



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114656748 A

(43) 申请公布日 2022.06.24

(21) 申请号 202210565956.0 C08K 3/08 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.24 C08K 3/22 (2006.01)

(71) 申请人 天津金力研汽车工程技术有限公司 C08K 3/04 (2006.01)

地址 300000 天津市滨海新区华苑产业区 C08K 7/06 (2006.01)

(环外)海泰发展六道3号星企一号园 C08K 9/02 (2006.01)

区研发中心4楼 C08K 7/10 (2006.01)

申请人 河北工业大学 B21D 37/01 (2006.01)

(72) 发明人 王建勇 许子佳 纵荣荣 赵国龙

李海鹏 范佳薇

(74) 专利代理机构 天津市三利专利商标代理有
限公司 12107

专利代理师 杨欢

(51) Int.Cl.

C08L 61/14 (2006.01)

C08L 9/06 (2006.01)

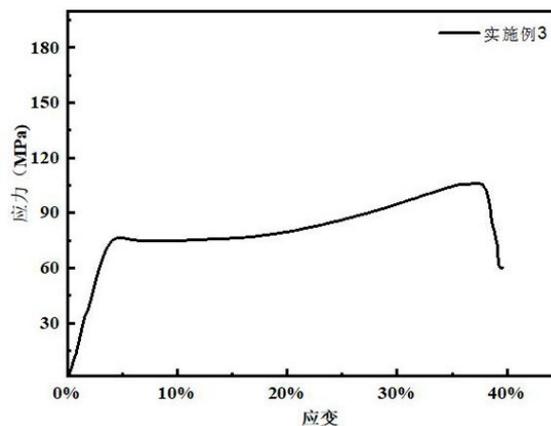
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用

(57) 摘要

本发明属于高分子复合材料领域,具体涉及一种酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用。所述组合物按照质量份包括,改性酚醛树脂10~40份,丁苯橡胶10~40份,铁粉5~12份,碳基材料6~8份,非铁金属粉7~13份,金属氧化物0.2~3份,改性玄武岩纤维10~13份和分散剂2.4~5.3份。本发明提供的酚醛树脂组合物及其制备方法和应用创新性地以多种增强相联合增强聚酰亚胺改性酚醛树脂,综合利用各种增强相的增强特性和协同增强效果,提高高分子复合材料的综合性能。



1. 一种酚醛树脂组合物,其特征在于,所述组合物按照质量份包括,改性酚醛树脂 10~40份,丁苯橡胶 10~40份,铁粉 5~12份,碳基材料 6~8份,非铁金属粉 7~13份,金属氧化物 0.2~3份,改性玄武岩纤维 10~13份和分散剂 2.4~5.3份;

所述碳基材料为镀铜碳纤维,所述镀铜碳纤维的制备方法包括,于pH为11.5~12.5条件下,采用硫酸铜镀液处理碳纤维,干燥后得到;

所述非铁金属粉选自Zr、Ni或Cu中至少一种;所述金属氧化物为 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ni_2O_3 、 Fe_3O_4 或CoO中至少一种;

所述改性酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂中酚醛树脂与聚酰亚胺的质量比为1:0.125~2;

所述铁粉包括1600目电解铁粉 2~4份,1600目还原铁粉 1~3份,800目还原铁粉 2~5份;

所述改性玄武岩纤维为复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维,所述复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维中,玄武岩纤维与纳米 SiO_2 的质量比为8~12:1。

2. 权利要求1所述组合物在制备冲压模具中的应用,其特征在于,所述冲压模具为汽车模具。

3. 权利要求1所述组合物的制备方法,其特征在于,包括下述步骤:按配方量称取各组分,向改性酚醛树脂中依次加入丁苯橡胶和分散剂,混匀得到混合液A;将铁粉、碳基材料、非铁金属粉、金属氧化物和改性玄武岩纤维混合得到混合物B;向混合液A中加入混合物B,混匀冷却得到酚醛树脂组合物。

4. 根据权利要求3所述的制备方法,其特征在于,所述改性酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂的制备方法包括下述步骤,称取质量比为1:0.125~2的酚醛树脂和聚酰亚胺,于90~100℃下经一次搅拌混匀后,于100℃恒温下,加入固化剂经二次搅拌混匀得到聚酰亚胺改性酚醛树脂。

