

国内碳纤维增强热塑性复合材料研究进展

徐秋红¹, 谭臻¹, 闫焱¹, 刘丽慧¹, 耿志¹, 李云英²

(1. 北方材料科学与工程研究院有限公司, 济南 250031; 2. 山东北方现代化学工业有限公司, 济南 250033)

摘要: 综述了近几年国内碳纤维 (CF) 增强热塑性复合材料的研究进展, 主要概述了 CF 不同预处理方式、CF 含量、制备工艺、试验条件等对 CF 增强热塑性复合材料力学、摩擦磨损等性能的影响。

关键词: 碳纤维; 热塑性塑料; 复合材料; 力学性能; 摩擦磨损性能

中图分类号: TQ327.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)07-0122-05

Research progress on Domestic Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composite

Xu QiuHong¹, Tan Zhen¹, Yan Ye¹, Liu Lihui¹, Geng Zhi¹, Li Yunying²

(1. China North Material Science and Engineering Technology Group Corporation, Jinan 250031, China;

2. Shandong North Modern Chemical Industry Co. Ltd., Jinan 250033, China)

Abstract: The research progresses on domestic carbon fiber (CF) reinforced thermoplastic composites in recent years were summarized. The influences of different pretreatment methods about CF, CF content, preparation technology and test conditions on mechanical, friction and wear properties of the composites were reviewed mainly.

Keywords: carbon fiber; thermoplastic; composite; mechanical property; friction and wear property

近年来,以热塑性树脂为基体的纤维增强热塑性复合材料发展迅猛,在世界范围内正掀起一股研究开发此类高性能复合材料的高潮^[1]。碳纤维 (CF) 作为一种新型的无机纤维材料,由于其具有高强度、高比模量、优异的热性能、化学稳定性和阻尼减震降噪性能,用于纤维增强热塑性复合材料中可使复合材料具有高比模量、高比强度、耐腐蚀、耐高温等一系列优异性能,现已被广泛应用于导弹、宇航、汽车、文体用品及医疗器材等各个领域^[2-3]。

笔者针对近几年国内学者在 CF 增强热塑性复合材料方面的研究,从复合材料基体的角度重点综述了 CF 不同预处理方式、CF 含量、制备工艺、试验条件等对 CF 增强热塑性复合材料力学、摩擦磨损等性能的影响。

1 CF 增强通用塑料复合材料

1.1 CF 增强聚乙烯 (PE) 基复合材料

李力等^[4]以短切 CF 为增强体,以 PE 为基体,运用螺杆注射成型的方法制备 CF 增强 PE 基热塑性复合材料。随着 CF 含量的增加,复合材料的维氏硬度呈 S 形增加,拉伸强度、拉伸弹性模量、条件疲劳极限值都有提高;当 CF 质量分数为 4.021% 时,相对纯 PE,复合材料的硬度、拉伸强度、拉伸弹性模量和条件疲劳极限值分别增加了 35.489%, 18.421%, 208.024% 和 213.240%。

游志培等^[5]制备了高填充量 CF 增强超高分子量 PE (PE-UHMW)/木粉复合材料,发现加入 CF 可提高 PE-

UHMW/木粉复合材料的弯曲强度及拉伸强度,且均随着 CF 含量的增加呈现出先增加后减小的趋势。随着 CF 含量的增加,复合材料的储能模量显著提高。CF 的加入使复合材料的损耗因子峰值增大。

盛永华等^[6]采用注射成型的方法,以短切 CF 为增强体,PE 为基体制备了 CF 增强 PE 基热塑性复合材料。发现短切 CF 增强热塑性树脂复合材料的疲劳寿命随着 CF 含量的增加而延长。

