	时间 = 5 s	时间 = 30 s
IXEF 1022	650	750
IXEF 1032	750	750
IXEF 1521	960	960
IXEF 2530	960	960

## IV. 耐环境性

## A - 耐化学性

### 1 - 耐水性

所有 IXEF 复合物中所用的树脂都包含酰胺官能团。和所有的聚酰胺（尼龙）一样，水可作为一种塑化剂与酰胺官能团结合形成可逆的络合物。

IXEF 复合物的吸水速率（动力学）(C(t) - 以时间为函数的吸水浓度) 取决于以下几个参数：

- D: 扩散系数（它取决于温度 - 表 18）
- C<sub>s</sub>: 在所考虑的条件（例如，相对湿度 (RH)）下材料在平衡时的水浓度。图 20 给出了以相对湿度 (RH) 为函数的 C<sub>s</sub> 值。
- S, V: 试样的表面积和体积

可以用菲克定律以数学表达式来描述吸水动力学：

$$\frac{C(t)}{C_s} = 2 \cdot \frac{S}{V} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t}{\pi}}$$

图 21 以图形表示了这种关系。

表 18: 各种不同工程复合物中水的扩散系数

温度 (°C)	扩散系数 (10 <sup>-6</sup> cm <sup>2</sup> /h)		
	IXEF 1022	PA 66 GFR	PA 6 GFR
20	1	7.2	14.4
40	5.2	—	—
60	28	—	—
90	210	—	—
100	370	—	—

注意：

IXEF 的扩散系数会随增强水平的提高而有非常轻微的增加。

图 20: 以相对湿度为函数，IXEF (1022, 1032 和 1622) 在平衡时水分含量

平衡时的水分含量 (%)

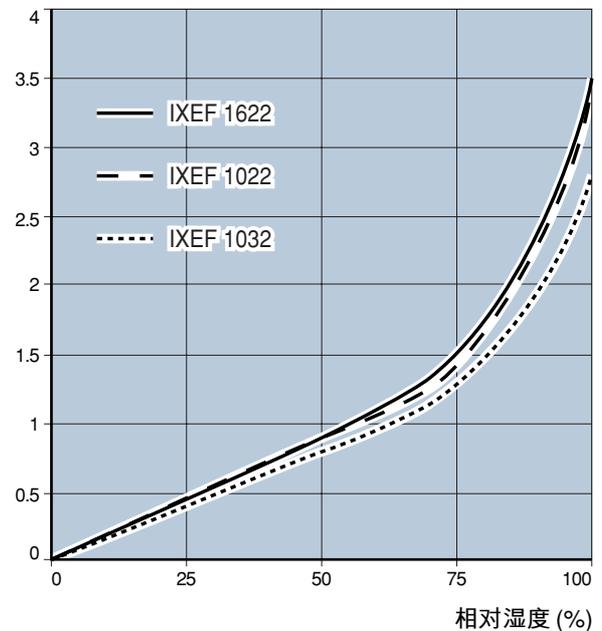
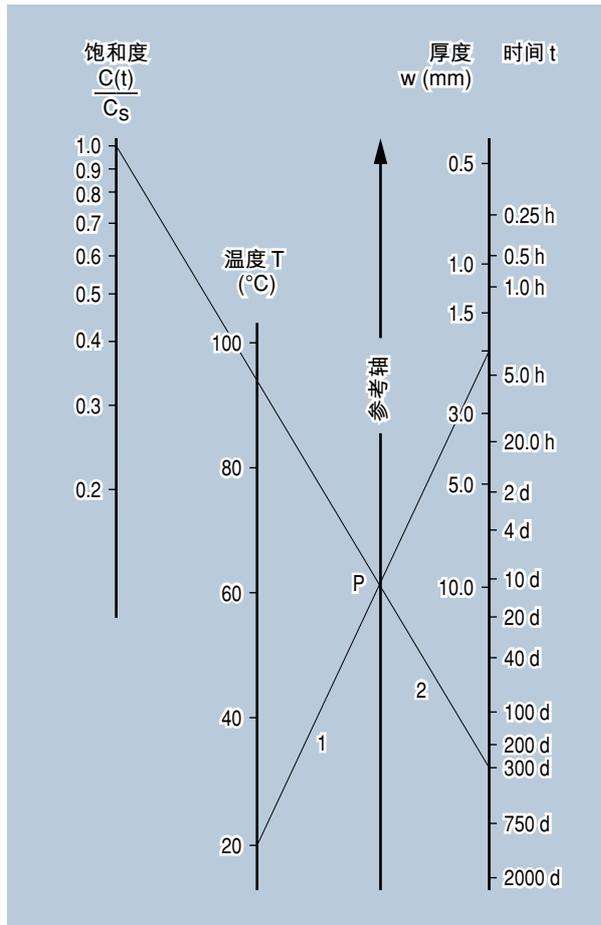


图 21: IXEF 1022 - 确定与水或者水蒸汽接触的部件状态的菲克图表



必须考虑这种吸水性所造成的以下几个严重后果：

- 由于塑化而引起的机械特性的下降（图 22、23 和 24）。
- 由于吸水而膨胀所引起的尺寸变化（图 21 和 22）。乙二醇或者甲醇类添加剂的存在会加剧这种现象。
- 使玻璃转化温度降低（表 19）。这会降低 IXEF 复合物的抗蠕变性，如果模具温度低于 120 °C，也会使注入模具的塑料产生后结晶（见第 VI.A.2 部分）。因此会导致部件的变形。

因此，必须在实际应用条件下对每一个将要与水持续接触的 IXEF 聚芳香酰胺部件进行仔细的试验，以确认它们没有类似的问题，这一点很重要。

表 19: IXEF 1022 牌号的玻璃转化温度

产品	玻璃转化温度 (T <sub>g</sub> ) (°C)		
	开始	中间	结束
IXEF 1022 干燥	50	85	110
IXEF 1022 水饱和	7	25	80

图 22: 以水分含量为函数的 IXEF 1022 和 1622 伊佐德 (Izod) 冲击强度

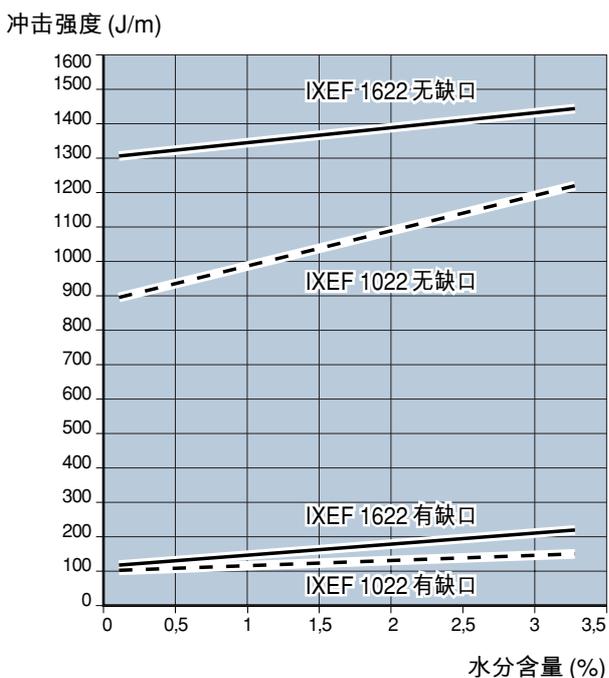


图 23: 以相对湿度为函数, IXEF 1022、1032 和 1622 在平衡时的拉伸强度

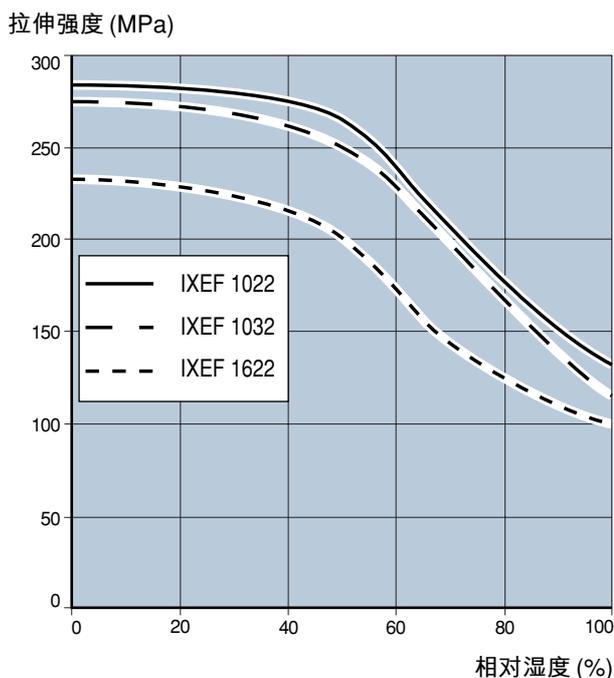


图 24: 以相对湿度为函数, IXEF 1022、1032 和 1622 在平衡时的拉伸模量

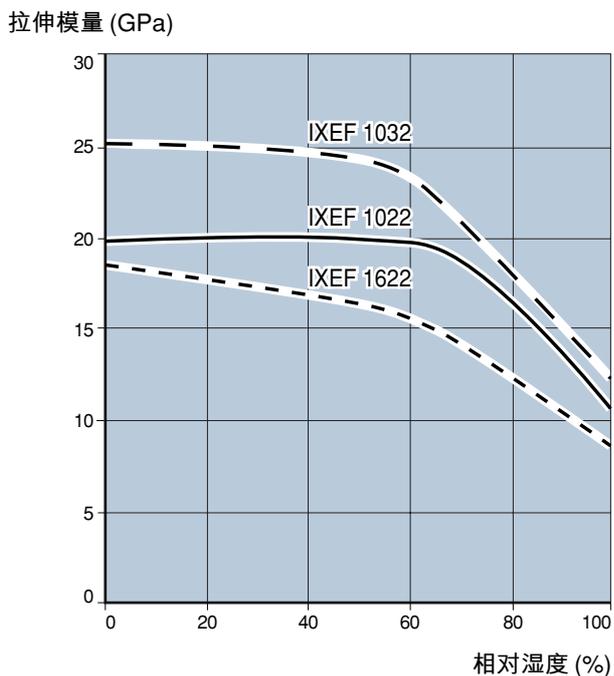
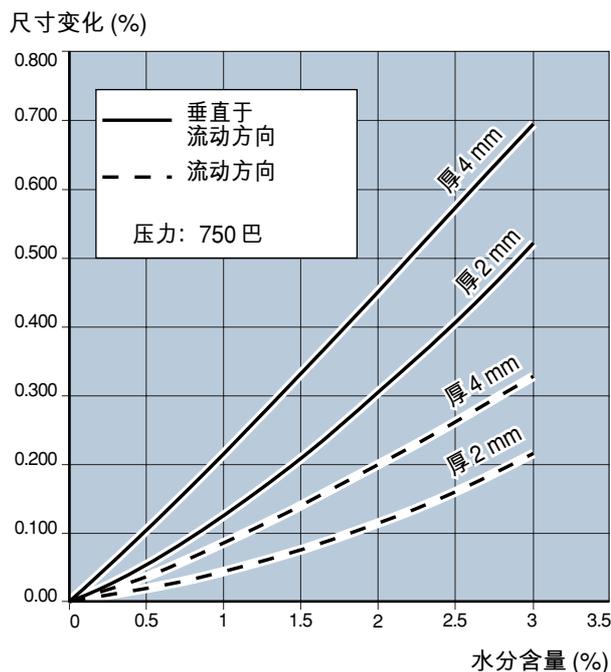


图 25: 以水分含量为函数, 40x40x2 mm 和 40x40x4 mm 的 IXEF 1032 试样的尺寸变化



## 2 - 耐汽车工作液

在一般情况下，IXEF 复合物有很好的耐汽车行业各种工作液的能力。由于在这方面的优良性能，IXEF 复合物在汽车市场有广泛的应用：

- 摇杆箱盖 (IXEF 1022)
- 燃油泵体 (IXEF 1022)
- 门把手 (IXEF 1022、1023 和 1025)
- 前灯部件 (IXEF 2011 和 2057)
- 外部后视镜支撑 (IXEF 2030 和 2035)
- 润滑齿条 (1022)
- 离合器油缸 (1027)

### 耐汽油性

图 26、27 和 28 分别给出了在 40 °C 时浸泡在汽油和乙醇混合物中的 IXEF 1022 聚芳香酰胺、聚酰胺 PA 66 30 % GF 和 PA 6 30% GF 试样的挠曲特性变化和重量变化。混合物中汽油重量占 80%，乙醇占 20%。

图 26: 40 °C 时 IXEF 1022  
对汽油乙醇混合物的耐化学性：挠曲强度

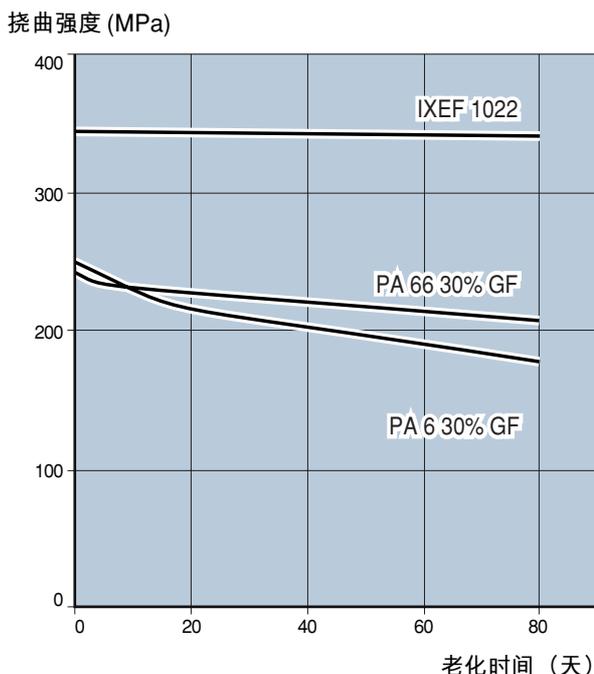


图 27: 40 °C 时 IXEF 1022  
对汽油乙醇混合物的耐化学性：挠曲模量

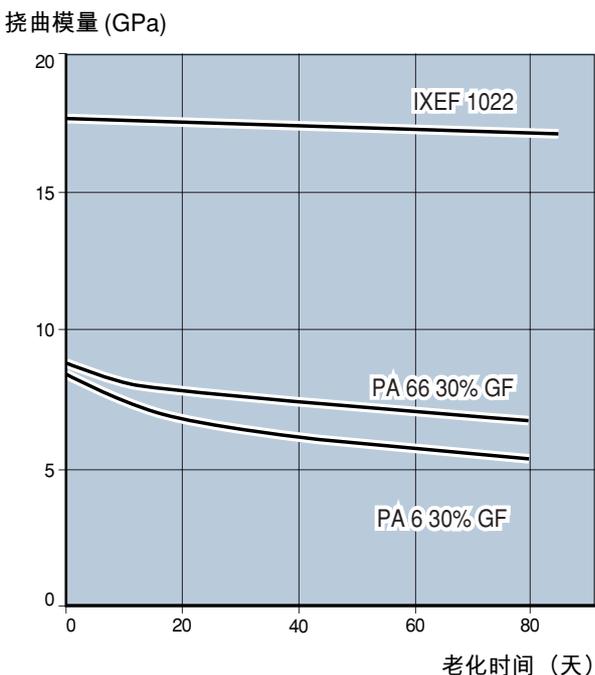
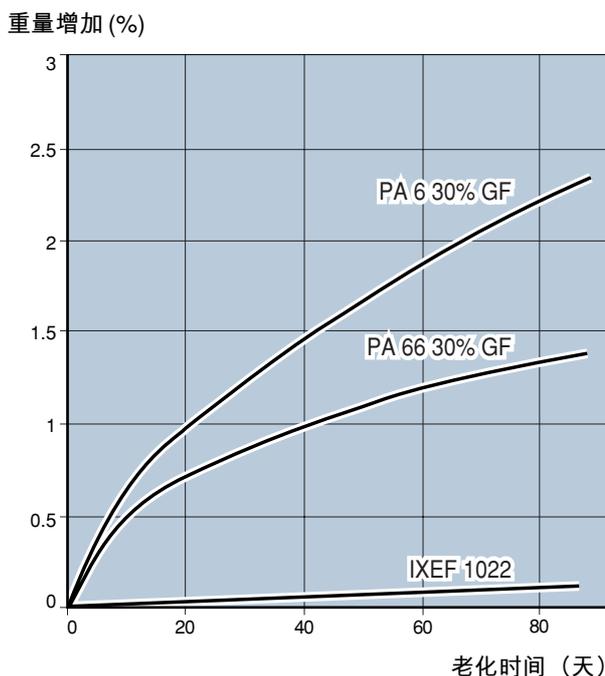