5. 根据权利要求3所述的制备方法,其特征在于,所述改性玄武岩纤维为复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维,所述复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维的制备方法包括,按照质量比8~12:1称量玄武岩纤维和纳米 SiO_2 ,纳米 SiO_2 表面硅羟化后与聚氨酯水溶液混合得到浆液,而后使用浆液浸提玄武岩纤维得到复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维。

酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用

技术领域

[0001] 本发明属于高分子复合材料领域,具体涉及一种酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用。

背景技术

[0002] 随着全球汽车行业的蓬勃发展,众多车企需要不断的创新,整车制造企业推出新车型的周期越短,市场品牌占领越快。无论是推出新车型还是对原有车型进行改造升级,都需要对汽车产品进行试制,以直观反映整车外观和造型、尺寸合理性和质量是否合格。在设计工程师完成对外观造型和汽车零件设计后,需要根据设计数据制作样车,并通过试验评价挖掘样车的不足之处进而进行设计变更,而后再制备后一版本样车,经过数轮样车试制和试验评价后,才能进行新车型的设计定型和批量生产。在样车试制过程中,需要采用大量冲压模具来完成钣金类零部件(例如,汽车的车身、底盘等零部件)的冲压加工成型,即通过模具和压力机对板材金属施加外力进行压力加工,从而获得所需要的形状与尺寸,因此,冲压模具在样车试制中的重要性不言而喻。为了缩短样车试制的开发周期和成本,提高汽车产品的竞争性和时效性,快速模具技术受到人们的广泛关注。快速模具技术(Rapid Tooling-RT)是由快速成型技术(Rapid Prototyping-RP)演变发展而来的一类快速制造模具的新方法和新工艺。然而,受限于传统黑色金属(如铸铁、铸钢)体系模具材料价格高、制备过程高污染高耗能、加工周期长等弊端,传统样车试制模具已成为限制汽车行业新车型开发过程中样车试制技术发展的瓶颈,无法满足现有样车试制领域低成本、短周期、节能环保的要求;同时,现有黑色金属模具材料也无法满足中大型企业的高标准、高利用率、高效率、多品类、个性化的模具使用需求,无法与铝合金、镁合金等材料的汽车零部件成型性能相匹配,导致产品冲压成型质量不佳。因此,亟需对样车试制冲压模具及配套技术进行开发,从模具材料、模具设计到模具制造等各方面都紧跟汽车制造业(特别是新能源汽车领域)绿色制造、短周期、多品种、低成本的发展趋势。在此背景下,开发新型高分子复合材料用于样车试制所需的冲压模具不但缩短了模具制造时间、降低了模具制造成本、提高了模具制造精度,而且具有重量轻、耐腐蚀、抗震耐磨、节能环保等独特优势,与样车试制领域对冲压模具的使用需求高度吻合。

[0003] 酚醛树脂是以酚类化合物与醛类化合物经加成缩聚反应制得的一类合成树脂,是高分子材料中使用最早、用量最大的品种之一。但酚醛树脂固化所需的温度高、固化时间长,使得其生产效率低,而且酚醛树脂脆性大、韧性差、力学性能不佳,严重制约了酚醛树脂更广泛的应用。因此,综合性能不佳的酚醛树脂不能直接应用于样车试制冲压模具材料。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术中的缺点,提供一种酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

第一方面,本发明提供了一种酚醛树脂组合物,所述组合物按照质量份包括,改性酚醛树脂 10~40份,丁苯橡胶 10~40份,铁粉 5~12份,碳基材料 6~8份,非铁金属粉7~13份,金属氧化物 0.2~3份,改性玄武岩纤维 10~13份和分散剂 2.4~5.3份。

[0006] 可选实施方式中,所述碳基材料选自碳纳米管和/或碳纤维;所述非铁金属粉选自Zr、Ni或Cu中至少一种;所述金属氧化物为 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ni_2O_3 、 Fe_3O_2 或CoO中至少一种。

[0007] 在可选实施方式中,所述改性酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂中酚醛树脂与聚酰亚胺的质量比为1:0.125~2。

