复合材料学报 第17卷 第4期 11月 2000年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol 17 No. 4 November 2000

文章编号: 1000-3851(2000)04-0006-05

短玻纤增强聚丙烯注射压力对微观结构和力学性能影响

钟明强, 濮阳楠, 益小苏, Jacobs O *

(浙江工业大学 化工学院, 杭州 310014)

(* Fachhochschule Leubeck, 23562 Leubeck, F. R. Germany)

摘 要: 报道了短玻纤增强聚丙烯复合材料中玻纤及注射压力对材料微观结构和力学性能的影响规律。实验结果表明: 随着玻纤含量提高, 复合材料的拉伸强度提高, 而断裂伸长率、冲击强度和熔体流动速率则下降。注射压力提高, 拉伸试样芯层中玻纤的平均取向角下降, 取向度提高, 因而拉伸强度增大, 冲击强度下降。皮层结构中玻纤沿熔体流动方向高度取向。聚丙烯球晶尺寸随玻纤含量增加而变小, 规整度也变差, 至40%时, 聚丙烯已难以形成规整的球晶结构。

关键词: 聚丙烯; 短玻纤; 注射压力; 微观结构; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码**: A

EFFECTS OF INJECTION PRESSURE ON THE MICROSTRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES OF SHORT GLASS FIBER INJECTION-MOULDED REINFORCED POLYPROPYLENE

ZHONG Ming-qiang, PU Yang-nan, YI Xiao-su, Jacobs O *

(College of Chemical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

(* Fachhochschule Leubeck, 23562 Leubeck, F. R. Germany)

Abstract: The paper reported the effects of short glass fiber (GF) content and injection pressure on the microstructures and mechanical properties of GF/PP composites. Experimental results showed that the tensile strength was improved, but the impact strength, break elongation and melt flow rate (MFR) decreased with increasing of glass fiber content in GF/PP composites. Orientation degree of GF in core layer was promoted with increase of injection pressure, but the orientation degree of GF in skin layer was parallel to the melt flow direction (MFD) by metallographic optical microscopy and SEM. The crystalizing ability of polypropylene in GF/PP composite went down with increase of GF content by polarization microscopy.

Key words: short glass fiber; polypropylene; injection pressure; microstructure; mechanical property

短玻纤增强热塑性塑料具有长玻纤增强塑料和短玻纤增强热固性塑料无法比拟的优点[1]。但由于其注塑制品力学各向异性, 因而这类材料的设计应用存在不少问题[2,3]。目前已研究表明这类材料结构中存在纤维取向度不同的皮芯次层结构, 次层结构决定整体材料的性能[4]。本文报道玻纤含量及注射压力对短玻纤/聚丙烯(GF/PP)复合材料结构和性能的影响规律, 期望能为短玻纤增强热塑性塑料制品结构和性能设计及其分析测试提供规律性认识。

1 实验部分

1.1 主要原料

聚丙烯(PP) F401 上海石化总厂生产

无碱短切玻璃纤维(GF) 平均长度 7mm

收稿日期: 1999-03-15; **收修改稿日期**: 1999-06-12

基金项目: 浙江工业大学和联邦德国吕贝克工业学院科技发展基金资助项目

作者介绍: 钟明强(1963), 男, 在职博士, 副教授, 主要从事多相多组分高分子材料及聚合物基复合材料等方面的研究工作。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浙江桐乡玻璃纤维厂生产

1.2 试样制备

按 GF 含量分别为 0、10%、20%、30%、40% 配比称取 PP 与 GF 混合后, 在双螺杆挤出机(TE-34 南京挤压研究所产)上挤出造粒, 然后于注塑机(SZ-160/NB 宁波塑机总厂产)上, 制备拉伸试样和冲击试样。

1.3 熔体流动性测试

称取约 4g 左右试样, 于熔融指数仪(XRZ400 吉林大学科教仪器厂产)上, 在 230℃, 2160g 条件下测定熔体流动速率。

1.4 聚丙烯结晶结构观察

取少许试样在载玻片上于 220℃熔融压片, 然后于 148℃下恒温结晶 3h, 缓慢冷却至室温, 用偏光显微镜(XPIC 新天精密光学仪器公司)观察并拍照。

1.5 拉伸及冲击试验

按 GB1040-79 及 GB1048-79 分别进行拉伸试验和简支梁冲击试验。

1.6 金相显微镜 GF 取向形态观察

取拉伸试样平行部分和冲击试样缺口部分断面, 用 Al_2O_3 表面抛光(抛光器 上海电机厂), 然后用金相显微镜(4X 型 上海光学仪器厂)观察并拍照。

1.7 扫描电子显微镜(SEM)断面形态观察

取拉伸与冲击断面试样, 表面喷镀金处理后, 用扫描电镜 SEM (JSM-T20 日本产)观察断面纤维并拍照。

2 结果与讨论

2.1 玻纤含量对材料力学性能和熔体流动性影响

由表 1 可见, GF/PP 中玻纤含量提高, 材料拉伸强度提高, 而韧性(断裂伸长率和冲击强度)及熔体流动性均下降, 这一变化趋势符合纤维增强热塑性塑料改性的一般原理。

