

文章编号: 100226819(2001)0320007203

仿生非光滑耐磨复合层的研究

任露泉, 徐德生, 邱小明, 赵宇光

(吉林大学南岭校区, 长春 130025)

摘要: 把土壤动物体表的非光滑特征应用于耐磨复合层的仿生设计中, 制备出仿生非光滑复合层。研究结果表明, 非光滑表面能将磨料对表面的犁削变为滚动。在两性静载磨料磨损工况下, 仿生非光滑耐磨复合层的耐磨性是 45 钢的 29 倍。仿生非光滑耐磨复合层具有很高的韧性和塑性, 且可根据需要调节复合层的厚度, 为提高地面触土机械部件的抗磨性开辟一条新的途径。

关键词: 仿生; 非光滑; 耐磨性; 复合材料

中图分类号: TG454; TH142

文献标识码: A

磨料磨损是地面触土机械部件失效的主要原因之一。在国内外, 除寻求新型的抗磨料磨损材料和从结构上进行合理的设计外, 表面硬化则是提高地面触土机械部件质量、延长使用寿命、改善使用性能的重要方法^[1,2]。目前, 常用的表面硬化技术有喷涂、沉积、镀层等。由于硬化层厚度较薄, 降低了地面机械触土部件在磨料磨损工况下使用的有效性。并且, 工程材料表面硬度的提高也是有限度的, 因此, 探索新的抗磨机理, 以便能更有效地提高地面机械触土部件的使用寿命。

自然界中生物体表组织经过千百万年的进化, 具有非常独特的结构和性能。生物体表形态是生物体自身生长机制与生存环境长期相互作用的结果。已有的研究表明, 生存在粘湿土壤中的动物体表呈几何非光滑特征, 具有减粘、降阻、耐磨作用^[3]。土壤动物体表的几何非光滑特征, 是由于体表触土部位随机地或规律地分布着一定几何形状的结构单元体^[4], 运动时有利于减小正压力对体表的作用, 降低摩擦分量。并且, 非光滑表面能将磨料对表面的犁削变为滚动, 从而起到减阻、耐磨作用。如果把这种结构与组成机理应用到地面触土机械部件的表层, 将为提高地面触土机械部件的抗磨性。为此, 本文根据土壤动物体表的几何非光滑特征, 开展仿生非光滑耐磨复合层的研究。

1 实验方法

1.1 结构设计原则

土壤动物体表的几何非光滑结构存在着数量和尺寸上的变化。其外观形貌类似于水磨石地面结构, 体表有一定的弹性, 在外力作用下, 体表可发生弹性变形。凸起部位承受着土壤的挤压和摩擦, 凹起部位易集留空气, 可减轻大气负压, 从而降低与土壤摩擦力。因此, 这种由软、硬多相材料交替叠层形成的非光滑表面, 是仿生非光滑耐磨复合层的设计原则。仿生非光滑耐磨复合层是将增强硬质颗粒相通过钎焊方法钎焊在基体材料(碳钢)表面, 形成一非光滑耐磨复合层。这种结构既保证了基体的强韧性和非光滑几何结构单元体的耐磨性, 又能保证非光滑表面具有生物非光滑表面的减阻、耐磨作用。复合层的厚度可根据使用要求从几毫米到几十毫米任意调整。通过调整钎料配比和增强硬质颗粒相类型和数量, 可以得到耐热、耐蚀、耐磨多功能仿生非光滑表面复合层。

1.2 仿生非光滑耐磨复合层的制备

增强硬质相为颗粒状碳化钨(WC), 粒度分别为 40~60 目(0.250~0.425 mm)、60~80 目(0.200~0.250 mm)、80~120 目(0.100~0.200 mm)。钎料为新研制的多元铜基钎料^[5], 钎料成分和性能见表 1、表 2。该钎料对碳化钨和碳钢的润湿性能好, 润湿接触角小于 10°。将钎料制成粉, 按一定比例和碳化钨、钎剂均匀混合在一起, 通过高频感应加热在碳钢表面形成一非光滑耐磨复合层。按国家标准测定非光滑耐磨复合层的密度。磨损试验在 ML 2100 销盘

收稿日期: 2000210216

基金项目: 国家自然科学基金(59835200)和吉林省科技发展基金资助项目

任露泉, 副校长, 教授, 博士生导师, 长春市人民大街 142 号
吉林大学南岭校区焊接教研室, 130025

式静载磨料磨损试验机上进行, 载荷为 15 N, 磨料为 150 目 S_C 水砂纸, 磨损行程为 123 m, 磨损失重由 L BROREU 2210 万分之一电子天平称量, 以 45 钢(淬火)为标样, 相对耐磨性 E- 标样失重 ÷ 试样失重。用扫描电镜分析非光滑耐磨复合层的微观形貌。