[0008] 在可选实施方式中,所述铁粉选自还原铁粉和/或电解铁粉,所述铁粉目数选自800~1600目。

[0009] 优选地,所述铁粉包括1600目电解铁粉 2~4份,1600目还原铁粉 1~3份,800目还原铁粉 2~5份。

[0010] 可选实施方式中,所述改性玄武岩纤维为复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维,所述复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维中,玄武岩纤维与纳米 SiO_2 的质量比为8~12:1。

[0011] 可选实施方式中,所述碳基材料包括碳纤维或碳纳米管,优选为镀铜碳纤维。

[0012] 本发明还提供了前述任一项实施方式所述组合物在制备冲压模具中的应用,所述冲压模具为汽车模具。

[0013] 本发明还提供了前述任一项实施方式所述组合物的制备方法,包括下述步骤:按配方量称取各组分,向改性酚醛树脂中依次加入丁苯橡胶和分散剂,混匀得到混合液A;将铁粉、碳基材料、非铁金属粉、金属氧化物和改性玄武岩纤维混合得到混合物B;向混合液A中加入混合物B,混匀冷却得到酚醛树脂组合物。

[0014] 可选实施方式中,所述改性酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂的制备方法包括下述步骤,称取质量比为1:0.125~2的酚醛树脂和聚酰亚胺,于90~100℃下经一次搅拌混匀后,于100℃恒温下,加入固化剂经二次搅拌混匀得到聚酰亚胺改性酚醛树脂。

[0015] 优选地,所述一次搅拌混匀和二次搅拌混匀的搅拌速度均为300~500r/min。

[0016] 可选实施方式中,所述改性玄武岩纤维包括复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维,所述复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维的制备方法包括,按照质量比8~12:1称量玄武岩纤维和纳米 SiO_2 ,纳米 SiO_2 表面硅羟化后与聚氨酯水溶液混合得到浆液,而后使用浆液浸提玄武岩纤维得到复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维。

[0017] 可选实施方式中,所述碳基材料为镀铜碳纤维,所述镀铜碳纤维的制备方法包括,于pH为11.5~12.5条件下,采用硫酸铜镀液处理碳纤维,干燥后得到。

[0018] 优选地,所述硫酸铜镀液的组成包括 $CuSO_4$ 20份、HCHO 20份、EDTA-2Na 25份、 $NaKC_4H_4O_6$ 20份、 $K_4[Fe(CN)_6]$ 10份 和2,2'-Bipyridine 8份。

[0019] 其中,酚醛树脂组合物中的各组分的作用具体为:

Zr元素:使得酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合复合材料固化后强度增加,冷脆性降低。

[0020] Ni元素:改善酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合材料在固化之后的强度和硬度,提高高分子复合材料的力学性能,使得本发明高分子复合材料具有抗腐蚀性和抗氧化性。

[0021] Cu元素:改善酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合材料的强度和抗磨损性能,使高分子复合材料的综合力学性能得到提升。

[0022] Al_2O_3 :改善酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合材料的粘结力,提高其力学强度。

[0023] Fe:(1)在酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合材料的基体中引入化学性质活泼的Fe金属颗粒后,当基体受到外力作用产生显微裂纹时,均匀分布在基体中的微米级Fe金属颗粒会与氧接触发生氧化并伴随有体积膨胀,这种膨胀对周围的基体产生压应力,可阻止已萌生裂纹的继续扩展,从而提高了基体的断裂韧性。(2)Fe金属颗粒的引入可以提高基体的阻隔性并增加水分子扩散时路径的曲折性,从而使基体的抗湿热性得到改善。(3)微米级Fe金属颗粒的引入改善了基体固化后的强度、硬度等力学性能和耐磨性,可获得了综合性能优异的高分子复合材料。(4)还原铁粉具有高纯度、低杂质、一致性好、压缩性能和成型性能好,可为高分子复合材料提供更高的粘结力。化学性质较为活泼的铁与氧气发生反应得到氧化铁,氧化铁具有氧化作用,可阻止活性炭的产生,克服脉纹缺陷;同时氧化铁在加热状态会形成一种玻璃质,降低热透气性,阻止渗透和蒸汽污染,增强高分子复合材料的热韧性。两者可协同增强高分子复合材料的力学性能。(5)不同目数的铁粉的联合使用,从微观空间结构来说,不同目数粉末之间空间堆叠型更好,粉末之间可相互支撑,使得整个高分子复合材料的致密性更高、结构强度和结构稳定性更强。

