第3卷 第2期　　复 合 材 料 学 报　　Vol. 3 No. 2

1986年6月　　ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA　　June 1986

连续预浸带的制备工艺研究

張风翻　李佩兰　党潤田

（北京航空材料研究所）

摘　要

本文介紹了用預浸带鋪制机湿法制备单向碳纤維預浸带的工艺方法，討論了影响預浸带树脂含量、外观及揮发分含量的有关因素，优化了工艺条件，确定了制备单向預浸带的最佳工艺参数。制备的預浸带最大宽度为300毫米，連續长度可达200米。可以批量稳定地进行生产。

一、引　　言

预浸料是复合材料用的中间材料，对复合材料的发展起着重要作用。航空工业中用的结构复合材料，几乎全部以预浸料做原料。在国外，预浸料的生产已经成为一种专门工艺技术，绝大部分由专业化工厂生产。但因复合材料尚处在发展阶段，有关预浸料的制备工艺发表很少。

国内复合材料还处在试验研究阶段，对预浸料需要量有限，一些单位采用单絲束纏绕法制备预浸料，速度慢、效率低、长度受到限制，很难批量生产。随着复合材料逐步由研究转入使用，纏绕法已不能滿足对预浸料数量和质量日益增长的要求，因此，研究批量生产预浸料的工艺方法，为航空及其它工业部门提供性能优良、质量稳定的预浸料成了复合材料发展必须解决的课題。

连续法制备预浸带，效率高、可以批量生产；工艺过程可用微机控制，大大減少了手工操作，有利于保证质量；紆维方向准确，协调了紆维强度和部件的载荷要求；预浸带长度是连续的，可以滿足大制件对预浸带的需要；同时可以自动鋪带。但是，连续法对设备的整体性要求高，设备投资大，对工艺参数的控制要求严[1]。本工作在建立设备的同时，研究预浸带制备工艺，优化工艺条件，确定最佳工艺参数，以便稳定地进行生产。

本文1985年11月收到

二、 試驗設备和工艺过程

1. 原材料

碳纤维：$T300B$—3000—40B

树脂体系：4211树脂体系(648/BF_3·400)

溶剂：工业丙酮

脱模纸：双面脱模纸。

2. 设备

设备为臥式，由六部分组成，机列长度约20米，最大工作宽度300毫米。

1) 纱架：分两组，每组100个纱筒，保证纤维不交叉、不磨损、张力可单独调节。

2) 浸胶部分：由整经篦、压纱辊、浸胶槽、挤胶辊、补胶瓶、胶液恒温装置、导辊清洗系统组成。整经篦可使每束纤维正确定位，间距相等。

3) 烘干炉：隧道鼓风式，炉长 8 米，两段控温，100℃以下可控制在±2℃。

4) 牵引装置：无级调速，牵引辊上装有展平压辊，有利于改善预浸带表面质量。

5) 卷取装置：采用恒力矩电机，保证卷取过程稳定。不致损伤纤维。卷筒直径 380毫米。

6) 控制箱：设备控制可分为胶液和烘干炉的温度控制；牵引和卷取装置的工作控制；断纱、跑偏、张力检测等。

3. 工艺过程

从纱架分别引出纤维，依次经过整经篦、压纱辊、浸胶槽、挤胶辊后和脱模纸相遇，并一起通过烘干炉、牵引装置，最后固定在卷取筒上。

调节各束纤维的张力，使其彼此相近，调节碳纤维带与脱模纸的张力，使其尽可能相等。

打开冷却水开关、风机电源，加热烘干炉到规定温度，加入胶液。打开补胶活门及清洗用的溶剂活门，分别开动牵引和卷取装置到规定速度，并使两者协调即可进行浸胶。

停机时先切断牵引、卷取和加热电源，待烘干炉温度接近室温，再停止鼓风。

三、結 果 和 討 論

对预浸带的主要要求是树脂含量均匀、稳定；纤维彼此平行、无歪斜和纤维束重叠；预浸带表面平整、厚度一致；单位面积纤维重量稳定；表面无縫隙及其它可见缺陷；另外物理性能如树脂流动性、粘性、凝胶时间等应符合要求[2、3]。根据上述情况，工艺试验着重考查了影响预浸带树脂含量的因素；研究了保证预浸带外观质量的方法；讨论了与物理性能有关的工艺参数。

