

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.09.020

低环氧改性酚醛树脂含量对复合摩擦材料性能的影响^{*}

赵君山^{1,2}, 何春霞^{1,2}, 刘军恒^{1,2}, 过佩文^{1,2}, 张娴^{1,2}

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031)

摘要:为探讨低含量基体树脂(基体树脂质量分数 $< 25\%$)的复合摩擦材料的性能,以低含量环氧改性酚醛树脂作为基体,碳粉为增强剂, SiC 粉、 Al_2O_3 粉、石墨和丁腈橡胶为填料,用模压成型法制备了 4 种低含量基体树脂复合摩擦材料,对复合摩擦材料的物理和力学性能以及不同温度下的摩擦磨损性能进行了研究,用扫描电子显微镜观察了其磨损表面,分析了其磨损机理,用热分析仪对其热稳定性进行了分析。结果表明,随着基体树脂含量的减少,复合摩擦材料的热稳定性不断提高,基体树脂质量分数为 10% 时,复合摩擦材料的起始分解温度和质量保持率较高,分别为 402.8℃ 和 92.93%,但其摩擦系数、密度、硬度、冲击强度和压缩强度均降低;基体树脂质量分数为 15% 的复合摩擦材料对温度有较好的稳定性,当温度从室温上升到 350℃ 时,复合摩擦材料的摩擦系数和磨损率变化幅度较小,摩擦系数从 0.306 降低到 0.223,磨损率从 $0.091 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 增加到 $0.290 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$,其磨损表面缺陷凹坑也较小,而基体树脂质量分数为 10% 和 25% 的复合摩擦材料的摩擦系数和磨损率随着温度变化幅度较大,在高温下的摩擦系数较小且磨损率较大,表面缺陷凹坑也明显增多增大。

关键词: 环氧改性酚醛树脂; 复合摩擦材料; 摩擦磨损; 热性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)09-0099-07

Effects of Low Epoxy Modified Phenolic Resin Content on Properties of Composite Friction Materials

Zhao Junshan^{1,2}, He Chunxia^{1,2}, Liu Junheng^{1,2}, Guo Peiwen^{1,2}, Zhang Xian^{1,2}

(1. College of Engineering, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210031, China;

2. Key Laboratory of Intelligence Agriculture Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China)

Abstract : To explore lower content (resin matrix mass fraction $< 25\%$) of resin matrix composite friction material performance, an epoxy-modified phenolic resin as matrix, adding carbon powder as strengthening agent and SiC powder, Al_2O_3 powder, graphite, nitrile-butadiene rubber as packing, the four different contents of epoxy modified phenolic resin composite friction materials were prepared by moulding method. The physical and mechanical properties of the materials under different temperature were tested. Their worn surfaces were observed by scan electron microscope and its wear mechanism was analyzed. The thermal stabilities of the materials was analyzed by using thermal analyzer. The results show that with the decreasing of the matrix content, the thermal properties of the materials are improved, and when the mass fraction of the matrix is 10%, the starting decomposition temperature and residues are higher, which are 402.8℃ and 92.93%; However, this change can decrease the coefficient, hardness, impact strength and compression strength. The friction coefficient of the material, which matrix mass fraction is 15%, has good stability for temperature, and it has stable friction coefficient with small wear rate and less small pits of surface defects under the high temperature. When raising the temperature from room temperature to 350℃, the fiction coefficient reduces from 0.306 to 0.223, and the wear rate increases form $0.091 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ to $0.290 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$. However, when matrix mass fractions are 10% and 25%, the friction and wear properties of the materials are unstable with the temperature change, and under high temperature their friction coefficients are small and wear rates are large, which have pits of surface defects are more and larger.

Keywords : epoxy modified phenolic resin ; composite friction material ; friction and wear ; thermal stability

随着汽车、飞机、重型机械等速度和载荷的不断提高,传动、制动用摩擦材料的工作环境愈加严苛,促使人们对复合摩擦材料进行更加深入的研究,而基体作为复合摩擦材料的重要组成部分,一直是开发与研究的重点^[1-4]。目前国内外对复合摩擦材

料基体的研究重点集中在基体的改性和新型基体探

^{*} 江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目
(201310307018Y)

联系人: 何春霞, 教授, 从事高分子及其复合材料机械性能的研究

收稿日期: 2015-06-23

究等方面^[5-7],而基体含量对复合摩擦材料性能影响的研究较少。丁建华等^[8]研究了基体树脂含量对自润滑衬垫复合摩擦材料摩擦磨损性能的影响,结果表明,自润滑衬垫复合摩擦材料存在一个较优的基体树脂含量范围,此时其摩擦学性能较好;龙强等^[9]实验证明,在湿法制备的半金属材料中,当基体树脂质量分数为20%时其综合性能最佳;刘震云等^[10]研究证明,在基体树脂质量分数高于14%时,汽车摩擦材料中的增强纤维会因树脂高温分解而产生拔出现象,导致复合摩擦材料的摩擦系数不稳定,磨损加剧,当树脂质量分数少于8%时,由于树脂少也会产生增强纤维拔出现象。所以在复合摩擦材料的配方中,基体树脂含量是一个重要影响因素。