徐先锋等^[7]研究了 CF 含量对注射成型高密度 PE (PE-HD)/短 CF 复合材料拉伸强度、拉伸弹性模量和硬度的影响。结果表明,随着短 CF 含量的增加,复合材料的硬度、拉伸弹性模量和拉伸强度逐渐增大;当短 CF 质量分数小于 3.3% 时,复合材料的硬度、拉伸弹性模量和拉伸强度成线性增加趋势;当短 CF 质量分数大于 3.3% 时,复合材料的硬度、拉伸弹性模量和拉伸强度的上升趋势增大。

黄传辉等^[8]采用热压成型工艺制备铜粉、石墨粉、CF 混杂改性的 PE-UHMW 基复合材料,并对其力学性能、摩擦学性能进行测试。结果表明,混杂填料的加入提高了复合材料的硬度和拉伸弹性模量,降低了复合材料的抗剪切强度合拉伸强度;混杂填料对复合材料的摩擦系数影响很大,填充比例适当时能有效改善复合材料的耐磨损性能;改性后复

联系人: 徐秋红, 硕士, 主要研究方向为材料学

收稿日期: 2014-05-15

合材料的磨损机制主要表现为磨料磨损、疲劳磨损和塑性变形;当铜粉质量分数为15%、石墨粉质量分数为2%、CF质量分数为6%时,复合材料具有良好的摩擦学性能。

冯博等^[9]采用PE-HD、石墨、CF制备高导热、高强度的PE-HD/石墨/CF复合材料,研究复合材料的导热性能及其力学性能的变化。结果表明,当石墨的质量分数为60%,CF的质量分数为5%时,复合材料的导热系数达到 $7.938\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,是纯PE-HD的20倍。

李佳等^[10]利用CF来提高PE的抗静电性,利用物理共混法制备了PE/CF复合材料,发现CF的加入可以提高PE的抗静电性,并能在一定程度上提高PE的力学性能。

1.2 CF增强聚丙烯(PP)基复合材料

徐睿杰等^[11]成功制备了PP/膨胀石墨(EG)/CF复合材料。研究发现,当EG的质量分数达到20%时,复合材料热导率是纯PP的2倍,但熔体流动性能有所下降;添加质量分数1%的聚乙烯蜡可以明显改善复合材料的熔体流动性能;将EG与质量分数5%的CF杂化使用,复合材料的热导率可达 $0.91\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,是纯PP的5倍,熔体流动速率(MFR)达到 $1.72\text{ g}/10\text{ min}$,同时该复合材料具有较好的力学性能。

陈正广等^[12]将炭黑(CB)和CF导电粒子加入到新型PP弹性体与PP树脂中,共混制备导电复合材料,得到了体积电阻率最低为 $0.47\ \Omega\cdot\text{cm}$ 、拉伸强度为6.6 MPa、断裂伸长率为250%,具有良好加工性能的导电复合材料。

黄虹等^[13]以PP为基体、CF为增强材料、空心玻璃微珠(HGB)为增韧剂制备了PP/HGB/CF三元复合材料。当CF含量为5份、HGB含量为15份时,三元复合材料的综合力学性能最佳,其拉伸强度和缺口冲击强度分别比纯PP提高了46.5%和17.6%。

李鑫等^[14]制备了PP/短CF复合材料并研究其力学性能。结果表明,复合材料的拉伸强度随短CF含量的增加呈先增加后趋于稳定的趋势,当短CF质量分数达到6%时,拉伸强度达到极值。随着短CF的加入,冲击强度呈先增加后略有降低的趋势,复合材料在短CF质量分数为6%时冲击强度达到极值。由此可知,适量的加入短CF对PP起到了较好的增强增韧效果。

2 CF增强通用工程塑料复合材料

2.1 CF增强尼龙(PA)基复合材料

采用CF增强PA基复合材料,除使PA具有优异的力学性能外,还可使其具有优良的导电性能、耐摩擦性和自润滑性,可用于耐摩擦材料和电磁屏蔽材料^[15]。别明智等^[16]利用CF导电性、高模量、高强度特点配合阻燃剂改性PA6树脂,制备PA6/CF复合材料。结果表明,在CF质量分数