表 1 玻纤含量对 GF/PP 复合材料力学性能和熔体流动性影响

Tabel 1 Mechanical properties and melt flow rate of GF/PP composites with different contents of GF

GF%	0	10	20	30	40
Tensile strength σ/MPa	35.0	39.9	54.0	63.1	70.3
Break elongation ϵ/%	120	67.3	7.9	6.9	5.0
Impact strength (Notched)/J·cm^{-2}	1.01	0.71	0.48	0.46	0.59
Impact strength (Unnotched)/J·cm^{-2}	No break	0.73	0.58	0.48	0.61
Melt flow rate /g·10min^{-1}	2.10	1.84	1.80	1.76	1.66

2.2 注射压力对纤维取向及材料力学性能的影响

玻纤在复合材料中的取向度一般用取向函数 F 表示[5]

$$F = \frac{1}{2}(3\overline{\cos^2\theta} - 1)$$

式中: θ 是玻纤与熔体流动方向(Melt Flow Direction, MFD)夹角, 对于理想单轴取向, 平均取向角 $\theta = 0°$, 故 $\cos^2\theta = 1$, 则取向度 $F = 1$; 在垂直于 MFD 方向, $\theta = 90°$, $\cos^2\theta = 0$, $F = -0.5$; 完全无规取向时, 玻纤长轴方向与 MFD 方向平均取向角可按下式计算得到

$$\cos\theta = a/b$$

$$\theta = \arccos(a/b)$$

式中: a 为玻纤半径, b 为垂直于 MFD 方向玻纤截面椭圆形长轴之半。采用统计的方法, 求出单位面积上玻纤的平均取向角(θ)和取向函数(F), 即得表 2 试验结果。实验发现, 无论是拉伸试样还是冲击试样, 注塑试样皮层(Skin layer)中 GF 均沿 MFD 方向占优势取向, 即接近于理想单轴取向, 而芯层(Core layer)中 GF 由于熔体冷却速率慢, 解取向程

表 2 注射压力对 GF/PP 材料玻纤取向和力学性能影响

Table 2 Influences of injection-moulded pressure on the average orientation degree of GF and mechanical properties

Properties	Tensile strength σ/MPa				Impact strength (Notc- hed)/J·cm^{-2}		Impact strength (Unnotched)/J·cm^{-2}	
GF%	20	20	40	40	30	30	30	30
Injection pressure/MPa	2.5	9.5	3.2	11.5	5.2	11	5.2	11
Average orientation degree(θ)	61.3	58.8	65.1	55.7	65.1	62.3	69.7	55.7
Orientation function(F)	-0.16	-0.10	-0.23	-0.02	-0.23	-0.18	-0.32	-0.02
Mechanical properties	60.6	61.7	70.6	70.8	0.61	0.59	1.32	1.30