[0024] 碳纳米管(CNTs)具有良好的力学性能,CNTs抗拉强度达到50~200GPa,是钢的100倍,密度却只有钢的1/6,至少比常规石墨纤维高一个数量级;它的弹性模量可达1TPa,与金刚石的弹性模量相当,约为钢的5倍。对于具有理想结构的单壁碳纳米管,其抗拉强度约800GPa。碳纳米管是目前可制备出的具有最高比强度的材料。在酚醛树脂组合物中加入碳纳米管制成高分子复合材料,可使高分子复合材料表现出良好的强度、弹性、抗疲劳性及各向同性,显著改善高分子复合材料的性能。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

本发明提供的酚醛树脂组合物及其制备方法和在制备冲压模具中的应用创新性地以多种增强相联合增强聚酰亚胺改性酚醛树脂,综合利用各种增强相的增强特性和协同增强效果,提高酚醛树脂组合物制备得到的高分子复合材料的综合性能,所制得的高分子复合材料试制模具具有以下优势:

(1)适用性好:本发明通过加入上述添加剂可协同增强高分子复合材料的力学性能,使得本发明的酚醛树脂组合物制备出的样车试制冲压模具能够满足样车试制与小批量生产的使用要求;非常突出的优点是,本发明的酚醛树脂组合物力学性能与铝合金、镁合金等材料的汽车零部件成型性能相匹配,主要体现在:(a)本发明的酚醛树脂组合物硬度与铝合金、镁合金等轻质金属板材硬度接近,避免了硬度较高的传统黑色金属模具材料对硬度较低的铝合金、镁合金板材的划伤;(b)由于高分子材料与轻质金属材料之间的浸润性差,所以本发明的酚醛树脂组合物避免了塑性较差的铝合金、镁合金在冲压模具表面的粘附,两者间较低的摩擦系数更有利于材料成型过程的塑性变形。

[0026] (2)重量轻、使用成本低:本发明的酚醛树脂组合物制备的高分子复合材料和传统黑色金属模具材料(例如:Cr12MoV、Cr12WV、5CrMnMo等)的重量价格相当,但是密度仅约为 $1.5885-2.4360g/cm^3$,比黑色金属密度(Cr12MoV约为 $7.85g/cm^3$ 、5CrMnMo约为 $7.53g/cm^3$)小

得多,这就使得其在同等模具体积下显著降低了模具重量,即体积价格低,使得冲压模具的材料成本降低了60%以上。经小试、中试和试生产验证表明,本发明研发的酚醛树脂组合物加工性能好,使用数控铣床进行该材料模具型面加工的过程中,机床主轴转速可达到10000转/分,且对刀具磨损微乎其微;而传统黑色金属模具材料硬度高、加工性能差,使用数控铣床进行模具型面加工的过程中,机床主轴转速一般为6000转/分,且对刀具磨损严重。因此,使用该材料的模具加工周期短,机械加工的综合成本降低了50%左右。

[0027] (3) 制备周期短:本发明所制备的酚醛树脂组合物制造周期短,模具加工效率高,使得冲压模具的合同-交付验收周期在25天左右;比较而言,传统黑色金属材料模具所使用的原材料需要经过铸造合金生产过程,模具加工效率低,其合同-交付验收周期在60天左右。

[0028] (4) 环保优势:本发明酚醛树脂组合物的制造过程中不需高温(制备环节的最高温度为100℃),不产生废水、废气和废料,所需能耗低。比较而言,传统黑色金属模具材料的制造过程涉及熔炼、浇注、清理等环节,一般需要1200℃以上的高温,能耗高、需要浪费大量冷却水进行设备冷却,产生大量粉尘、烟气和固体废弃物(主要是固态废砂、熔渣等),不符合节能环保的要求。

[0029] 由此可见,本发明的酚醛树脂组合物应用于冲压模具领域,可改变传统冲压行业主要采用黑色金属模具的生产制造模式,性能/价格比高,制造周期短、节能环保,适应样车试制小批量、多品种的生产特点,满足了样车试制的生产需求。