图 28: 40 °C 时 IXEF 1022  
对汽油乙醇混合物的耐化学性：重量增加



### 耐油性

120 °C时，浸泡在机油中的 IXEF 1002 聚芳香酰胺试样的机械特性变化和重量变化见图 29 和 30。

机油特性：SAE 10W30。

图 29: 120 °C 时 IXEF 1002 对机油的耐化学性：拉伸特性

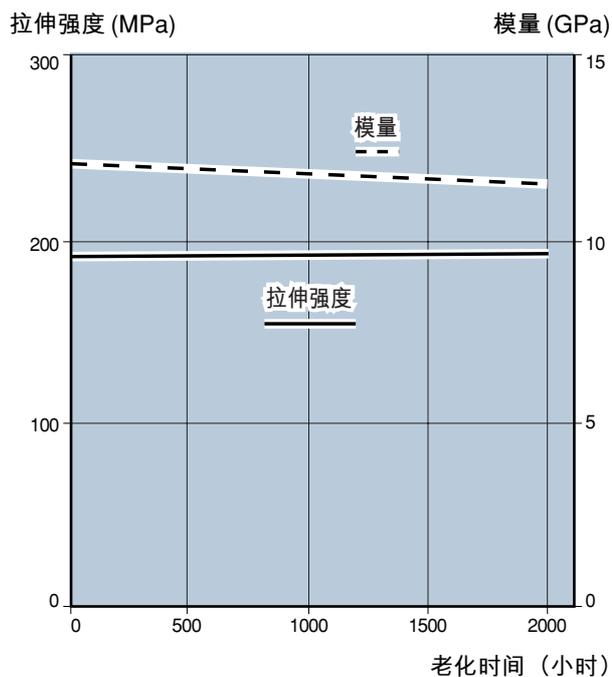
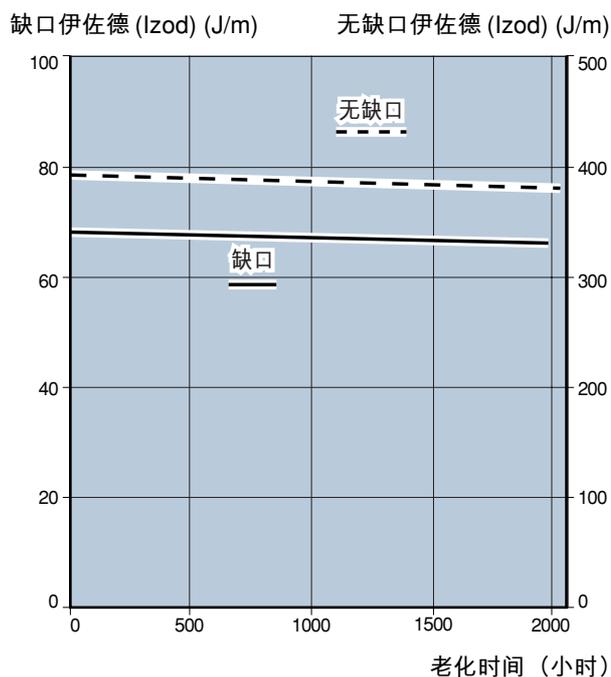


图 30: 120°C 时 IXEF 1002 对机油的耐化学性：伊佐德 (Izod) 冲击强度



## B - 各种试剂

---

表 20 比较了 IXEF 1002 复合物和几种其它热可塑性材料在与各种不同液体接触后的行为。

在一般情况下，IXEF 复合物表现出良好的耐化学试剂性。然而，树脂基体中的酰胺官能团使它们对特定的试剂比较敏感。

以下试剂会使其很快分解：

- 强氧化剂 ( $O_3$ ,  $Cl_2$ , ...)
- 高浓度的无机酸 ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , ...)

以下试剂在环境温度下可使其分解：

- 稀释的无机酸
- 醋酸和蚁酸

以下试剂在高温下可使其分解：

- 强碱 ( $KOH$ ,  $NaOH$ , ...)
- 大部分有机酸
- 甲醛

相反，依照在 60 °C（如果试剂的沸点温度低于 60 °C，则在其沸点）进行的实验室试验结果表明，IXEF 聚芳香酰胺并不受下列试剂的影响：脂肪族烃（石油溶剂、煤油）、芳香烃（苯、甲苯）、酮、酯、醚、弱碱、醛（甲醛除外）或者醇（轻质醇除外，它们会像水一样使聚酰胺塑化）。

### 注释：

本部分所指示的耐化学试剂和耐溶剂的性质对于推荐（或者劝阻）使用玻璃纤维增强的 IXEF 复合物来说是很有帮助的。在有化学试剂的场合使用由 IXEF 聚芳香酰胺制成的部件时，始终有必要在预期的使用条件（包括应力）下确认与这些试剂接触的部件的稳定性如何。

表 20: 在 23 °C 的不同化学品中老化 30 天后, 各种热可塑性材料的耐化学性

试剂 \ 聚合物	IXEF 1002	PA 6 GFR	PA 11 GFR	PBTP GFR	PC GFR	OPP GFR
NH <sub>4</sub> Cl, 饱和溶液	—	—	0	+	0	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 饱和溶液	+	—	0	+	0	0
CaCl <sub>2</sub> , 饱和溶液	0	0	+	+	0	0
甲醇	—	—	—	+	—	—
丙醇	+	—	—	+	+	0
苯甲醇	+	0	0	+	—	0
甲苯	+	+	0	+		
甲醛	0	—	—	+	+	0
二氯甲烷	+	—	—	—		
四氯乙烯	+	+	—	+	—	
丙酮	+	+	—	0	—	—
甲基乙烯	+	+	—	0		0
苯	+	+	—	+		
三氯乙烯	+	0	—	—		
乙酸甲酯	+	0	—	+	—	
四氢呋喃	+	+	—	0		
橄榄油 (在 40°C)	+					
制动液	+	+	+	+	—	0
汽油 + CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH (80/20)	+	—	—	+		
汽油 + CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH (90/10)	+	—	—	+		
超级汽油	+	0	+	+	0	—

选择标准:  
 +: 重量变化低于 1%, 断裂强度变化低于 10%  
 0: 仅满足两个标准之一。  
 —: 两个标准中无一满足。

## C - 热老化

在惰性环境（例如机油）中的高温老化不会明显改变 IXEF 复合物的特性（至少在持续几个月的时间里）。相反，在空气中的高温老化却会导致表面氧化，并且造成特性随时间丧失。

在老化过程中，依次出现下列情况：

- 几微米深的表面氧化，导致颜色变黄和微裂
- 中心氧化，其速度受氧气扩散的限制，导致挠曲强度和伸长率的下降。
- 最后，被氧化试样在整个厚度范围内均遭破坏。

壁厚在机械特性的丧失中起着根本性的作用，因为它决定了部件中心的氧气浓度。

IXEF 1022 牌号的热老化见图 31，图中以试验温度为函数，显示出拉伸强度和拉伸冲击值降低到初始值 (DAM) 的 50% 时所需的时间。

不同 IXEF 牌号在高温通风烘箱中的实验室老化结果如图 32 所示。

图 31：依照 UL 746B 方法采用 IXEF 1022 制作的拉伸试样 (3.2 mm) 半衰期

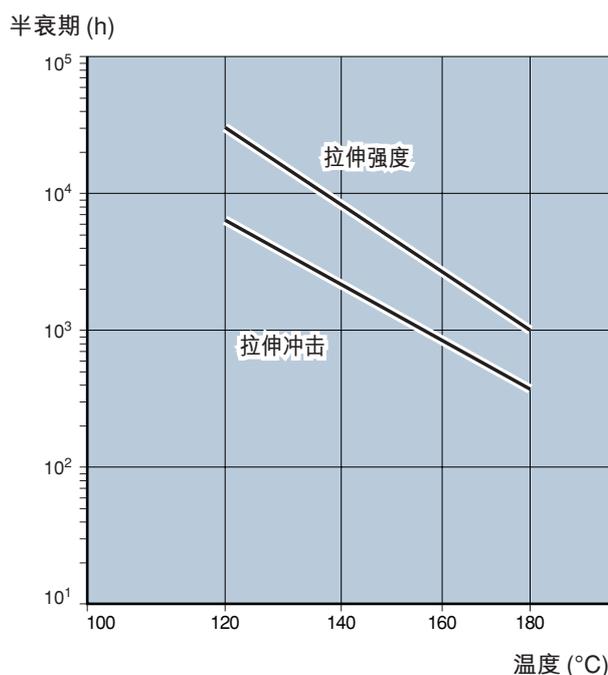
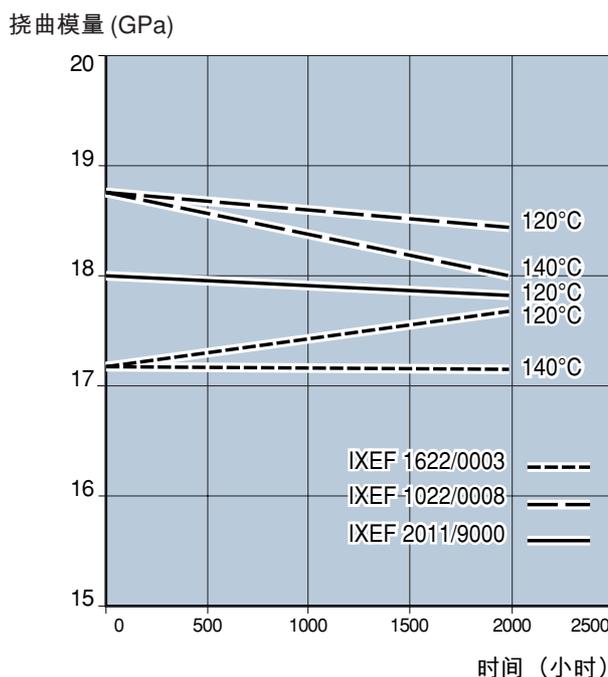


图 32：在 120°C 和 140°C 通风烘箱中的热老化：挠曲模量



## D - 自然老化

试样在日本平塚市的试验站暴露 4 年（平均温度 23 °C, 平均降雨量 130 mm / 月, 太阳辐射 500kJ / 年 / cm<sub>2</sub>）。

厚度为 3.2 mm 试样的试验结果如下：

- 挠曲强度降低了大约 30 %，基本上与水引起的可逆塑化相对应（图 33）
- 模量没有发生变化
- 由于表面光氧化而引起粗糙度增加

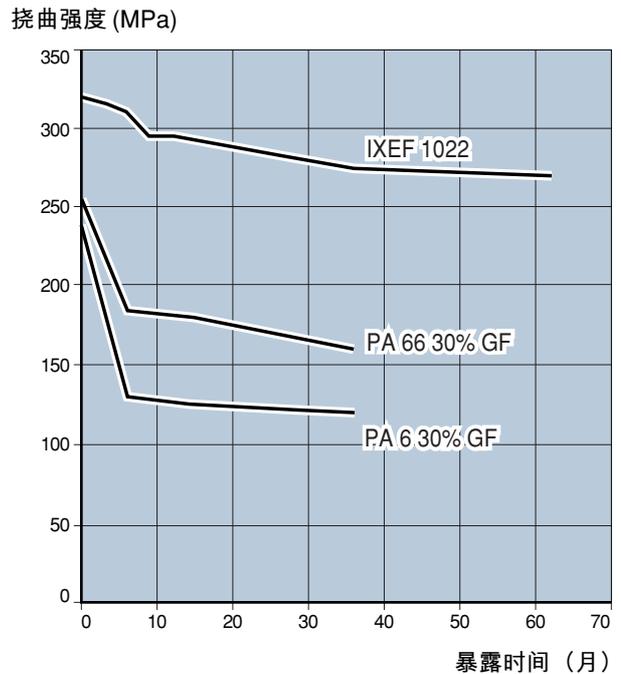
由 IXEF 聚芳香酰胺制成的部件表面会有一层纯聚合物，厚约 1 μm。它可使表面具有非常高的光泽度。如果发生了光氧化，会由于此层的变化而导致表面粗糙度增加（例如：表面粗糙度 Ra 从 0.15 μm 增加到 0.2 μm）。虽然氧化所影响的只是极少一部分的材料，却会导致表面外观（光泽和颜色）发生变化，而对材料的机械特性不会有明显的影响。

因此在选择易受紫外线辐射的部件表面外观时应避免使用过低的粗糙度，这一点很有用，因为即使是极其轻微的光氧化也会对其造成严重影响。

已经开发出一些增加耐光氧化性的 IXEF 产品。

这些产品的表面粗糙度受紫外线照射影响的程度已明显改善。

图 33：自然老化：挠曲强度



## E - 加速老化

---

为了评估老化在合理延迟期内的影响，采用 DIN 53387/1 试验方法在 IXEF 样品上进行加速老化试验。

产品特性在暴露 2000 小时后的变化情况见表 21。

表 21: 加速老化 - 暴露 2000 小时后 IXEF 牌号的挠曲特性 (DIN 53387/1)

牌号	残余模量 (% 初始值)	残余强度 (% 初始值)	残余断裂伸长率 (% 初始值)
IXEF 1022	97	90	94
IXEF 1622	96	93	95
IXEF 1028	98	96	95

## F - 食品和水接触认证

---

本部分描述了本色 IXEF 1022/0006 和黑色 IXEF 1022/9006 复合物所获得的各种食品和水接触认证 (最后 4 位数对应于食品接触等级)。

必须注意这些试验是基于实验室试样进行的, 这一点很重要。它们不能代替由最终使用者在实际使用条件下对最终部件所进行的试验。

### 1 - NSF 51 (美国)

美国国家卫生基金会 (NSF) 依照其方法 51 - 食品设备所用的塑料材料和部件, 对 IXEF 1022/0006 和 IXEF 1022/9006 复合物进行了试验。这些牌号获得了 NSF 51 的认证, 可用于接触高达 100 °C 的干燥食品和水溶液食品。

### 2 - BS 6920 - 对水质的影响试验 (英国)

英国水质中心依据 BS6920 方法在 85 °C 时对 IXEF 1022/0006 和 IXEF 1022/9006 牌号进行了试验。根据这些试验结果, 英国水质规范参照表将这些复合物列为可与饮用水接触。

### 3 - 欧洲标准

用于制造基于聚合物的树脂单体 (PA MXD6) 列在欧盟的许用表中 (90/128/EC 标准)。在 40 °C 的蒸馏水或者橄榄油中萃取 10 天后, 所迁移的单体浓度符合 90/128/EC 标准所要求的限度。

全迁移试验设计用来确定产品从塑料材料迁移至与其接触的模拟物 (萃取液) 中的总量。这个量必须低于欧盟 90/128/EC 标准和包括 1999/91/EC 在内的所有随后修正版以及荷兰的包装和食品器皿规范 (商品法令) 所规定的限度。

荷兰应用科学研究所 (TNO) 对 IXEF 1022/9006 复合物进行了试验。考虑其整体迁移性, IXEF 1022/9006 牌号在 70 °C 时适合与水溶液、醋酸 (3 %)、乙醇 (10 %) 和橄榄油的接触时间是两个小时, 而在室温时可接触任意时间。

## G - 其它认证

---

### 1 - 微生物培养

德国BAM机构 (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) 依照 MIL-STD- 810 方法 (美国军用标准) 用下述真菌对 IXEF 1501 和 1521 牌号进行了试验: 球毛壳霉、黄青霉、黄曲霉、黑曲霉和花斑曲霉。未见微生物生长的迹象。

### 2 - 汽车认证

IXEF 复合物被多家汽车制造商 (PSA、GM、VW、Fiat、Renault、Daimler Chrysler、Ford、BMW...) 应用于各类零部件中。其中的一些制造商已对多种 IXEF 复合物进行了认证, 并且在他们的塑料认证手册上为它们列出了编号。

以下列出了这些 IXEF 牌号的编号:

OPEL : IXEF 1022/9007 QK 000686  
IXEF 1002 QK 000689

FIAT : IXEF 1022/0003 PA-A 220.100  
IXEF 2010/X914 PA-A 130.35  
IXEF 2030/X003 PA-A 220.50

BMW : IIXEF 1002 PAA-GF 30  
IXEF 1022 PAA-GF 50 } BMW N 601 00.0  
IXEF 1032 PAA-GF 60 }

### 3 - ISO 9002

IXEF 复合物中所用的树脂是在一个通过 ISO 9002 认证的设施中聚合生产的。

(证书号 92038C, 2001 年 5 月 4 日,  
由 AIB-VINÇOTTE (B) 颁发)。

## V. 与竞争性材料的比较

## A - 热可塑性工程材料

与其它热可塑性材料相比，IXEF 复合物具有以下几个很好的优点：

- 非常高的拉伸模量（有些牌号可高达 24 GPa，例如 IXEF 1032）
- 非常好的表面光泽性，即使填充含量为 60 % (IXEF 1032) 也一样。由于其卓越的表面外观，IXEF 2011 和 IXEF 2057 牌号（仅矿物填充）被用于制造前灯。
- 卓越的抗蠕变性

- 加工容易。IXEF 1022 牌号（50 % 玻璃纤维）在螺旋型模具中的流动长度与 30% 玻璃纤维增强的聚酰胺 PA 6.6 的该值接近。
- 非常低的吸水性，在注塑成型前可不必对粒料进行干燥。

表 22 比较了 IXEF 复合物和其它玻璃纤维增强复合物的物理特性和机械特性（数据仅具有指示性）。

表 22：各种玻璃纤维增强的热可塑性材料机械特性比较

特性	单位	IXEF 1022		IXEF 1032		PA 66 50% GF		PA 6 50% GF		PBT 30% GF
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.64		1.77		1.55		1.55		1.68
吸水性 (24h/20 °C)	%	0.16		0.13		1.2		1.5		-
饱和时的吸水 (23 °C)	%	3.3		2.8		4		4.8		0.45
<b>拉伸</b>		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	
最大强度	MPa	255	190	280	215	230	180	235	160	135
模量	GPa	20	17	24	21	17	13	16	11	11
伸长率	%	1.9	1.8	1.8	1.7	2.5	3.5	3	5.5	2.2
<b>挠曲</b>										
最大强度	MPa	380	300	400	305	-	-	330	260	190
模量	GPa	18	15	21	18.5	-	-	13	10	11
HDT/A	°C	230		230		250		215		210
(a) 干燥										
(b) 吸水后（相对湿度 65%）。										

## B - 轻合金

对于许多应用，IXEF 复合物的机械特性足以可以代替轻合金（铝、镁和 MAZAK）。在玻璃纤维增强的热可塑性材料中，IXEF 牌号的模量是最接近于轻合金的。

与轻合金相比，IXEF 复合物具有以下一些优点：

- 无需对 IXEF 聚芳香酰胺的成型件进行后加工。
- IXEF 聚芳香酰胺部件的表面光泽性通常要好于轻合金。
- 在波动挠曲疲劳试验中，IXEF 1022 试样可承受的最大应力要高于轻合金。

表 23 比较了 IXEF 1022 和几个轻合金牌号的机械特性和物理特性。

表 23: IXEF 复合物与轻合金的比较  
(数据仅具有指示性)

特性	单位	IXEF 1022	IXEF 1032	铸造金属合金			
				铝		锌	镁
				AG6	AS9U3	MAZAK *	AZ91D
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.77	2.7	2.9	6.6	1.83
熔融温度	°C	235	235	660	660	390	470
导热率	W/m.K	0.4	0.4	110	95	110	51.2
热容	J/g.K	1.7	1.6	1	1	0.4	-
最大拉伸强度	MPa	255	280	220	200	280	235
弹性模量	GPa	20	24	65	72	85	45
变形前伸长率	%	1.7	1.7	0.2	0.2	0.2	3
循环挠曲强度 (10 <sup>7</sup> 次循环)	MPa	70	100	~ 35	~ 35	~ 50	~ 50

\* 铝 4%，镁 0.04%



## 1 - 水分含量和干燥

IXEF 复合物通常是以粒料形式（本体密度约为  $0.7 \text{ g/cm}^3$ ）包装在 25 公斤口袋或 1 吨八角箱内供货。两种包装均采用防潮密封，因此在加工之前不需要对产品进行干燥处理。如果包装敞开放在潮湿的环境中或者使用了回用料，产品会吸收一定的水分，吸水速率取决于环境条件。例如，如果一层 2 cm 厚的粒料敞在相对湿度为 65 % 的  $20^\circ\text{C}$  大气中，其所吸收水分的速率如图 34 所示 (IXEF 1022)。

如果粒料的水分含量超过 0.3 %（例如在上述条件下放置 4 小时后），就必须对产品进行干燥处理。

可以用热风在  $80^\circ\text{C}$  温度下干燥 12 小时。用除湿空气干燥器进行干燥效率会更高。为了避免表面氧化（导致颜色变黄），空气温度不得超过  $90^\circ\text{C}$ 。

真空干燥本身具有更高的效率，同时还可使用较高的温度。我们建议使用  $120^\circ\text{C}$  温度。在此条件下，一层 3 cm 厚的粒料在  $P = 2\text{-}3 \text{ mm Hg}$  的真空压力下的干燥速率如图 35 所示。

图 34: IXEF 1022 粒料的吸水情况

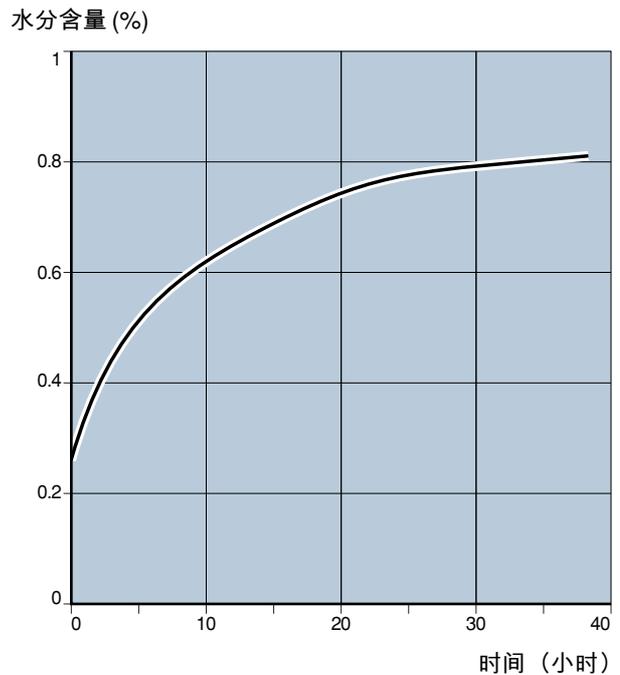
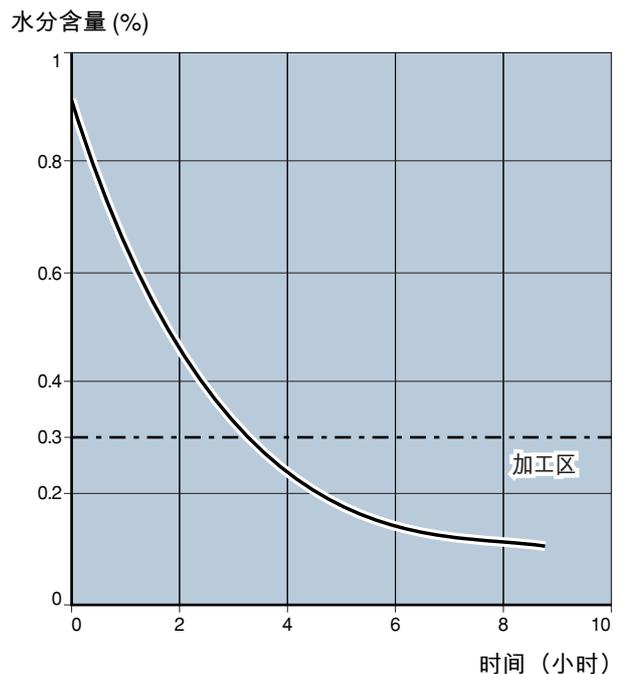


图 35: IXEF 1022 在真空干燥期间的脱水情况 ( $120^\circ\text{C}$ )



## 2 - 设备温度

如第一章所讨论的，IXEF 复合物的基体树脂聚芳香酰胺是一种半结晶性聚合物。其物理特性、部件的尺寸精度和在高温下的各种特性都是由实际达到的结晶水平所决定的。因此在加工产品的过程中获取最大结晶度极为重要。

半结晶性材料只有在其玻璃转化温度以上才能结晶。注塑期间材料的最低温度对应于模穴表面的温度。

IXEF 复合物所用树脂的玻璃转化温度为 85 °C。因此，模具的温度必须远远在 85 °C 以上。在 3 mm 厚的试样上所进行的试验，测量了以模具温度为函数的部件中心区和表面的相对结晶水平（图 36）。这些结果表明，模具温度必须在大约 120 °C（以上均指小厚度）才能在加工期间达到最高结晶水平。

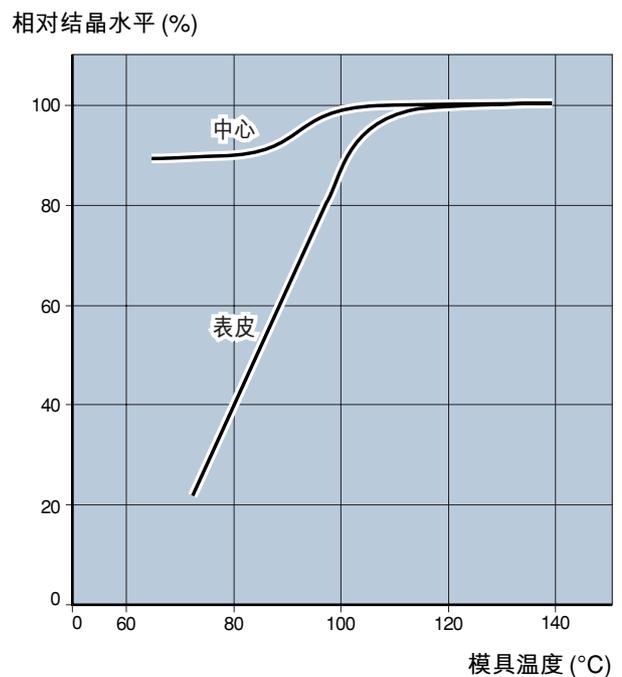
可以确定所注塑部件的模具温度是否适当的一种简单分析试验是：DSC 分析（差示扫描量热法）。

缓慢加热一小块注塑部件（每分钟 20 °C）并记录所释放的热量（见第 7 页的图 3 和图 4）。

如果产品尚未达到其最高结晶水平，就会在加热阶段经历后结晶。

此结晶过程会释放出热量，从而在 DSC 图上出现一个负峰（放热发生在大约 80-120 °C）。

图 36: 以模具温度为函数的结晶度



在加工期间（因模具温度太低）未达到最高结晶水平的部件可能存在下列缺陷：

- 在温度低于 120 °C 的模穴中成型的部件，其吸水量要高于在温度为 120 °C 的模穴中成型的部件（图 37）。这是由于其无定形区更大。
- 在低于 120 °C 的模具温度下成型的部件会有经历后结晶的危险，因而会有部件变形的危险。这是由于吸水而导致材料的玻璃化转变温度下降所引起的。
- 低模具温度成型部件的蠕变要比在正确的模具温度下成型的部件大（图 38）。
- 低的模具温度会产生不规则的表面，既有光滑区也有粗糙区，或者有纤维裸露在表面。要获得优越的表面光泽性，模具温度必须在 120 °C 以上。
- 注入 80 °C 以下的模穴会导致非常低的收缩率，在部件脱模时会造成问题。

图 37：在 75°C 和 130 °C 模具温度下注塑成型的 IXEF 1002 试样的吸水性

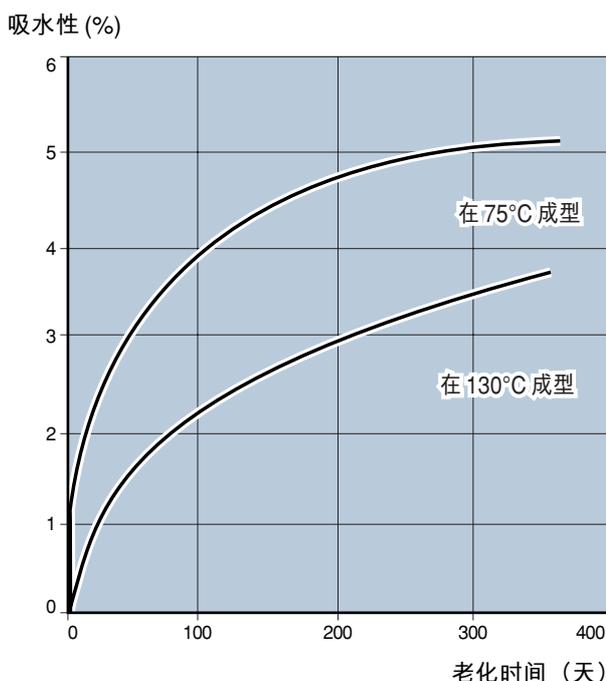
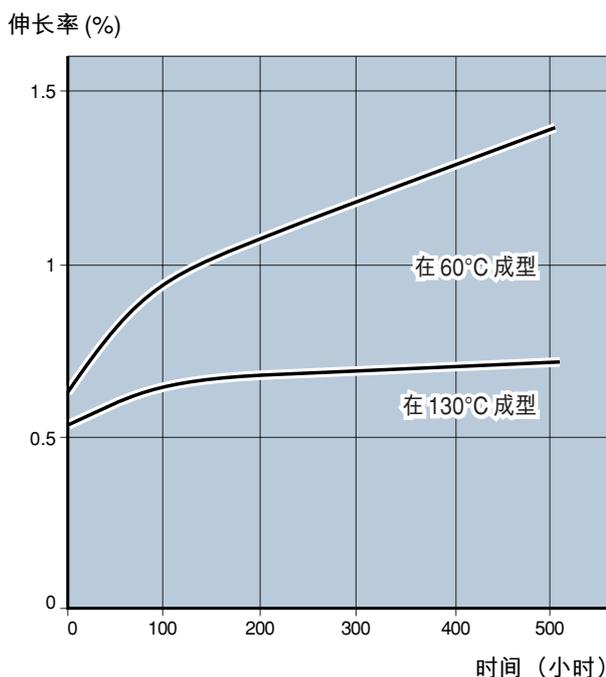


图 38：IXEF 1032 在两种不同模具温度下的拉伸蠕变 (23 °C, 120 MPa)



### 3 - 塑化阶段

塑化阶段的目的在于熔融注塑部件所需的材料量, 并将材料的温度升高到注塑温度。

#### 温度

所需的材料温度约为 280 °C (对于阻燃牌号和耐冲击改性牌号, 最高为 270 °C)。从料斗到喷嘴, 温度分布应稳定增加, 进料段温度为 250 °C。

由于 IXEF 复合物会在 300 °C 开始氧化并引起材料褪色, 必须通过将料筒中塑化后的材料对空射出来检验实际的材料温度。螺杆的剪切作用和高速射出的流动行为会导致温度的增加 (通常估计为 20 °C), 有时这将造成温度过高。然而, 标准的 IXEF 牌号在 310 °C 以下不会出现任何可能对用户造成危险的热分解。

IXEF 复合物在 200 °C 附近结晶, 因此必须限制从喷嘴到模具的热损失, 以防止材料发生凝固。

#### 螺杆速度

所用的螺杆圆周速度必须在 3 到 10 m/min 之间。图 39 给出了以螺杆直径为函数的螺杆速度范围。

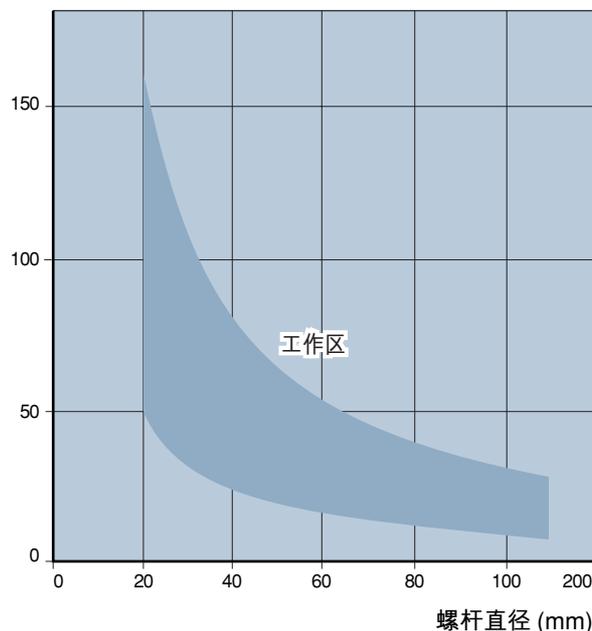
如果圆周速度在 10 m/min 以上, 会使混合过于激烈, 并可能会导致材料中的玻璃纤维被破坏并进而造成产品强度降低。