1. 影响预浸带树脂含量的主要因素

预浸带的树脂含量直接关系到复合材料的纤维体积含量，零吸胶的预浸带尤其如此。控

制树脂含量使其均匀稳定，无疑是工艺研究必须解决的首要问题。

1) 胶液浓度对树脂含量的影响

随着胶液浓度增大，预浸带树脂含量增加。在试验条件下，胶液浓度增大10%，预浸带树脂含量大约增加5%。而在缠绕法中，同样情况，树脂含量大约增加 13%[4]。说明在本方法中，胶液浓度对预浸带树脂含量的影响不及缠绕法显著。这主要由于纤维出胶槽后，经过一对挤胶辊，其间距大小控制着树脂含量。胶液浓度和预浸带树脂含量的关系见图1(*a*)。

由于胶液浓度对预浸带树脂含量的影响较缠绕法为小，减小了湿法浸胶因溶剂挥发带来胶液浓度的变化，导致预浸带树脂含量的明显改变，有利于控制树脂含量。

2) 挤胶辊间距对树脂含量的影响

连续法制备预浸带，纤维浸胶并出胶槽后，必须经过一对一定间距的挤胶辊，以除去多余的树脂，随着挤胶辊间距增大，预浸带树脂含量增加，直至间距大到不能起挤胶作用为止。因此，固定其它工艺参数，只要改变挤胶辊间距，即可制备不同树脂含量的预浸带。

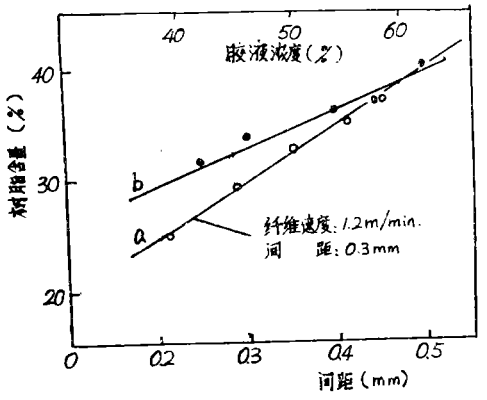

图1 胶液浓度(*a*)和挤胶辊间距(*b*)对树脂含量的影响

挤胶辊间距和树脂含量的关系见图1(*b*)。

制备不同树脂含量的预浸带、挤胶辊之间的距离可以大致按下式估计：

$$H=h+t+c$$

式中：

H—挤胶辊间距，毫米

h—脱模纸厚度，毫米

c—与胶液浓度和树脂流出量有关的参数，毫米

$t=\dfrac{G_f}{V_f\rho_f s}$，复合材料单层板厚度，毫米

式中：

G_f—纤维线密度，克/米

V_f—复合材料纤维体积含量

ρ_f—碳纤维密度，克/厘米^3

s—每束纤维展平宽度，毫米

3) 清洗导辊溶剂用量对树脂含量的影响

预浸带出胶槽后，进烘干炉前接触的导辊必须用溶剂清洗，除去粘附的树脂，以免随着预浸的进行，溶剂不断挥发，导辊粘结的树脂愈来愈多，碳纤维将粘附在导辊上，影响预浸带质量，严重时预浸无法继续进行。溶剂用量过多，导辊及预浸带上的树脂会被溶剂溶解、流回胶槽，预浸带树脂含量降低。最佳的溶剂用量是保证导辊不粘附纤维能连续工作使用溶剂的最少量。

溶剂用量也与胶液浓度和预浸带树脂含量有关。胶液浓度大、预浸带树脂含量高，溶剂用量可适当增加。反之，应酌情减少。

4) 纤維綫速度对树脂含量的影响

纤维线速度受多种因素制约。如树脂浸透纤维状况、烘干炉长度和温度、树脂B阶段程度、预浸带挥发分含量和凝胶时间等。仅就树脂含量而言，在试验范围内，纤维线速度对树脂含量无明显影响。其情况见表 1 。

表1 不同线速度预浸带的树脂含量*

树脂含量,% / 綫速度，米/分	胶液浓度，% 45	55	60
0.8	29.4	33.8	35.6
1.2		33.4	35.9
1.5	28.9	35.2	36.8

