



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1994716 B

(45) 授权公告日 2010.04.21

(21) 申请号 200610102262.4

(22) 申请日 2006.12.15

(73) 专利权人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市迎泽西大街 79 号

(72) 发明人 王永祯 许并社 王爱玲 王文先

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 江淑兰

(51) Int. Cl.

B29B 15/08 (2006.01)

B29C 70/06 (2006.01)

(56) 对比文件

宁淑帆, 刘晓霞, 马勇, 陈寿田. SiC 晶须制备方法及应用. 西安石油大学学报 (自然科学版) 19 1. 2004, 19(1), 全文.

审查员 鹿士杰

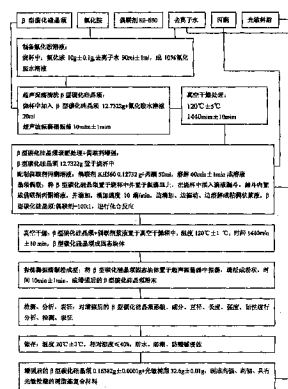
权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

 β 型碳化硅晶须的增强方法

(57) 摘要

本发明涉及一种 β 型碳化硅晶须的增强方法及在激光快速成型中的应用, 它是对 β 型碳化硅晶须进行增强、增韧改性处理, 通过对 β 型碳化硅晶须进行超声波清洗、真空干燥、在 β 型碳化硅晶须内滴入偶联剂 KH-560+ 丙酮混合溶液, 使溶液混合后成粘稠状浆液, 再进行真空干燥、振荡碎裂, 成超强、超韧 β 型碳化硅晶须粉末, 超强、超韧 β 型碳化硅晶须其拉伸强度值可达 24.6GPa\ 弹性模量值高达 580.0GPa, 超强、超韧 β 型碳化硅晶须与光敏树脂混合, 合成超强、超韧光敏性树脂基复合材料, 再用激光快速成型技术制备超强光敏性树脂基复合材料零件, 此零件具备超强、超韧特性, 其拉伸强度可提高 17.1%, 弹性模量可提高 25.5%, 整体增强率可提高 82.5%, 可在多种工业领域使用, 例如航空航天工业中对超强、超轻、超韧材料的需要。



1. 一种 β 型碳化硅晶须的增强方法,其特征在于:所使用的化学物质材料为 β 型碳化硅晶须、氟化胺、去离子水、偶联剂 KH-560、光敏树脂、丙酮,其材料组合如下:以克、毫升、分钟为计量单位

β 型碳化硅晶须: β -SiC 12.7322g $\pm$ 0.0001g

氟化胺: NH_4F 10g $\pm$ 0.1g

光敏树脂: $\text{C}_{27+18n}\text{H}_{32+20n}\text{O}_{8+3n}$ 32.6g $\pm$ 0.1g

偶联剂 KH-560: γ -(2,3-环氧丙氧)丙基三甲氧基硅烷: $\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_6\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$:
0.12732g $\pm$ 0.0001g

丙酮: CH_3COCH_3 200ml $\pm$ 1ml

去离子水: H_2O 400ml $\pm$ 1ml

β 型碳化硅晶须增强处理方法如下:

(1). 精选化学物质材料

对所用的化学物质材料要进行精选,并进行纯度、精度控制:

β 型碳化硅晶须: 99.9%

氟化胺: 99.9%

光敏树脂: 99.9%

偶联剂 KH-560: 99.9%

丙酮: 99.9%

去离子水: 99.6%

(2). 配制氟化胺溶液

在烧杯中,加入氟化胺 10g $\pm$ 0.1g、去离子水 90ml $\pm$ 1ml,成为氟化胺水溶液,浓度为 10%;

(3). 超声振荡清洗碳化硅晶须

①将 β 型碳化硅晶须 12.7322g $\pm$ 0.0001g 置于烧杯中;

②在烧杯中加入浓度为 10%的氟化胺水溶液 20ml;

③将盛有 β 型碳化硅晶须的氟化胺水溶液的烧杯置于超声波振荡器内,超声振荡清洗,时间为 10min $\pm$ 1min;

(4). 真空干燥处理 β 型碳化硅晶须

将超声振荡清洗的 β 型碳化硅晶须置于真空干燥箱中干燥,温度为 120 $^{\circ}$ $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$,时间为 1440min $\pm$ 10min,干燥后 β 型碳化硅晶须成细粉状;

(5). β 型碳化硅晶须表面处理:偶联剂 KH-560 增强处理

①. 配制偶联剂溶液

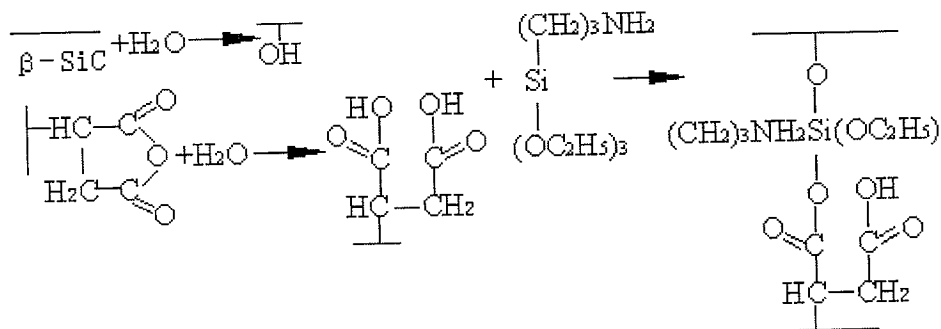
称取偶联剂 KH-560 0.12732g、丙酮 50ml,置于烧杯中,混合、搅拌、溶解 60min $\pm$ 1min,制成偶联剂丙酮溶液;