#### 背压

螺杆上的背压必须很低, 甚至可以为零 (液压为 0 至 10 巴)。少量的背压就足以使熔融材料获得良好的均匀性。

图 39: 以螺杆直径为函数的螺杆速度

螺杆速度 (rpm)



## 4 - 注塑阶段

在注塑阶段设置之前,需保证模具温度和材料温度已达到要求值并确认无误。

注塑成型机的液压设备可将压力施加于熔融材料并使材料从料筒转移到模穴中。可以采用恒定的流速(甚至采用以时间为函数的流速)或恒定的压力进行填模。

施加在材料上的压力(设备上通常会有图表,显示以油路压力为函数的料筒内材料的有效压力)取决于模具的几何形状、注塑速度和材料温度。螺旋模具的注塑能力试验如图 40 和 41 所示,可以看出增大此压力会增大流程。

部件和表面质量主要取决于模穴填充阶段。为了确保完全填充模穴并获得均匀一致的部件,注塑压力和速度要尽量高,但又不至于因狄塞尔效应而产生烧焦或因流速过快而导致部件表面质量的降低。

注塑阶段之后即为保压阶段。必须特别注意,要确保让切换点处于这两个阶段之间。

图 40: 1 mm 厚的各种 IXEF 牌号以注塑压力为函数的螺旋长度

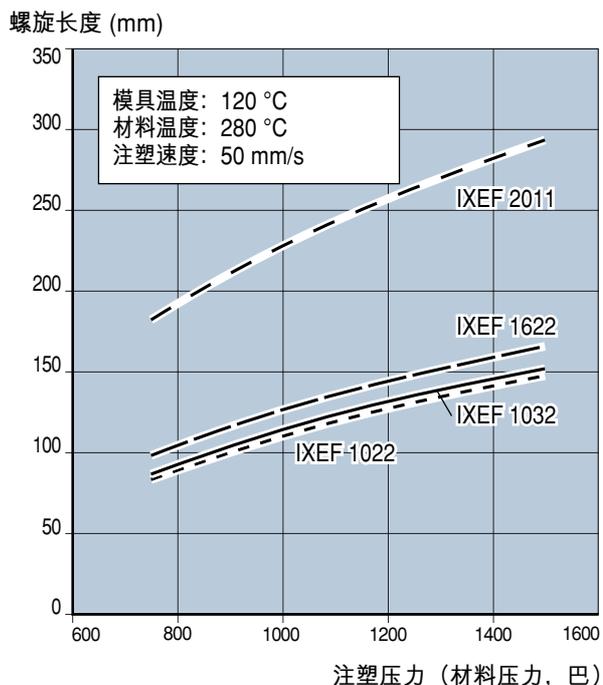
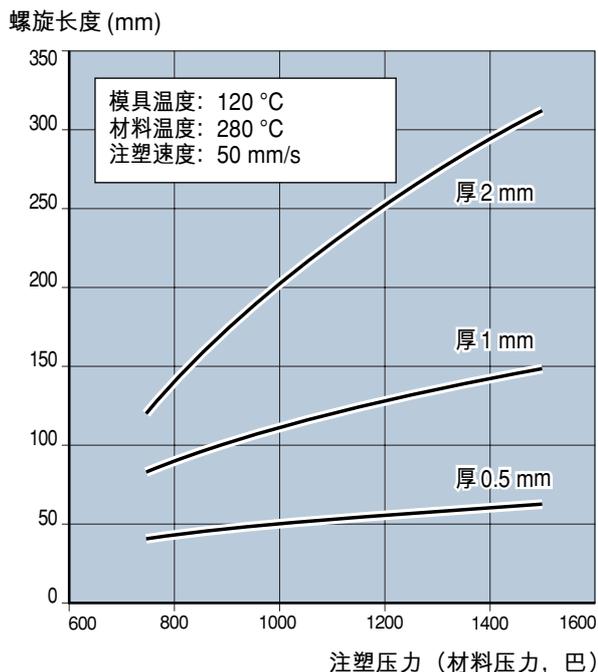


图 41: 各种厚度的 IXEF 1022 以注塑压力为函数的螺旋长度



## 5 - 保压阶段

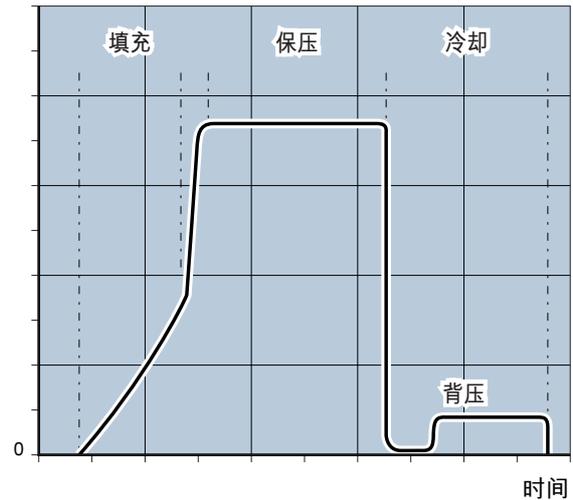
保压阶段在注塑阶段之后 (图 42), 它通过添加更多的材料来完成部件的填充并补偿比容的下降 (由于温度降低和结晶而引起): 此时的流速低但压力高。

尺寸精密度和稳定性以及表面外观均受保压压力值的影响。取决于所期望的公差, 我们建议使用 300 到 1500 巴之间的材料压力。保压压力太高会导致过度填充并造成脱模困难。

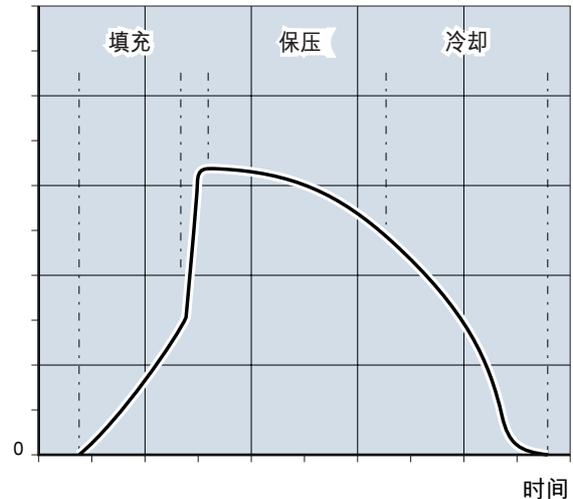
施压时间可以按每毫米厚度3秒钟进行估算 ( $w \geq 2\text{mm}$ )。然而, 在首次成型时必须核实所选定的时间是否可使部件的重量达到最大值 (如果增加保压时间, 重量不得有明显的增加)。未完全填充的部件不仅会产生表面缺陷, 而且还会导致机械特性丧失。

图 42: 成型循环过程中的液压和材料压力

液压



材料压力



## 6 - 冷却阶段

为了注塑新的部件而进行首次设置时, 可通过部件的最大壁厚 ( $w \geq 2 \text{ mm}$ ,  $w$  以 mm 为单位) 来估算冷却时间 ( $t_c$ ):

$$t_c = 2.5 \times w^2$$

对于脱模困难的部件, 可能有必要增加所估算的时间, 尤其是对于 IXEF 耐冲击改性牌号而言。

要对此冷却时间进行精细调整, 以优化循环时间。

一旦部件能够承受脱模系统所施加的应力, 即可将其从模具中顶出。例如, IXEF 1022 在  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  即固化, 在此温度下其模量为 5 GPa。

## 7 - 添加剂

### 润滑剂

脱模过程中的部件变形或部件在模具中的粘模等问题通常是由模具设计或注塑成型条件所引起的。如果无法改变这些参数, 或即使改变也不能解决问题, 可使用润滑剂含量较高的 IXEF 复合物。

下列两种 IXEF 1022 复合物的脱模剂含量较高: IXEF 1022/X005 牌号 (本色) 和 IXEF 1022/X925 牌号 (黑色)。这两种产品可降低从模具中取出部件时所需的脱模力。

这些含润滑剂复合物的机械特性要比标准牌号略低一些, 通常用于缩短成型周期。

### 色母料

尽管苏威销售多种颜色的 IXEF 牌号成型料, 但还是可以使用色母料来生产彩色的部件。

对于 IXEF 牌号, 我们建议采用 (除了别的以外) 基于聚酰胺 (PA 66) 的色母料。

应避免使用含有  $\text{TiO}_2$  的色母料, 因为它们会造成机械特性明显下降。

### 发泡剂

通过添加可在  $240\text{-}270 \text{ }^\circ\text{C}$  使用的发泡剂 (例如 Expandex<sup>®</sup> 5NPT), 能将具有相对恒定厚度的部件膨胀多达 30%。在此情况下, 必须注意下列条件:

- 将大约 0.5% 的发泡剂与干燥的粒料混合
- 将材料温度调整到最高  $240\text{-}250 \text{ }^\circ\text{C}$
- 使用截流式喷嘴 (料筒内的材料必须维持在压力下)
- 调整注塑体积, 使仅塑化所需注射的精确量的材料
- 以高速注射

确切的注塑条件应按照初始成型结果进行优化。

## 8 - 回收

回用料（浇道、流道等）可回收与新料一起使用，污染物（油、脱模剂、其它添加剂等）要除去。

图43和44显示了以回收30%的次数为函数的IXEF 1022/0003 牌号（本色）拉伸强度、模量及断裂伸长率的变化情况（每次循环所用复合物均为70%新复合物与30%前一循环的回用料混合）。

我们发现这三种机械特性几乎没有变化。连续回收会导致颜色发生轻微改变。

以30%的比例连续回收 IXEF 1022 牌号时会造成约为5的稳定色度变化 ( $\Delta E$ )。因此必须通过试验来确认回收率，以确保所制得的部件持续符合规格的要求。

我们建议在注塑之前对回用料进行干燥，除非是在压机上将它们粉碎并重新注塑。

我们建议在使用回收料之后对部件进行标记以便于辨认。见表 25。

表 25: 按照 ISO 1874 标准的 IXEF 聚芳香酰胺部件标记

牌号	标记
IXEF 1002	> PA MXD6 - GF 30 <
IXEF 1022	> PA MXD6 - GF 50 <
IXEF 1032	> PA MXD6 - GF 60 <
IXEF 1501	> PA MXD6 - GF 30 <
IXEF 1521	> PA MXD6 - GF 50 <
IXEF 1622	> PA MXD6 - GF 50 <
IXEF 2011	> PA MXD6 - MF 41 <
IXEF 2030	> PA MXD6 - MF/GF 55 <
IXEF 2057	> PA MXD6 - MF 45 <
IXEF 2530	> PA MXD6 - MF/GF 55 <

图 43: 以 30% 的比例连续回收 IXEF 1022 对拉伸特性影响的过程

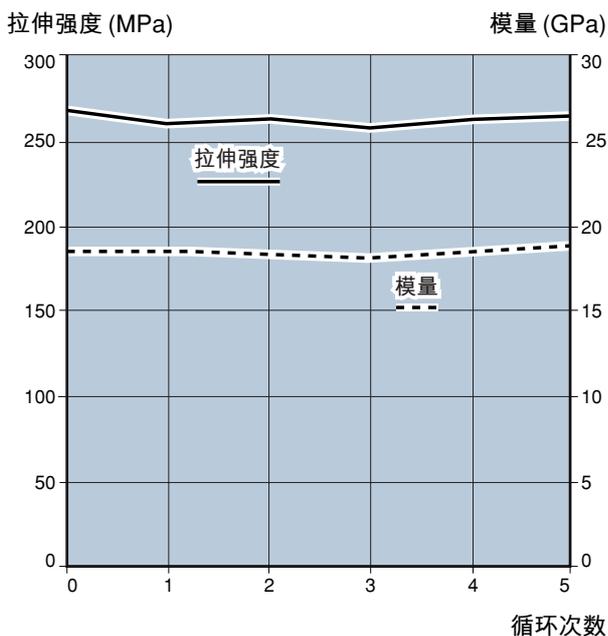
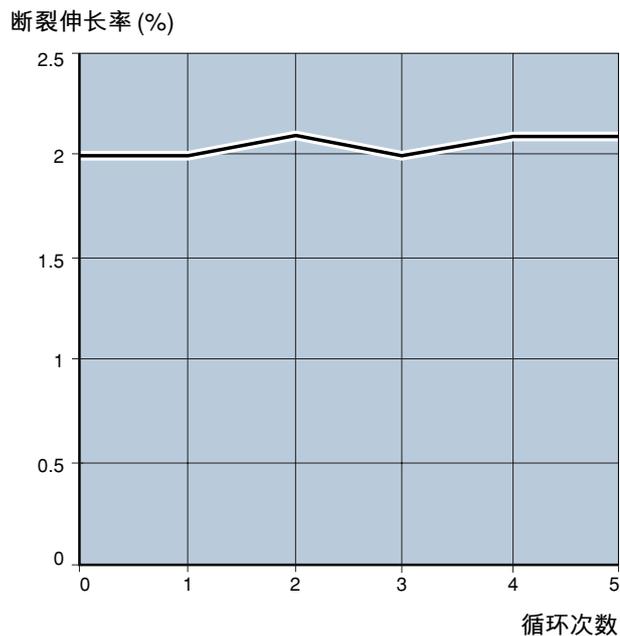


图 44: 以 30% 的比例连续回收 IXEF 1022 对拉伸特性影响的过程



## 9 - 常见加工问题的解决方案

(详情请见 [www.solvay.com/IXEF](http://www.solvay.com/IXEF))

表 26

故障	可行的修正措施
部件和模具上有油点 (分解的迹象)	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低材料温度 (螺杆及 / 或热流道)</li> </ul>
白斑 (相同现象, 但模具是冷的)	<ul style="list-style-type: none"> <li>升高模具温度</li> <li>降低材料温度 (螺杆及 / 或热流道)</li> <li>使用脱模剂、润滑剂</li> </ul>
表面外观差	<ul style="list-style-type: none"> <li>升高模具温度</li> <li>增大注塑速度</li> <li>核实保压时间和压力</li> </ul>
表面上可见玻璃纤维	<ul style="list-style-type: none"> <li>升高模具温度</li> <li>增大注塑速度</li> <li>增大流道尺寸</li> <li>升高材料温度</li> </ul>
喷痕	<ul style="list-style-type: none"> <li>更改进浇点位置</li> <li>减小初始注塑速度</li> <li>增大进浇点的横截面积</li> </ul>
焦化	<ul style="list-style-type: none"> <li>增大排气</li> <li>降低填充末端位置时的注塑速度</li> </ul>
部件未完全填充	<ul style="list-style-type: none"> <li>增大射出计量</li> <li>增大注塑压力和速度</li> <li>增大流道尺寸</li> <li>升高材料温度</li> <li>增大排气</li> </ul>
部件变形	<ul style="list-style-type: none"> <li>升高模具温度</li> <li>修改部件设计, 避免大的厚度差异</li> <li>增大保压压力以降低收缩率</li> <li>修改注塑浇口的位置和尺寸</li> <li>增加冷却时间</li> </ul>
部件或浇道粘模	<ul style="list-style-type: none"> <li>减少保压时间</li> <li>降低保压压力</li> <li>增大模穴的脱模角度</li> </ul>
凹陷	<ul style="list-style-type: none"> <li>增加保压时间和压力</li> <li>改变进浇点的位置和尺寸</li> </ul>

## B - 注塑成型设备

---

### 1 - 注塑设备

加工 IXEF 牌号塑料不需要特殊的注塑成型设备，只要是设计用于加工增强或填充材料的设备就行。最常用的设备是螺杆式注塑成型机，它们能很好地兼顾塑化能力、熔融料温度的控制、注塑速度及注塑压力。

#### 合模力

可以估计螺杆头部的最大合模力对应于 800 至 1000 巴之间的材料压力，即每平方厘米的投影表面积上有 0.8 至 1 吨的力（例如表面积为 120 cm<sup>2</sup> 的 120 吨压机）。

