

玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的疲劳性能研究

潘典坤 李萌崛 严 正

(四川大学高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要 利用自制的新型疲劳实验装置,对玻璃纤维(GF)增强聚丙烯(PP)复合材料进行疲劳性能研究,得到PP/GF复合材料在不同初始应力、不同振幅、不同频率下疲劳性能与GF含量的关系。结果表明,初始应力、振幅、频率越大,材料疲劳拉伸性能越差。初始应力较大时,初始应力的变化对PP/GF材料疲劳性能的影响更为明显,振幅在75~80 N之间时,材料疲劳性能急剧下降;增加频率可以使材料疲劳性能的变化更加平稳;GF质量分数为20%时,试样的疲劳性能最好。

关键词 聚丙烯 玻璃纤维 疲劳实验装置 疲劳裂纹 疲劳性能

玻璃纤维(GF)增强聚丙烯(PP)材料作为一种无机填料增强通用热塑性复合材料,具有弹性模量高,力学性能、尺寸稳定性、电性能好,成型周期短,成型条件范围宽,成本低等优势。由于这些优点,被广泛应用于高强度、耐热、耐化学药品等工业领域。GF增强PP复合材料还可以代替金属、铸件和热固性树脂等使用,在汽车船舶零部件、建筑业、电气设备、泵体中应用十分广泛^[1]。其中,许多制件在使用中需承受交变载荷的作用,在承受动态载荷时,材料宏观行为与在静态载荷下的行为存在很大差异,这对材料的实际使用性能、制品安全系数提出了更高要求。因此,有必要对GF增强PP材料进行疲劳性能的研究。在过去工作中,对GF增强PP的研究主要集中在静态力学性能^[2]、界面形态^[3]、增强改性^[4]和疲劳机理^[5-8]等方面,而对疲劳性能的研究相当少。笔者采用自制塑料疲劳实验装置,对试样施加循环应力,通过缺口试样在断裂前所受的循环作用次数来衡量试样的疲劳性能,研究了GF含量、初始应力、应力频率和应力振幅对PP/GF复合材料疲劳性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

PP: F401, 兰州石化公司;

GF: 表面经KH570处理,成都科龙化工试剂厂。

1.2 仪器、设备

双螺杆挤出机: TSSJ-25型,晨光化工研究院树脂机械研究所;

注塑机: PS40E5ASE型,日本日精树脂工业株式会社;

电子万能拉伸实验机: AG710型,日本岛津公

司;

缺口制样机: XQZ-1型,承德金建检测仪器有限公司;

疲劳实验机: 自制;

悬臂梁冲击实验机: UJ240型,承德材料试验机厂。

1.3 试样制备

试样制备过程见图1。

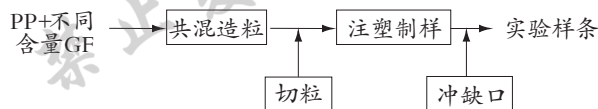


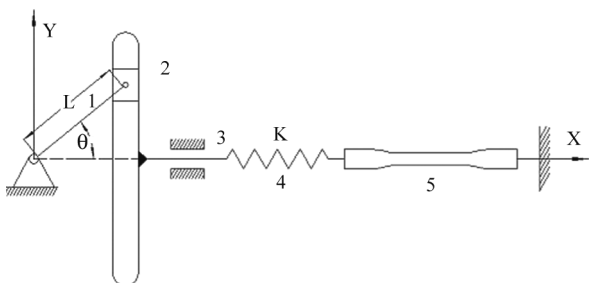
图1 试样制备过程

1.4 疲劳实验

实验流程为:将GF与PP按GF质量分数5%、10%、15%、20%、25%和30%称好混匀,分别通过双螺杆挤出机共混造粒,双螺杆挤出机从加料段到口模的温度依次为170、190、200、210、210、205℃;转速120 r/min。切粒后,通过注塑机成型样条,注塑机四段温度依次为190、210、220、215℃;模具温度50℃;注塑时间5 s;保压时间5 s;冷却时间40 s。将所得的试样于室温下静置24 h后,按照GB/T 1040-2006在电子万能拉伸实验机上进行拉伸实验;将制得的试样在缺口制样机上铣2 mm深A型缺口后,于室温下放置24 h,在自制疲劳实验机上进行疲劳拉伸测试。

疲劳实验装置原理如图2所示,试样右端固定,左端由弹簧施加交变拉力,弹簧左端与曲柄机构相连接。随着曲柄摆动,试样受到正弦交变拉力的作用,从而在试样上产生周期性的交变应力作用。弹