附图说明

[0030] 图1为实施例3制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线;
图2为实施例12制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线;
图3为实施例15制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线;
图4为具体的实施例对应的组分图;
图5为具体实施例对应的结果图。

具体实施方式

[0031] 为了使本技术领域的技术人员更好地理解本发明的技术方案,下面结合附图和最佳实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0032] 实施案例:一种酚醛树脂组合物,所述组合物按照质量g包括,酚醛树脂 10~40g,丁苯橡胶 10~40g,铁粉 5~12g,碳基材料 6~8g,非铁金属粉7~13g,金属氧化物 0.2~3g,玄武岩纤维 10~13g和分散剂 2.4~5.3g。所述碳基材料选自碳纳米管和/或碳纤维;所述非铁金属粉选自Zr、Ni或Cu中至少一种;所述金属氧化物为 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ni_2O_3 、 Fe_3O_2 或CoO中至少一种。所述改性酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂中酚醛树脂与聚酰亚胺的质量比为1:0.125~2。所述铁粉选自还原铁粉和/或电解铁粉,所述铁粉目数选自800-1600目。所述铁粉包括1600目电解铁粉 2~4份,1600目还原铁粉 1~3份,800目还原铁粉 2~5份。所述改性玄武岩纤维为复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维,所述复合纳米 SiO_2 的玄武岩纤维中,玄武岩纤维与纳米 SiO_2 的质量比为8~12:1。所述碳纤维为镀铜碳纤维。

[0033] 所述分散剂可以选用TEGO Dispers、SOLPLUS D540、KH550、或者BYK-110中的一

种。

[0034] 一种所述组合物的制备方法,包括下述步骤:按配方量称取各组分,向酚醛树脂中依次加入丁苯橡胶和分散剂,混匀得到混合液A;将铁粉、碳基材料、非铁金属粉、金属氧化物和玄武岩纤维混合得到混合物B;向混合液A中加入混合物B,混匀冷却得到酚醛树脂组合物。

[0035] 其中,所述酚醛树脂为聚酰亚胺改性酚醛树脂,所述聚酰亚胺改性酚醛树脂的制备方法包括下述步骤,称取质量比为1:0.125~2的酚醛树脂和聚酰亚胺,于90~100℃下经一次搅拌混匀后,于100℃恒温下,加入固化剂经二次搅拌混匀得到聚酰胺基改性酚醛树脂;所述一次搅拌混匀和二次搅拌混匀的搅拌速度均为300~500r/min。

[0036] 其中,所述玄武岩纤维包括复合纳米SiO₂的玄武岩纤维,所述复合纳米SiO₂的玄武岩纤维的制备方法包括,按照质量比8~12:1称量玄武岩纤维和纳米SiO₂,纳米SiO₂表面硅烷化后与聚氨酯水溶液混合得到浆液,而后使用浆液浸提玄武岩纤维得到复合纳米SiO₂的玄武岩纤维。

[0037] 所述碳纤维为镀铜碳纤维,所述镀铜碳纤维的制备方法包括,于pH为11.5~12.5条件下,采用硫酸铜镀液处理碳纤维,干燥后得到镀铜碳纤维。所述硫酸铜镀液的组成包括CuSO₄ 20份、HCHO 20份、EDTA-2Na 25份、NaKC₄H₄O₆ 20份、K₄[Fe(CN)₆] 10份 和2,2'-Bipyridine 8份。

[0038] 实施例的压缩应力-应变曲线如图1-3示出;具体的实施例对应的组分以及结果如图4和图5示出;其中,图1为实施例3制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线;图2为实施例12制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线;图3为实施例15制备的酚醛树脂组合物的压缩应力-应变曲线。

[0039] 由图1-5可知,本发明方法所制备的高分子复合材料的里氏硬度487~692,抗压强度达到100.24MPa~175.61MPa,其抗冲击韧性为2.87-6.72kJ/m²;使该模具在冲压钣金件过程中,能够满足样件试制与小批量试生产的需求,冲压出的零件精度更高,能冲压出更多数量的产品。在M-2000型摩擦磨损试验机上进行高分子复合材料耐磨性测试,所用高分子复合材料的试样尺寸为6mm×7mm×30mm,下侧对磨环材料为Cr12淬火钢,对磨环直径为40mm,对磨环转速为200r/min,载荷为100N,磨损时间为15min,测得该复合材料的磨损率为0.0105~0.0144mg/m。复合材料中包含部分树脂,因此其具备了塑料的易切削特性。区别于传统的金属模具,合金材料在加工的时候不伤刀具,极大缩短了加工时间降低了加工成本,加工时间是传统灰铸铁(FC30)的30%~50%,其塑性特征保证加工不振刀,从而保证加工的高精度。