②. 晶须偶联

将干燥后的 β 型碳化硅晶须粉末置于烧杯内底部,然后将烧杯置于振荡皿上,在烧杯上部放置滴液漏斗,将偶联剂丙酮溶液置于滴液漏斗内,缓慢滴加至烧杯中,边滴加、边振荡、边溶解,滴加速度为 10 滴/min,滴加时间 10min $\pm$ 1min,混合、溶解后成 β 型碳化硅晶须+偶联剂丙酮溶液的粘稠状浆液;

β 型碳化硅晶须：偶联剂 = 100 : 1；

在 β 型碳化硅晶须增强过程中将进行化学反应，化学反应式如下：



式中：

硅：Si

碳：C

氧：O

羰基：C=O

羟基：-OH

甲基：-CH

二甲基：-CH₂

(6). 真空干燥

将 β 型碳化硅晶须 + 偶联剂的粘稠状浆液置于专用容器中，然后放入真空干燥箱中烘干，烘干温度为 $120^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间为 $1440\text{min} \pm 10\text{min}$ ，烘干后成增强后的 β 型碳化硅晶须固态块体；

(7). 振荡器振荡获取晶须粉末

将干燥后的碳化硅晶须固态块体置于超声振荡器中振荡，疏松碳化硅晶须块体成粉状，即增强后的 β 型碳化硅晶须粉末，时间为 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ ；

(8). 检测、分析、对比、表征

对增强后的 β 型碳化硅晶须粉末形貌、直径、长度、强度、弹性模量进行检测、分析、表征，用扫描电镜仪、透射电镜仪、YJ(B)003A 单向强力仪进行；

(9). 储存：

将增强后的 β 型碳化硅晶须粉末置于无色透明玻璃容器中，干燥环境、防水、防潮、防酸碱，温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 40\%$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的 β 型碳化硅晶须的增强方法，其特征在于：所述的增强后的 β 型碳化硅晶须粉末与光敏树脂匹配、混合、固化，制成高强、高韧、具有光敏性能的树脂基复合材料，方法如下：

①. 称取光敏树脂 $32.6\text{g} \pm 0.1\text{g}$ ，置于烧杯中；

②. 称取增强后的 β 型碳化硅晶须粉末 $0.16382\text{g} \pm 0.0001\text{g}$ ，置于烧杯中；

③. 将盛有光敏树脂的烧杯置于超声波振荡器内振荡，并将增强后的 β 型碳化硅晶须粉末缓慢均匀分散加入液态光敏树脂中，边加入，边振荡，制成 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液 (20)；

④. 在激光快速成型固化设备上进行激光快速成型,其中激光快速成型固化设备由 X-Y-Z 工作台 (9)、激光光源 (17)、聚焦镜 (13)、反射镜 (15)、观察镜 (14)、电极槽 (10)、电源 (11)、计算机 (12)、摄象机 (18)、显示器 (19)、正电极 (21)、负电极 (22)、导线 (23) 组成;在电极槽 (10) 内置放 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液 (20),接通正、负电极 (21、22) 电源,聚焦镜 (13) 按聚焦距离对准电极槽 (10),激光反光镜光源 (17) 折射传输给聚光镜 (13),聚光镜 (13) 把激光源 (17) 反射过来的激光聚焦照射在电极槽 (10) 内的 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液 (20) 上,按计算机 (12) 设置的零件成型程序轨迹,逐点、逐线快速照射,激光固化成型为树脂基复合材料,观察镜 (14) 观察成型状态,显示屏 (19) 显示激光固化过程。

β 型碳化硅晶须的增强方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 β 型碳化硅晶须的增强方法及在激光快速成型中的应用, 属光敏性树脂基复合材料提高性能和扩展应用的技术领域。

背景技术

[0002] 晶须增强树脂基复合材料具有高机械强度、耐磨性、耐高温、低膨胀等性能, 晶须不仅起着骨架作用, 而且可以显著的提高材料的韧性和物理性能, 成为一种特殊功能的复合材料。

[0003] 晶须是一维丝状单晶体, 直径在 $1 \sim 10 \mu\text{m}$, 由于晶须的尺寸极小, 内部结构按原子序列组合, 故极少有内部组织或表面缺陷, 晶须的强度比块体材料、高强度纤维 (一维高晶体) 均高出一个数量级, 接近晶体的理论强度, 晶须有粉状和丝状, 丝状又分长纤维和短纤维、粗纤维和细纤维, 晶须在金属基、树脂基的复合材料中, 主要起增强、增韧作用, 在某些功能复合材料中, 晶须还可给予材料特殊的物理性能。

[0004] 在晶须的研究领域, 有碳化硅晶须、钛酸钾晶须、氧化锌晶须等, 碳化硅晶须在无机化合物复合材料中常被首选, 碳化硅晶须在已合成的晶须中具有硬度最高、模量最大、抗拉强度最大、耐热强度最高等特点, 碳化硅晶须有 α 型和 β 型, 即 $\alpha\text{-SiC}$ 、 $\beta\text{-SiC}$, $\beta\text{-SiC}$ 的各类性能均高于 $\alpha\text{-SiC}$, 故 $\beta\text{-SiC}$ 具有广阔的应用前景, 例如航天航空、汽车制造业、电子仪器、机械加工等。

[0005] β 型碳化硅晶须是通过化学气相沉积生长法, 即 CVD 法制备和获取的, 在制备碳化硅晶须的过程中, 由于温度、时间、工艺流程中的不确切因素, 使制备出的碳化硅晶须仍然存在一些缺陷, 例如强度、韧性等均达不到要求, 再加上高精尖端产品, 如飞机的机翼等高强度、高韧性的需要, 故必须对气相生长的碳化硅晶须进行增强、增韧处理, 以大幅度提高 β 型碳化硅晶须的强度和韧性。