然而经验表明，对于具有可编程注塑速度或压力的现代压机而言，有此值的一半通常就足够了。

#### 料筒

由于料筒易受磨损，最好使用双金属类型的料筒，以延长其使用寿命。

这种技术提供了基础金属（提供机械强度）与保护料筒的内涂层之间宽广的组合范围（参见诸如瑞士的 BERNA AG、美国的 XALOY 及英国的 BROOKES 等公司的产品）。

#### 螺杆

基于半结晶性聚芳香酰胺树脂的 IXEF 复合物具有很明显的熔融温度。使用通用型螺杆（压缩比为 2.7 至 3，长径比为 15 至 20）即可轻易实现材料的塑化。

新的或翻新的螺杆最好（在侧面及螺纹牙顶）包覆一层 Stellite<sup>®</sup> 合金或高铬含量的中心淬硬合金钢（高硬度且恒定厚度）。

对于注塑成型填充物含量高的材料，不建议使用氮化硬化的螺杆。因为尽管这种螺杆的表面硬度高，处理的深度却不足。

## 止逆阀

此部件在集聚压力方面具有很重要的作用。为了在注塑和保压阶段维持压力，它必须正确就位（图 45）。

由于高的材料剪切速率的作用，使此阀易受磨损。减少磨损的一个解决方法是用气相化学沉积对表面进行保护处理。

材料的回流可能是止逆阀磨损或分解材料在此沉积造成的。回流使得保压阶段不可能维持材料缓冲量。假如出现注塑材料体积不正常的情况，就必须将注塑设备的头部拆除以检查止逆阀的状况。

## 喷嘴

喷嘴位于料筒的末端，它是与模具的接触点。它必须加热，以补偿由于热传给了模具而导致的损失（因为模具的温度较低）（图 46）。

尽管截流式喷嘴并非是必需的，但它确实具有消除任何流涎的优势。所有类型的截流式喷嘴均可使用，但最好使用有弹簧针的系统，因为它们具有良好的抗渗性而且没有停滞区。

如果正确调整喷嘴的温度以消除流涎，采用不带截流阀的喷嘴也可以获得良好的结果。

由于 IXEF 复合物在熔融时具有良好的流动性，一定要将喷嘴紧固在料筒上，以防止出现材料渗透。

图 45: 止逆阀

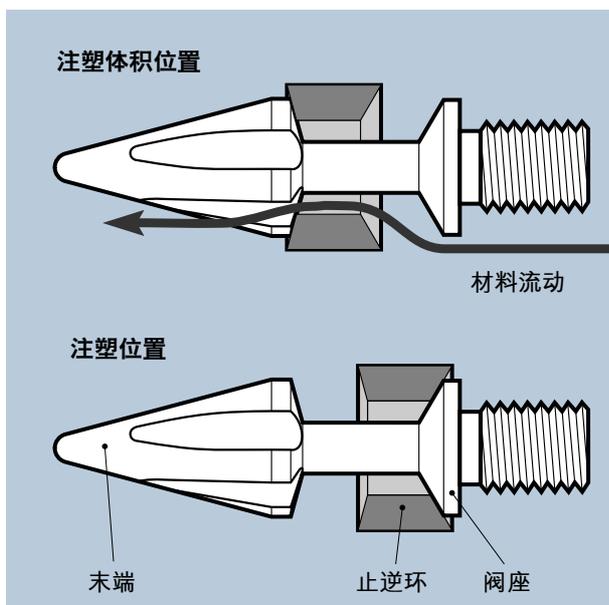
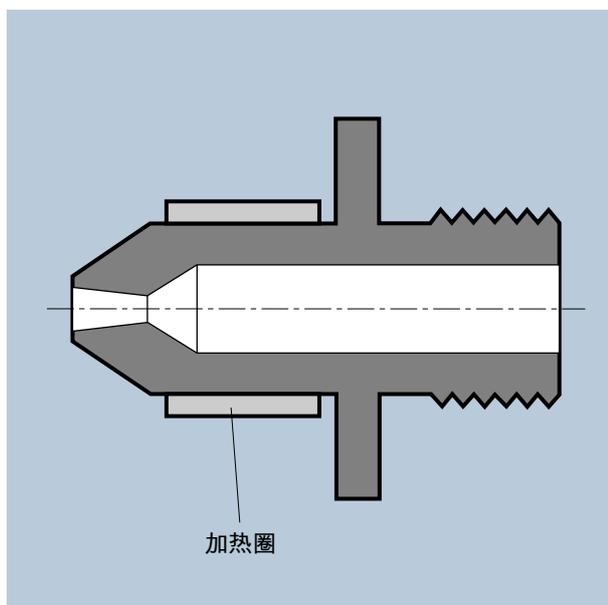


图 46: 敞口喷嘴



## 2 - 模具

### 制作材料

制作模具的钢材必须符合一定的标准，例如可机械加工性、适合抛光及热处理，还要具有耐应力性、磨损性以及在某些情况下要具有耐腐蚀性。钢材的成分决定钢材的性能。碳钢最适合淬火硬化；铬钢具有好的耐磨损性和耐腐蚀性；高硫钢具有较好的机械加工性。但是后两种成分的抛光性能较差。

由于要加工的是聚芳香酰胺 IXEF®，我们建议使用通心淬硬的钢材以使其在热处理之后具有 54-60 HRC 的硬度。

例如：

- AFNOR Z160 CDV 12-DIN X155 Cr Vmo 12.1 - W. Nr 1.2379 AISI D2（这种含有 12% Cr 的自硬化牌号具有耐磨损性，而且容易通过硝化处理进行表面硬化）。
- Aubert & Duval S.M.V. 5W（耐磨损牌号，具有细粒结构）和 XDBD（耐腐蚀性）
- AFNOR Z40 CDV5 – DIN X40 Cr MoV 5.1-W.Nr 1.2344 AISI H13（这种类型的钢材适用于需要高度抛光表面的应用。）
- UDDEHOLM: STAVAX ESR, ORVAR 和 ELMAX

对于阻燃的 IXEF® 牌号 (IXEF®1501、1521 或 2530)，除了硬度标准 (54-60 HRC) 之外，还建议选择耐腐蚀性钢材。

例如：

- AFNOR Z40 C14 – DIN X42 Cr13 – W.Nr 1.2083 AISI 420
- Aubert & Duval X.D.B.D.W（耐磨损性和耐腐蚀性，具有细粒结构）

### 热调节

**IXEF 复合物需要至少 120 °C 的模具温度。**

为了达到最佳质量，模穴壁的表面温度必须尽可能一致，偏差不得超过 5 °C。在设计冷却水道时必须考虑这一要求并确定水管与模穴壁之间的正确距离。

我们建议使用具有良好温度一致性的热交换液（“热油”）来进行热调节。热调节装置的加热功率必须足够高，以使其在停机时就能很快达到工作温度（即无需利用熔融 IXEF 复合物的热容）。

热调节装置所需的功率可以按照如下所列的模具重量进行估计：

- 约 100 kg: 3 至 6 kW
- 约 1000 kg: 6 至 9 kW
- 约 2000 kg: 9 至 12 kW

不建议仅使用加热棒，因为它们不能提供适当的温度控制。

同时有必要对模具进行隔热，以限制其将热传给模具压板。这方面的内容可咨询模具附件的制造商（例如 HASCO、DME 等）。

## 流道

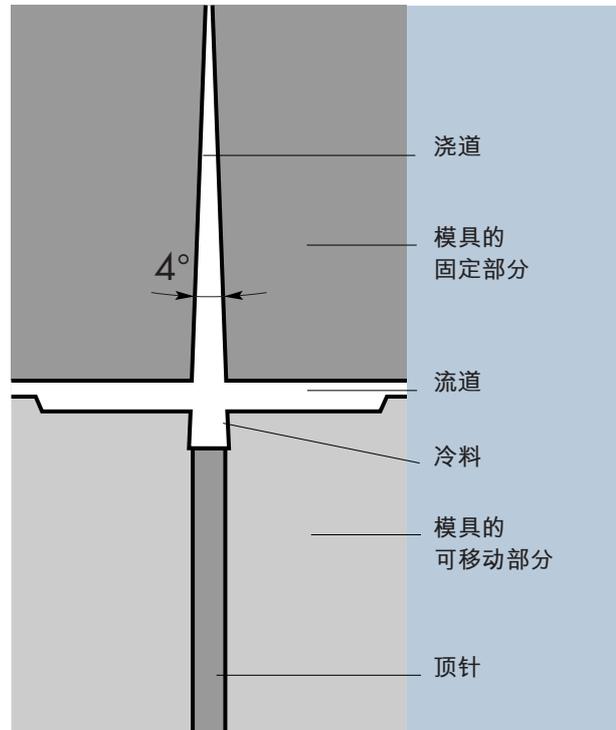
浇道将熔融材料从注塑设备的喷嘴引导到模具分模线，它必须有足够大的脱模角度和抛光表面，以防止浇道粘模。总脱模角度必须在  $3^\circ$  和  $4^\circ$  之间(图 47)。

冷料具有与浇道相反的锥度，其长度必须与直径相近。浇道的平均直径必须与部件的体积相适应。例如， $50\text{ cm}^3$  以下的体积为  $4\text{ mm}$ ， $150\text{ cm}^3$  以上的体积为  $8\text{ mm}$ 。

浇道给多流道的网络供料。在设计这些流道时，最好略微缩小其横截面积。如果以后遇到填充困难时可以再扩大。使用多穴模制作尺寸精密的部件时，必须提供平衡进料系统，以使所有模穴都以相同的速度和压力填充。

IXEF 材料的充模可以采用热流道法，它具有节省材料和能量的优点。在众多的制造商中，我们推荐 Mold Master Husky、INCOE 及 Eurotool 公司。一定要精确调整所有热流道系统的温度，这一点很重要。

图 47: 冷料



## 注塑浇口

浇口的位置和横截面积非常重要。这些参数决定着：

- 纤维的取向、是否会有喷痕以及熔合线位置等，这些对于部件的机械强度而言都是非常重要的
- 材料在浇口结晶前保压阶段的有效时间，这可确保尺寸的精确度
- 冷却的均匀性，这是产品具有优良的热稳定性所必需的
- 部件的美观度：浇口会在部件表面留下痕迹，因此它应当位于看不见的表面。

所以必须认真研究浇口的横截面积和位置，充分考虑部件的最终特性，而不是首先考虑模具是否容易制作。

对于冷浇口，浇口的厚度 (d) 与部件的壁厚 (w) 有关。例如，我们建议：

- 对于直接进料， $d \approx w$
- 对于侧向进料， $d \approx 0.7w$
- 对于薄的部件， $d \approx 2w$

注塑浇口的位置必须根据部件的机械要求和美观要求来确定。IXEF 技术支持部具有广泛的经验和各种工具（例如 MOLDFLOW），可以为您提供帮助。

在一般情况下，注塑浇口的位置必须符合下列要求：

- 位于部件的最厚部位（图 48）。
- 在长部件的末端，这样可使玻璃纤维的取向尽可能均匀一致（见图 48）。
- 避开熔合线或将它们移到较少受力的地方。
- 使部件模穴的各个末端都能同时填充。

图 48：进浇点的位置

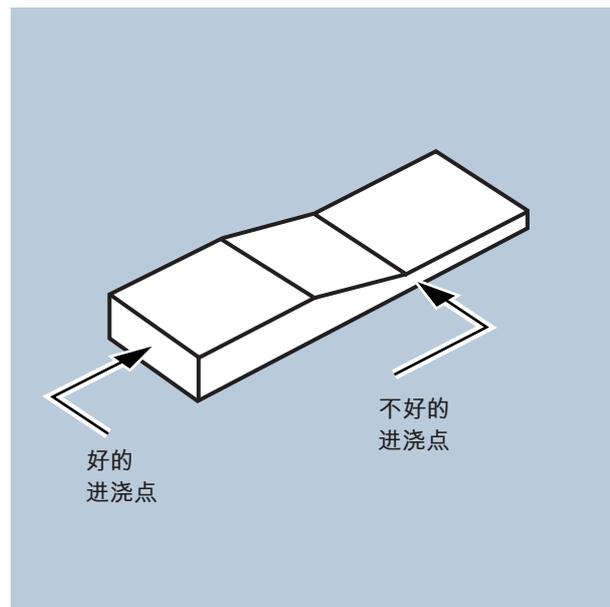
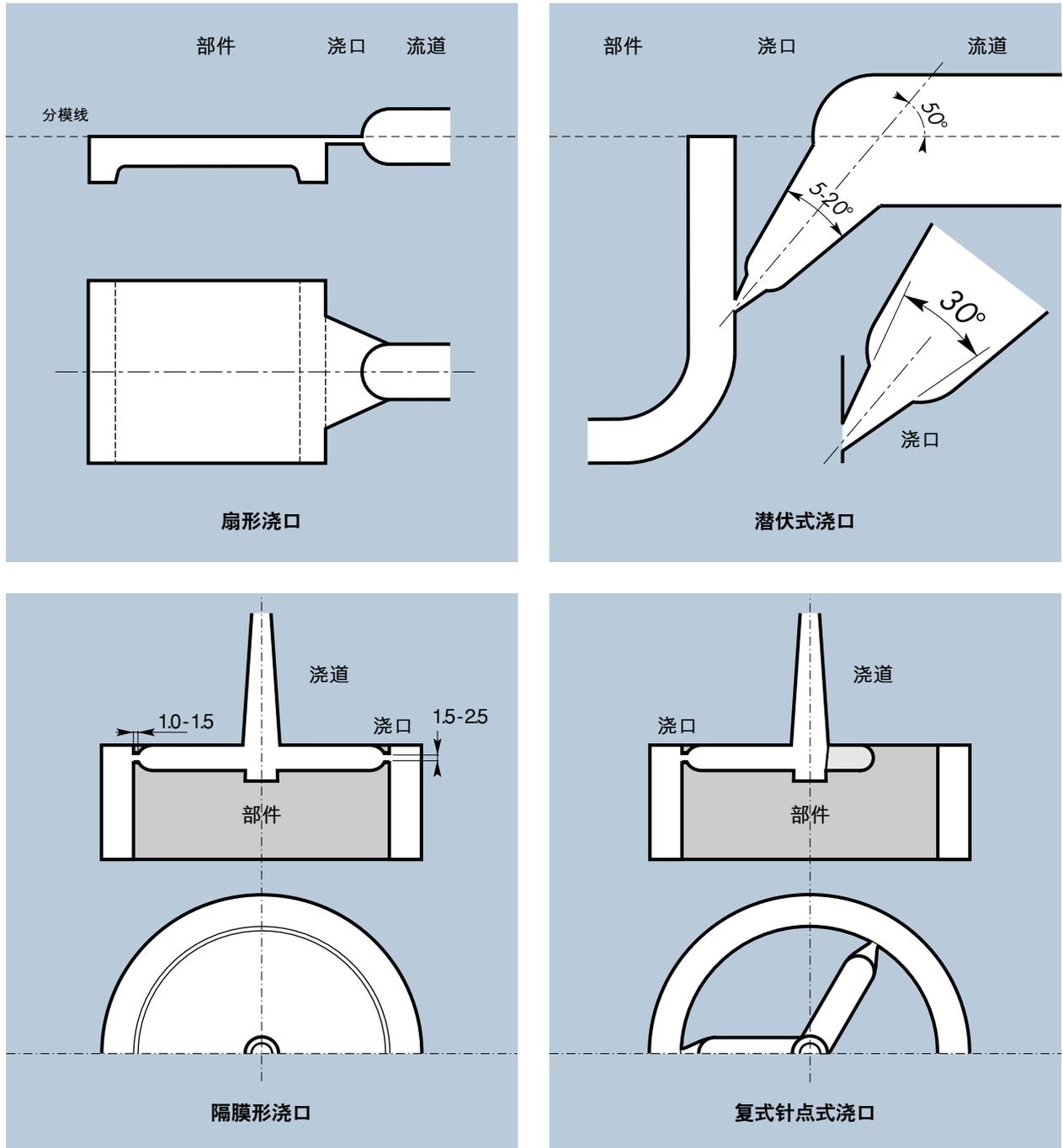