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

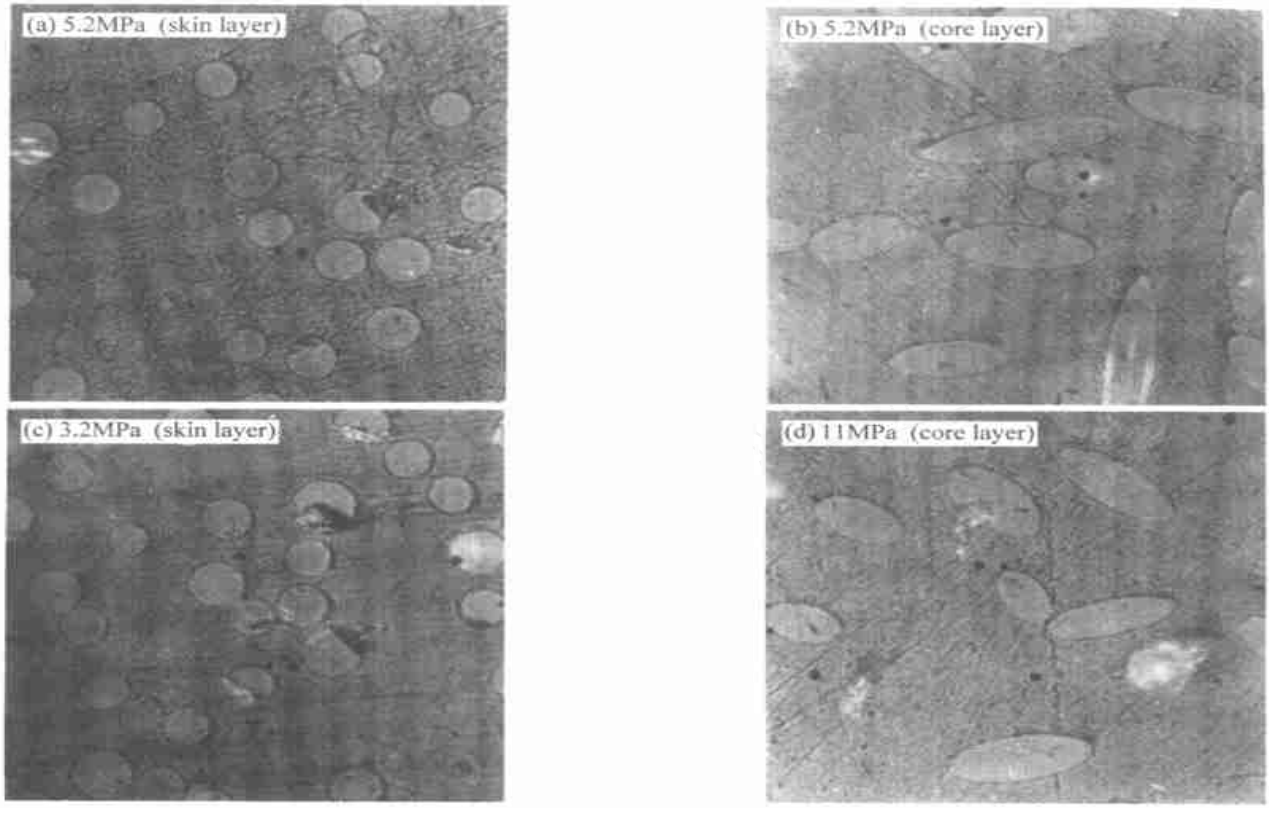

图 1　不同注射压力下得到的注塑拉伸试样在垂直于熔体流动方向玻纤微观取向分布
Fig. 1　Microphotograph of GF orientation distribution on the polished surface perpendicular to MFD, tensile specimens moulded by different injection pressures (GF/PP, 30/70) (×400)

度大, 因而 GF 均沿MFD 方向取向度较低, 接近于无规取向。由表 2 还可发现, 注射压力提高, 相同GF 含量的材料其拉伸强度提高, 而冲击强度则下降。表 3注射压力对拉伸强度影响的试验结果也表现上述变化规律。

表 3　注射压力对 GF/PP 材料拉伸强度影响

Table 3　Injection pressure influence of GF/PP composition on tensile strength

Injection pressure/MPa	2.5	5.0	7.5	9.5
Tensile strength/MPa	60.6	60.9	61.0	61.7

* GF% = 20%

表 4　注射压力对 GF/PP 材料冲击强度影响

Table 4　Influence of injection pressure on impact strength of GF/PP composite

Injection pressure /MPa	5.2	6.5	8.0	11.0
Notched impact strength/J·cm^{-2}	0.613	0.608	0.603	0.590
Unnotched impact strength/J·cm^{-2}	1.324	1.296	1.272	1.266

由表 4 可见, 对于 GF 含量为 30% 的 GF/PP 体系, 其缺口冲击强度和无缺口冲击强度均随注射压力提高而下降, 表明注射压力提高, 玻纤沿熔体流动方向取向度提高, 因而垂直于取向方向的冲击韧性下降, 即冲击强度下降。

2.3　注射压力及 GF 含量对 GF/PP 复合材料 GF 取向结构及 PP 结晶度影响

2.3.1　注射压力对 GF 取向结构影响

图 1 为 GF/PP (30/70) 体系在 3.2MPa, 5.2MPa, 11.0MPa 注射压力下制得的拉伸试样与MFD 垂直截面的金相显微镜照片。显然, 皮层(skin layer)内 GF 沿MFD 方向占优势取向(图 1(a)); 芯层(core layer)内 GF 沿MFD 方向取向度比皮层内低(图 1(b)); 注射压力提高, 芯层内 GF 沿MFD 方向取向度提高(图 1(d)), 而皮层内取向度几乎没有变化(图 1(a)与图 1(c)比较)。