[0006] 增强后的 β 型碳化硅晶须与光敏树脂组合成树脂基复合材料在激光快速成型中有着很好的应用前景, 有待进一步的扩大、完善应用环境和类别, 以便在激光快速成型中得到更广泛的应用。

发明内容

[0007] 发明目的

[0008] 本发明的目的就是针对背景技术的不足, 对 β 型碳化硅晶须进行增强、增韧处理, 然后用改性后的 β 型碳化硅晶须与光敏树脂匹配、混合, 使晶须 / 光敏树脂复合材料的强度、韧性得到大幅度提高, 应用激光快速成型技术制成高强度、高韧性的树脂基复合材料零件, 以适应高精、尖端产品的需要, 使 β 型碳化硅晶须增强后在光敏性树脂基复合材料零件及在激光快速成型中得到更广泛、更合理的应用。

[0009] 技术方案

[0010] 本发明使用的化学物质材料为 β 型碳化硅晶须、氟化胺、去离子水、偶联剂

KH-560、光敏树脂、丙酮,其材料组合如下:以克、毫升、分钟为计量单位

- [0011] β 型碳化硅晶须: β -SiC 12.7322g $\pm$ 0.0001g
[0012] 氟化胺: NH_4F 10g $\pm$ 0.1g
[0013] 光敏树脂: $\text{C}_{27+18n}\text{H}_{32+20n}\text{O}_{8+3n}$ 32.6g $\pm$ 0.1g
[0014] 偶联剂 KH-560: γ -(2,3-环氧丙氧)丙基三甲氧基硅烷: $\text{NH}_2\text{C}_3\text{H}_6\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$:
0.12732g $\pm$ 0.0001g

[0015] 丙酮: CH_3COCH_3 200ml $\pm$ 1ml

[0016] 去离子水: H_2O 400ml $\pm$ 1ml

[0017] β 型碳化硅晶须增强处理方法如下:

[0018] (1). 精选化学物质材料

[0019] 对所用的化学物质材料要进行精选,并进行纯度、精度控制:

[0020] β 型碳化硅晶须: 99.9%

[0021] 氟化胺: 99.9%

[0022] 光敏树脂: 99.9%

[0023] 偶联剂 KH-560: 99.9%

[0024] 丙酮: 99.9%

[0025] 去离子水: 99.9%

[0026] (2). 配制氟化胺溶液

[0027] 在烧杯中,加入氟化胺 10g $\pm$ 0.1g、去离子水 90ml $\pm$ 1ml,成为氟化胺水溶液,浓度为 10%;

[0028] (3). 超声振荡清洗碳化硅晶须

[0029] ①将 β 型碳化硅晶须 12.7322g $\pm$ 0.0001g 置于烧杯中;

[0030] ②在烧杯中加入浓度为 10%的氟化胺水溶液 20ml;

[0031] ③将盛有 β 型碳化硅晶须的氟化胺水溶液的烧杯置于超声波振荡器内,超声振荡清洗,时间为 10min $\pm$ 1min;

[0032] (4). 真空干燥处理 β 型碳化硅晶须

[0033] 将超声振荡清洗的 β 型碳化硅晶须置于真空干燥箱中干燥,温度为 120 $^{\circ}$ $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$,时间为 1440min $\pm$ 10min,干燥后 β 型碳化硅晶须成细粉状;

[0034] (5). β 型碳化硅晶须表面处理:偶联剂 KH-560 增强处理

[0035] ①. 配制偶联剂溶液

[0036] 称取偶联剂 KH-560 0.12732g、丙酮 50ml,置于烧杯中,混合、搅拌、溶解 60min $\pm$ 1min,制成偶联剂丙酮溶液;

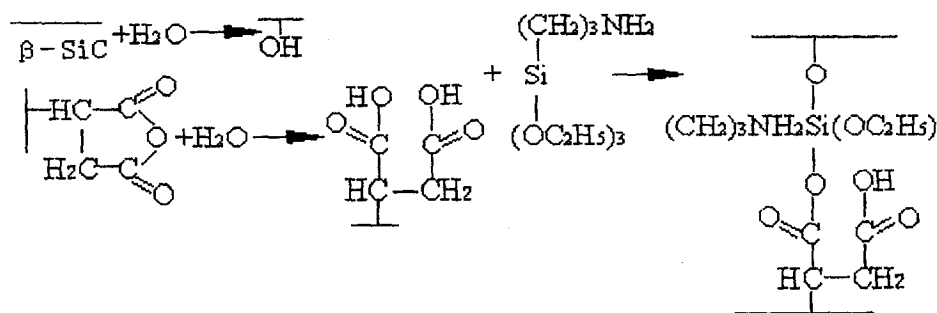
[0037] ②. 晶须偶联

[0038] 将干燥后的 β 型碳化硅晶须粉末置于烧杯内底部,然后将烧杯置于振荡皿上,在烧杯上部放置滴液漏斗,将偶联剂丙酮溶液置于滴液漏斗内,缓慢滴加至烧杯中,边滴加、边振荡、边溶解,滴加速度为 10 滴/min,滴加时间 10min $\pm$ 1min,混合、溶解后成 β 型碳化硅晶须+偶联剂丙酮溶液的粘稠状浆液;

[0039] β 型碳化硅晶须:偶联剂=100:1;

[0040] 在 β 型碳化硅晶须增强过程中将进行化学反应,化学反应式如下:

[0041]