为20%时,配合溴系阻燃剂体系作用,复合材料具有较高的强度、高导电性和阻燃性能,能满足井下聚合物制品安全及使用性能要求。

孟成铭等^[17]设计和制备了高温PA(PPA)熔融浸渍CF装置,制备了长CF增强PPA复合材料,发现提高浸渍温度与延长浸渍时间都可以提升浸渍效果,增强复合材料的拉伸性能。

李春华等^[18]将CF经表面处理后通过双螺杆挤出机制备PA6/CF复合材料,发现与PA6/未处理CF复合材料和纯PA6相比,复合材料力学性能得到明显提高,其中拉伸弹性模量分别提高了33%和50%。

刘俊宁等^[19]利用E-51环氧树脂(EP)改性单体浇铸PA(MCPA),以CF粉为增强剂、二硫化钼(MoS_2)为润滑剂、CB为增容剂,制备了MCPA基复合材料。当MCPA用量为100份、EP用量为1.5份、CF粉用量为13份、 MoS_2 用量为6.5份、CB用量为3.5份时,MCPA基复合材料具有较好的力学性能和摩擦性能。相对于钢,该MCPA基复合材料与铝合金摩擦时的耐磨损性能较好。

赵丽等^[20]以PA66为基体,研究和分析玻璃纤维(GF)和CF混杂对PA66性能的影响。固定GF质量分数为24.6%,改变CF的质量分数,将GF和CF先用硅烷偶联剂KH550进行表面处理,用双螺杆挤出造粒和注射成型方式制备PA66/GF/CF复合材料,研究结果表明,GF/CF混杂对PA66具有很好的增刚效果。

王营营等^[21]制备了不同配比的CF和GF增强PA6/PE-HD基复合材料。当CF质量分数为3%时,CF和GF对复合材料力学性能和摩擦磨损性能的改善效果较好,其拉伸强度、弯曲强度及冲击强度比未加纤维的分别提高了21.6%、38.8%和40.5%,在100和200 N载荷下的磨损量分别为未加纤维的71.5%和75.6%。

2.2 CF增强聚碳酸酯(PC)基复合材料

艾娇艳等^[22]制备了CF增强PC复合材料并研究了其性能,相比GF,CF增强PC基复合材料在力学性能、电性能和加工性等方面有明显的提高。随着CF含量的增加,复合材料拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量明显呈上升趋势;而断裂伸长率和冲击强度在CF质量分数为6%时达最大值。

阳玉球等^[23]采用纤维直接喂入注塑工艺制备了PF/CF复合材料,通过研究拉伸和界面性能,发现由于纤维分散性和界面强度不同,导致了最终的力学性能上明显的差异。

2.3 CF增强聚甲醛(POM)基复合材料

高明月^[24]以POM为基体,加入热塑性聚氨酯弹性体(PUR-T)和CF等,制备了POM/PUR-T/CF复合材料。当POM/PUR-T/CF质量比为70:16:15时,复合材料的冲

击强度与纯 POM 相比下降幅度最小,但拉伸强度比纯 POM 提高了 35.45 kJ/m^2 ,复合材料的力学性能较为理想。

马小丰等^[25]以 CF 为增强体,用双螺杆挤出机共混制备了 CF 增强 POM 基复合材料,研究了 CF 含量对复合材料力学性能、热性能、熔体流动性能的影响。结果表明,CF 的加入大幅提高了复合材料的力学性能,改善了热稳定性能,但 MFR 减小;当 CF 质量分数为 25% 时,复合材料的综合力学性能最佳,其弯曲弹性模量、弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度、断裂伸长率分别为 19.8 GPa, 187 MPa, 153 MPa, 16.2 kJ/m^2 , 0.52%。

3 CF 增强高性能工程塑料复合材料

3.1 CF 增强聚酰亚胺 (PI) 基复合材料

黄伟九等^[26]通过模压成型制备了 CF 与 HGB 混合改性的 PI 基复合材料。所制备的 PI/HGB/CF 复合材料摩擦学性能优于单独填充的 PI 基复合材料,当 HGB 质量分数为 15%,CF 质量分数为 10% 时复合材料的减摩耐磨性能最佳。