图 49: 不同注塑浇口举例



## C - 安全措施

### 排气口

成型 IXEF 复合物部件的模具需要有排气口。必须将它们设计成在填充模穴时能排出模具中的空气 (见图 50)。

排气不足会导致模穴填充不满、部件上出现凹陷, 以及在严重时出现烧焦 (狄塞尔效应)。

主排气口位于模具分模线旁。通常有必要在分模线上 (在进料口的对面)、在顶针上或在模具嵌入件上增加排气口。

建议使用宽而薄的排气口; 在一般情况下, 宽度范围为 6-10 mm, 厚度不应超过 0.010 - 0.015 mm, 以避免出现毛边。在距离模穴 5 - 6 mm 的地方, 将排气口的厚度增加到 1 - 2 mm 会是有益的。

### 顶针

由于 IXEF 复合物在成型期间的低收缩率 and 高温下的刚度, 要求所设计的顶针必须具有足够的动力。

而且有必要将其分布到部件的各个部位, 以有助于脱模并防止部件变形

### 分型线

为了确保模具的良好关闭, 建议检查分型线 (蓝色标记) 在对应于生产中所用合模力的 15 % 力时是否对齐。

只要按照所推荐的要求进行处理和加工, 使用 IXEF 复合物便不会对健康构成任何危险。

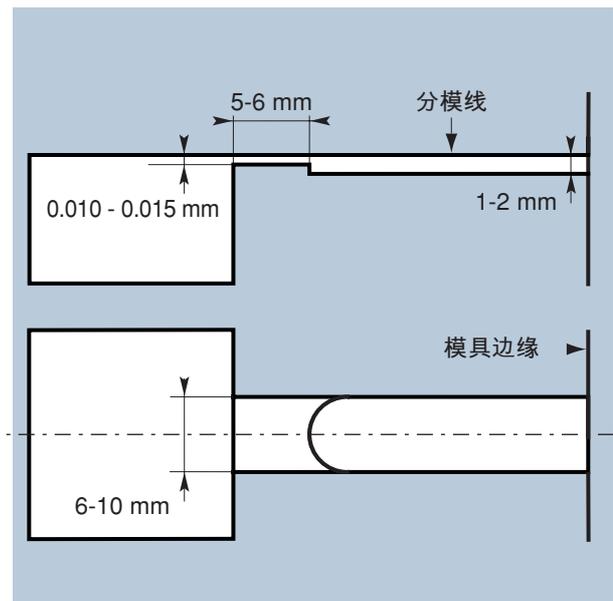
需要特别指出的是, 加工地点在成型期间一定要正确排风, 而且排风口要直接位于喷嘴的上方。操作工应当戴安全护目镜和绝缘手套。

需要长时间停机时, 建议清空注塑设备并将料筒温度降低到约 180 °C。可在即将恢复成型操作之前重新将料筒加热到 250-280 °C。

在所推荐的加工温度下短暂停机 (小于 10 分钟) 时, 没有必要降低料筒温度 (对于敏感的颜色除外)。

在最终关机时, 建议完全清空料筒并用中等密度、高粘度的聚乙烯 (例如 SOLVAY 生产的 ELTEX® B5920) 对料筒进行多次清料。

图 50: 排气口



## VII. 部件设计

### A - 应力的估算

设计热可塑性材料的部件时必须考虑若干因素：

- 部件上所受到的**机械应力**：第 VII.A 部分描述了多种可用来估计应力的技术。
- 部件必须承受的**环境**（热、化学等）：（见第 I 和 IV 章）。
- **对部件的电气和阻燃要求**：（见第 III 章和 UL 标准 746C）。
- **部件的形状**：形状可影响部件的尺寸稳定性、成型周期和应力水平。这些内容在第 VII.B 部分讨论。
- **成型后部件的收缩率**：这对模具的设计非常重要，在第 VII.C 部分进行描述。
- **装配技术**：在第 VII.D 部分讨论。
- **装饰技术**：此内容在第 VII.E 部分讨论。

外部载荷会在部件上产生应力。取决于部件的形状和所选用的材料，这些应力可能会导致部件断裂或产生过大的变形。

可从基于虎克定律的机械方程式和材料的模量(E)估算出应力 ( $\sigma$ ) 和变形 ( $\epsilon$ )：

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

由于不可能在此描述所有可能的变形状态，我们选择集中讨论拉伸 (VII.A.1) 和挠曲载荷 (VII.A.2)。对于其它类型的应力或更复杂的部件，IXEF 技术支持部可为您提供帮助。

## 1 - 拉伸应力

拉伸应力可用下列方程式进行估算：

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A}$$

其中：

$\sigma_T$  = 拉伸应力 (MPa)

$F_T$  = 拉伸力 (N)

$A$  = 横截面积 (mm<sup>2</sup>)

## 2 - 梁的挠曲应力

梁的挠曲应力可用下列方程式进行估算：

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot C}{I}$$

其中：

$\sigma_f$  = 挠曲应力 (MPa)

$M_f$  = 挠曲力矩 (N.mm)

$C$  = 中性轴至外层纤维的距离 (mm)

$I$  = 惯性矩 (mm<sup>4</sup>)

这些因素取决于梁的形状 ( $C$  和  $I$ )、载荷的位置 ( $M_f$ ) 及固定的方式 ( $M_f$ )。

图 51 给出了具有不同类型的梁的惯性矩 ( $I$ ) 和中性轴至外层纤维的距离 ( $C$ )。

图 52 给出了不同类型的固定和载荷的挠曲应力 ( $\sigma_{max}$ ) 和最大挠曲 ( $Y_{max}$ )。

当然，还有其它类型的载荷及固定方式。感兴趣的读者应参考有关材料强度方面的书籍（例如由 Roark 和 Young 所著，McGraw-Hill Publishers 出版的《Formulas for Stress and Strain》）。

图 51：不同几何形状对称轴的惯性矩

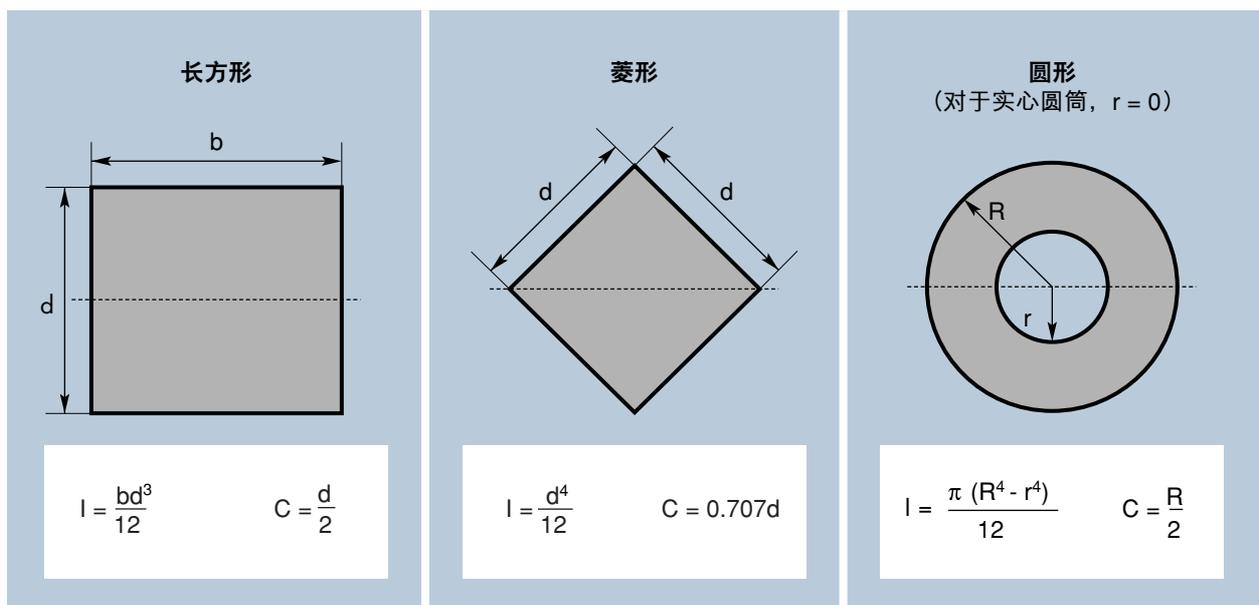
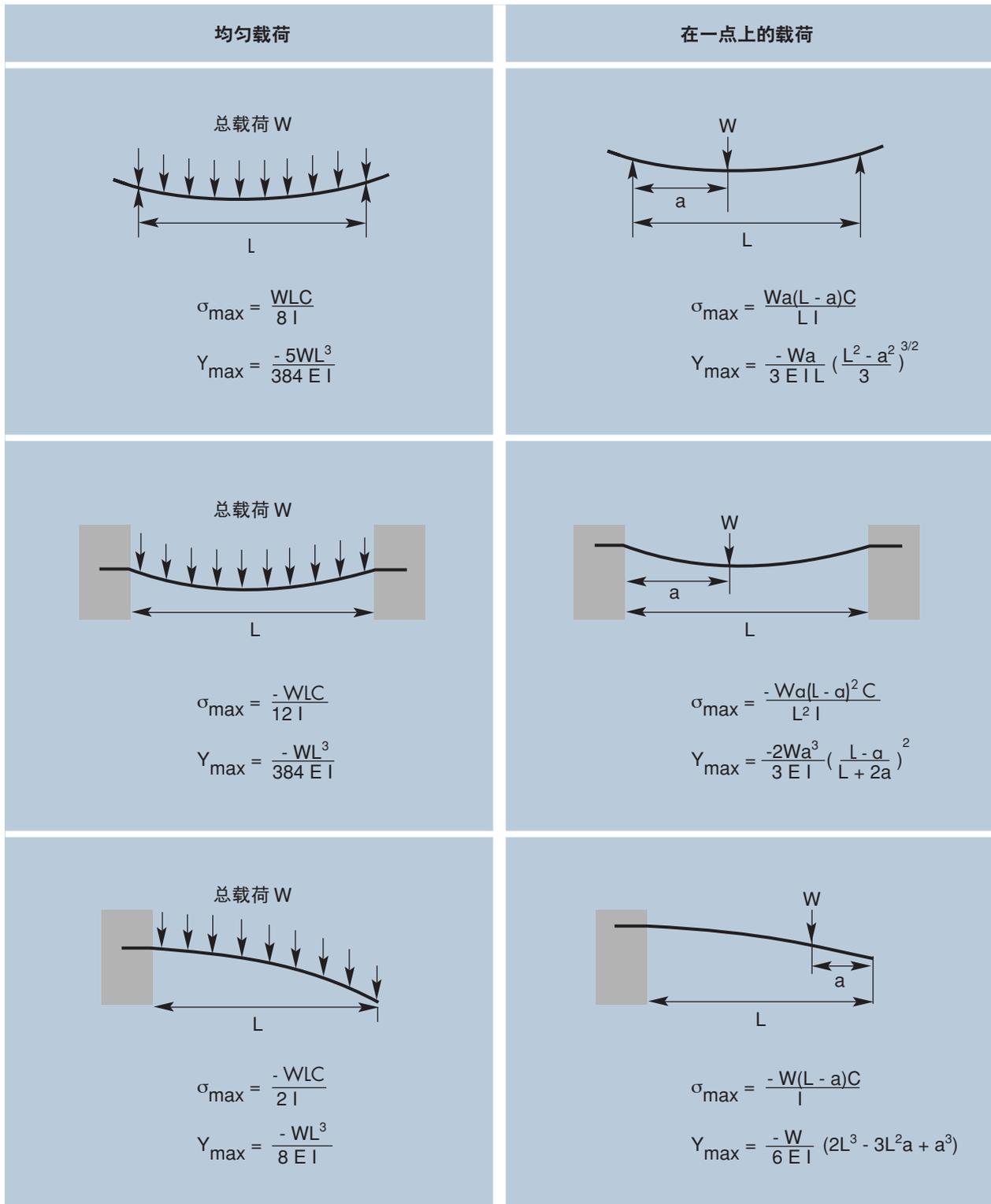


图 52: 以载荷类型为函数的最大应力 ( $\sigma_{\max}$ ) 和最大挠曲 ( $Y_{\max}$ )



## B - 部件的设计

部件的设计或形状不仅必须满足功能上的限制,而且还要受到下列所述的注塑成型过程的技术性限制:

- 壁厚要尽可能均匀 (第 VII.B.1 部分)
- 脱模角度的设计要使其能从模具中脱出 (第 VII.B.2 部分)
- 没有锐利的角度 (第 VII.B.3 部分)
- 凸台、孔及加强筋结构的设计 (第 VII.B.4 部分)

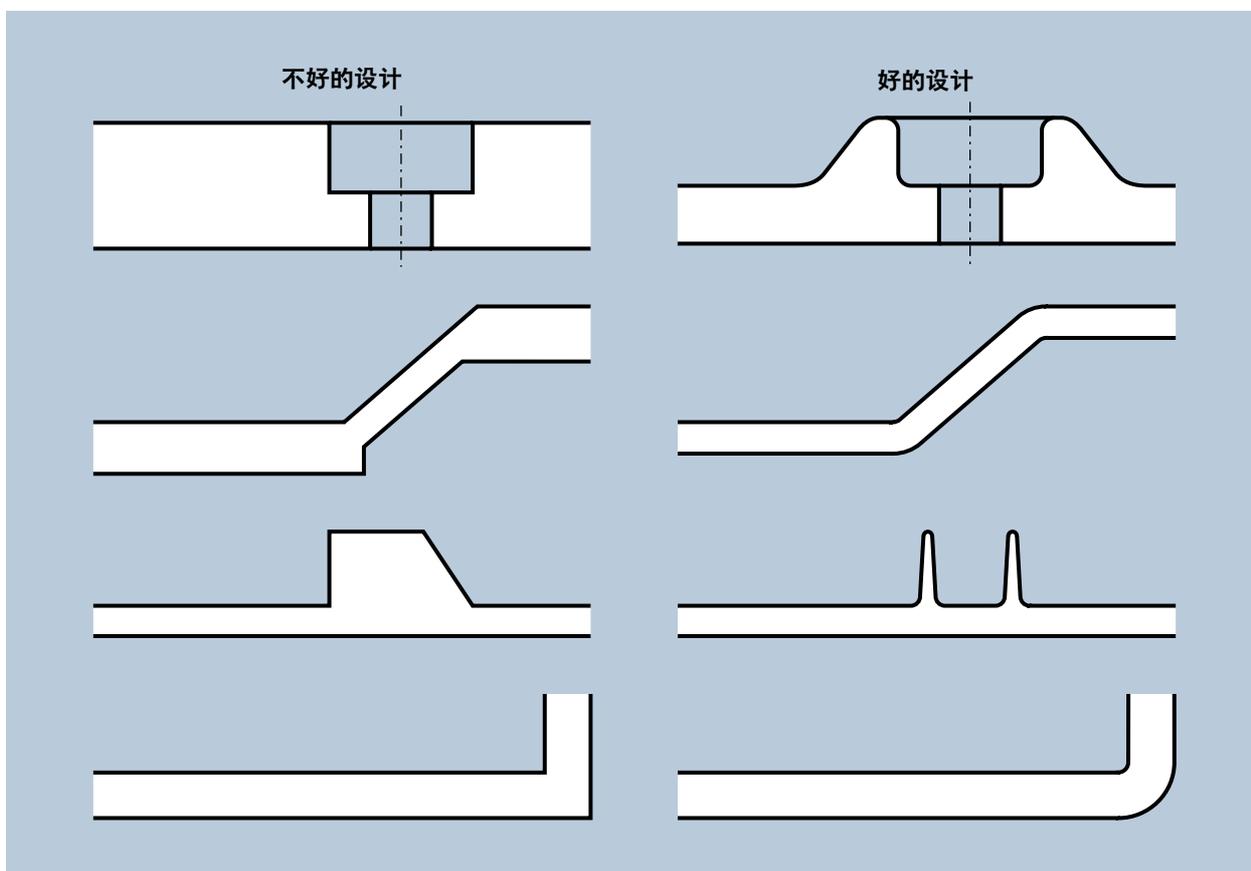
下列各部分将详细讨论这些基本规则,但它们并非特别针对 IXEF 复合物而言的。IXEF 复合物要比大多数其它热可塑性材料更能容忍随意性。

### 1 - 壁厚

在一般情况下, IXEF 复合物允许壁厚在 0.5 mm 和 12 mm 之间。大的厚度变化可导致变形、滞流和尺寸问题 (图 53)。

而且,如果部件的壁厚为  $w$  (以 mm 为单位),则注射成型保压时间约为  $3w$  (以秒为单位)、而冷却时间约为  $2.5w^2$  (以秒为单位,  $w \geq 2$  mm) (见第 VI 章)。因此有必要通过使用加强筋来降低壁厚。