* 挤胶辊間距：0.3毫米，紗筒张力：50～60克

表 1 结果表明，如果预浸带的其它性能不受影响，纤维线速度可取较大值以提高效率，树脂含量无明显变化。

5) 环境温度、纤維张力、碳纤維质量对树脂含量均有影响

其情况在另一报告中有详细讨论[4]。

2. 预浸带外观

工艺过程中如果处理不当，往往产生纤维弯曲、表面不平、预浸带和脱模纸局部脱离、出现縫隙等缺陷。其原因是多方面的。

1) 预浸带的縫隙主要由以下原因造成

设备结构不合理。如纱筒部局不恰当，纤维束彼此交错、加捻；整经篦间距大小不一；设备运转不平稳、有抖动现象；预浸带长距离处于悬空状态等。

烘干炉溫度高或溫度分布不适当。挥发速度太快，预浸带内部蒸汽压力很大，足以冲破表面膜层的阻力，形成大小不等的裂縫，如图 2 所示。消除的方法是烘干炉溫度应有一定梯度，使挥发过程缓慢进行。

图 2 炉温为80℃的預浸带表面
纤維綫速度1.2米/分，胶液浓度55%

胶液浓度大，树脂收缩，部分纤维受到的横向力大于牵引给予的拉力，同样形成图 2 縫隙。其情况见表 2 。从消除縫隙考虑，胶液浓度应适当减小。

表2　胶液浓度对预浸带缝隙的影响*

胶液浓度(%)	预浸带缝隙情况
45	基本无缝隙。
50	缝隙少且小，辊压后消除。
55	缝隙增多，辊压后可消除。
60	缝隙多且大，辊压不易消除。

* 纤维线速度：1.2米/分，挤胶辊间距：0.3毫米

挤胶辊间距过小或过大都会影响预浸带外观。前者纤维歪斜，有时严重损伤，图3为间距0.2毫米时预浸带表面状况。后者纤维束难于展开，表面呈沟槽状，图4为间距0.7毫米时预浸带的断面示意图。

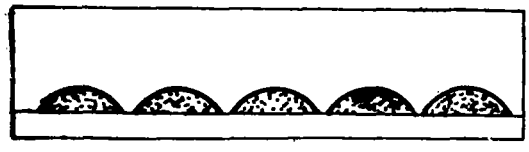

图3　間距0.2毫米預浸帶表面示意图
纤維綫速度：1.2米/分
胶液浓度：55%

图4　間距0.7毫米預浸帶断面示意图
纤維綫速度：1.2米/分
胶液浓度：55%

严格控制挤胶辊间距，使每束纤维准确定位；采用低温长时间的干燥方式；尽可能选用较低树脂含量的胶液，这样制得的预浸带即使有少量缝隙，也可以通过展平压辊使小的缝隙得以缝合。表面沟槽得以平伏。预浸带单位面积纤维含量均匀，结果如表3。

表3　不同批次试验预浸料的单位面积纤维重量*

A	*B*	*A*	*B*	*A*	*B*
1	132.4	6	132.0	11	135.0
2	132.4	7	134.4	12	134.5
3	132.0	8	134.8	13	134.0
4	133.6	9	133.2	14	134.2
5	132.1	10	133.2	15	133.9

* *A*—試驗批号，*B*—单位面积纤維重量，克/厘米^2
批号8的平均值为133.4克/米^2，离散系数*CV*为0.8%

2）纤維弯曲往往由于纤維束张力大小不一

有的松弛，有的张紧，松弛部分形成弯曲，经辊压后，这种现象尤为明显。
挤胶辊间距过小，纤维受到挤压，弯曲现象更为严重，甚至损伤纤维。
使用吸湿的脱模纸，干燥后脱模纸收缩，也会引起碳纤维弯曲。

3) 脱模纸皱折，预浸带表面不平整

这是脱模纸和纤维张力不匹配，脱模纸张力小于纤维束总张力的结果。另外，脱模纸受潮或工作室湿度太大也有类似现象。预浸带连同脱模纸一起通过烘干炉，纤维与脱模纸密实地粘贴在一起。但出炉后迅速冷却，脱模纸吸收大气中的湿气，随之伸长，局部与预浸带脱离，其情况如图5。湿度愈大，这种现象愈严重。采用双面脱模纸，可以减小以至消除这种影响。