酚醛树脂具有优异的力学性能,较好的耐磨性能、电绝缘性、成型加工性、阻燃性等优点,一直是复合摩擦材料中常用的基体树脂之一^[11],但是酚醛树脂结构上的酚羟基和亚甲基容易受到氧化,致使耐热性受到影响,并且脆性大,导致复合摩擦材料存在冲击性能较差、耐热性及耐氧化性低的缺点^[6]。实验表明^[3,6],对酚醛树脂进行改性能明显提高酚醛树脂的韧性、耐热性、耐氧化性、耐磨损性、耐腐蚀性等。其中,用环氧树脂对酚醛树脂进行改性可显著提高其粘结性能和耐热性能。笔者利用环氧树脂改性酚醛树脂作为复合摩擦材料的基体材料,探讨了低基体树脂含量(基体树脂质量分数为10%~25%)对复合摩擦材料性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

环氧改性酚醛树脂:PF-231,固化剂为六亚甲基四胺,粒径为63 μm ,桓台县永汇化工有限公司;

碳粉:粒径为48 μm ,南京智宁塑料填料研究所;

SiC粉、 Al_2O_3 粉:粒径均为10 μm ,南京智宁塑料填料研究所;

硅烷偶联剂:KH550,上海中艺塑料制品厂;

石墨:粒径为30 μm ,锦州市斌宏隆塑料有限公司;

丁腈橡胶:HLN40-1,黄山华兰科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

自动平板硫化机:XLB-D400 $\times$ 400 $\times$ 2-Z型,上海奇才液压机械有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHC-9053A型,南京东迈科技仪器有限公司;

电子密度计:DH-300型,东莞宏拓仪器有限公司;

塑料洛氏硬度计:XHR-150型,上海联尔试验设备有限公司;

电子万能材料试验机:CSS-44100型,长春试验机研究所;

定速式摩擦试验机:XD-MSM型,西安明克斯检测设备有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-4800型,上海日立高新技术贸易有限公司;

综合热分析仪:STA449F3型,德国耐驰仪器制造有限公司。

1.3 试样制备

取适量SiC粉、 Al_2O_3 粉、碳粉、石墨和丁腈橡胶,用1%的KH550硅烷偶联剂分别处理SiC粉、 Al_2O_3 粉、碳粉和石墨,并用功率为80 W、频率为40 kHz的超声波对其进行超声处理,处理时间为30 min,烘干;利用高速混料机将4种含量(质量分数分别为10%,15%,20%,25%)的环氧改性酚醛树脂分别与已处理的SiC粉、 Al_2O_3 粉、碳粉和石墨以及丁腈橡胶混合;采用模压法压制成型,制备复合摩擦材料,模压温度为180 $^{\circ}\text{C}$,模压压力为30 MPa,保温保压时间为15 min。4种含量的环氧改性酚醛树脂复合摩擦材料中SiC粉、 Al_2O_3 粉、丁腈橡胶及石墨含量均相同,它们的总质量分数为20%,碳粉和环氧改性酚醛树脂的总质量分数为80%。

1.4 性能测试

(1) 热性能:利用综合热分析仪分析复合摩擦材料的热性能,得到热重(TG)曲线和差示扫描量热(DSC)曲线。测试环境为惰性气体Ar气体,测量温度为50~750 $^{\circ}\text{C}$,初始等待15 min,升温速率为10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

(2) 密度:用电子密度计测量复合摩擦材料的密度,结果取5次测量的平均值。

(3) 硬度:参照GB/T 5766-2007测试,采用HRL标尺,压头直径为6.35 mm,加载载荷为60 kg,加载和卸载时间均为15 s,载荷保持5 s,结果取5次测量的平均值。

(4) 压缩强度:参照GB/T 1448-2005测试,用电子万能材料试验机进行测量,加载速度为2 mm/min,试样尺寸为6 mm $\times$ 10 mm $\times$ 17.34 mm。每次实验至少重复5次,结果取其平均值。