簧提供初始应力,改变弹簧初始拉伸长度,可以改变初始应力 F_0 ; 改变曲柄的转速可以改变试样所受交变循环应力的频率; 应力振幅的变化可由改变曲柄长度来实现。



1—曲柄; 2—滑块; 3—滑槽; 4—弹簧; 5—试样

图2 疲劳实验装置原理图

2 结果与讨论

2.1 PP/GF 的拉伸性能

图3为不同GF含量的PP/GF复合材料的静态拉伸性能曲线。从图3可知,含10%GF试样的拉伸强度最大,约为1500 N,而含30%GF试样的拉伸强度最差,其最大载荷为1200 N。当GF质量分数高于10%时,试样的最大载荷为1400 N。随着GF含量的增加,试样的最大拉伸载荷下降。PP和GF之间存在大量的界面,随着界面的增加,PP/GF复合材料的拉伸载荷下降。当GF质量分数增加到30%时,材料表现出明显的脆性。

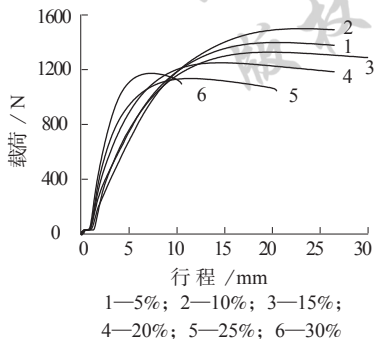
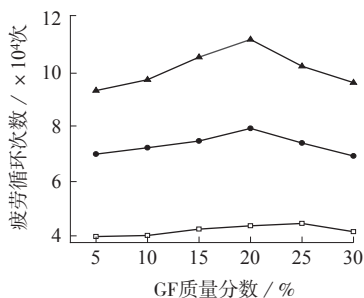


图3 不同GF含量的PP/GF复合材料拉伸曲线

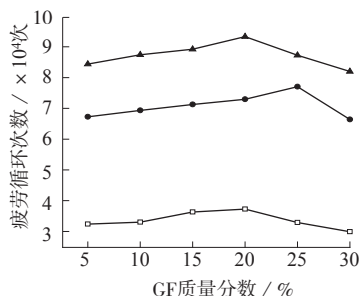
2.2 不同初始应力下PP/GF的疲劳性能

图4示出振幅为45 N时不同频率(R)和初始应力(F_0)下,PP/GF试样的疲劳性能变化趋势。

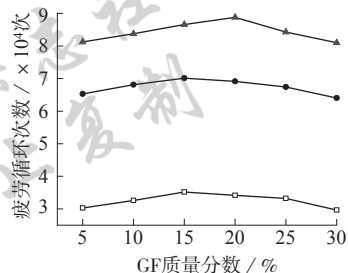
图4a中,初始应力 F_0 为250 N,GF质量分数为5%、10%时试样疲劳循环次数小,疲劳性能较差,25%时疲劳性能提高,当GF质量分数达到30%时,试样的疲劳性能下降。初始应力 F_0 为200 N时,随GF含量的增加,试样的疲劳性能提高,20%试样的疲劳性能最佳。当GF含量超过20%时GF的加入有利于试样疲劳裂纹的产生和扩展,25%、30%时试



(a)



(b)



(c)

▲—150 N; ●—200 N; □—250 N

a— $R=200$ r/min; b— $R=250$ r/min; c— $R=300$ r/min

图4 不同频率和初始应力下试样疲劳拉伸次数曲线

样疲劳性能显著降低。初始应力 $F_0=150$ N时,试样疲劳次数随GF含量的增加而提高,在20%达到峰值,随后疲劳次数减少。图4b、4c的趋势类似。

从图4还可以看出,初始应力越大,试样疲劳拉伸性能越差。在振幅、频率不变的情况下,初始应力大相当于试样受到的平均应力大,而较大的应力作用会促进疲劳裂纹的萌生与扩展,试样迅速断裂。上图中, F_0 较小时,不同 F_0 下试样的疲劳拉伸性能差异较小;当 F_0 较大时,不同 F_0 下试样的疲劳性能差异较大。当拉伸频率分别为200 r/min、250 r/min、300 r/min,初始应力从150 N增大到200 N时,疲劳拉伸次数分别降低了27.6%、18.9%、20%;而当初始应力从200 N增加到250 N时,拉伸次数分别降低了42.8%、52.3%、51.7%,变化率是低应力下的2倍。这说明当初始应力较大时,改变初始应力对PP/GF疲劳拉伸性能的影响更为明显。