3. 预浸带的挥发分含量及其影响因素

挥发分含量与生产效率、烘干炉大小、成型后复合材料的质量有关。挥发分含量太高，工艺不便，复合材料容易出现缺陷。要使挥发分含量降低，需要庞大的干燥设备。另外，某些制件的成型工艺要求树脂的流动性要好，含有一定的挥发分有利于复合材料中树脂均匀分布。因此，控制预浸带的挥发分含量就成为制备工艺的技术关键之一。

连续法制备预浸带，挥发分含量与多种工艺参数有关，也受预浸带某些物理性能制约。

1) 烘干炉温度

从降低挥发分含量考虑，温度愈高，挥发分含量愈低，结果见图6。但温度不能过高，

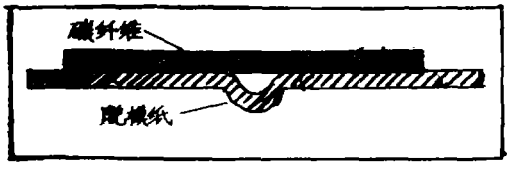

图5 脱模纸吸湿后预浸带侧视图

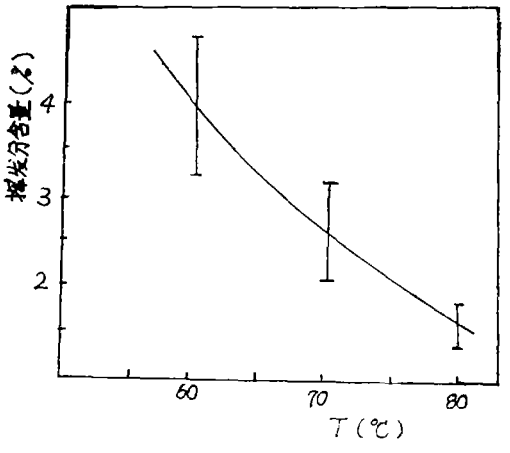

图6 挥发分含量与温度的关系

树脂含量：34±3% 试验时间：15分

因为4211环氧树脂体系中三氟化硼单乙胺固化剂 90℃开始分解[5]，超过这一温度，固化剂分解，树脂局部交联，凝胶时间缩短，预浸带的贮存寿命也相应缩短。

已如前述，温度高、溶剂挥发速度快。由于挥发过程总是首先在表面进行，预浸带表面先形成一层薄膜，在高温下、下层的溶剂分子要逸到表面并挥发，其蒸汽压力要大于薄膜的阻力并冲破薄膜，随之在预浸带表面形成大小不等的裂缝。以丙酮为溶剂、干燥温度超过75℃时，明显出现裂缝。

同时，一定温度下预浸带中的挥发分开始挥发速度很快，随后逐渐减慢，图7(a)为室温条件下预浸带的挥发分含量随时间的变化。为了保证预浸带无裂缝，挥发过程应均匀地逐步进行，即烘干炉温度分布有一定梯度。从预浸带进烘干炉到出炉，温度逐渐提高，使溶剂缓慢挥发。长度8米的烘干炉，最高温度75℃，温度梯度10℃，未出现裂缝。