(5) 冲击强度:参照GB/T 1043-1993测

试,用简支梁冲击试验机进行测量,试样尺寸为 50 mm×6 mm×4 mm,冲击速度为 2.9 m/s,冲击能量为 2 J,结果取 3 次测量的平均值。

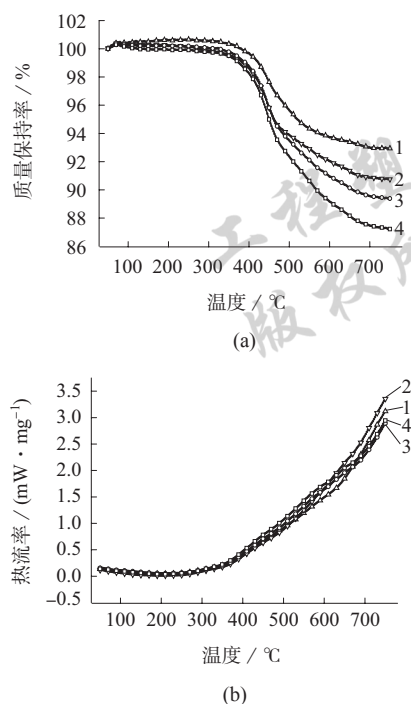
(6) 摩擦磨损性能:参照 GB 5763-2008 测试,用定速摩擦试验机测定不同温度、相同载荷、恒定滑动线速度下复合摩擦材料的摩擦磨损性能。试样尺寸为 25 mm×25 mm×6 mm,试样承载压力为 100 N/cm²,滑动线速度为 7.5 m/s。

(7) 微观形貌:采用 SEM 观察各种试样不同温度下的表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 基体树脂含量对复合摩擦材料热性能的影响

图 1 为 4 种环氧改性酚醛基体树脂含量的复合摩擦材料的 TG 曲线和 DSC 曲线,表 1 为复合摩擦材料的起始分解温度、最大分解温度和 750℃时复合摩擦材料的质量保持率。



基体树脂质量分数: 1—10%; 2—15%; 3—20%; 4—25%
a—TG 曲线; b—DSC 曲线

图 1 不同基体树脂含量的复合摩擦材料的 TG 和 DSC 曲线

表 1 不同基体树脂含量的复合摩擦材料的 TG 数据

基体树脂 质量分数 / %	起始分解 温度 / °C	最大分解 温度 / °C	750℃时的质量 保持率 / %
25	397.6	445.2	87.21
20	399.0	445.1	89.38
15	401.5	445.2	90.75
10	402.8	445.1	92.93

从图 1 和表 1 可以看出,随着基体树脂含量的降低,复合摩擦材料的起始分解温度和 750℃时

的质量保持率均逐渐增大,其中基体树脂质量分数为 25% 时复合摩擦材料起始分解温度最低,为 397.6℃,750℃时的质量保持率最少,为 87.21%,而基体树脂质量分数为 10% 时复合摩擦材料起始分解温度最高,为 402.8℃,750℃时的质量保持率最大,为 92.93℃,两种复合摩擦材料的起始分解温度相差 5.2℃,质量保持率相差 5.72%。4 种复合摩擦材料的最大分解温度在 445.1~445.2℃之间,基本不变,其 DSC 曲线随温度变化的趋势相同。

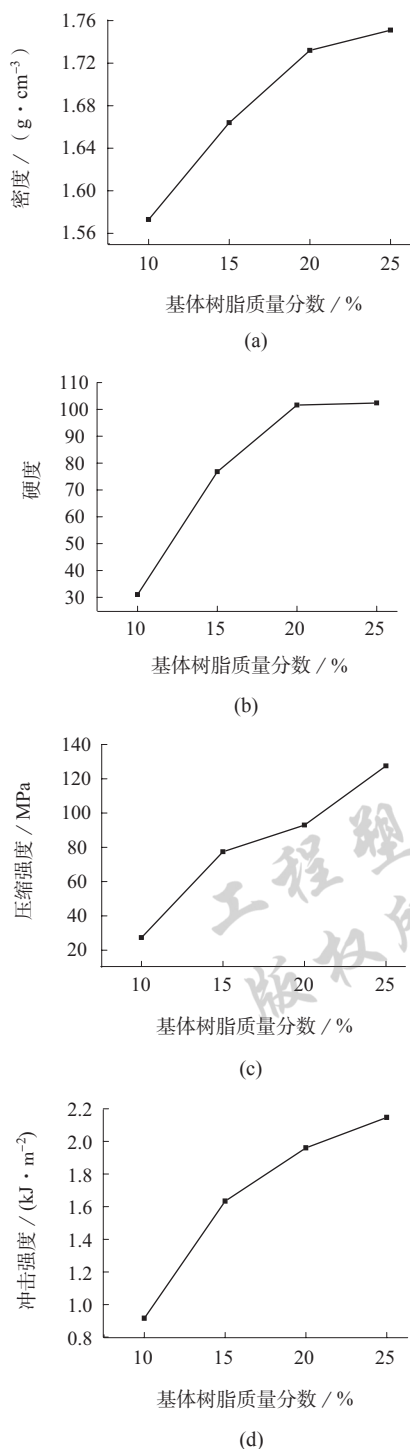
可见,基体树脂含量对复合摩擦材料热性能有一定的影响。这可能是因为基体树脂在摩擦材料中与 SiC 粉、Al₂O₃ 粉、碳粉及石墨填充材料通过一定方式结合在一起,由于填充材料均为无机材料,其耐热温度高,随着基体树脂含量的减少,耐热性较好的碳粉含量的增加,使复合摩擦材料可以吸收更多的热量^[12],提高了复合摩擦材料的起始分解温度。随着温度的进一步升高,复合摩擦材料表面树脂分解,树脂所包裹的 SiC 粉、Al₂O₃ 粉、碳粉及石墨颗粒从表面脱落,复合摩擦材料内部产生大量微观裂纹,使复合摩擦材料变得疏松,此时 4 种复合摩擦材料基体树脂与填充材料结合方式的差异减小,且复合摩擦材料内部疏松,基体树脂更易发生热分解反应,所以 4 种复合摩擦材料的剧烈分解温度基本相同。在 750℃时,基体树脂成分几乎完全分解^[13],但无机成分填充材料 SiC 粉、Al₂O₃ 粉、碳粉及石墨的热分解温度较高,在 750℃时它们不会分解,所以复合摩擦材料的残留量随着基体树脂含量的降低而增大。