[0042] 式中：

[0043] 硅：Si

[0044] 碳：C

[0045] 氧：O

[0046] 羰基：C=O

[0047] 羟基：-OH

[0048] 甲基：-CH₃[0049] 二甲基：-CH₂-

[0050] (6). 真空干燥

[0051] 将 β 型碳化硅晶须 + 偶联剂的粘稠状浆液置于专用容器中，然后放入真空干燥箱中烘干，烘干温度为 120℃ ± 1℃，烘干时间为 1440min ± 10min，烘干后成增强后的 β 型碳化硅晶须固态块体；

[0052] (7). 振荡器振荡获取晶须粉末

[0053] 将干燥后的碳化硅晶须固态块体置于超声振荡器中振荡，疏松碳化硅晶须块体成粉状，即增强后的 β 型碳化硅晶须粉末，时间为 10min ± 1min；

[0054] (8). 检测、分析、对比、表征

[0055] 对增强后的 β 型碳化硅晶须粉末形貌、直径、长度、强度、弹性模量进行检测、分析、表征，用扫描电镜仪、透射电镜仪、YJ(B)003A 单向强力仪进行；

[0056] (9). 储存：

[0057] 将 β 型碳化硅晶须粉末置于无色透明玻璃容器中，干燥环境、防水、防潮、防酸碱，温度 20℃ ± 3℃，相对湿度 ≤ 40%。

[0058] 所述的增强后的 β 型碳化硅晶须粉末与光敏树脂匹配、混合、固化，制成高强、高韧、具有光敏性能的树脂基复合材料，方法如下：

[0059] ①. 称取光敏树脂 32.6g ± 0.1g，置于烧杯中；

[0060] ②. 称取增强后的 β 型碳化硅晶须粉末 0.16382g ± 0.0001g，置于烧杯中；

[0061] ③. 将盛有光敏树脂的烧杯置于超声波振荡器内振荡，并将增强后的 β 型碳化硅晶须粉末缓慢均匀分散加入液态光敏树脂中，边加入、边振荡，制成 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液。

[0062] 所述的 β 型碳化硅晶须增强后合成的树脂基复合材料，激光固化快速成型方法如下：制备在激光快速成型固化设备上，激光快速成型固化设备由 X-Y-Z 工作台、激光光源、聚焦镜、反射镜、观察镜、电极槽、电源、计算机、摄象机、显示器、正电极、负电极、导线

组成;在电极槽内置放 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液,接通正、负电极电源,聚焦镜按聚焦距离对准电极槽,激光反光镜光源折射传输给聚光镜,聚光镜把激光源反射过来的激光聚焦照射在电极槽内的 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂混合浆液上,按计算机设置的零件成型程序轨迹,逐点、逐线快速照射,激光固化成型,观察镜观察成型状态,显示屏显示激光固化过程。

[0063] 所述的 β 型碳化硅晶须的增强处理是以 β 型碳化硅晶须粉末为原料,以氟化胺 + 去离子水为 β 型碳化硅晶须的清洗剂,以 γ -(2,3-环氧丙氧)丙基三甲氧基硅烷为偶联剂、增强剂,以丙酮为偶联剂的溶解剂,以光敏树脂为树脂基复合材料零件的浆液固化剂。

[0064] 有益效果

[0065] 本发明与背景技术相比具有明显的先进性,它是对 β 型碳化硅晶须进行了表面改性增强处理,先将 β 型碳化硅晶须进行超声清洗、真空干燥,再滴入偶联剂 + 丙酮混合溶液,制成粘稠状浆液,并进行真空干燥、振荡碎裂成粉状,制成超强、超韧 β 型碳化硅晶须,超强、超韧 β 型碳化硅晶须其拉伸强度值高达 24.6GPa、弹性模量值高达 580.0GPa,超强、超韧 β 型碳化硅晶须与光敏树脂混合,制成高强度、高韧性、具有光敏性能的树脂基复合材料,再用激光快速成型技术、光固化成型树脂基复合材料零件,使激光快速成型后的零件具有拉伸强度高、韧性高、硬度大、耐磨性好的特性,其强度可提高 82.5%,可在多种工业领域使用,例如航空航天工业中对超强、超轻、超韧材料的需要,是理想的 β 型碳化硅晶须的超强处理方法及在激光快速成型中的应用。

附图说明

[0066] 图 1 为 β 型碳化硅晶须增强处理方法工艺流程图

[0067] 图 2 为 β 型碳化硅晶须 + 偶联剂增强处理状态图

[0068] 图 3 为 β 型碳化硅晶须增强后电镜扫描放大 500 倍内部组织金相结构图

[0069] 图 4 为 β 型碳化硅晶须增强前后物理性能对比表

[0070] 图 5 为 β 型碳化硅晶须 + 光敏树脂复合材料零件的激光快速成型状态图

[0071] 图 6 为 β 型碳化硅晶须增强后的树脂基复合材料零件激光快速成型固化后电镜扫描放大 100 倍横切面金相结构图

[0072] 图 7 为 β 型碳化硅晶须增强后合成的树脂基复合材料零件拉伸应力 - 应变曲线坐标关系对比图

[0073] 图中所示,附图标记代号如下:

[0074] 1. 振荡器,2. 烧杯,3. 滴液漏斗,4. 滴液管,5. 调节阀,6. β 型碳化硅晶须,7. 偶联剂 + 丙酮溶液,8. 底座,9. X-Y-Z 工作台,10. 电极槽,11. 电源,12. 计算机,13. 聚焦透镜,14. 观察透镜,15. 反光镜,16. 光栅,17. 激光光源,18. 摄象机,19. 显示器,20. 增强树脂复合材料,21. 正电极,22. 负电极,23. 导线。