当 F_0 较小时,GF含量对试样疲劳拉伸性能的

影响更加显著,说明在初始应力较小的情况下,试样疲劳性能对 GF 含量更加敏感。如图 4 所示, F_0 较小时, GF 含量与试样拉伸次数的关系呈明显的单峰形,即在一定范围内,疲劳拉伸次数随 GF 含量的增加而提高,当 GF 质量分数达到 20% 时,疲劳拉伸次数达到最大。如在 $R = 200 \text{ r/min}$, $F_0 = 150 \text{ N}$, GF 质量分数等于 20% 的情况下,最大拉伸次数为 112 450 次,疲劳性能达到最佳。

2.3 不同振幅下 PP/GF 的疲劳性能

(1) 低频率

图 5 示出在初始应力为 200 N, 低频率 ($R = 200 \text{ r/min}$) 作用下,不同 GF 含量的试样疲劳性能与振幅的关系。由图 5 可看出初始应力恒定,振幅小时,试样在一个应力循环周期所受交变应力差与应力峰值皆较小,试样的疲劳性能较好。振幅为 45 N 时(为了计算方便,振幅由曲柄长度变化转变为对应的弹簧交变应力的变化),试样疲劳性能最好, GF 质量分数为 20% 的复合材料疲劳拉伸次数达到极值,为 79621 次,疲劳性能最佳。应力振幅为 45 ~ 75 N 时,试样的疲劳性能略微下降,不同 GF 含量的试样疲劳循环次数平均下降程度为 7.6%;应力振幅为 75 ~ 80 N 时,与高分子材料的普通疲劳 $S-N$ (应力 - 循环次数) 曲线^[9]类似,疲劳曲线出现转折,疲劳性能急剧下降,循环次数平均下降幅度达到 12%;应力振幅大于 80 N 时,随着应力振幅的提高,试样的疲劳性能线性下降,且曲线没有渐进平台。

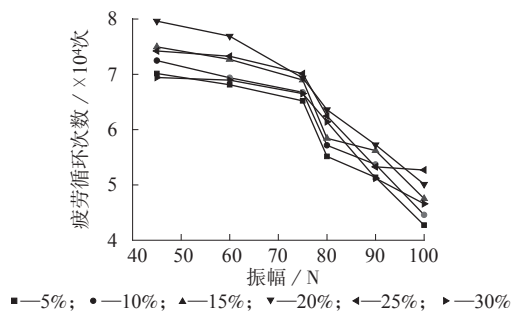


图 5 低频率下振幅与疲劳拉伸次数的关系

GF 质量分数在 5% ~ 20% 时,随着 GF 含量的增加,作为增强体的纤维对基体应变的限制程度加大,向纤维转移的应力增多,试样疲劳性能提高。GF 质量分数在 20% 时,疲劳拉伸次数比其他 GF 含量下的大,试样的疲劳性能最好。当 GF 质量分数超过 20% 时,过多 GF 的加入,减小了 PP/GF 不同界面之间的距离,有利于裂纹的扩展与合并,试样疲劳性能明显下降。随着 GF 含量的增多,PP/GF 试

样的疲劳性能先提高后变差。

(2) 中频率

试样在中等初始应力为 200 N、中频率 ($R = 250 \text{ r/min}$) 作用下的疲劳性能如图 6 所示。由图 6 可看出,随着频率的增加,试样在单位时间内受到的交变载荷次数增加,相同 GF 含量的试样在振幅不变、频率增加的情况下,疲劳拉伸次数增多,材料疲劳性能变差。振幅为 45 N 时, GF 质量分数为 5% ~ 30% 的 PP/GF 试样疲劳循环次数比低频率 (200 r/min) 下的次数分别减少了 2695、2961、3504、6465、3309、2851 次。与低频率类似,应力振幅从 45 N 增加到 75 N 过程中,试样疲劳拉伸次数平均降幅也为 7.6%,复合材料疲劳性能缓慢下降。当振幅达到 75 N 时,疲劳性能曲线出现明显的转折,且这种变化与 GF 含量无关。应力振幅增加到 80 N 时,疲劳曲线急剧下滑,平均降幅高达 15.2%,疲劳性能迅速变差,这个区间疲劳曲线的下滑度大于其他区间的下滑度,表明材料疲劳拉伸性能对 75 ~ 80 N 之间的振幅最敏感。振幅超过 80 N 后,疲劳曲线线性下降,振幅继续加大,疲劳曲线没有出现平台期。