表 1 钎料成分范围

合金元素	Mn	Ni	Sn	Si	Al	CuZn
加入量	9.0±0.5	2±0.5	0.5±0.2	0.5±0.2	1.0±0.5	余量

表 2 钎料性能

钎料	熔化温度 T ₀	润湿面积 S ₀ /mm ²	剪切强度 S ₀ /MPa	钎粒抗拉强度 R ₀ /MPa	延伸率 D ₀ %	组织
多元铜基钎料	821~856	170~190	230~280	350~420	21~23	(A+ B) 相

2 实验结果与讨论

2.1 非光滑耐磨复合层的强度、硬度和耐磨性

取钎料与 WC 的质量比为 1:2, 在钎焊温度 950 °C 下, 保温 2 min, 得到不同粒度 WC 颗粒非光滑耐磨复合层强度、硬度和耐磨性, 结果见表 3。

表 3 非光滑耐磨复合层的硬度、强度和耐磨性

WC 粒度	40#60 目	60#80 目	80#120 目
硬度 HRC	26	30	35
抗拉强度 MPa	212	203	—
相对耐磨性 E	36	29	21

从表 3 可知, 非光滑复合层具有优异的抗磨粒磨损性能。随 WC 颗粒尺寸减小, 非光滑复合层硬度有增加趋势, 强度变化不大, 相对耐磨性降低。可见, 在质量比一定时, WC 颗粒尺寸偏小, 非光滑效果不明显, 复合层耐磨性偏低; WC 颗粒尺寸偏大, 则颗粒数量偏少, 非光滑复合层中单位质量 WC 颗粒与钎料结合面积偏小, 虽然在本实验的两体静载磨粒磨损条件下非光滑耐磨复合层耐磨性好, 但在大载荷或冲击载荷作用下, 复合层中 WC 颗粒易脱落。且此时复合层硬度偏低, 易变形。因此, 应以 60#80 目 WC 颗粒作为非光滑复合层的增强体。

图 1 是非光滑耐磨复合层密度 ρ 随 WC (60#80

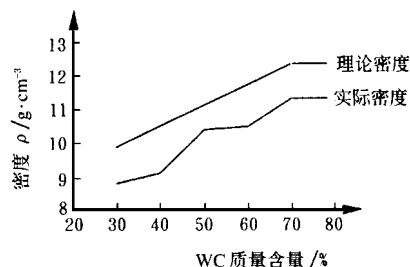


图 1 密度与 WC (60#80 目) 含量的关系

Fig. 1 Dependence of density on WC content

目) 含量的变化曲线。由图可见, 非光滑耐磨复合层密度随 WC 含量升高, 逐渐增加。WC 含量在 50% 时, 非光滑耐磨复合层的致密性最好。由于 WC 是通过钎料钎焊在钢表面形成非光滑耐磨复合层, 钎焊过程中在复合层中会形成气孔和夹渣, 导致非光滑耐磨复合层的实际密度低于理论密度。气孔和夹渣常出现在钎粒与 WC 的界面处, 易引起应力集中, 使非光滑耐磨复合层的结合强度、耐磨性降低。

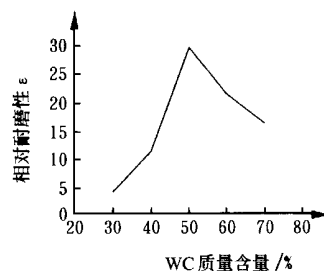


图 2 耐磨性与 WC (60#80 目) 含量的关系

Fig. 2 Dependence of wear resistance on WC content

图 2 是非光滑耐磨复合层的相对耐磨性 E 随 WC (60#80 目) 含量的变化曲线。由图可见, 非光滑耐磨复合层的耐磨性随 WC 含量的增加而增加, WC 含量在 50% 时, 其耐磨性能最高, 在两体静载磨料磨损工况下, 非光滑耐磨复合层的耐磨性为基体 45 钢(淬火态)的 29 倍, 抗磨性能十分优异。继续增加 WC 含量, 其耐磨性逐渐降低。