2) 干燥时間

随着干燥时间增长，挥发分含量降低。图7(*b*)为70℃时挥发分含量随时间的变化。

将烘干炉长度从2米增加到8米，线速度不变的情况下，挥发分含量大约从6%降到3%以下。

降低线速度延长预浸带在烘干炉内的时间和增加烘干炉长度有同样效果。线速度从1米/分降到0.5米/分，相当于干燥时间增加一倍，也可起到降低挥发分含量的效果。

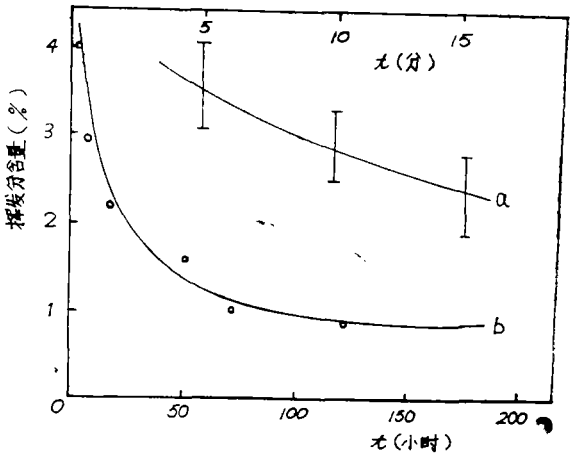

图 7　挥发分含量随时間的变化
a：树脂含量39±3%，室温，时間：分
b：树脂含量34±3%，70℃，时間：小时

3) 預浸带的树脂含量

挥发过程总是首先在表面进行，内部的挥发组分要扩散到表面并逸出预浸带，需要克服一定的阻力。预浸带的树脂含量愈高，内部的挥发组分扩散到表面需克服的阻力就愈大。所以，在同样的工艺条件下，预浸带的树脂含量低，挥发分量亦低。反之，亦然。其情况见图 8 。

4) 原材料挥发分含量

预浸带的挥发分主要来源于湿法浸胶未挥发的溶剂。但原材料的低分子化合物也是不可忽视的。4211环氧树脂体系中648 树脂的挥发分含量为 110℃下，小于2%；所用的工业丙酮溶剂水含量一般在 1 %左右；碳纤维上浆剂一般为改性环氧树脂，吸湿能力也较强。这些都会影响预浸带的挥发分含量。

5) 环境湿度

预浸带有一定吸湿能力，空气相对湿度50%以上时，环氧预浸带一般可吸收预浸带重量 0.8%的水分。工艺过程中，如果环境湿度大，溶剂挥发的同时，表面溫度降低，容易达到空气的露点溫度，于是形成水珠，辊筒、胶槽均有这种现象。严重时，由于大量吸湿，胶液增粘，形成白沫，这些均可增大挥发分含量。

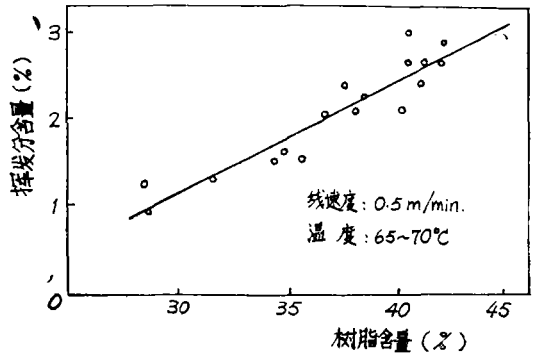

图 8　挥发分含量与树脂含量的关系

4. 对碳纤维的要求

用本设备制备的预浸带最大宽度300毫米，需*T*300*B*—3000—40*B*碳纤维200个纱筒。由于是连续过程，除了碳纤维的力学性能要保证外，对工艺性能要求尤高。主要是：

1) 碳纤维无断头、无毛团、毛丝少

有断头时，往往要停机接头，带来很多麻烦，也影响烘干炉内预浸带质量。毛团多，树脂含量无法控制，预浸带表面不平整，单位面积纤维重量难以稳定。同时容易造成断头。

2) 有足够的连续长度且各筒长度基本相等。

这样工艺过程中不停机换筒，可以连续生产。需要换筒时，全部更换，便于工作。

3) 纤维束扩展性好

用于预浸的碳纤维，应是无捻或解捻的，纤维束容易扩展，树脂溶液对纤维的浸透性好，含胶均匀。粗束纤维尤应如此。

4) 上浆剂含量均匀

其量从减少毛丝、不造成断头考虑，最好在 0.2%以上。从树脂溶液对纤维的浸透性着眼，最好在2.0%以下[6]。一般在0.5～1.0%范围内。

5. 预浸工艺参数和预浸带性能

在预浸带铺制机上，用4211环氧树脂体系、 $T300B$—3000—$40B$碳纤维制备预浸带时，挤胶辊间距和胶液浓度是控制树脂含量的主要因素；烘干炉温度、干燥时间和原材料性能决定着预浸带的挥发分含量；预浸带的外观与挤胶辊间距、展平辊压力、碳纤维和脱模纸质量密切相关。控制上述诸因素，制出了两种规格预浸带，工艺参数和预浸带主要物理性能见表4。

