第 16 卷 第 2 期 复 合 材 料 学 报 Vol 16 No. 2
1999 年 5 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA May 1999

玻璃微珠填充 UHMW PE 基复合材料的润湿及土壤粘附特性

刘朝宗 任露泉 佟 金
(吉林工业大学地面机械仿生技术部门开放研究实验室, 长春 130025)

摘 要 研究了玻璃微珠填充超高分子量聚乙烯(UHMW PE)基复合材料的润湿及土壤粘附特性, 分析了玻璃微珠的掺量、粒径与复合材料表面润湿性、土壤粘附特性的关系。试验结果表明: 随着玻璃微珠掺量的增加, 水对复合材料表面的接触角减小, 土壤在复合材料表面的粘附力增大; 当玻璃微珠的体积含量不超过 9% 时, 玻璃微珠的加入不至于明显地降低 UHMW PE 的减粘降阻特性。由于"非光滑效应", 水膜在表面曳力的作用下力图拉离 UHMW PE 基体表面, 土壤/基体间产生楔开应力, 使土壤易于脱离基体表面。

关键词 颗粒增强, 复合材料, 润湿, 土壤粘附
中图分类号 TB332; TQ325.12

土壤等粘湿物料在工作部件表面的粘附是普遍存在的一种现象, 一直是许多研究人员致力于解决的问题之一[1,2], 强憎水性的固体材料与土壤的粘附力和滑动阻力都比较小, 实践也证明聚四氟乙烯(PTFE)和 UHMW PE 具有优异的减粘降阻功能[3,4]。虽然两者在滑动条件下的减粘耐磨性优异, 但是, 其耐磨料磨损能力较差, 限制了它们在地面机械触土部件上的应用。为了开发地面机械触土部件使用的减粘降阻材料, 有必要将 UHMW PE 制备成复合材料, 以便在不明显降低其减粘脱附性能的前提下显著提高其耐磨料磨损的能力, 同时降低生产成本。

本文作者从对典型土壤动物的研究所获得的仿生信息——动物体表的"憎水性"和"非光滑"角度出发, 制备了具有憎水性和非光滑效应的玻璃微珠增强 UHMW PE 基复合材料, 结合在地面机械触土部件应用中可能遇到的土壤粘附进行了研究, 为解决地面机械触土部件的土壤粘附问题提供了有效的途径。

1 实 验

1.1 材料

试验所用 UHMW PE 为北京助剂二厂产品, 分子量为 350 万, 密度为 0.97 g·cm^{-3}, 增强材料选用沈阳玻璃厂生产的玻璃微珠, 珠粒径分别为 0.2～0.3 mm、0.15～0.2 mm、< 0.15 mm, 试验选用南京强生化学有限公司生产的钛酸酯偶联剂 NT-105 对玻璃微珠进行表面处理。

收修改稿、初稿日期: 1998-03-10, 1997-11-25。国家自然科学基金(重点); 机械工业技术发展基金资助项目

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 UHMWPE 基复合材料的制备

经过偶联剂表面处理的玻璃微珠与UHMWPE 按一定比例装入V 形混料机进行充分混合, 然后装入模具。在压力机上加压至 100MPa, 保压 5min; 脱模后放入干燥箱在 190℃下烧结 4h; 烧结完成后将试样放回模具中在 40MPa 压力下自然冷却到 70℃以下脱模备用[6]。

1.3 试验方法

1.3.1 接触角的测定

采用长春光学仪器厂生产的JJC-1 型接触角测量仪。按滴泡法, 用水在复合材料表面的前进接触角 θ_A 和后退接触角 θ_R 来表示复合材料的润湿性。测试前先用 36 目的金钢砂砂布粗磨平, 然后用 120 目的细砂砂布仔细磨平待测表面, 用丙酮擦洗干净。

1.3.2 土壤粘附力的测定

土壤粘附力的测定采用土壤粘附力测量仪进行。试验条件为: 载荷 25kPa, 保压时间 40s, 土壤含水量 48.04%, 按文献[3, 7]介绍的方法, 将土壤装入土样盒内, 用拉紧的细钢丝快速地将土壤表面切割平整。将经过清洗干燥的试样, 置于切割平整的土壤表面, 按预定的方案加载, 记录试样从土壤表面拉脱时的粘附力。