具体实施方式

[0075] 以下结合附图对本发明作进一步说明:

[0076] 图 1 所示,为 β 型碳化硅晶须与光敏树脂增强处理方法工艺流程图,要严格按照工艺流程和工艺参数进行,按序操作,先进行 β 型碳化硅晶须的增强处理,再与光敏树脂

匹配、混合,制成高强、高韧、具有光敏性能的复合材料。

[0077] 对所需的化学物质材料要严格精选,并进行精度、纯度控制,不得有杂质介入,防止发生副反应,以免影响 β 型碳化硅晶须增强后的物理性能。

[0078] 对增强改性处理方法中使用的化学物质要严格称量,优化反应参数,避免不必要的浪费。

[0079] 在增强处理方法中所需化学物质的量值是在预先设置的数值范围内确定的,以克、毫升、分钟为计量单位,当进行工业化处理时,以千克、升、分钟为计量单位。

[0080] 在处理过程中使用的容器、搅拌器、滴液漏斗、振荡器、存储器皿、真空干燥箱、电极槽、正负电极、透镜、反光镜、显示器、摄象机、计算机等,要保持清洁。

[0081] 在烧杯中配制氟化胺水溶液,其氟化胺浓度要控制在 $\leq 10\%$ 。

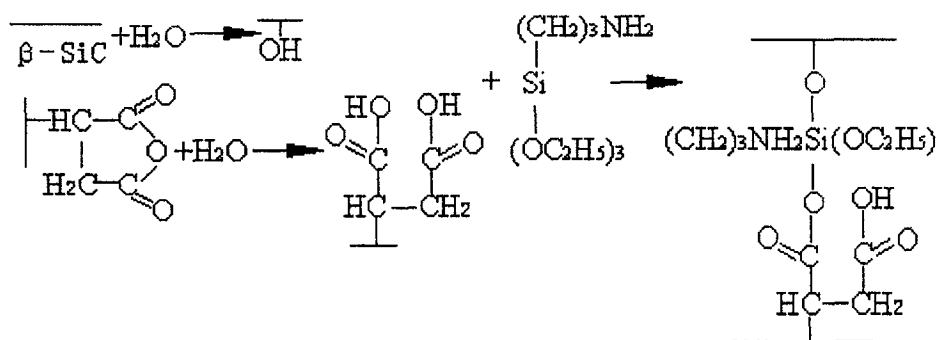
[0082] β 型碳化硅晶须的清洗是在烧杯和超声波振荡器中进行的,加入氟化胺水溶液 20ml,要严格控制振荡频率,频率不得太高,时间为 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 。

[0083] 清洗后的干燥是在真空干燥箱中进行的,温度为 $120^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$,时间为 $1440\text{min} \pm 10\text{min}$ 。

[0084] β 型碳化硅晶须的增强处理,主要是与偶联剂 KH-560 的化合,使表面完全被硅烷偶联剂覆盖,形成与光敏树脂反应的活性基团,碳化硅晶须置于烧杯的底部,然后将配制好的偶联剂 KH-560+ 丙酮的混合溶液置于滴液漏斗中,缓慢滴入烧杯,与碳化硅晶须混合,同时振荡器振荡,使溶液化合,成粘稠状浆液,时间为 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 。

[0085] 在增强处理中,各化学物质将发生化学反应,反应方程式如下:

[0086]



[0087] 通过反应式可看出:

[0088] 硅烷偶联剂首先接触空气中的水分发生水解反应,进而发生脱水反应形成低聚物,这种低聚物与无机物碳化硅表面的水分水解反应的产物-羟基化合,形成氢键,通过干燥处理,发生脱水反应,形成部分共价键,最终是 β 型碳化硅晶须的表面被硅烷覆盖。

[0089] 图 2 所示,为 β 型碳化硅晶须增强处理状态图,振荡器 1 的上部为烧杯 2,烧杯 2 的上部插入滴液管 4、滴液漏斗 3,并由调节阀 5 控制,烧杯 2 内底部为 β 型碳化硅晶须 6,滴液漏斗 3 内为偶联剂+丙酮混合溶液。

[0090] 本发明的增强、增韧机理是:

[0091] 由于经偶联剂改性处理的 β -SiC 晶须与树脂基体存在一定的粘合力 and 摩擦力,粘合力与摩擦力共同影响晶须与树脂基体界面作用力,这种力的存在,使复合材料拉伸时的界面力与部分外力抵消,提高材料断裂所需外力,从而提高材料的拉伸强度,同时,由于晶须在基体内部能在裂纹与基体间传递更大载荷,吸收更多的能量,从而提高了材料断裂

韧性。

[0092] 图3所示,为 β 型碳化硅晶须增强后金相组织放大500倍结构图,图中可知:内部结构呈不规则条形排列,条形交错,组织紧密,强度高、韧性好,标尺单位为 $10\mu\text{m}$ 。

[0093] 图4所示,为 β 型碳化硅晶须增强前后物理性能对比表,图表中可知:增强前拉伸强度值为 21.0GPa 、弹性模量为 462.0GPa 、拉伸强度增强后强度值为 24.6GPa 、弹性模量为 580.0GPa ,明显看出, β 型碳化硅晶须增强后的拉伸强度、弹性模量均高于增强前。

[0094] 图5所示,为 β 型碳化硅晶须增强树脂基复合材料激光快速成型零件状态图,X-Y-Z工作台9上部为电极槽10,电极槽10由正电极21、负电极22组成,电极槽10内置放增强树脂基复合材料20,X-Y-Z工作台9通过导线23联接计算机12,电极槽10的正、负极21、22通过导线23联接电源11,电极槽10的上部垂直对应聚焦透镜13、观察透镜14、摄象机18,聚焦透镜13通过反射镜15接受光栅16、激光光源17折射来的激光,摄象机18通过导线23联结显示器19。