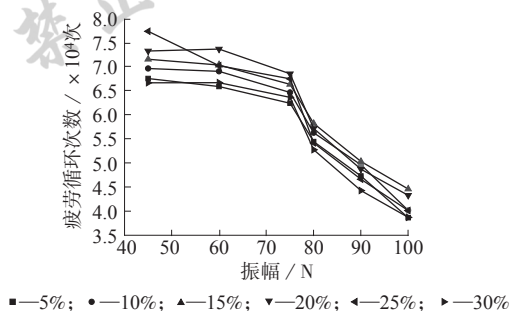


图 6 中频率下振幅与疲劳拉伸次数的关系

GF 含量较小时, GF 含量与试样疲劳性能呈正比关系。在银纹的萌生和扩展阶段,随着 GF 含量的增加,PP 与 GF 的界面增多,有利于银纹的萌生与生长,进而有利于能量的吸收和耗散,试样疲劳性能增加。GF 质量分数在 20% 时,试样疲劳性能达到最佳。随着 PP 基体中 GF 含量的继续增加,应力大量聚集在 PP 与 GF 的界面区,当试样承受的载荷超过 PP 与 GF 界面的粘结力时,界面区产生大量裂纹,裂纹沿着 GF 轴向方向迅速生长,试样瞬间断裂。随着 GF 含量的增加,试样疲劳性能降低。

(3) 高频率

初始应力不变,试样在高频率 ($R = 300 \text{ r/min}$) 下的疲劳拉伸性能如图 7 所示。由图 7 可看出,高频条件下,虽然试样在一个应力交变周期中所受应

力时间比中低频的时间短, 但相同时间内, 试样承受的载荷作用次数增加, 吸收、消耗外力做功也更多, 裂纹生长得更快, 试样疲劳性能下降。应力振幅为 45 N 时相对于中频率下, 各试样的疲劳拉伸次数分别下降了 2158、1426、1336、4026、9844、2551 次。振幅与疲劳性能的关系与中低频作用下的类似, 即振幅与疲劳性能呈反比, 但当振幅在 75 ~ 80 N 之间时, 疲劳曲线的下滑幅度明显比中低频率下的低, 该区间疲劳拉伸次数平均下降幅度为 4.3%。高频作用下, 疲劳性能对 75 N ~ 80 N 区间的振幅的敏感度下降, 说明增加频率可以使疲劳性能的变化更加平稳。振幅超过 80 N 后, 疲劳性能线性下降。

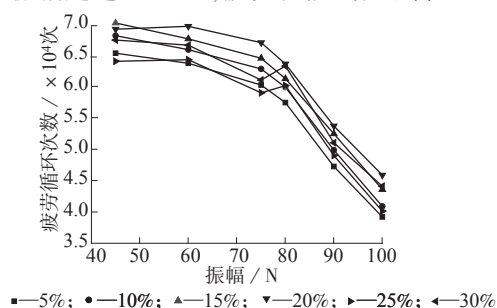


图7 高频率下振幅与疲劳拉伸次数的关系

在裂纹的萌生阶段, 随着 GF 含量的增多, GF 与 PP 的界面增多, 有利于裂纹的产生。裂纹扩展阶段, 疲劳裂纹的尖端接触到 GF 表面后钝化, 扩展方向与 GF 轴向不平行时, 裂纹扩展受阻, 裂纹扩展方向被迫改变或者 GF 从 PP 基体中拔出后, 裂纹才会继续扩展, 因此在疲劳裂纹发展早期, GF 对试样疲劳裂纹的扩展起阻滞作用, GF 含量增加, 试样疲劳性能变好, GF 质量分数在 20% 时, 试样疲劳性能达到最佳。随着 GF 含量的继续增加, GF 与 GF 的界面间距减少, 有利于裂纹的扩展与合并, 甚至 GF 相互接触、重叠, 破坏 PP 基体相的连续性, 导致材料迅速断裂。因此 GF 质量分数超过 20% 时, 材料的疲劳性能急剧下降。

3 结论

(1) 10% GF 的复合材料试样静态拉伸性能最好, 而含 20% GF 试样动态(疲劳)拉伸性能最佳。这可能是静态拉伸下过多的 GF 在基体中起应力集中点的作用, 材料的拉伸性能迅速下降; 而在动态拉