2.2 基体树脂含量对复合摩擦材料物理和力学性能的影响

图 2 为复合摩擦材料的密度、硬度、压缩强度和冲击强度随基体树脂含量变化的曲线。

由图 2a 可以看出,复合摩擦材料的密度随着基体树脂含量的减少呈降低趋势。其中基体树脂质量分数为 25% 时复合摩擦材料的密度最大,为 1.751 g/cm³,基体树脂质量分数为 10% 时复合摩擦材料的密度最小,为 1.573 g/cm³,后者的密度约为前者密度的 90%,变化幅度不大,表明基体树脂含量对复合摩擦材料密度的影响不大。

从图 2b 可以看出,随着基体树脂含量的减少,复合摩擦材料的硬度逐渐减小。这可能是因为基体树脂含量较少时, SiC 粉、Al₂O₃ 粉、碳粉及石墨的相对含量较大,且有较高的硬度,能增加复合摩擦材料的硬度。当它们与树脂基体充分粘结成为一个整



a—密度; b—硬度; c—压缩强度; d—冲击强度

图2 基体树脂含量对复合摩擦材料物理和力学性能的影响

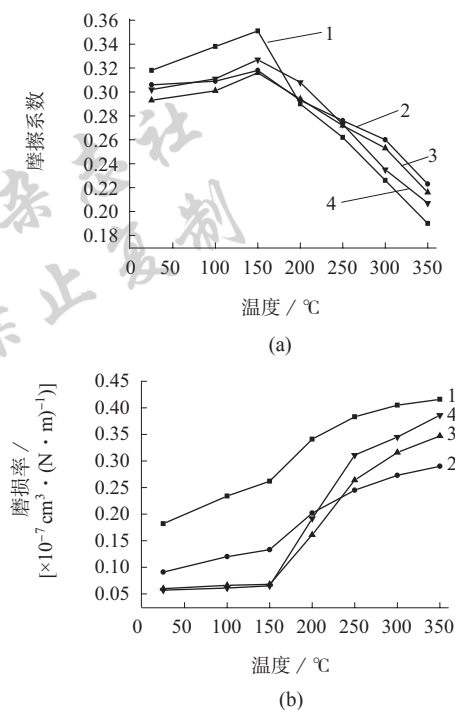
体时,可以增加基体树脂的硬度,但是随着基体树脂含量的减少,粘结 SiC 粉、碳粉、 Al_2O_3 粉和石墨的树脂减少,导致对复合摩擦材料的硬度增强效果也随之减弱,另外,环氧改性酚醛树脂是通过树脂中的酚羟基与环氧树脂中的环氧基进行化学反应,使它们交联成可以增强基体力学性能的体型结构^[14-15],

随着基体树脂含量的减少,这种反应逐渐减少,也导致复合摩擦材料的硬度减小。

由图 2c 和图 2d 可以看出,随着基体树脂含量的减少,复合摩擦材料的压缩强度和冲击强度均逐渐降低。这是因为随着基体树脂含量减少, SiC 粉、 Al_2O_3 粉、碳粉及石墨填充材料不能被基体树脂完全包裹、粘结,导致复合摩擦材料在断裂前吸收能量和塑性变形的能力随之减弱。