为了使每次测定的结果具有可比性, 每测定一次粘附力, 材料的表面用丙酮擦洗并吹干, 在同一土壤试样上换一新位置。同一试验重复 5 次, 取平均值。

2 试验结果与分析

2.1 UHMWPE 基复合材料的润湿特性

图 1 示出了水在复合材料表面的接触角随玻璃微珠含量的变化关系。可见, 随着填料含量的提高接触角不同程度地减小。填料对 θ_A 影响较小, 对 θ_R 影响较大。在填料含量为 21% 时, 与UHMWPE 相比, 复合材料的 θ_A 减小了约 21°左右, 而 θ_R 减小了约 35°左右, 当填料的体积含量不超过 9% 时, 尽管接触角下降约 16°左右, 但前进角保持在 90°以上, 后退接触角在 70°以上, 若填料含量超过 9%, 复合材料对水的接触角 θ_A 将小于 90°, 且填料含量越高, 接触角越小, 亲水性变强, 对减粘降阻不利。

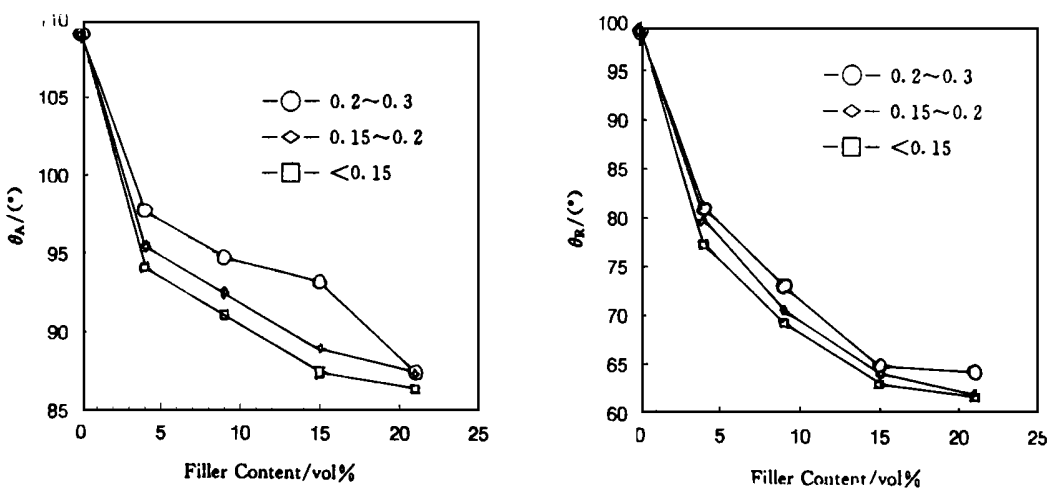

图 1 玻璃微珠对水在复合材料表面接触角的影响 Fig.1 The effect of glass bead on the contact angles

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从变化关系曲线可见, 接触角随填料粒径的减小而减小, 而且在填料含量低时, 粒径的作用比较明显。

2.2　UHMWPE 基复合材料的土壤粘附

土壤粘附力随玻璃微珠含量的变化关系示于图 2。可见, 玻璃微珠加入到基体UHMWPE 后不同程度地增大了土壤粘附力。随着填料含量提高, 土壤粘附力增大。

在填料体积含量较小时, 玻璃微珠的粒径对土壤粘附力影响很小。而当体积含量超过 9% 以后, 从粘附力变化曲线可以看出, 粒径较小的玻璃微珠对土壤粘附力的影响较大。

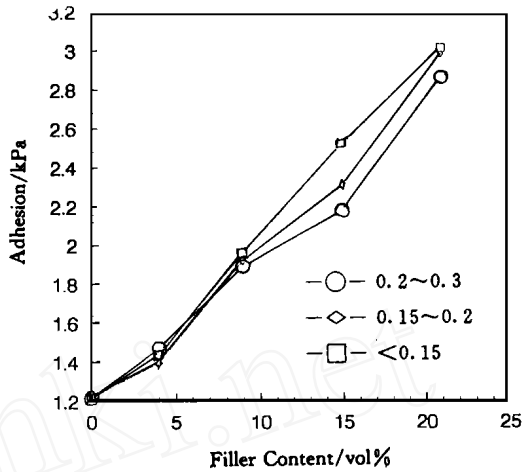

图 2　复合材料土壤粘附力的变化

Fig. 2　The effect of glass bead on soil adhesion

3　讨　　论

3.1　复合材料的润湿性

一般地, 描述复合材料表面接触角的公式为[8]

$$\cos\theta = f_1\cos\theta_1 + f_2\cos\theta_2 \qquad (1)$$

式中: θ 为水在复合材料表面的接触角; θ_1 和 θ_2 分别为水在填料和基体表面的接触角; f_1 和 f_2 分别为填料和基体在复合材料表面上占有的面积分数。