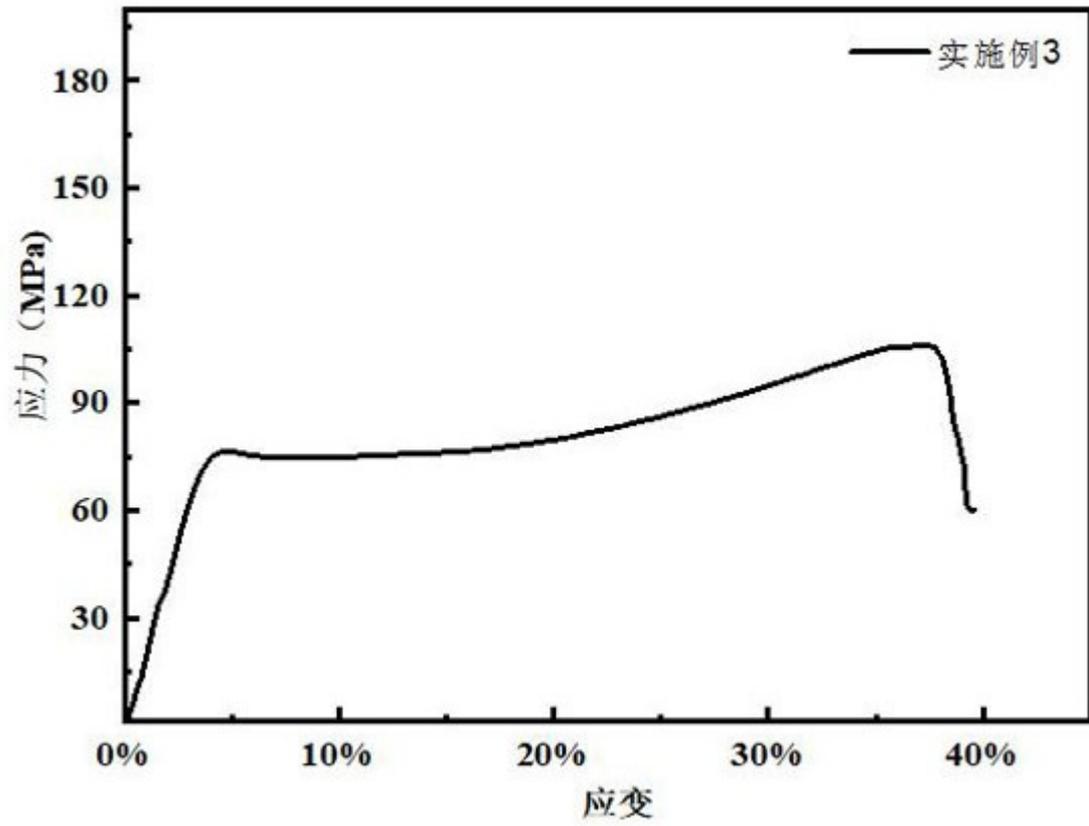


图1

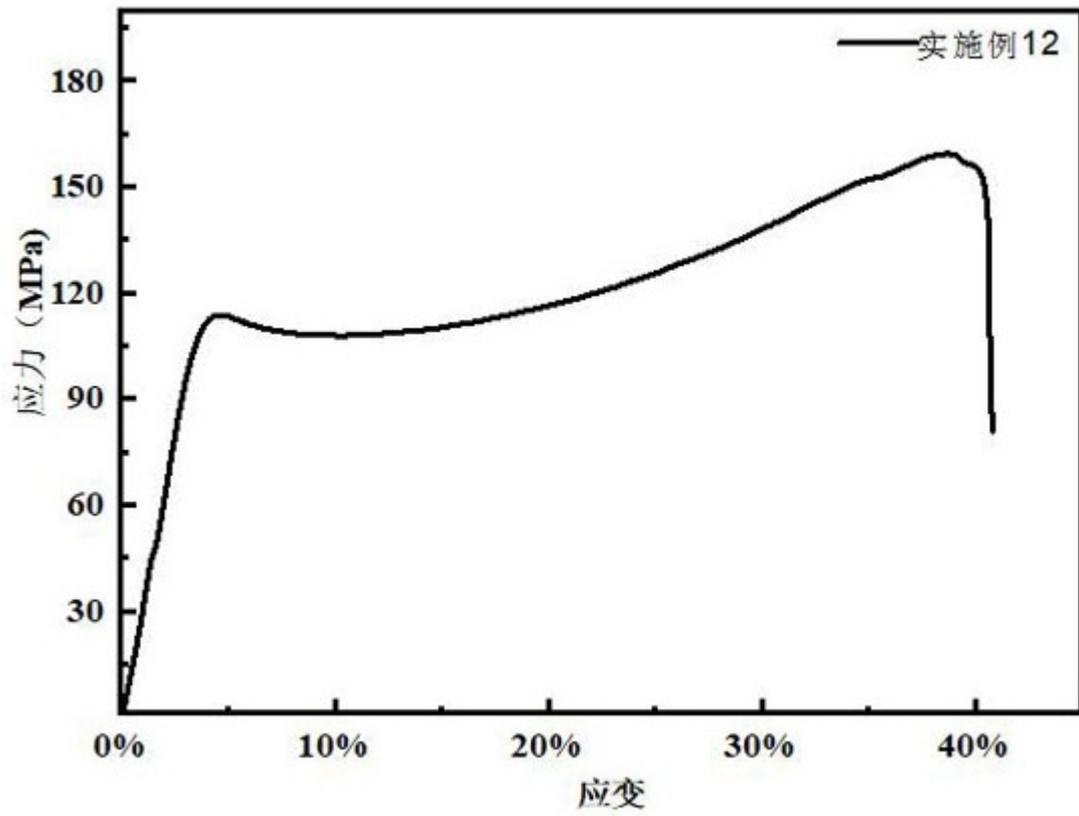


图2

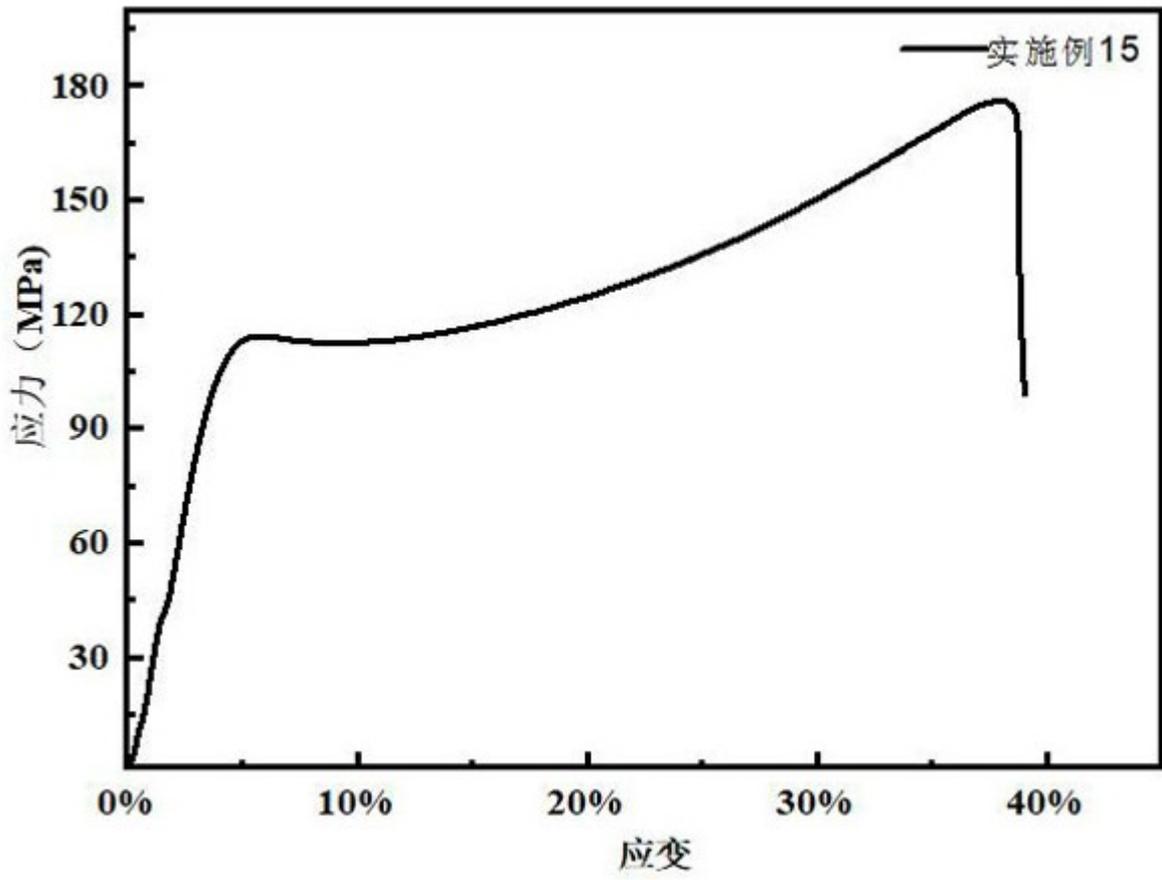


图3

	酚醛树脂 /g	聚酰亚胺改 性酚醛树脂 /g (酚醛树 脂与聚酰亚 胺的质量 比)	丁苯橡 胶/g	常规铁粉 /g (1000 目电解铁 粉)	复合铁粉/g (1600目电 解铁粉:1600 目还原铁粉; 800目还原铁 粉:1200目氧 化铁粉的质量 比)	碳基材料 /g	非铁金 属粉 /g	金属氧化物 /g	玄武岩纤 维/g	改性玄武岩 纤维/g (玄 武岩纤维与 纳米SiO ₂ 的 质量比)	SOLPLUS D540 分散剂/g
实施例 1	10	0	10	5	0	镀铜碳纤 维(6)	Zr (7)	Al ₂ O ₃ (0.2)	10	0	2.4
实施例 2	40	0	40	12	0	碳纳米管 (8)	Ni(13)	Fe ₃ O ₂ (3)	13	0	5.3
实施例 3	25	0	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 4	0	25(1:0.125)	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 5	0	25(1:1)	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 6	0	25(1:2)	