[0095] 图6所示,为 β 型碳化硅晶须增强树脂基复合材料零件横切面放大100倍金相结构图,图中可知: β 型碳化硅晶须增强树脂基复合材料零件,激光快速成型固化后,材料颗粒呈不规则分布,胶粘性极好,其强度、韧性均高于增强前,标尺单位为 $20\mu\text{m}$ 。

[0096] 图7所示,为 β 型碳化硅晶须增强树脂基复合材料零件拉伸应力-应变曲线坐标关系对比图,图中可知: β -SiC晶须增强后的树脂基复合材料零件拉伸应力指数、应变力百分率均高于未增强的光敏树脂材料固化零件。

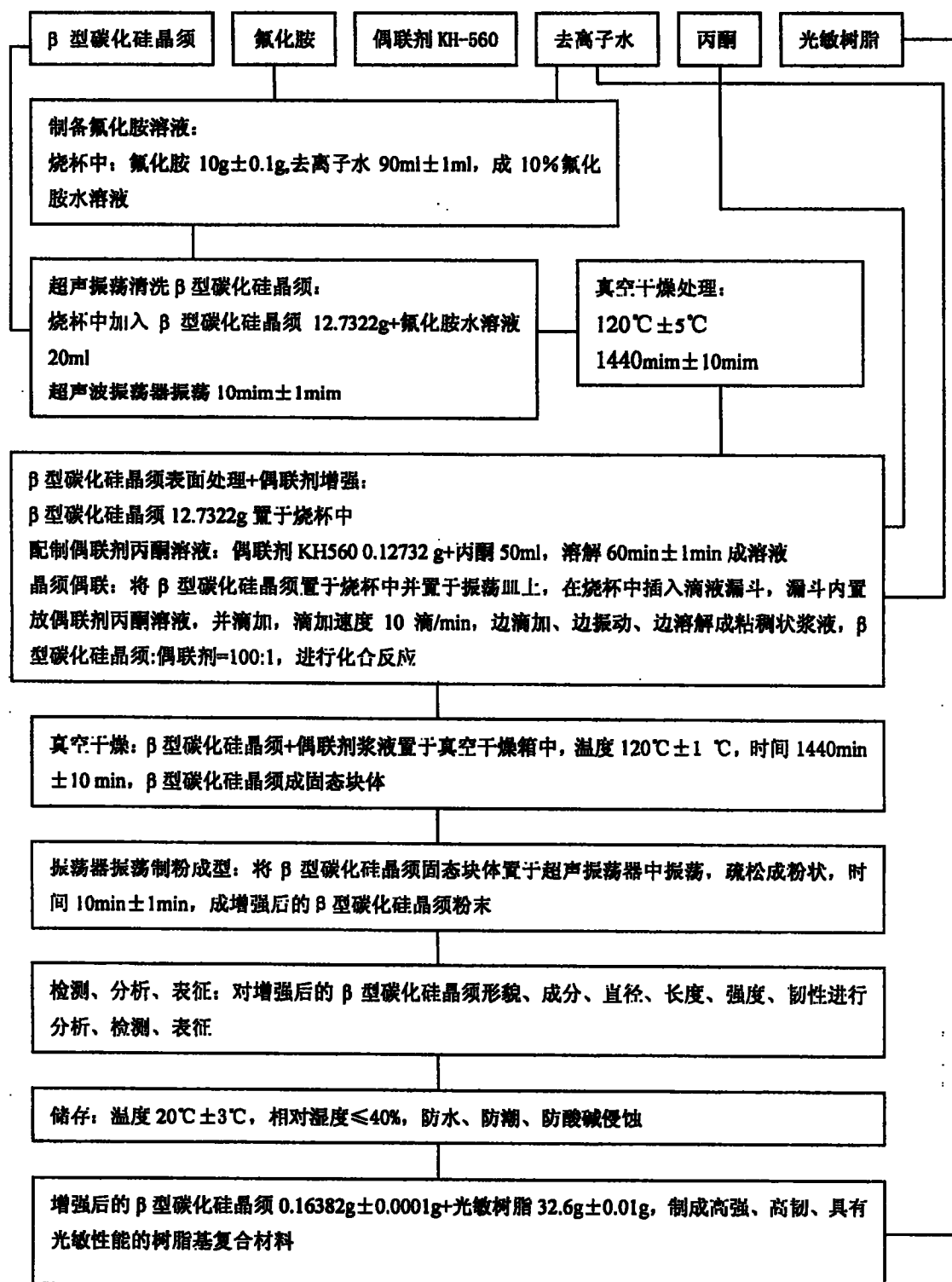


图 1.