伸下, GF 承受主要载荷的同时, 能有效抑制裂纹的扩展, 当界面应力大于粘结力时, 材料发生断裂。因此动态拉伸性能好的试样, GF 含量可以大一些。

(2) 低初始应力下, PP/GF 复合材料的疲劳性能较好; 高初始应力下, PP/GF 复合材料的疲劳性能较差, 初始应力 F_0 为 150 N 时, 应力较小, GF 含量对试样拉伸性能影响显著, 初始应力较大时, 初始应力改变对 PP/GF 疲劳拉伸性能的影响更为明显。

(3) 低频率下, PP/GF 复合材料疲劳性能较好; 高频率下, 材料的疲劳性能较差。随着 GF 含量增加, PP/GF 材料的疲劳性能提高, GF 质量分数在 20% 时, 试样的疲劳性能最好, 当 GF 质量分数超过 20% 时, 试样疲劳性能明显下降。

(4) 应力振幅与材料疲劳性能呈反比, 振幅较小(45 ~ 75 N) 时, 疲劳性能下降较小。中低频率($R = 200 \sim 250$ r/min) 下, 振幅在 75 ~ 80 N 区间时, 疲劳性能急剧下降, 振幅超过 80 N 后, 疲劳性能线性下降; 高频率($R = 300$ r/min) 条件下, 振幅超过 75 N 时, 疲劳性能线性下降, 没有出现中低频的突降区, 增加频率可以使材料疲劳性能的变化更加平稳。

参考文献

- [1] 李光正, 黄福堂, 万丽翎等. 聚丙烯生产技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 166.
- [2] 庄卫国. 玻纤含量对玻纤增强聚丙烯拉伸性能的影响[J]. 精密成形工程, 2010, 2(2): 20-22.
- [3] 廖凯荣, 卢泽俭, 郑小鹏. 玻璃纤维增强聚丙烯的结晶行为和结晶形态[J]. 高分子材料科学与工程, 1995, 11(3): 75-79.
- [4] 赵若飞, 周晓东, 戴干策. 玻璃纤维增强聚丙烯界面处理研究进展[J]. 玻璃钢/复合材料, 2000, 3: 49-53.
- [5] Williams J G. A model of fatigue crack growth in polymers[J]. Journal of Materials Science, 1977, 12(12): 2525-2533.
- [6] Pegoretti A, Ricco T. Creep crack growth in a short glass fibres reinforced polypropylene composite[J]. Journal of Materials Science, 2001, 36(19): 4637-4641.
- [7] Hertzberg R W, Nordberg H, Manson J A. Fatigue crack propagation in polymeric material[J]. Journal of Materials Science, 1970, 5(6): 521-526.
- [8] Ebru O, Arnaz S M, Orhun K M. Mechanisms of decrease in fatigue crack propagation resistance in irradiated and melted UHMWPE[J]. Elsevier, 2006, 27(6): 917-925.
- [9] 陈建桥. 材料强度学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008: 166.

RESEARCH ON FATIGUE PROPERTIES OF GLASS FIBER RIENFORCED POLYPROPYLENE COMPOSITES

Pan Diankun, Li Mengjue, Yan Zheng

(College of Polymer Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The fatigue performance of Polypropylene(PP)/Glass fiber(GF) composite was researched by utilizing a new fatigue test device designed by our groups. This specific material was studied on the relations of GF content with fatigue performance under different initial stresses, amplitudes and frequencies of periodic stress. The results indicated that the greater frequency, amplitude and initial stress were, the worse the composites' fatigue tensile properties became. When the initial force(ie F_0) was relatively great, the variation of F_0 took a more obvious impact on fatigue performance of the composites. At the same time, PP/GF' fatigue resistance sharply reduced as the experiment's amplitudes between 75 N and 80 N; increasing testing frequency could make the material's fatigue performance change more smoothly and steadily; test sample with 20% GF owned the best fatigue performance.

KEYWORDS polypropylene, glass fiber, fatigue test device, fatigue crack, fatigue performance

塑料逐渐成为医疗技术市场主角

医疗无疑已成为塑料应用最重要的市场之一,而从9月于举行的“2011年国际医疗设备设计与技术展览会”上不难看出,塑料应用与塑料加工已经成为医疗技术市场最大的主角。

在此次展会上,普立万公司展出一系列广泛的特种医疗保健解决方案及其在亚洲的持续扩张计划,其中,NEU特种材料公司和普立万分销事业部都是首次亮相。普立万全球医疗保健业务市场总监 Larry Johnson 介绍,公司近年来医疗市场发展迅速,尤其亚洲市场增长最快。今年普立万在亚洲迈出了业务增长的重要一步,在上海外高桥保税区设立了新的聚合物分销仓库以及销售分公司。目前,该分销公司主要致力于服务医疗保健市场,是普立万分销事业部进入亚洲的第一站。