2.3 基体树脂含量对复合摩擦材料摩擦磨损性能的影响

图 3 为复合摩擦材料摩擦系数和磨损率随温度变化的曲线。



基体树脂质量分数: 1—10%; 2—15%; 3—20%; 4—25%

a—摩擦系数; b—磨损率

图3 复合摩擦材料摩擦系数和磨损率随温度变化的曲线

由图 3 可以看出,基体树脂含量对高温下复合摩擦材料的摩擦系数和磨损率影响较大。由图 3a 可以看出,室温条件下,基体树脂质量分数为 10% 的复合摩擦材料的摩擦系数较大,其值为 0.318,其次是基体树脂质量分数为 15% 的复合摩擦材料,其值为 0.306,基体树脂质量分数为 20% 的复合摩擦材料的摩擦系数最小,其值为 0.293,而基体树脂质量分数为 25% 的复合摩擦材料的摩擦系数比基体树脂质量分数为 20% 的复合摩擦材料有所增大,其值为 0.302。这可能是因为当基体树脂含量较少时,复合摩擦材料中粘结 SiC 粉、 Al_2O_3 粉、石墨和碳粉

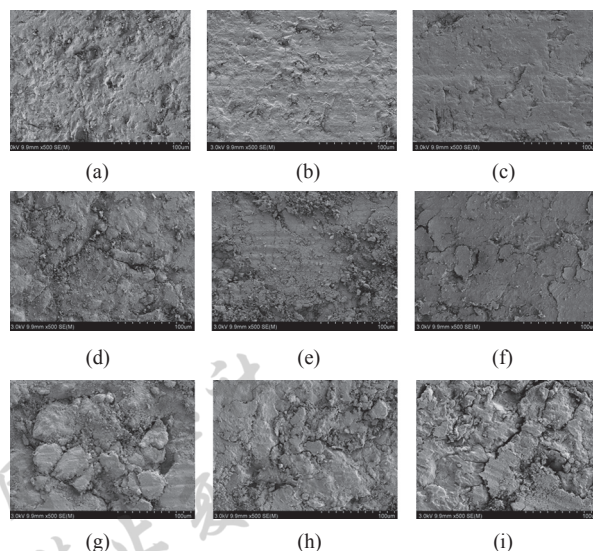
填充材料的基体树脂减少,填充材料极易脱落并附着在摩擦接触面上成为松散填料,造成第三体磨粒磨损而改变原摩擦状态,脱落的填充材料在碾碎时吸收能量使基体树脂含量较少的复合摩擦材料的摩擦系数增大;而当基体树脂含量较多时,复合摩擦材料中粘结填充材料的基体树脂较多,脱落的填充材料减少,同时会导致填充材料脱离复合摩擦材料表面的剪切力增大,使其摩擦系数增大。随着温度的升高,复合摩擦材料的摩擦系数均有所增大,且摩擦系数均在 150℃ 时达到最大值。这可能是因为当温度低于基体树脂的分解温度时,基体树脂含量较少的复合摩擦材料随着温度升高,使更多的填料从复合摩擦材料表面脱落,导致第三体磨粒磨损加剧,而基体树脂含量较多的复合摩擦材料,随着温度升高,复合摩擦材料表面的微凸体软化变形,使粘着倾向加剧,从而使摩擦系数增大。当温度大于 150℃ 后,随着温度继续上升,复合摩擦材料的摩擦系数逐渐减小,当温度达到 350℃ 时,复合摩擦材料的摩擦系数均小于室温条件下的摩擦系数,其中基体树脂质量分数为 10% 和 25% 的复合摩擦材料摩擦系数下降幅度较大,而基体树脂质量分数为 15% 的复合摩擦材料摩擦系数下降幅度较小,其值为 0.223。这可能是因为随着温度的升高,当基体树脂较少时,复合摩擦材料表面的树脂分解,树脂所包裹的颗粒从表面脱落,材料内部产生大量微观裂纹,材料变得疏松,使摩擦表面迅速坍塌,致使摩擦系数降低^[16],而当基体树脂较多时,基体树脂热分解产生大量的气体和焦油状物质,降低了有效接触压力并对摩擦表面起到润滑作用,从而导致摩擦系数下降。

从图 3b 可看出,温度对复合摩擦材料的磨损率影响十分明显。在室温时,基体树脂质量分数为 20% 和 25% 的复合摩擦材料的磨损率较小,其值分别为 0.060×10^{-7} 、 $0.057 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 。在温度低于 150℃ 时,复合摩擦材料的磨损率均有所增加,但增加幅度较小。当温度高于 150℃ 后,随着温度继续升高,复合摩擦材料的磨损量均大幅上升。基体树脂质量分数为 15% 的复合摩擦材料的初始磨损率较高,其值为 $0.091 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$,而高温时磨损最小,其值为 $0.290 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$,随着温度升高其磨损率较稳定。基体树脂质量分数为 10% 和 25% 的复合摩擦材料在 150℃ 后磨损率增加幅度均较大。这可能是因为树脂含量较少或较多时,复合摩擦材料中的树脂高温热分解而导致粘结