图 53: 如何实现均匀壁厚的实例

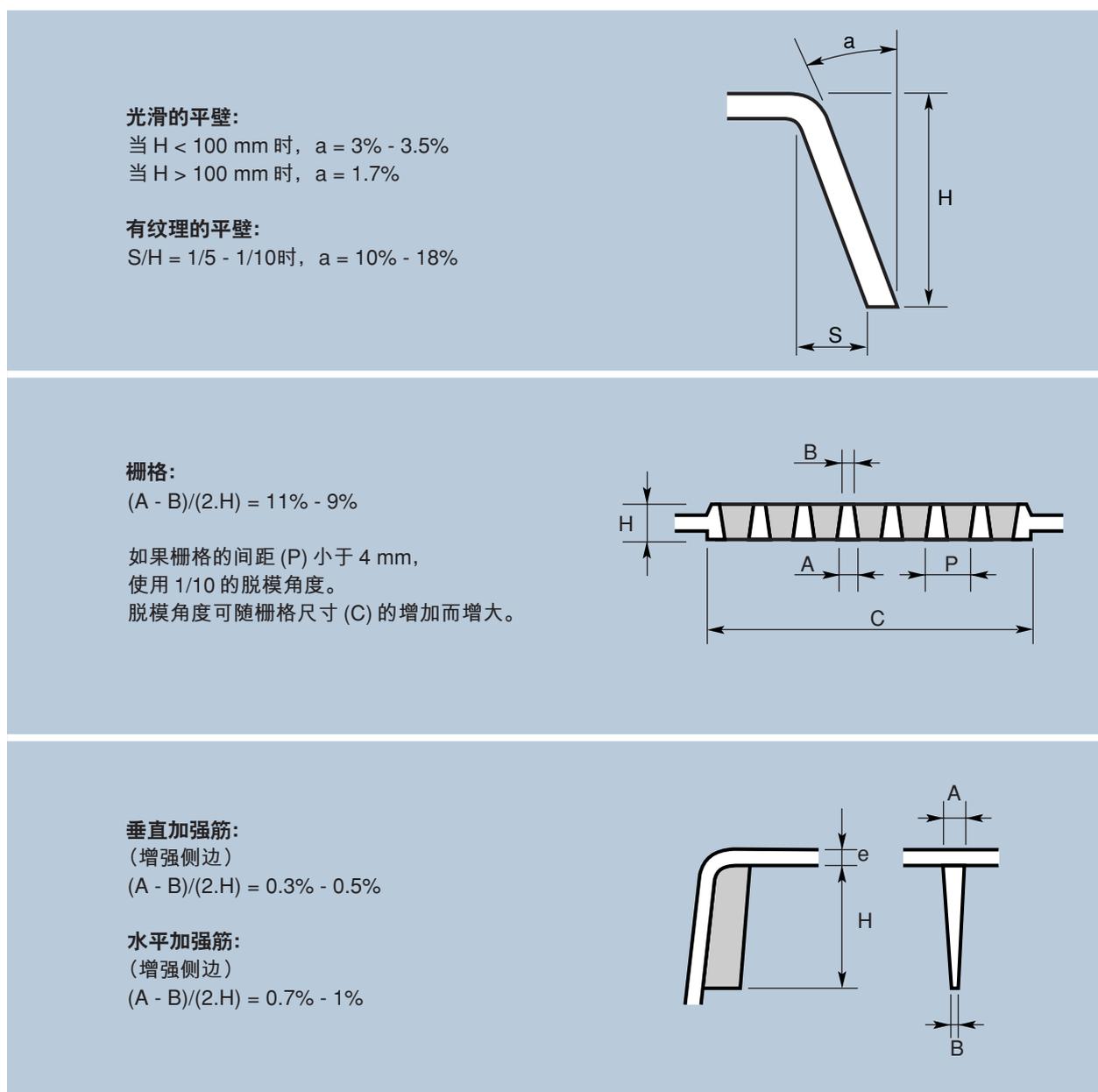


## 2 - 脱模角度

由于 IXEF 复合物的收缩率相对极低，通常需要有 1 至 2 度（1.7% - 3.4%）的脱模角度才能使部件从模具中脱出。

下面描述几种不同的情况（图 54）。

图 54: 脱模角度



### 3 - 内拐角半径

角度锐利或半径非常短的内拐角及缺口是塑料部件，尤其是由 IXEF 复合物制成的塑料部件在载荷作用下出现失效的主要原因之一。

有必要计算由内拐角所产生的应力集中情况，以确认此区域的材料强度是否足够。用于估算不同几何形状的应力集中因子的数学公式可从材料强度手册中获取。图 55 和 56 举例说明了以内拐角半径的比率为函数的应力集中。

经验表明，最好选用等于或大于部件厚度一半的内拐角半径，而且至少为 0.6 mm。

图 55: 内拐角半径

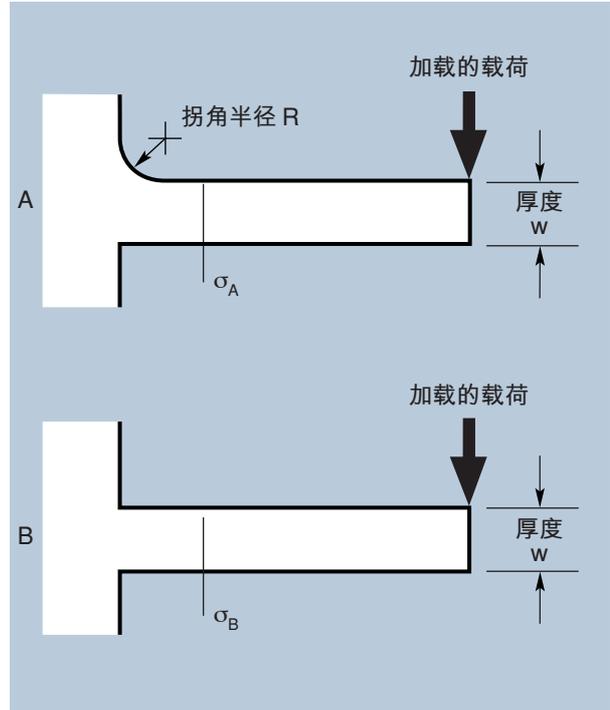


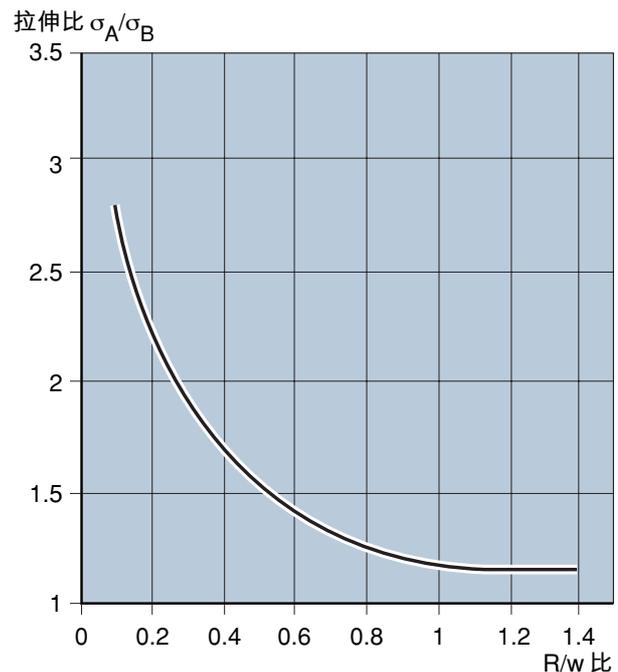
图 56: 由内拐角所导致的应力集中

### 4 - 加强筋结构、凸台、孔

#### 加强筋结构

加强筋结构可增加部件的刚度（更高的惯性矩）和强度而几乎不增加其重量。通过避免大范围分布的过大厚度，可减轻部件重量并缩短周期。图 57 给出了所推荐的加强筋尺寸。

由于收缩率低，IXEF 复合物可减少厚的加强筋结构所造成的凹陷。如果不能接受相对应壁上的凹陷，可在凹陷部位用纹理覆盖。



## 凸台

使用凸台是为了便于部件的装配或增强孔。作为一般性的原则，凸台的外径必须是要增强孔的直径的二倍，而且其壁厚不得超过部件的壁厚。图 58 给出了若干的设计可行性。

## 孔

孔的成型并不是问题，但是它确实会产生一条熔合线，这是机械上的薄弱点。

在设计孔时，应遵循下列基本原则：

- 两个孔的中轴之间的距离必须至少大于其直径之和。
- 轴与流动方向垂直的盲孔的深度必须小于其直径的两倍：如果比例超过此值，在注塑期间会有杆弯曲的危险。
- 对于摆列成行的孔，如果其中的一个孔比其它的孔稍大，可容许有一定的偏轴。
- 在某些情况下，可使用溢料耳来帮助改善熔合线的机械强度。

图 57：加强筋设计

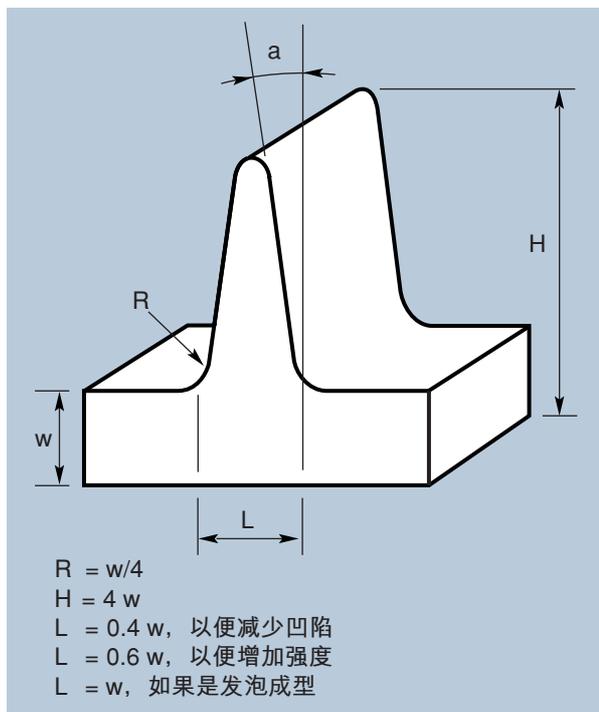
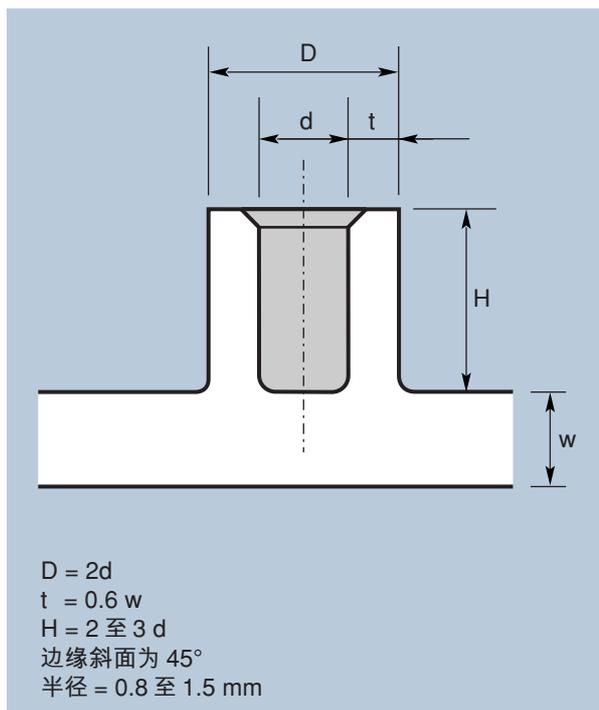


图 58：凸台设计



## C - 收缩率和公差

### 1 - IXEF 聚芳香酰胺的收缩率

IXEF 复合物具有低成型收缩率的特点。例如 IXEF 1022 牌号的平均收缩率仅为 0.3 %。尽管必须始终根据首次成型试验的结果对模具的尺寸进行调整，但仍可以使用表 27 中的名义值。

影响实际所得收缩率的因素除了所用的 IXEF 牌号之外还包括部件的几何形状（尤其是其厚度）、浇口的位置以及冷却时的保压情况。

下表所列的名义值是在 20 x 40 的表面和 1、2 或 4 mm 的厚度的注塑成型平行六面体试样上获得的。

在高于玻璃转化点的温度下，非常缓慢的后成型结晶可导致部件随时间出现凹陷。在低的温度下吸水非常缓慢，但可导致膨胀。在实际应用中，可以假设这两种现象相互抵消。

表 27: IXEF 复合物的收缩率

复合物	厚度 (mm)	保压压力 (巴)	流动方向的收缩率 (%)	垂直于流动方向的收缩率 (%)
IXEF 1022 IXEF 1028 IXEF 1622	1	750	0.1	0.3
	2	750	0.1	0.3
	4	750	0.2	0.5
IXEF 1032	1	750	0.1	0.3
	2	750	0.1	0.3
	4	750	0.2	0.3
IXEF 1521	1	750	0.1	0.3
	2	750	0.1	0.3
	4	750	0.2	0.5
IXEF 2011	2	750	0.1	0.4
	4	750	0.3	0.6
IXEF 2030	1	750	0.1	0.4
	2	750	0.2	0.4
	4	750	0.3	0.5
IXEF 2057	2	750	0.4	0.5
	4	750	0.5	0.7

模具温度: 120 °C。  
材料温度: 280 °C (阻燃牌号或耐冲击改性牌号为 270 °C)。

---

## 2 - 尺寸公差

采用玻纤增强的热可塑性材料 (IXEF 聚芳香酰胺即属于此类材料) 所制成部件的尺寸公差或精密度取决于多种因素。其中包括:

- **部件的形状:** 例如, 如果存在不同的厚度或熔合线, 就会增加可获得的圆形成度或平直度的公差。
- **模具的设计:** 模具的固定部件和活动部件之间的磨损、过多作用或温度调节不适当, 都可导致尺寸发生明显的变化。
- **加工条件:** 加工条件 (材料或模具温度、保压阶段、注塑速率等) 随时间的变化可导致尺寸的变化。
- **不同批次之间的变化:** 为了降低这种变化, 依照 ISO 9002 标准 (见第 37 页) 制造和检验 IXEF 复合物。
- **工作条件:** 吸水和后收缩现象也可影响可获得的公差。

由于这些因素的影响, 很难针对某一热可塑性材料部件准确预测其尺寸公差。但是应当注意到, IXEF 在许多需要低公差的应用中使用。

例如, 在典型收缩率变化的基础上, 还有可能估算可获得的长度公差 (如两个轴之间的距离)。当遵守一般成型建议时, 可认为线性公差为:

$$\Delta l = \pm 0.05\%$$

有关平直度、圆形成度等的典型公差, 请与 IXEF 技术支持部联系。

同时建议, 在机加工模穴时要在尺寸要求非常苛刻的部位 “留出金属加工余量”, 以便于在首次注塑试验之后能进行必要的调整。

## D - 装配技术

### 1 - 机械装配技术

#### 镶嵌成型

IXEF 复合物既可以围绕金属嵌件注塑也可以注塑到已经用 IXEF 复合物成型的部件中。

如果要生产壁薄的部件，应始终将嵌入件加热到模具温度。

#### 拉扣件配合装配

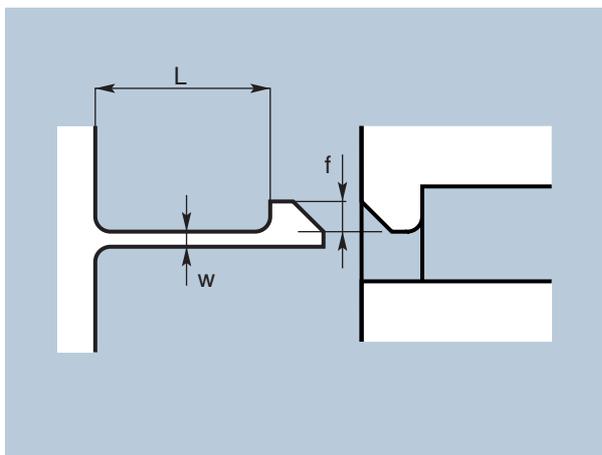
拉扣件配合利用一个或两个部件上的弹性使两部件能夹在一起。如图所示（图 59），阳性部件上有一个凸块，在发生变形之后插入阴性部件。