靖长亮等^[27]对 CF 进行表面预处理,制备不同表面处理的 CF 改性热塑性 PI 基复合材料。与纯 PI 相比,CF 的加入提高了 PI 基复合材料的力学性能,经超声复合处理的 CF 的增强效果较好,超声复合处理 CF 改性 PI 基复合材料磨损表面的犁沟和磨屑较少且平整。

杨长城等^[28]采用硝酸氧化改性和涂层复合改性法分别对 CF 进行表面处理,制备了 CF 增强热塑性 PI 基复合材料。硝酸氧化改性增大了 CF 的表面粗糙度,随处理时间的延长粗糙度增大;经涂层复合改性后,CF 表面包覆了一层 PI,保护了 CF 并提高了其与 PI 基体界面的结合强度;经表面改性后的 CF 增强热塑性 PI 基复合材料的摩擦磨损性能均得到提高,以涂层复合改性的效果最好;硝酸氧化改性后的 CF 在摩擦过程中易断裂,复合材料的磨损形貌以磨粒磨损为主,而涂层复合改性后的 CF 断裂得到抑制,与基体结合更为牢固,磨损表面较为平整。

3.2 CF 增强改性聚醚醚酮 (PEEK) 基复合材料

魏佳顺等^[29]对 CF 进行表面处理,并与 PEEK 薄膜热压成复合材料,发现用混酸超声处理法处理的 CF 表面粗糙度最大,润湿性最好,表面润湿力达到 0.82 mN,用其制备的复合材料的拉伸性能最佳。

贾政等^[30]以 PEEK 基复合材料为销样,316 不锈钢材料为盘样,考察了水润滑条件下对偶件表面粗糙度对纯 PEEK 及 CF 增强 PEEK 基复合材料摩擦学性能的影响。结果表明,在水润滑条件下,CF 增强 PEEK 基复合材料的耐磨性能明显提高,磨损率比纯 PEEK 的磨损率降低了 4~6 倍。当对偶件表面粗糙度处于 $0.08 \sim 0.09 \mu\text{m}$ 范围内时,复合材料可以取得较低的磨损率;当对偶件表面粗糙度的值过高

或者过低时,摩擦磨损机理将发生改变。

陈佩民等^[31]采用纳米 SiO_2 粒子和 CF 作为增强材料,通过热压成型工艺,制备了 PEEK/纳米 SiO_2 /CF 复合材料试样。当纳米 SiO_2 粒子和 CF 的质量分数分别为 5% 和 25% 时,复合材料的比磨损率最低,耐磨性最好。

3.3 CF 增强聚苯硫醚 (PPS) 基复合材料

阮春寅等^[32]采用薄膜叠压法制备 CF 织物 (CFF) 增强 PPS(PPS/CFF) 复合材料层压板,研究了热压温度、热压压力和热压时间对复合材料层压板力学性能的影响,确定了制备 PPS/CFF 复合材料的理想工艺参数为:热压温度 $320 \sim 330^\circ\text{C}$,热压压力 $0.15 \sim 0.20 \text{ MPa}$,热压时间 8~10 min。在该参数下制得的层压板拉伸强度为 652 MPa,弯曲强度为 711 MPa,层间剪切强度为 43 MPa;在 6.7 J/mm 的冲击能量下,层压板的冲击后剩余压缩强度为 116 MPa。

牛军锋^[33]分别以 GF 与 CF 作为增强体制备了 PPS/GF 和 PPS/CF 复合材料。GF 与 CF 的引入有效地提高了复合材料的摩擦磨损性能;随纤维体积分数的增加复合材料的摩擦系数逐渐增加,随载荷的增加复合材料的摩擦系数逐渐降低,但磨损率增大。与 PPS/GF 复合材料相比,PPS/CF 复合材料具有较小的摩擦系数和较低的磨损率。