力下降,从而使复合摩擦材料的磨损量在高温下加剧。

2.4 复合摩擦材料磨损表面形貌及摩擦磨损机理分析

图 4 为不同温度和基体树脂含量下复合摩擦材料的磨损形貌。



温度和基体树脂质量分数: a—25℃, 10%; b—25℃, 15%; c—25℃, 25%; d—200℃, 10%; e—200℃, 15%; f—200℃, 25%; g—350℃, 10%; h—350℃, 15%; i—350℃, 25%

图 4 不同温度和基体树脂含量下复合摩擦材料的磨损形貌

由图 4a 可以看出,常温下复合摩擦材料表面有许多脱落的细小颗粒状磨屑和较小的凹坑,且部分磨屑附着在摩擦表面;由图 4b 可以看出,常温下复合摩擦材料表面有少量脱落的细小颗粒状磨屑和较小的凹坑;由图 4c 可以看出,常温下复合摩擦材料表面有凹坑和少量小片剥落。这可能是因为基体树脂质量分数为 10% 和 15% 的复合摩擦材料中粘结基体较少,填充材料较易脱落,易形成颗粒状磨屑附着在摩擦表面,造成磨粒磨损;基体树脂质量分数为 25% 的复合摩擦材料的磨损形式以疲劳磨损为主。这是因为粉状 SiC 粉和 Al_2O_3 粉的微观硬度较高,且能比较牢固地被基体粘结,在摩擦过程中能有效阻止对偶件的犁切作用,但在循环载荷的作用下,复合摩擦材料表面产生的循环应力超出了材料的疲劳强度,从而产生裂纹并不断扩展,发生断裂形成剥落凹坑。

当温度升高至 200℃ 时,基体树脂质量分数为 10% 的复合摩擦材料表面(见图 4d)由于粘结基体较少,其磨损表面出现坍塌,有较大的凹坑和大量细小的不规则磨屑;基体树脂质量分数为 15% 的复合

摩擦材料(见图4e)表面有大量细小的不规则磨屑,但表面较为平整;基体树脂质量分数为25%的复合摩擦材料表面(见图4f)有少量片状剥落后形成的凹坑,说明其仍以疲劳磨损为主。

当温度进一步升高至350℃时,基体树脂质量分数为10%的复合摩擦材料表面(见图4g)由于内部产生大量微观裂纹,材料变得疏松,使摩擦表面出现较大面积塌陷;基体树脂质量分数为15%的复合摩擦材料表面(见图4h)在高温下受热分解较少,表面出现小面积塌陷及凹坑;基体树脂质量分数为25%的复合摩擦材料表面(见图4i)高温下热分解较为严重,形成片状磨屑以及更为细小的不规则磨屑,摩擦表面有大量凹坑缺陷。

3 结论

(1) 随着环氧改性酚醛基体树脂质量分数从25%逐渐减小到10%,复合摩擦材料的起始分解温度从397.6℃逐渐提升至402.8℃,而质量保持率从87.21%逐渐提升至92.93%,其密度、硬度、冲击强度和压缩强度逐渐减小。

(2) 基体树脂质量分数为15%的复合摩擦材料的摩擦系数对温度有较好的稳定性,从室温上升到350℃时,复合摩擦材料的摩擦系数仅从0.306降低到0.223,磨损率仅从 $0.091 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 增加到 $0.290 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 。而基体树脂质量分数为10%和25%的复合摩擦材料的摩擦系数随着温度变化的波动较大。

(3) 常温时不同基体树脂含量的复合摩擦材料的磨损表面均较平整;高温时基体树脂质量分数为10%的复合摩擦材料表面出现较大面积塌陷,基体树脂质量分数为25%的复合摩擦材料表面有大量凹坑缺陷,而基体树脂质量分数为15%的复合摩擦材料表面凹坑缺陷较少。