固体材料表面的润湿性和土壤粘附特性与固体表面的状态有关。玻璃微珠掺入基体后改变了复合材料的表面状态。半径为 R 的球形玻璃微珠颗粒均匀地分布于基体中, 裸露在表面的粒子在表面被磨削平整时形成圆形截面。参见图 3。

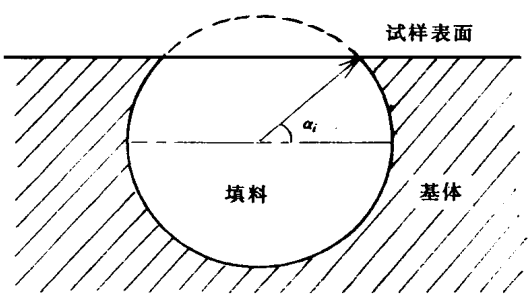

图 3　复合材料表面处的玻璃微珠

Fig. 3　Glass bead in surficial layer

设 V_f 为填料在复合材料中的体积分数; 则厚度为 $2R$ 的单位体积复合材料具有的面积为: $1/(2R)$; 单位体积复合材料内玻璃微珠个数 n 为: $n = 3V_f/(4\pi\cdot R^3)$, 单位面积复合材料表面填料占有的面积分数为

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n}\pi R^2\cos^2\alpha_i 2R = 2\pi R^3\sum_{i=1}^{n}\cos^2\alpha_i \qquad 0 \le \alpha_i \le 90^\circ \qquad (2)$$

基体所占的面积分数为

$$f_2 = 1 - f_1 = 1 - 2\pi R^3\sum_{i=1}^{n}\cos^2\alpha_i \qquad (3)$$

将(2)、(3)式代入(1)式, 则水在复合材料表面的接触角表达式为

$$\cos\theta = \cos\theta_2 + 2\pi R^3\sum_{i=1}^{n}\cos^2\alpha_i(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \qquad (4)$$

可见, 影响复合材料润湿性能的因素除了组成复合材料的填料与基体本身的润湿性能外, 还与填料的粒径 R 和填料的体积分数 V_f 有关[4]。

填料的体积含量越高, 则填料在复合材料表面上所占面积分数 f_1 也相应地提高。根据式

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(1)、(4), 对于高表面能的填料, 掺量越多, 则复合材料的接触角减小值越大。在相同体积分数时, 粒径较小的填料颗粒具有较大的比表面积, 在复合材料表面占有的面积分数较大, 对接触角的影响较大。因此, 用粒径较小的玻璃微珠填充获得的复合材料接触角较小。

3.2 土壤在复合材料表面的粘附

土壤在复合材料表面的粘附主要由以下几种力构成:

(1) 水膜粘滞力 F_1。其大小取决于界面水膜的厚度及其连续性、水膜内水的表面张力和水膜的状态; 其中水膜的状态又以水对触土部件表面的湿润能力为主要决定因素。

(2) 物理和化学吸附力 F_2。包括发生在土壤/固体表面间的范德华力和剩余化学键力。

(3) 毛细引力 F_3。土壤/固体表面间的水膜张力将两者紧密吸附在一起。

(4) 毛细孔道的抽吸势 F_4。

则土壤/固体表面间的粘附力 F 表达为

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \tag{5}$$

作为憎水性的UHMWPE 表面, 在与土壤接触时, 土壤/UHMWPE 间产生毛细斥力。由于它为非极性表面, 表面没有剩余化学键力, 土壤与UHMWPE 间只有物理吸附力而没有化学吸附力。对UHMWPE 这样的低能表面起作用的是毛细孔道的抽吸势 F_4。F_4 仅取决于土壤颗粒大小和土壤含水量的多少。UHMWPE 基复合材料, 填料均匀分布于UHMWPE 基体中。高能表面的填料与低能表面的基体构成了"化学非光滑表面"。当与土壤接触时, 局部亲水性的填料表面与土壤水间发生相互作用, 两者之间产生的毛细引力、水膜粘滞力、物理和化学吸附力、毛细孔道的抽吸势共同起作用, 形成土壤粘附。

在填料/基体接合区域的水膜由于与填料的亲和力较大, 在表面曳力作用下力图拉离低表面能的基体表面(参见图 4), 以使整个表面的能量最低。此时, 在土壤与基体接触界面间产生一"楔开"压力, 有助于土壤/基体表面的脱离。再加上复合材料表面的非光滑效应, 使土壤/固体表面间的实际接触面积减小, 且在局部的"凹"坑处积有少量的空气, 有助于减粘脱土。这些因素的综合作用, 使UHMWPE 基复合材料具有良好的减粘降阻效果。