表4 工艺参数和预浸带物理性能

	项目	零吸胶预浸带	树脂39%的预浸带
工艺参数	胶液浓度，%	55	55
	挤胶辊间距，毫米	0.30	0.50
	纤维线速度，米/分	0.5～1	0.5
	单束纤维张力，克	50～60	50～60
	展平辊压力，公斤	9.5	9.5
	炉温，进口→出口，℃	65～75	65～75
	环境温度，℃	18～25	18～25
	空气相对湿度，小于%	65	65
预浸带性能	尺寸：长度	连续长度	连续长度
	宽度，毫米	最大300	最大300
	外观	均匀，平整，无缝隙	均匀，平整，无缝隙
	树脂含量，%	32±3	39±3
	树脂流出量，%	—	10～25
	凝胶时间，150℃，大于秒	40	40
	挥发分含量，%小于	2	2.5
	单位面积纤维重量，克/米^2	130±5	130±5

适当地调整工艺参数也可预浸玻璃纤维、*Kevlar* 纤维，制备不同规格的单向带及宽度小于300毫米的不同织物。

工艺过程的线速度有待进一步提高。批量生产时，尚需配备 β 射线测厚仪，检测预浸带树脂含量及用微机控制生产过程和质量。

致谢： 本所张元晋、葛斯根同志参加了本文的有关试验。马淑兰、陈斌、奚根妹、蔡秀润、洪小平、王彬彬同志增加了部分试验工作，在此致以谢意。

参 考 文 献

[1] M.Molyeux, Composites, Vol.4, No.2,1983,p.87.

[2] John Delmonte, Technology of Carbon and Graphite Fiber Composites, Litton Educational Publishing Inc.,1981,p.83.

[3] 炭素纤維懇話会，《炭素纤維应用技术》，1984,p.76.

[4] 张風翻、李佩蘭，"纏繞法制备单向碳纤维预浸料影响质量的主要因素"，《第三届全国复合材料会議論文集》，1984,p.236.

[5] R.G.Weatherhead,FRP Technology, 1980, p. 286.

[6] 特开昭50—138197.

* *

* * * * * * * *
* 会议消息 *
* * * * * * * *

第六届国际复合材料会议和第二届欧洲复合材料会议

由欧洲复合材料协会组织、英国伦敦帝国学院复合材料中心主办的第六届国际复合材料会议（*ICCM*--Ⅵ）和第二届欧洲复合材料会议（*ECCM*—Ⅱ）定于1987年7月20—25日在伦敦帝国学院联合召开。征文内容包括复合材料研究的所有方面。欲参加会议者应于1986年8月1日前提交不少于800字（*Words*）的英文论文摘要，论文题目要选用下列主题词：纤维（*Fibres*）、基体（*Matrices*）、混杂（*Hybrids*）、试验（*Testing*）、断裂（*Fracture*）、持久性（*Durability*）、环境效应（*Environmental Resistance*）、冲击（*Impact*）、损伤（*Damage*）、缺陷（*Defects*）、检测（*Inspection*）、设计（*Design*）、制造（*Fabrication*）、分析（*Analysis*）、经济（*Economics*）和应用（*Applications*）。1986年10月份接到会议录取通知后，于1987年1月31日前将论文寄到组委会。会议语言为英语。通信地址：

Mr.F.L.Matthews, General Chairman ICCM—Ⅵ,
Director, Centre for Composite Materials,
Imperial College of Science and Technology,
Prince Consort Road,
London SW7 2BY, U.K.

（呼延）

ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA

(Quarterly)

Volume 3 Number 2 June 1986

INVESTIGATION ON THE PROCESS OF CONTINUOUS PREPREG TAPES

Zhang Fengfan, Li Peilan and Dang Runtian

Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing, China

(Received January 1986)

ABSTRACT

The preparing method of continuous prepreg tapes of carbon fiber with impregnating machine are investigated.

The factors effecting on the resin content, appearence , volatile content of prepreg tapes are discussed. The optimum processing parameters for preparing prepreg tapes are given. The continuous unidirectional prepreg tapes, having a maximum width of 300 mm and a length of 200m, can be manufatured with the machine.

HYBRID SHORT CARBON/GLASS FIBER REINFORCED NYLON 1010

He Guoren, Zeng Hanmin, Yang Guicheng and Deng Yun

Materials Science Institute, Zhongshan University, Guangzhou, China

(Received November 1985)

ABSTRACT

The hybrid carbon-fiber/glass-fiber reinforced nylon 1010 is prepared by extrusion and injection moulding. The fibers are oriented along the direction of the flowing of inject-