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 7	25	0	25	0	8(2:1:2)	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 8	25	0	25	0	8(3:1.5:4)	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 9	25	0	25	0	8(4:3:5)	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 10	25	0	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	0	11.5(8:1)	3.5
实施例 11	25	0	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	0	11.5(10:1)	3.5
实施例 12	25	0	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	0	11.5(12:1)	3.5
实施例 13	0	25(1:1)	25	0	8(3:1.5:4)	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	11.5	0	3.5
实施例 14	0	25(1:1)	25	8	0	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	0	11.5(10:1)	3.5
实施例 15	0	25(1:1)	25	0	8(3:1.5:4)	镀铜碳纤 维(7)	Zr (10)	Al ₂ O ₃ (1.5)	0	11.5(10:1)	3.5

图4

	抗压强度 /Mpa	冲击韧性 /(KJ/m ²)	耐磨性	里氏硬度/(mg /m)	密度(g/cm ³)
实施例 1	100.24	2.87	0.0144	487	1.9803
实施例 2	103.51	3.65	0.0137	491	1.5885
实施例 3	104.37	3.61	0.0142	503	2.4007
实施例 4	116.26	4.28	0.0134	560	2.4084
实施例 5	126.22	4.84	0.0128	574	2.4360
实施例 6	120.91	4.71	0.0129	571	2.4241
实施例 7	138.37	5.31	0.0125	609	2.4007
实施例 8	140.28	5.46	0.0122	616	2.4007
实施例 9	137.63	5.05	0.0125	596	2.4007
实施例 10	146.79	5.57	0.0116	631	2.3960
实施例 11	153.45	5.82	0.0116	637	2.3969
实施例 12	159.97	5.84	0.0114	643	2.3976
实施例 13	168.41	6.13	0.0111	665	2.4360
实施例 14	173.38	6.49	0.0107	679	2.4321
实施例 15	175.61	6.72	0.0105	692	2.4321

图5