利用图中所定义的夹子几何形状，可得到采用标准 IXEF 1022 牌号的下列 f 值：

$$f = 0.005 \frac{L^2}{w}$$

由于 IXEF 牌号所具有的高刚度和断裂伸长率，建议在采用这种类型的装配之前一定要认真研究夹子的几何形状是否合适。

图 59: 夹子设计



#### 螺纹装配

对于 IXEF 1022 牌号而言，表 28 列出了 IXEF 聚芳香酰胺板所能承受的最大紧固转矩和螺钉所能阻止的拔出力（图 60）。

图 60: 最大转矩和拔出力测量

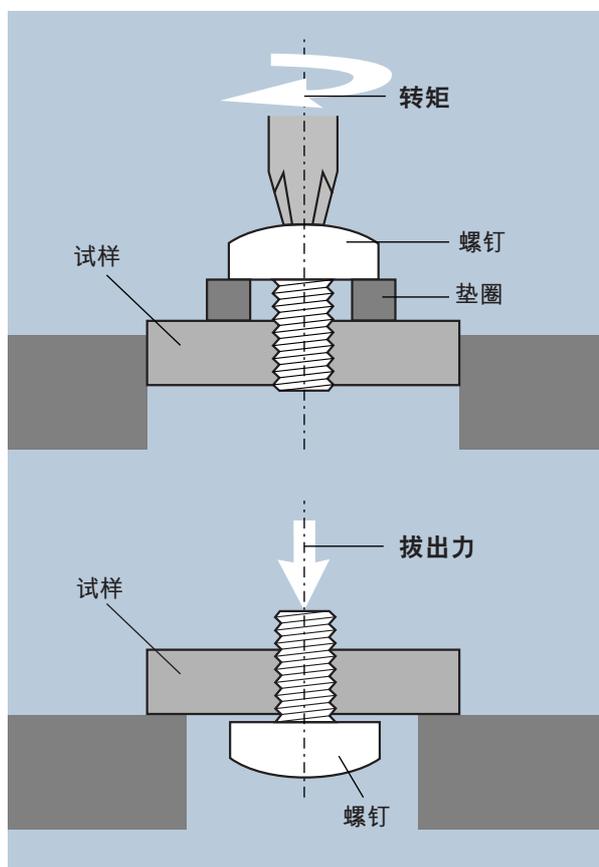


表 28: IXEF 聚芳香酰胺部件中的螺纹装配

螺钉类型	孔直径 (mm)	最大转矩 (N.m)	拔出力 (kN)
M 2.6 X 0.45	2.2	> 1.0	> 1.7
M 3.0 X 0.5	2.5	> 1.5	> 3.6
M 4.0 X 0.7	3.4	> 4.5	4.6
M 5.0 X 0.8	4.3	7.5	6.1
M 6.0 X 1.0	5.1	> 6.5	7.7

## 2 - 焊接装配

超声焊接是装配模塑部件的最常用方法之一。

超声焊接的原理为：超声焊极所发射的振动能传输通过要装配的两个部件。此能量使接合区的塑料熔化。通过在固化的瞬间施加压力，即可将这两个部件粘合在一起。

一般而言，IXEF 复合物比其它增强的热可塑性材料具有更大的刚性，因此可使振动能量更容易地在模塑部件中传输，所获得的相应焊接质量也更高。

表 29 给出了对 IXEF 复合物和其它材料进行超声焊接试验所获得的不同结果。

试验条件：

所用的焊接机由 Shimad Physical Chemistry Ind. Co. Ltd. 制造（USW-63A 型）：

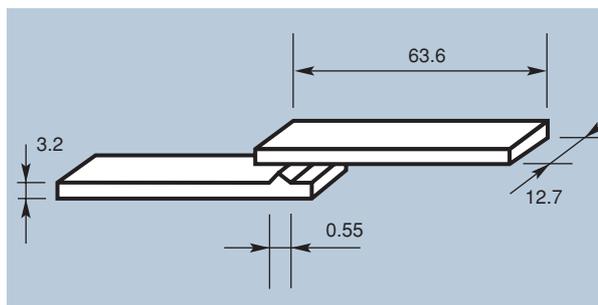
- 频率：18,000 Hz
- 功率：最大 1.2 kW
- 焊接时间：0.8 秒
- 持续时间：0.25 至 5 秒
- 施加于超声焊极上的压力：580 N

试样：图 61。

表 29：超声焊接点的耐剪切性

产品	在剪切力作用下的断裂强度 (MPa)
IXEF 1002	26
IXEF 1022	19
IXEF 1501	19
PA 6 30% GF	21
PA 66 30% GF	22
PBT 30% GF	13
PC 30% GF	23

图 61：焊接试验所用试样的尺寸 (mm)



### 3 - 粘合装配

IXEF 复合物很容易通过粘合进行装配。

已对四种主要类型的粘合剂在粘合 IXEF 与 IXEF 及粘合 IXEF 与钢材的性能方面进行了评估：

- **氰基丙烯酸酯**
  - 单组份快速固化型粘合剂
  - 最适合小部件的粘合
  - 有增韧的牌号可供
  - 最佳间隙填充  $\leq 0.15$  mm
  - 最高温度 80-110 °C (取决于牌号)
- **双组份丙烯酸树脂**
  - 坚韧，而且半柔韧
  - 在许多基体上都有良好的粘合效果
  - 最佳间隙填充  $\leq 1$  mm
  - 最高温度 100-120 °C (取决于牌号)
- **改性的硅烷粘合剂/密封胶**
  - 非常柔韧
  - 固化缓慢
  - 卓越的间隙填充性能 (3-4 mm)
  - 优良的耐水性
- **环氧树脂**
  - 优良的耐剪切性和耐冲击性
  - 最佳间隙填充  $\leq 2$  mm
  - 最高温度 100 °C

表 30: 粘合试验结果 (IXEF/IXEF 和 IXEF/ 钢材)

粘合剂		典型拉伸剪切强度 (N/mm <sup>2</sup> )				
		固化速度	IXEF 1022 / IXEF 1022		IXEF 1022 / 钢材	
			原始样品 #	经过打磨 4-5 Ra ##	原始样品 #	经过打磨 4-5 Ra ##
氰基丙烯酸酯	Loctite® 406	5-20 秒	4 - 6	5 - 8	不建议	5 - 7
增韧的 氰基丙烯酸酯	Loctite® 480	20-80 秒	3 - 7	8 - 10*	3 - 6	7 - 10*
双组份 丙烯酸树脂	Loctite® 3295	10-30 分钟	3 - 5	3 - 6	3 - 5	4 - 7
双组份 丙烯酸树脂	Dexter® H 3101	8-20 分钟	2 - 4	2 - 5	2 - 4	3 - 5
环氧树脂	Loctite® 3425	1.5 小时	3 - 6	4 - 7	3 - 6	4 - 6
改性的硅烷 粘合剂 / 密封胶	Loctite® 5069	3.5 mm/24 h (表皮覆盖 30 分钟)	2 - 4	2 - 4	2 - 4	2 - 4

\* IXEF 基体遭破坏      # 表面光泽性 1-2 Ra      ## 用 60 号砂纸打磨 (4-5 Ra)

从这些试验中可以得出下列重要建议:

表 30 列出了各种不同的粘合剂及粘合试验的剪切强度结果 (IXEF 1022/IXEF 1022和IXEF 1022 / 钢材)。

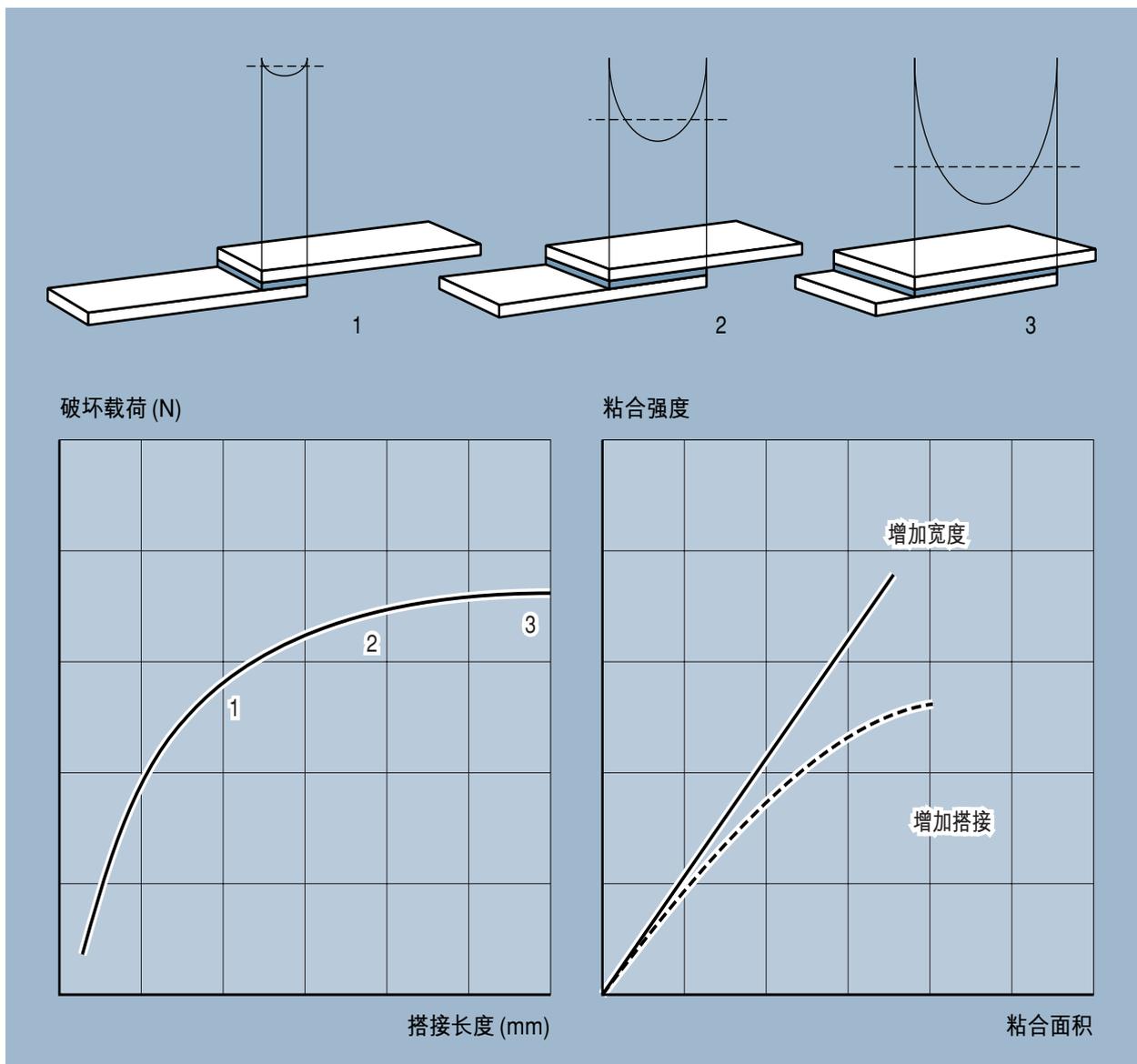
### 接头设计

- 尽量使用小的粘合线间隙
- 尽可能增大粘合面积, 并优化接头搭接 (见图 62)

### 表面光泽性 / 准备

- 除去脱模剂
- 进行粘合前要清洁任何残留物
- 需要 3 至 8 Ra 的表面粗糙度

图 62: 搭接长度及粘合宽度对粘合强度的影响



## E - 装饰技术

### 1 - 喷涂烤漆

许多车体应用均要求有非常好的表面质量和涂料粘合力。由于其非常好的表面光泽性（即使采用高的玻璃纤维含量也一样）和优良的涂料粘合力，IXEF 复合物广泛应用在许多外表上漆的用途中，例如车门把手和后视镜支撑。

IXEF 复合物也具有高的 HDT 值，因此可以在 180 °C 的温度下烘烤长达 30 分钟。

此外，当使用标准涂料时无需进行增强粘合度的表面处理（砂纸打磨、等离子体或火焰处理等）。由于有机母体的化学本质，大多数常用的底涂层涂料均可非常好地粘合在 IXEF 复合物的表面上。

英国的“汽车工业研究协会”（MIRA UK）对 IXEF 1022 牌号进行了粘合力试验。所用的涂料有三种：

- 聚酯/异氰酸酯  
烘烤时间 30 分钟  
烘烤温度 80 °C
- 丙烯酸树脂/异氰酸酯  
烘烤时间 30 分钟  
烘烤温度 80 °C
- 聚酯/氨基  
烘烤时间 20 分钟  
烘烤温度 140 °C

上漆的试样浸泡在 40 °C 的水中 21 天，并在 -40 °C 和 100 °C 之间进行加热循环。通过测量胶带撕开时所脱落的涂料量进行粘合力试验（胶带试验 - ASTM D3002）。未见脱层。

### 2 - 金属化

可以对 IXEF 部件进行金属化处理，以满足美观度、功能性和电子屏蔽要求，直接替代金属和合金。

有多种技术可以对 IXEF 牌号进行金属化处理

- 层压
- 上漆及喷涂
- 真空沉积
- 电镀

电镀是最常用的方法，尤其是在汽车工业中为了获得装饰性的表面。

也有新开发的方法 (TECSEN)，它们具有环保性而且可以有选择地镀到 IXEF 部件上。这些方法均能成功对任何 IXEF 牌号（高达 60 % 玻璃纤维增强）进行电镀。

粘合力测试和冷热冲击试验表明这些金属涂层的性能非常卓越。

### 3 - 复合物的彩色成型料

有多种 IXEF 复合物是按照客户的规格要求以彩色成型料提供的。

订货数量较大时，通常可以按照客户的色度基准备 IXEF 复合物彩色成型料。

## F - IXEF 复合物的机加工

对 IXEF 复合物进行机加工不会导致任何特别的问题。在下表所列的条件下可达到的质量表面为：不用润滑液为 N7 至 N8，用润滑液为 N6。

表 31: IXEF 部件机加工的操作条件

操作条件	车刀 或 铣刀	推荐 类型	A: 高速钢		5-6°		
			C: 金属碳化物				
		脱模角度	特性角			20-25°	
			研磨角	高速钢			12-15°
				碳化物			
	切割速度 (m/min)	车削和铣	高速钢	90-150			
			碳化物	90-200			
		锯切	烧结的 CW 锯条	200			
		钻孔	高速钢				
		攻丝	CW				
	润滑	车削和铣		油 + 水乳液			
		锯切					
		钻孔					
攻丝							
不用润滑液达到 N7-N8，用润滑液达到 N6。							



---

本文所包含的数据和数字化的结果都是诚实提供的，仅作为一般性资料。它们所反映的是我们在出版时的所悉情况。我们的产品具有非常广泛的用途，而且这些用途各不相同，超出了我们的控制范围。因此，我们不承担由于我们产品的不当使用而产生的责任。购买人或最终用户必须承担正确应用产品的责任。不得将此处所提供的资料信息认定为是对我们产品使用的建议，而不去考虑现有的专利或国家或地方的法律条款或法规。购买人有责任核实其拥有、使用或销售我们的产品是否符合其当地的某些特殊规定，尤其是涉及公众健康、卫生及工作人员及/或消费者安全方面的要求。

购买人完全承担向最终使用人提供资料信息和忠告的责任。无论在任何情况下，苏威均不承担由于购买人可能没有遵守这些法规、规定及职责所产生的责任。

© 2000-2002, 苏威国际化学及制药集团版权所有  
保留所有权利。

所有复制本文内容的行为，即使是部分复制，都必须事先获得苏威国际化学及制药集团 (Secrétariat Général – Corporate Communications - Rue du Prince Albert 33, B-1050 Brussels) 的批准后才能进行。

本手册废止并取代以前出版的所有  
Br 1563c-IXEF-技术手册 (03-2002)

#### 新加坡

Solvay Singapore Pte Ltd.  
8 Cross Street #24-01  
PWC Building  
新加坡 048424  
电话 +65.6438.8886  
传真 +65.6438.8111

#### 中国上海

Solvay Shanghai Co Ltd.  
Building 7, No. 899, Zuchongzhi Road,  
ZhangJiang Hi-Tech Park,  
Shanghai, China  
苏威（上海）有限公司  
上海市张江高科技园区祖冲之路 899 号  
7 号楼  
邮政编码 201203  
电话 +86-21-50805080  
传真 +86-21-50805398