参考文献

- [1] Sundarkrishna K L. Friction material composites [M]. Berlin Heidelberg:Springer, 2012.
- [2] 唐明,林有希. 树脂基复合制动材料摩擦学性能的影响因素分析[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(6):59-62.
Tang Ming, Lin Youxi. Analysis of influencing factors on tribological properties of resin-based compound brake materials[J]. Machine Building and Automation, 2014, 43(6):59-62.
- [3] 魏晓莹,王汝敏,同超,等. 改性耐高温胶粘剂的研究进展[J],中国胶粘剂,2010,19(5):54-58.
Wei Xiaoying, Wang Rumin, Yan Chao, et al. Research progress of modified adhesives for high-temperature resistance[J]. China Adhesives, 2010, 19(5):54-58.
- [4] 丛培红,吴行阳,卜娟,等. 制动用有机摩擦材料的研究进展[J]. 摩擦学学报, 2011, 31(1):88-96.
Cong Peihong, Wu Xingyang, Bu Juan, et al. Progress in research of organic frictional materials for automobile and train braking[J]. Tribology, 2011, 31(1):88-96.
- [5] 吴江涛,齐暑华,李春华,等. Al_2O_3 改性环保型酚醛树脂的制备与研究[J]. 中国胶粘剂, 2010, 19(8):39-42.
Wu Jiangtao, Qi Shuhua, Li Chunhua, et al. Study on preparing environment-friendly phenolic resin modified by Al_2O_3 [J]. China Adhesives, 2010, 19(8):39-42.
- [6] 廖庆玲,叶晓川. 酚醛树脂的改性研究进展[J]. 粘接, 2011(8):86-90.
Liao Qingling, Ye Xiaochuan. Research progress of modification of phenolic resins[J]. Adhesion in China, 2011(8):86-90.
- [7] Saffar A, Shojaei A. Effect of rubber component on the performance of brake friction materials[J]. Wear, 2011, 274-275:286-297.
- [8] 丁建华,王亚强,张光宇,等. 基体树脂和纳米颗粒含量对自润滑衬垫摩擦磨损性能的影响[J]. 轴承, 2011(6):18-21.
Ding Jianhua, Wang Yaqiang, Zhang Guangyu, et al. Effects of content of matrix resin and nanoparticles on tribological property of self-lubricating liner[J]. Bearing, 2011(6):18-21.
- [9] 龙强,周元康. 湿法制备半金属摩擦材料中改性的热固性树脂含量对摩擦磨损性能的影响[J]. 非金属矿, 2009, 32(5):72-77.
Long Qiang, Zhou Yuankang. Effect of modified thermosetting resin content on the frictional and wear characteristics of semi-metallic friction material made with wet method[J]. Non-Metallic Mineral, 2009, 32(5):72-77.
- [10] 刘震云,黄伯云,李度成,等. 树脂粘结剂含量对汽车摩擦材料性能的影响[J]. 中南工业大学学报, 1999, 30(5):509-511.
Liu Zhenyun, Huang Boyun, Li Ducheng, et al. Relationship between resin binder content and properties of automotive friction materials[J]. Journal of Central South University of Technology, 1999, 30(5):509-511.
- [11] 刘国勤,谢德龙. 酚醛树脂基复合材料的研究进展[J]. 河南化工, 2010, 27(11):21-23.
Liu Guoqin, Xie Delong. Research progress of phenolic resin matrix composite[J]. Henan Chemical Industry, 2010, 27(11):21-23.
- [12] 张英,都佳,郝文涛. 我国环氧树脂耐热性研究进展[J]. 塑料助剂, 2010, 84(6):5-10.
Zhang Ying, Du Jia, Hao Wentao. Progress in modification of thermo resistance of epoxy resin in China[J]. Plastic Additives, 2010, 84(6):5-10.
- [13] 刘军恒,何春霞,刘静,等. 硼改性酚醛树脂与丁腈橡胶比例对摩擦材料性能的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18):84-89.
Liu Junheng, He Chunxia, Liu Jing, et al. Effects of ratio of boron

- modified phenolic resin to nitrile butadiene rubber on properties of friction materials[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(18):84-89.
- [14] 中国环氧树脂应用技术学会. 第 15 次全国环氧树脂应用技术学术交流会 [C]. 武汉: 湖北大学出版社, 2011.
- China epoxy resins applied technology institute. The 15th national epoxy resins application technology academic communication[C]. Wuhan: Hubei University Press, 2011.
- [15] 杜郢, 周太炎, 王哲, 等. 环氧改性酚醛树脂的合成与研究 [J]. 石油化工, 2012, 41(5):583-587.
- Du Ying, Zhou Taiyan, Wang Zhe, et al. Synthesis of phenol-formaldehyde resin modified with epoxy resin[J]. Petrochemical Technology, 2012, 41(5):583-587.
- [16] Nidhi J B. NBR-modified resin in fade and recovery module in non-asbestos organic(NAO) friction materials[J]. Tribology Letters, 2007, 27:189-196.