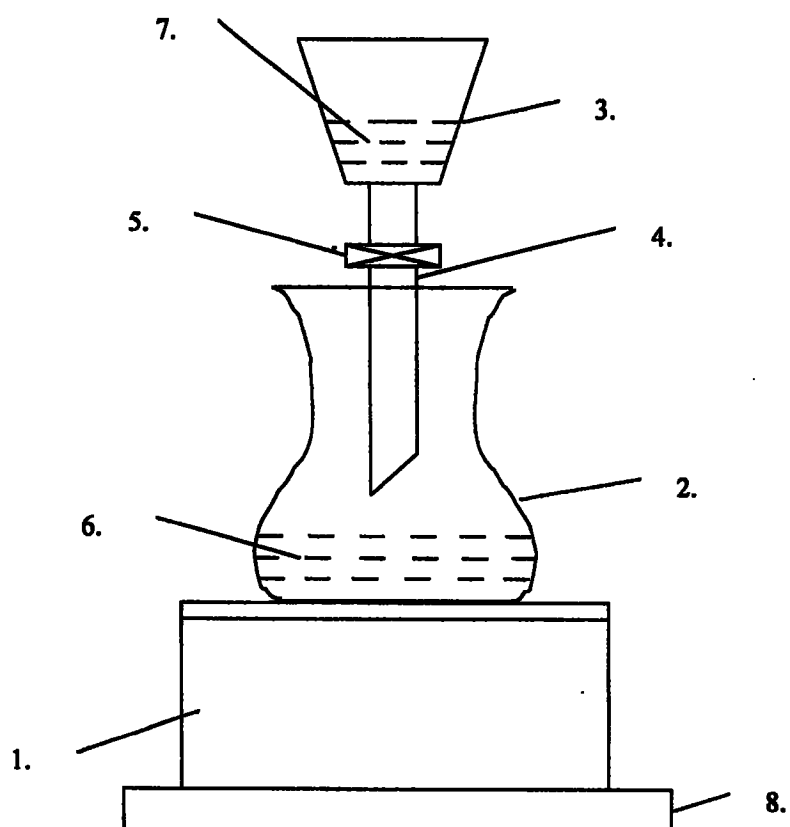


图 2

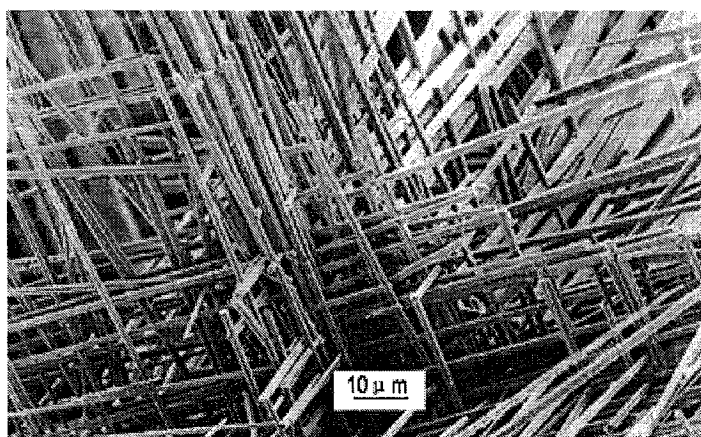


图 3.

β 型碳化硅晶须增强前后物理性能对比表

性能 状态	拉伸强度 (GMPa)	弹性模量 (GMPa)
增强前	21.0	462.0
增强后	24.6	580.0

图 4.

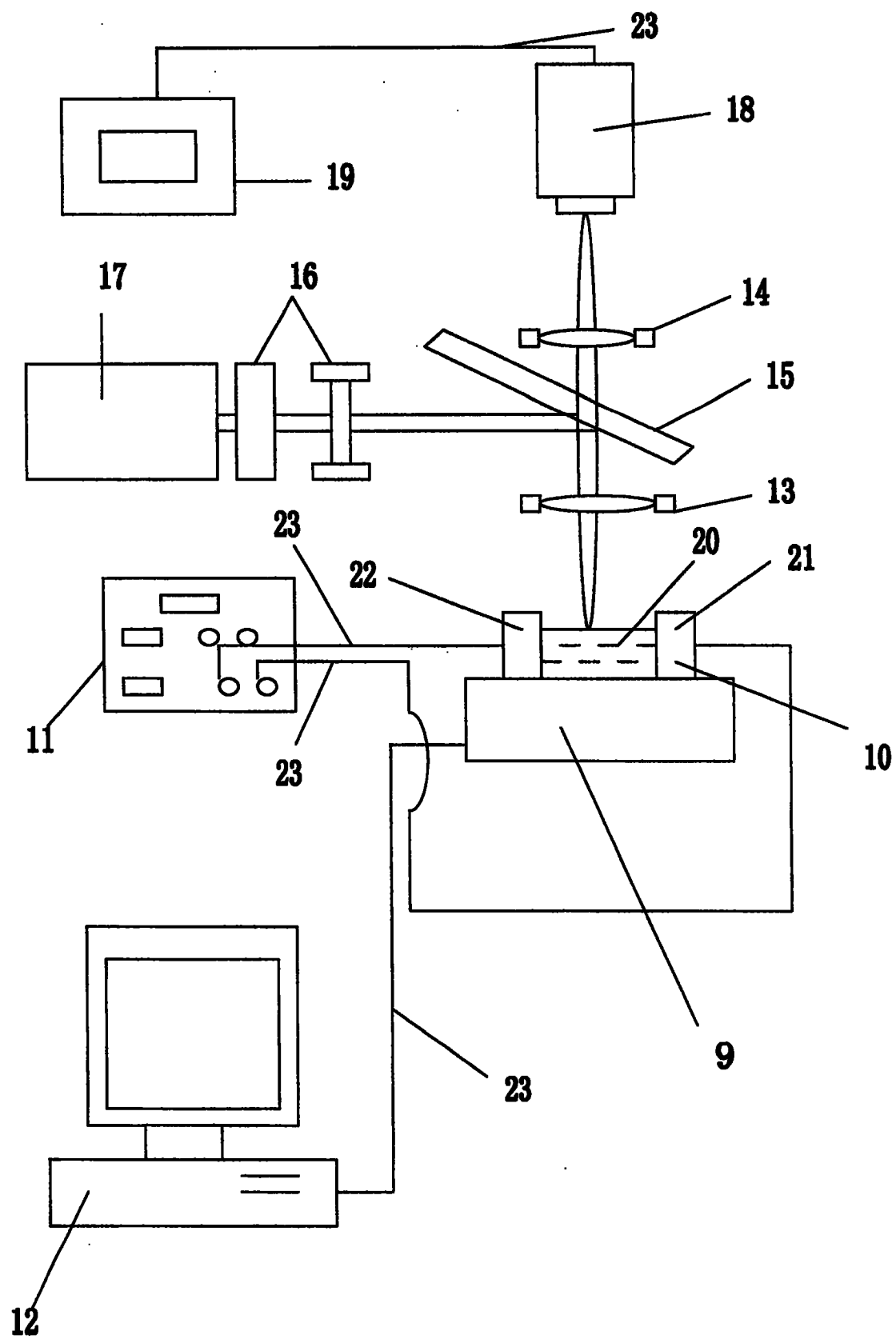


图 5.