图 2 为 3.2MPa 和11.5MPa压力下注射得到的拉伸试样断面 SEM 照片。由图可见, PP 与玻纤界面结合力较弱, 玻纤拔出后留下的空洞是圆形, 界面清晰, 基体 PP 呈脆性断裂, 注射压力不同, 试样的断面结构无太大差异, 因此, 玻纤加入难以提高 PP 冲

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

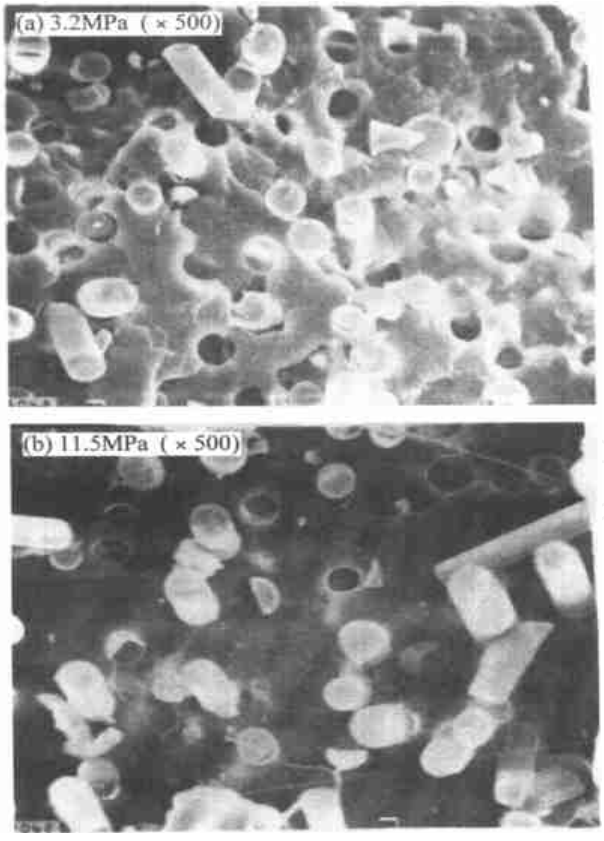

图 2 不同注射压力下注塑拉伸试样断面扫描电镜结构(GF/PP, 40/60)

Fig 2 Fracture surface of tensile specimen moulded with different injection pressures by SEM (GF/PP, 40/60)

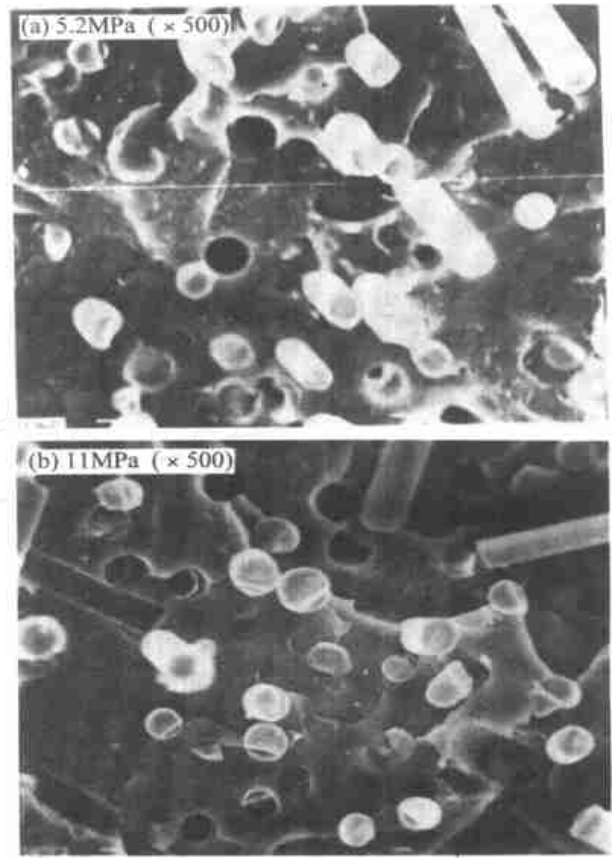

图 3 不同注射压力下注塑缺口冲击试样断面扫描电镜结构(GF/PP, 30/70)

Fig 3 Fracture surface of notched impact specimen moulded with different injection pressures by SEM (GF/PP, 30/70)