3.4 CF 增强聚四氟乙烯 (PTFE) 基复合材料

PTFE 以极低的摩擦系数、优异的热稳定性和耐腐蚀性著称,是一种理想的自润滑材料。但是,纯 PTFE 力学性能差、线膨胀系数大、导热性差,导致其磨损量大,因而不适于单独用作耐磨材料。CF 具有高强度、高模量、极佳的抗疲劳和抗蠕变性能,可用于 PTFE 基复合材料增强^[34]。

周波等^[35]将 CF 作为增强材料,采用冷压成型和自由烧结工艺制备改性 PTFE 基密封复合材料。通过制备工艺的实验研究,详细分析了混料工艺,得出最佳工艺参数:添料次数为 4 次,搅拌时间约 10 min。CF 粉对复合材料的抗拉强度有削弱作用,而短 CF 可提高复合材料的拉伸强度。

朱仁鹏^[36]分别以 GF 与 CF 作为增强体制备了纤维增强 PTFE 基复合材料。GF 与 CF 的引入有效地提高了复合材料的摩擦磨损性能,随纤维体积分数的增加,复合材料的摩擦系数逐渐增加;另外,随载荷的增加,复合材料的摩擦系数亦逐渐降低,但磨损率增大。

孙义牛等^[37]考察纳米 Cu 粉含量、粒径对 PTFE/CF 复合材料摩擦磨损性能的影响,分析磨损面和对偶面转移膜形貌,并探讨其磨损机制。结果表明,纳米 Cu 粉能提高复合材料的耐磨性,在高载荷下,纳米 Cu 粉的增强效果更加明显;纳米 Cu 粉的粒径越小,复合材料的耐磨性越好;添加质量分数为 0.3% 的纳米 Cu 粉的复合材料耐磨性最优,在 1.4 m/s , 200 N 下实验条件下,其磨损率比未添加时降低了

45%。

项东虎等^[38]选用螺旋CF(CMCs)和直CF(SCF)填充改善PTFE的综合性能。研究发现,添加其中任何一种CF都会不同程度地提高PTFE基复合材料的摩擦系数,高载下的摩擦系数稍低于低载下的摩擦系数。另外,随着CF含量的增加,其耐磨性能逐步提高,磨损率下降;SCF增强复合材料的硬度呈先增大后减小的趋势,CMCs增强复合材料的硬度则缓慢提高;两种纤维均可使压缩强度提高,且SCF的效果更为明显;从断裂位移可以看出,CF的添加大大改善了纯PTFE的塑性性能。

3.5 CF增强聚醚砜(PESU)基复合材料

郑亮^[39]以共聚型二氮杂萘联苯结构PESU(PPBES)树脂为基体、CF为增强体,制备PPBES/CF复合材料。研究表明,复合材料的弯曲强度随CF体积分数的增加呈现先增大后减小的趋势,极值出现在CF体积分数为60%时;弯曲弹性模量和层间剪切强度随纤维体积分数的增加呈现逐渐增大的趋势;复合材料受力破坏模式以树脂基体内部破坏为主。

胡良志等^[40]采用热压工艺制备了可用于汽车装饰紧固件的磨碎CF(CFP)增强PESU复合材料。研究发现CFP最佳体积分数是10%;湿法混料制得的复合材料的拉伸性能优于干法混料;CFP经氧化改性后复合材料拉伸性能显著提高。加入体积分数为10%的415℃下处理45 min的CFP,并采用湿法混料,压制后制得的复合材料的拉伸强度最佳,可达到136 MPa。