聚丙烯价格重心将逐步下移

随着大量新产能投产和下游需求增长逐步下滑, 近期聚丙烯供需压力渐趋凸显, 未来聚丙烯价格重心逐步走低的可能性较大。

(1) 聚丙烯供需压力可能逐步加重。

一方面, 聚丙烯产能仍处于投产高峰期。据卓创统计, 今年聚丙烯新增产能在 140 万 t 左右, 其中上半年已投产 80 万 t, 剩余 60 万 t 产能计划在 10 月前后投产。长期来看, 国内仍有大量的聚丙烯产能计划投产, 所以聚丙烯将长时间处于投产高峰期。

另一方面, 聚丙烯利润丰厚, 产量或居高不下。2015 年上半年, 国内聚丙烯总供给量累计同比增速达 16%, 进口供给比率在 18% 左右。其中, 国产聚丙烯累计同比增速高达 22%, 国产量猛增主要是受 2014 年大量国内新产能投产影响。2015 年上半年, 聚丙烯一体化生产商从原油生产出聚丙烯的毛利润为 3 000 元 / t。虽然 6 ~ 7 月毛利润有所回落, 但目前毛利润依然丰厚, 接近 2 000 元 / t。这与产能过剩且仍处于投产高峰期的大格局背道而驰, 主要原因是石油化工企业装置检修以及上中游的挺价。不过, 在产能过剩越来越严重和市场竞争能力显著加强的背景下, 高额利润将令大规模检修装置的行为不可持续, 未来国内聚丙烯产量可能会维持高位。

(2) 原油低价将对聚丙烯产生拖累。

供给方面, 目前石油输出国组织 (OPEC) 依然维持增产势头, OPEC 国家的市场运营策略仍是保持市场份额的竞争。另外, 伊朗核谈判在 7 月也最终取得成果, 其影响 7 月以来已开始逐渐施压市场, 而非 OPEC 国家对原油存在潜在的产出缩减预期。据国际能源机构预测, 美国等主产区页岩油产量未来可能会出现小幅下降。所以, 未来几个月供给面或难产生明显利多, 中性偏负面的影响更大, 利多因素的出现需要原油价格长时间维持在低位区间。

需求方面, 发达经济体经济虽然逐步趋好, 将为原油需求的平稳增长提供有力支持, 但我国等新兴经济体经济增速整体下滑, 也令原油需求增长的幅度较为有限。总之, 原油供需过剩格局短期难以改变, 原油价格将长期维持低位运行, 这将在成本端对聚丙烯价格产生拖累。由此认为, 目前聚丙烯仍处在下跌格局中, 未来价格重心将逐步走低。

(中国化工信息网)

变色聚合物材料检测创伤性脑损伤

宾夕法尼亚大学的研究人员开发出了一种新型的聚合物材料, 这种材料可以根据对它的冲击速度来改变自身的颜色, 从而有望用于检测大脑损伤。

希望有一天这种聚合物可注入头盔或其它头部穿戴产品中, 这样一旦受到冲击, 大脑损伤程度将一目了然。

2015 年 8 月 16 ~ 20 日举行的美国化学学会 (ACS) 第 250 届全国会议及博览会上, 研究人员对这项新技术进行了报告展示。该大会总共进行了超过 9 000 个报告。

目前, 还没有明确的方法可以确认某个人是否受到脑损伤。运动员和士兵可能会在执行同样动作的时候不经意间受到损害, 甚至造成更大的伤害。

Shu Yang 博士解释说, 对应于应力的颜色变化可能消除进一步的伤害。

Yang 的团队利用全息光刻来开发具有复杂设计结构的光子晶体, 从而给晶体一个特定的颜色, 类似于蛋白石。一旦晶体受到外力而发生变形, 内部结构也随之发生改变, 从而导致颜色发生改变。

这种材料的质量很轻, 且不需要电源来检测外力, 因此为医护人员检测损伤力量提供了合适的手段, 且不需要昂贵的工具。然而, Yang 认为这种晶体的加工很贵, 不适于大规模生产。

为了克服这一问题, 研究人员采用了相比于之前的全息光刻技术更加廉价的自组装技术以及聚合物材料。

第一步是聚合物成型, 使其具有类似于独特光子晶体功能。为了制备模具, 该小组将不同尺寸的硅颗粒结合在一起, 使其自组装成与光子晶体相同的图案。

接着, 对聚合物进行加热, 使其渗透到模具中并进行固化, 移出。然后对聚合物晶体施加不同的力, 并观察颜色的变化。

Yang 说, 他们可以按照一定的力改变颜色。Cho 补充道, 施加 30 mN 的力——相当于一辆轿车以 128.74 km/h 的速度撞到墙上——晶体由红色变成绿色。同样地, 施加 90 mN 的力——等同于一辆加速的卡车撞到同样的墙上——晶体变成紫色。这个力介于爆炸损伤或脑震荡范围内。

Yang 打算进行更多的研究, 希望制备出可暗示外力速度并解释如何损害脑部的新材料。 (慧聪塑料网)