击韧性, 与表 1 拉伸、冲击试验结果相吻合。图 3 表明, 不同注射压力下得到的缺口冲击试样也呈现典型的脆性断裂, 与表 4 试验结果一致。

由于 GF 在皮层与芯层的取向度及其厚度决定于 GF 的性质、PP 的流动性能、模具结构及模具温度(影响熔体冷却速度, 从而影响 GF 取向度及皮层

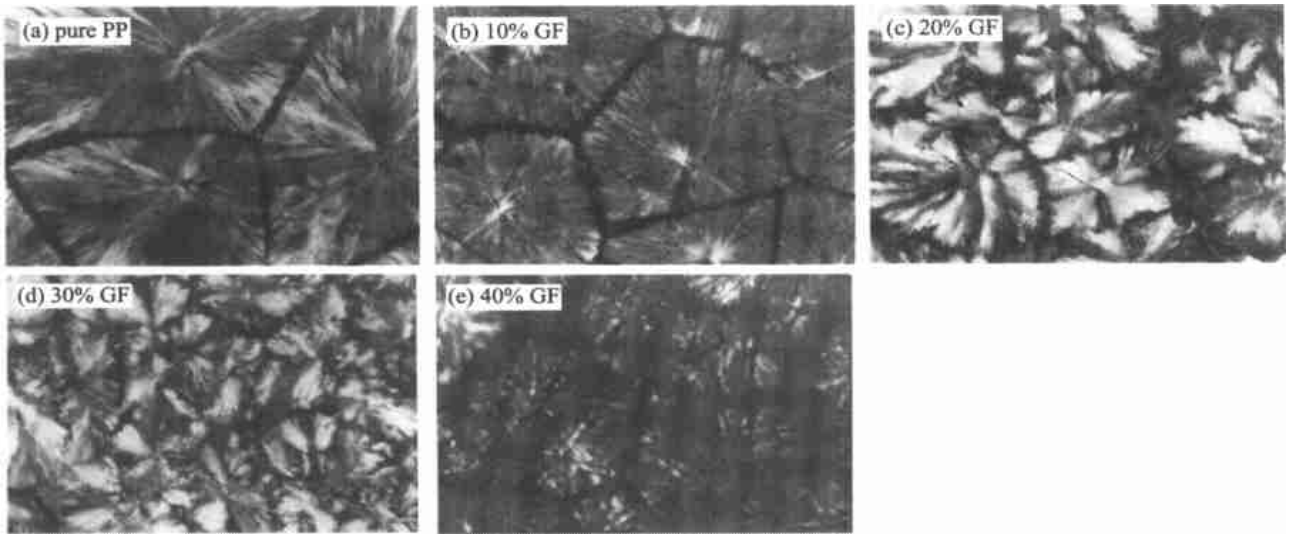

图 4 玻纤含量对 GF/PP 中 PP 结晶结构影响偏光显微镜照片 (×400)

Fig 4 Effects of GF content on crystal structure of polypropylene in GF/PP composites by polarization microscope (×400)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

厚度)、注射压力(影响熔体注射速度,从而影响GF取向度)等有关参数,因此将这些材料特性参数与制件几何尺寸及成型工艺参数相关联,借助计算机仿真技术模拟短纤维增强热塑性塑料在模具中熔体充模流动行为,就有可能进行制品结构与性能设计及预测。

2.3.2　GF对PP结晶行为的影响

图4表明,随着GF含量的提高,PP形成球晶的能力下降,球晶尺寸也逐步变小,至GF为20%时PP球晶已变得不规整,当GF含量高达40%时,已基本上看不到球晶结构,此时,大量的玻纤相互接触、重叠,影响了基体PP的相连续性,从而影响PP的结晶性能和力学性能。因此工业生产中,玻纤增强PP中GF控制在20%～30%左右,此时,GF既不影响PP相连续性,又可使PP球晶细化,从而提高冲击韧性,以降低GF加入导致的韧性损失。

3　结　论

(1) GF/PP注塑试样皮层中GF接近于理想单轴取向,而芯层GF趋向于无规取向,并可用平均取向角(θ)和取向函数(F)表示取向程度。

(2) 注射压力提高,GF沿熔体流动方向取向度提高。

(3) GF含量为40%时,PP难以形成球晶结构,GF含量为20～30%的GF/PP材料综合性能较好。

参考文献:

[1] 朱火召南. 聚丙烯塑料的应用与改性[M]. 北京: 轻工业出版社, 1982. 346—349.

[2] Bright P F, Darlington M W. Factor influencing fibre orientation and mechanical properties in fibre reinforced thermoplastics injection mouldings[J]. *Plast Rubber Proc Appl*, 1981, 1: 139—147.

[3] Toll S, Anderson P O. Microstructural characterization of injection moulded composites using image analysis [J]. *Composites*, 1991, 22: 298—306.

[4] 钟明强, Jacobs O. 短炭纤维增强注塑PEEK复合材料微观结构与力学性能研究[A]. 97全国高分子学术报告会论文集[C]. 合肥: 中国科技大学, 1997. 126.

[5] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1990. 99.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net