3.6 CF增强聚芳醚腈(PEN)基复合材料

刘孝波等^[41]通过使用CF和石墨烯微片(GN)实现对PEN的多元多尺寸协同增强,通过熔融共混挤出造粒,得到力学性能优异的PEN/CF/GN复合材料。与PEN树脂、PEN/GN(GN质量分数5%)和PEN/CF(CF质量分数20%)复合材料相比,PEN/CF/GN(CF质量分数20%,GN质量分数5%)复合材料的冲击强度分别增加了98.4%,63.6%和29.4%,其弯曲弹性模量达到18.6 GPa,分别增加了1.7,4.5和6.4倍。扫描电子显微镜照片显示,微米尺寸CF和纳米填料GN的同时加入减少了基体富集区域和自由体积,增强了界面作用力,可减少应力集中和帮助应力转移。

4 结语

国内学者根据CF自身性能与结构特点,通过采取不同的预处理方式、成型工艺等,对CF增强热塑性复合材料性能进行研究。这些研究成果可以为今后进一步提高CF增强热塑性复合材料的性能,以及使CF应用于更多的热塑性塑料中提供参考,从而促进CF增强热塑性复合材料的进一步发展。

参考文献

- [1] 钱春香,等.材料导报,2009,23(12):63-68.
Qian Chunxiang, et al. Materials Review, 2009, 23(12):63-68.
- [2] 贺福.碳纤维与石墨纤维[M].北京:化学工业出版社,2010:282.
He Fu. Carbon fiber and graphite fiber[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010:282.
- [3] 张晓明,等.纤维增强热塑性复合材料及其应用[M].北京:化学工业出版社,2007.
Zhang Xiaoming, et al. Fiber reinforced thermoplastic composite and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [4] 李力,等.铸造技术,2012,33(1):26-28.
Li Li, et al. Foundry Technology, 2012, 33(1):26-28.
- [5] 游志培,等.工程塑料应用,2014,42(1):36-39.
You Zhipei, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1):36-39.
- [6] 盛永华,等.中国塑料,2012,26(5):54-57.
Sheng Yonghua, et al. China Plastics, 2012, 26(5):54-57.
- [7] 徐先锋,等.中国塑料,2012,26(2):33-36.
Xu Xianfeng, et al. China Plastics, 2012, 26(2):33-36.
- [8] 黄传辉,等.润滑与密封,2011,36(1):31-34.
Huang Chuanhui, et al. Lubrication Engineering, 2011, 36(1):31-34.
- [9] 冯博,等.塑料工业,2013,41(6):78-82.
Feng Bo, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(6):78-82.
- [10] 李佳,等.化学与粘合,2014(1):38-39.
Li Jia, et al. Chemistry and Adhesion, 2014(1):38-39.
- [11] 徐睿杰,等.塑料,2012,41(1):34-36.
Xu Ruijie, et al. Plastics, 2012, 41(1):34-36.
- [12] 陈正广,等.塑料工业,2012,40(1):115-118, 122.
Chen Zhengguang, et al. China Plastics Industry, 2012, 40(1):115-118, 122.
- [13] 黄虹,等.塑料科技,2012,40(4):69-72.
Huang Hong, et al. Plastics Science and Technology, 2012, 40(4):69-72.
- [14] 李鑫,等.北华航天工业学院学报,2013(6):13-15.
Li Xin, et al. Journal of North China Institute of Aerospace Engineering, 2013(6):13-15.
- [15] 张艳霞.碳纤维增强尼龙复合材料的研究[D].上海:东华大学,2010.
Zhang Yanxia. The study of carbon fiber reinforced nylon composites[D]. Shanghai: Dong Hua University, 2010.
- [16] 别明智,等.塑料工业,2013,41(12):66-68, 74.
Bie Mingzhi, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(12):66-68, 74.
- [17] 孟成铭,等.塑料工业,2013,41(9):32-34.
Meng Chengming, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(9):32-34.
- [18] 李春华,等.科学技术与工程,2010,10(2):546-548.
Li Chunhua, et al. Science Technology and Engineering, 2010, 10(2):546-548.