此外,在展会上普立万宣布,位于上海张江的普立万颜色和功能母粒工厂不久前获得 ISO13485 标准认证。该认证是针对医疗设备的综合性管理体系设计和生产,为满足法规要求而制定的标准。连同上海张江的工厂在内,目前普立万在全球已拥有四家工厂获得该认证。

科莱恩携专为医疗设备与药品包装应用领域量身定制的 MEVOPUR 色彩、性能色母粒与化合物产品亮相此处展会,并重点推介有助于提高生产率,具有合规性与一致性的新型添加剂与高级抗微生物技术。

“在医疗与制药领域中,塑料混配中成分的改变成为人们高度关注的问题。此外,合规环境日益复杂化。这一切都使得科莱恩与其他材料供货商帮助该领域的生产企业实现产品一致性与合规性并营造受控的生产环境变得日益重要。”科莱恩全球医药业务总监 Steve Duckworth 表示。他介绍说,科莱恩设置有专门的团队负责法规,而 MEVOPUR 色母粒与塑料混配料由科莱恩位于美国、欧洲和亚洲的三家获得 ISO13485 认证的专业医药技能中心生产。科莱恩向药品包装市场推出的 MEVOPUR 成核剂系列新产品,有助于缩短周期时间。根据采用注射成型和注射压缩成型工艺生产的瓶盖测试结果,与无核塑料均聚聚丙烯以及传统苯甲酸基成核剂相比,MEVOPUR 系列产品可以将生产率提高 12% 左右。

艾利丹尼森医疗集团展示了丰富的创新型产品和技术。展出的产品包括:手术巾胶带,即使在潮湿的手术环境下仍

能保持对手术洞巾和皮肤的良好粘性;手术薄膜,能满足各类手术过程对透气性能的不同需求,同时在潮湿的手术环境下仍能提供卓越的粘性;薄吸收性皮肤粘胶,具有超高透明度、促进快速愈合、高液体吸收量且易于剥除等特点;以及为需高水蒸汽透过率的长期佩戴而应用设计的造瘘产品。该公司全球产品经理刘峰介绍说,公司所应用的不同产品对塑料薄膜具有不同的要求,例如用于伤口愈合的产品,要求塑料膜具有优异的呼吸性和透气性,目前看来国内产品还达不到,主要还是从欧洲和美国采购。他又表示,虽然国内技术整体发展较晚,但近年来发展很快,预计在两三年内,在很多方面便可赶上国外的发展。(化工资讯)

塑料模具占整个模具行业比例高达 30%

目前,塑料模具在整个模具行业中所占比例约为 30%,在模具进出口中的比例高达 50%~70%。而近年来我国塑料模具发展迅速。塑料制品的应用日渐广泛,为塑料模具提供了非常广阔的市场。

另外,我国塑料模具在高新技术驱动和支柱产业应用需求的推动下,形成了一个巨大的产业链条,从上游的原辅材料工业和加工、检测设备到下游的机械、汽车、摩托车、家电、电子通信、建筑建材等几大应用产业,塑料模具发展一片生机。据估计,仅汽车、摩托车行业每年就需要 100 多亿元的塑料模具,彩电塑料模具每年也有约 28 亿元的市场。(模具网)

欧文斯科宁中国复合材料中心将落户上海

欧文斯科宁公司日前宣布,其中国复合材料中心将落户上海,计划 2012 年正式启用。复合材料中心落户上海,将有助于公司深入了解中国本土需求,以及业务发展趋势,并推动公司与中国高校及学术机构开展合作。

据介绍,该中心将配置世界一流的硬件设施,由优秀科技人员和高级工程师组成的团队将在新能源、建筑及汽车零配件等领域,为客户提供复合材料成型、材料测试、产品设计,并开发新型解决方案,满足客户不同领域的特定需求。欧文斯科宁复合材料事业部创新副总裁迪万杰(Ashish Diwanji)表示:“上海复合材料中心的建立,印证了公司致力于为本土客户提供定制化解决方案的承诺,我们将与客户合作,借助现有以及最新开发产品,推动复合材料的广泛应用。”总裁 Arnaud Genis 先生补充道:“欧文斯科宁致力于扩大在本土市场的影响力,‘贴近客户’为我们与客户共同成长搭建了良好平台。”(新浪网)