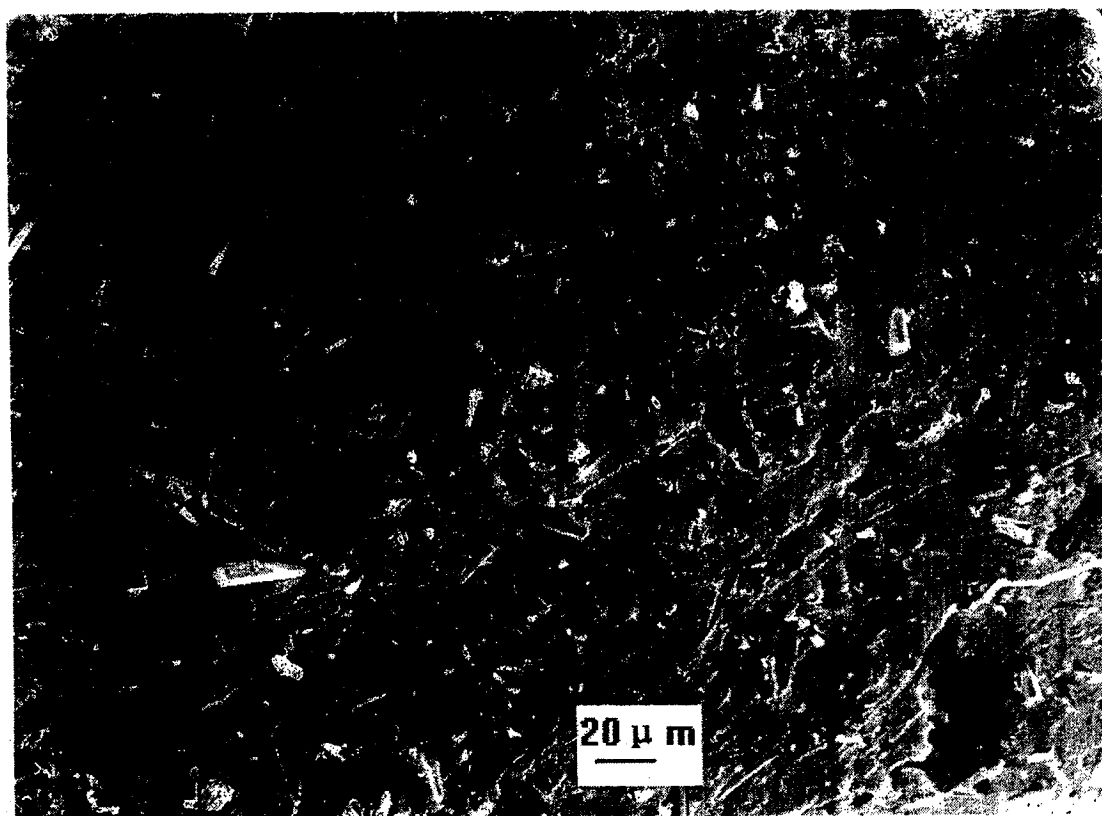


图 6.

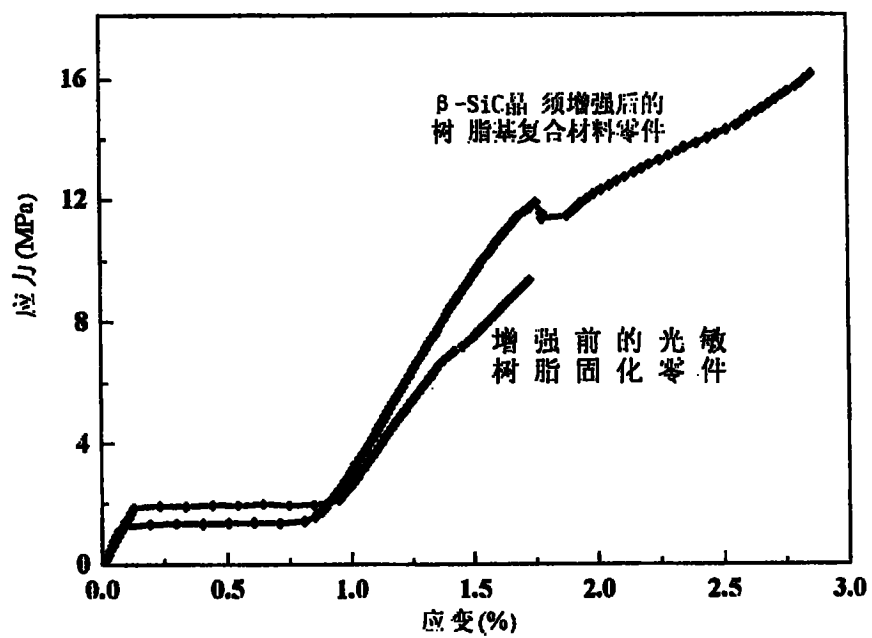


图 7.