2.2 非光滑耐磨复合层微观形貌和磨损机理

图 3 是非光滑耐磨复合层的外观形貌, 其表面呈非光滑, 和生存在粘湿土壤中的动物体表具有相似特征。图 4 是非光滑耐磨复合层的微观结构形貌, WC 颗粒分布较为均匀, 几乎每个颗粒均被钎料包围。这种结构与水磨石地面十分相似。颗粒状的硬质点间填充着钎料, 保证了非光滑耐磨复合层的塑性、韧性和高耐磨性。WC 颗粒与钎料之间界面清晰, 仅有轻微的冶金反应, 保证了非光滑耐磨复合层

的结合强度。这种由高塑性钎料与高硬度硬质点颗粒(WC 粒度 60ö80 目)的合理组合制备的非光滑耐磨复合层,其耐磨性为基体 45 钢(淬火态)的 29 倍。可使材料的耐磨性和减摩性达到较高的使用要求。较硬的颗粒支承载荷、抵抗磨损、阻止磨粒犁削,较软的基体固结颗粒、吸收能量、抵抗疲劳剥落,使剪切变形局限在很薄的表面层内^[6],并产生自润滑,降



图 3 非光滑耐磨复合层的外观形貌

Fig 3 Morphology of unsmoothed wear-resistant composite

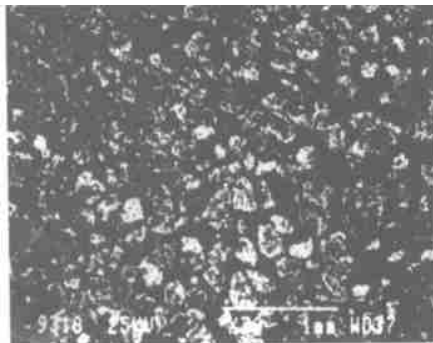


图 4 非光滑耐磨复合层的微观结构

Fig 4 Structure of unsmoothed wear-resistant composite

低摩擦功。非光滑表面能将磨料对非光滑耐磨复合层表面的滑擦凿削变为滚动,这样有效地减轻磨料对非光滑耐磨复合层的磨损程度。

3 结论

根据土壤动物体表的几何非光滑特征,制备出的钎料öWC (60ö80 目)ö钎料ö钢仿生非光滑耐磨复合层,其耐磨性为基体 45 钢(淬火态)的 29 倍。仿生非光滑耐磨复合层具有高的韧性、塑性和耐磨性,厚度根据使用要求从几毫米到几十毫米任意调整,可在较大范围内替代整体耐磨材料,具有广阔应用前景。

[参考文献]

- [1] Kennech Holmberg A concept for friction mechanisms of coated surface [J] Surface and Coating Technology, 1992, 56(1): 1~ 10
- [2] Nicoletto G, Tucci A, Esposito L. Comparative dry wear behavior of hard coatings[J] Wear, 1993, 162 ~ 164(B): 925~ 929
- [3] Ren Luquan, Li Jianqiao, Chen Bingcong Unsmoothed surface on reducing resistance by bionics [J] Chinese Science Bulletin, 1995, 40(13): 1077~ 1088
- [4] Ren Luquan, Tong Jin, Zhang Shujun Reducing sliding resistance of soil against bulldozing plates by unsmoothed bionic surface [J] Journal of Terramechanics, 1995, 32(6): 303~ 309
- [5] 任露泉, 邱小明, 李建桥等. BCu50ZnMnNiSi 多元铜基钎料的研究[J]. 功能材料, 2000, 31(3): 313~ 315
- [6] Zatulovsky S S. 宏观掺杂铸造复合材料——21 世纪的高耐磨材料[A] 见: 第 61 届世界铸造会议论文集 [C]. 沈阳: 铸造杂志社, 1995: 80~ 84

Research on Wear-Resistant Composite With Bionic Unsmooth Surface

Ren Luquan, Xu Desheng, Qiu Xiaoming, Zhao Yuguang

(Jilin University, Nanling Campus, Changchun 130025, China)

Abstract: The unsmoothed characteristics of living beings in soil are applied to the bionic design on wear-resistant composite. A bionic unsmoothed composite is made. The results showed that, the unsmoothed surface can change the ploughing to rolling when the surface are worn by abrasive. Under the condition of two bodies abrasive wear, the wear resistance of the wear-resistant composite with the bionic unsmoothed surface is 29 times as much as that of 45 steel. The wear-resistant composite with the bionic unsmoothed surface possesses characteristics such as excellent strength, plasticity and toughness. The thickness of composite layer can be adjusted arbitrarily according to the requirements of work. The researches open up a new way to enhance the wear resistance for the soil-parts.

Key words: bionics; unsmooth; wear resistance; composite