- [19] 刘俊宁,等. 工程塑料应用,2012,40(9):13-16.
Liu Junning, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(9):13-16.
- [20] 赵丽,等. 沈阳化工大学学报,2011,25(3):246-249.
Zhao Li, et al. Journal of Shenyang University of Chemical Technology, 2011, 25(3):246-249.
- [21] 王营营,等. 塑料,2011,40(4):25-27, 92.
Wang Yingying, et al. Plastics, 2011, 40(4):25-27, 92.
- [22] 艾娇艳,等. 玻璃钢/复合材料,2010(2):38-40.
Ai Jiaoyan, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2010(2):38-40.
- [23] 阳玉球,等. 纤维复合材料,2013,30(3):8-11.
Yang Yuqiu, et al. Fiber Composites, 2013, 30(3):8-11.
- [24] 高明月. 共混改性聚甲醛制备高性能聚合物材料的研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2013.
Gao Mingyue. Research of blending modified polyformaldehyde for preparing high performance polymer materials[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2013.
- [25] 马小丰,等. 工程塑料应用,2014,42(1):23-26.
Ma Xiaofeng, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1):23-26.
- [26] 黄伟九,等. 复合材料学报,2013,30(4):59-65.
Huang Weijiu, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(4):59-65.
- [27] 靖长亮,等. 塑料,2012,41(3):4-6.
Jing Changliang, et al. Plastics, 2012, 41(3):4-6.
- [28] 杨长城,等. 机械工程材料,2012,36(1):90-93.
Yang Changcheng, et al. Materials for Mechanical Engineering, 2012, 36(1):90-93.
- [29] 魏佳顺,等. 纤维复合材料,2010(4):36-40.
Wei Jiashun, et al. Fiber Composites, 2010(4):36-40.
- [30] 贾政,等. 塑料工业,2014,42(1):83-85.
Jia Zheng, et al. China Plastics Industry, 2014, 42(1):83-85.
- [31] 陈佩民,等. 江苏科技信息,2013(9):55-56.
Chen Peimin, et al. Jiangsu Science & Technology Information, 2013(9):55-56.
- [32] 阮春寅,等. 材料导报,2012,26(14):77-81, 100.
Ruan Chunyin, et al. Materials Review, 2012, 26(14):77-81, 100.
- [33] 牛军锋. 塑料科技,2012,40(10):55-57.
Niu Junfeng. Plastics Science and Technology, 2012, 40(10):55-57.
- [34] 上官倩英. 稀土改性碳纤维增强聚四氟乙烯复合材料摩擦学性能研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.
Shangguan Qianqian. Tribological properties of polytetrafluoroethylene composites filled with rare earth modified carbon fibers[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2007.
- [35] 周波,等. 化工新型材料,2013,41(4):81-83.
Zhou Bo, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(4):81-83.
- [36] 朱仁鹏. 塑料工业,2013,41(2):100-102.
Zhu Renpeng. China Plastics Industry, 2013, 41(2):100-102.
- [37] 孙义牛,等. 润滑与密封,2011,36(8):38-41, 66.
Sun Yiniu, et al. Lubrication Engineering, 2011, 36(8):38-41, 66.
- [38] 项东虎,等. 淮阴工学院学报,2010,19(5):4-9.
Xiang Donghu, et al. Journal of Huaiyin Institute of Technology, 2010, 19(5):4-9.
- [39] 郑亮. 塑料工业,2012,40(S1):60-62.
Zheng Liang. China Plastics Industry, 2012, 40(S1):60-62.
- [40] 胡良志,等. 工程塑料应用,2014,42(3):22-25.
Hu Liangzhi, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(3):22-25.
- [41] 刘孝波,等. 塑料工业,2013,41(S1):109-113.
Liu Xiaobo, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(S1):109-113.

优惠销售 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000 ~ 2013 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了 14 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 380 元/套。

2. 2000 ~ 2013 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价 260 元/盘。本光盘除收录上述 14 本《论文集》的全部内容外,还包括约 2 700 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款单位: 山东济南市田庄东路 3 号杂志社

邮 编: 250031

电 话: (0531)85878223 85878057 85878278

传 真: (0531)85947355

银行汇款

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>