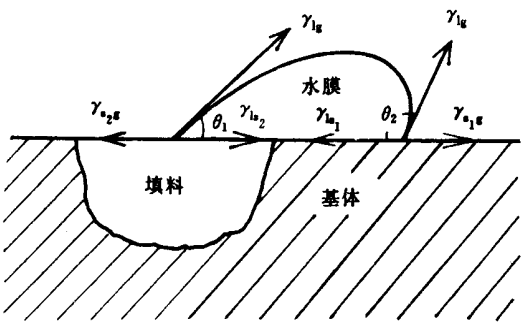

图 4 水膜移向玻璃微珠填料表面

Fig. 4 Water film moving toward glass bead

4 结 论

玻璃微珠加入到UHMWPE 基体中引起了润湿性和土壤粘附性的变化。研究结果表明:

(1) 随玻璃微珠体积含量的提高, 水在复合材料表面的接触角减小。当填料的含量不超过 9% 时, 接触角虽有下降, 但 θ_A 仍可保持 90°C以上。

(2) UHMWPE 基复合材料的土壤粘附与玻璃微珠含量以及粒径有关。玻璃微珠含量高, 其在复合材料表面上所占面积分数大, 土壤粘附力也大。在填料的体积含量不超过 9% 时, 可不明显影响UHMWPE 的减粘降阻功能。玻璃微珠的粒径对土壤粘附力的影响不明显。

(3) UHMWPE 基复合材料表面呈现"化学非光滑效应"。水膜在"表面曳力"的作用下力图拉离基体表面, 土壤/基体间产生楔开应力, 使土壤易于脱离基体表面。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参 考 文 献

1 Spektor M. Principles of soil-tool interaction. *Journal of Terramechanics*, 1981, 18(1): 51～56

2 Ren L Q, Tong J, Chen B C. Fractal phenomena in soil and wettability research. *Transactions of CSAE*, 1993, 9(1): 1～6

3 Xinchun Lu, Shizhu Wen, Jin Tong. Wettability, soil adhesion, abrasion and friction wear of PTFE(+ PPS) + Al_2O_3 composites. *Wear*, 1996, 193: 48～55

4 任露泉, 刘朝宗, 蒋蔓, 等. 颗粒增强UHMWPE 基复合材料磨料磨损的特性与机理. 摩擦学学报, 1997, 17(14): 334～339

5 贾　贤, 任露泉, 佟　金. 化学非光滑表面和几何粗糙表面的润湿性. 农业工程学报, 1993, 9(3): 9～13

6 Krishnamurthy V, Kamel IL. Cold compaction and sintering of UHMWPE containing a segregated iron network. *Polymer Engineering and Science*, 1989, 29(8): 564～572

7 佟　金. 地面机械触土部件减粘降阻的仿生改性研究: [博士学位论文]. 长春: 吉林工业大学, 1992

8 程传煊. 表面物理化学. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 110～114

WETTABILITY AND SOIL ADHESION OF GLASS BEAD REINFORCED UHMWPE MATRIX COMPOSITES

Liu Chaozong　　Ren Luquan　　Tong Jin

(The Research Institute for Engineering Bionics, Jilin University of Technology, Changchun 130025)

Abstract　The wettability and soil adhesion performance of glass bead reinforced UHMWPE matrix composite were investigated. The results show that the increase of filler volume leads to the increase of the soiladhesion and wettability. When the filler volume is less than 9%, it will not affect the soil adhesion-reducing performance obviously. The interaction of soil-water-specimen surface was also analyzed. It is concluded that the reduction of soil adhesion of the glass bead/UHMWPE composite is caused mainly by its hydrophobic and chemical nonsmooth effects.

Key words　composites, soil adhesion, wettability

(上接第 14 页)

这次交流会预定日方发表论文数为 14 篇, 中方为 19 篇。由于会议日程关系, 中方一部分论文没有宣读。参加会议人数: 日方 15 人, 中方 25 人。第 1 天的 10 月 19 日为报到日, 从日本和中国各地来的参加者陆续到达开会的航天科苑宾馆。第 2 天 20 日参观航天工业第 623 研究所和西北工业大学。在 623 所参观了该研究所自制的 FRP 成型装置(预浸料机和缠绕机), 纤维三元织机, 以及 X 线非破坏检验装置。在西工大参观了 CMC (陶瓷基复合材料) 成型说明展板及试样, 并就独自的成型技术进行讲解, 还参观了陶瓷成型的 CVD 装置。该研究室被命名为"凝固技术国家重点实验室", 对研究进展寄以厚望。此外, 还参观了超高温弯曲及拉伸试验装置。

(下转第 38 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net