

钢/ 锌层状复合材料的力学性能与耗能行为

Dynamic Property and Damping Behavior of
Steel/ Zinc Laminated Composites

包晓军^{1,3}, 刘勇兵^{1,2}, 吴坪安^{1,2}, 孙喜良^{1,2},

曹占义^{1,2} (1 吉林大学 汽车材料教育部重点实验室, 长春 130025;

2 吉林大学 材料科学与工程学院, 长春 130025; 3 吉林省地震局, 长春 130022)

BAO Xiao-jun^{1,3}, LIU Yong-bing^{1,2}, WU Ping-an^{1,2}, SUN Xi-liang^{1,2}, CAO Zhan-yi^{1,2}

(1 Key Laboratory of Automobile Materials, Ministry of Education, Jilin University,

Changchun 130025, China; 2 Department of Materials Science and Engineering, Jilin University,

Changchun 130025, China; 3 Earthquake Bureau of Jilin Province, Changchun 130022, China)

摘要: 对复合铸造法制成的钢/ 锌层状复合材料在不同条件下的单向拉伸和低周疲劳实验进行了研究。结果表明: 锌的加入使钢/ 锌复合材料的塑性得到提高, 同时其强度与钢相比有所降低。在单向拉伸条件下, 拉伸速度对钢/ 锌复合材料试样的应力-应变曲线影响不大。在 0.5%, 1.0%, 1.5% 应变范围内, 所对应的拉压应力随着循环次数的增多而增大, 表明材料出现循环硬化行为, 并且循环应变的提高使材料的循环硬化行为逐渐明显, 进一步循环使拉压应力趋于稳定。

关键词: 层状复合材料; 单向拉伸; 应力-应变曲线; 循环硬化

中图分类号: TB331 文献标识码: A 文章编号: 1004-4381(2006)08-0033-03

Abstract: Steel/ zinc laminated composites were fabricated by casting technique. Uniaxial tension and low cycle fatigue tests under different conditions were investigated. The results showed that the UTS (Ultimate Tensile Strength) of composites under tension decreased because of the fracture of zinc. Tensile speed had nearly no influence on the stress-strain curve of composites. The stresses at maximum strains of 0.5%, 1.0% and 1.5% increased with increasing number of cycles, suggesting a cyclic hardening process. The phenomenon of cyclic hardening was more prominent with increasing cyclic strain. The stresses under tension and compression tended to stabilize with further cycling.

Key words: laminated composite; uniaxial tension; stress-strain curve; cyclic hardening

近年来, 金属基复合材料在材料科学领域倍受人们重视^[1,2], 尤其对 Al, Mg, Ti 及其合金为基体的复合材料已经进行了广泛的研究, 因其具有较好的力学性能、阻尼性能、耐高温性能、低膨胀系数, 被广泛用于航空、航天、电子、汽车等领域^[3]。然而, 对由双金属所构成的层状复合材料的研究较少, 大多数层状复合材料是以陶瓷材料为主。本工作则对低碳钢(16Mn)和工业纯锌所制成的双金属层状钢/ 锌复合材料进行单向拉伸和循环变形的初步研究, 改变实验条件得出相应的一些规律。

1 实验

所采用的双金属原材料为低碳钢(16Mn)和工业纯锌, 其化学成分如表 1 和表 2 所示。样品的制备采用复合铸造方法, 把 16Mn 钢板(100mm×25mm×3mm)焊接成大约间隔为 3mm 的层状结构。经过 5%

(体积分数)硫酸酸洗、清洗、烘干等预处理过程后, 将熔化炉的温度调至 450℃左右, 使锌熔化, 然后将熔化的锌通过复合铸造法浇入层状钢板预制件中, 空冷后得到 16Mn 钢/ 锌双金属钢/ 锌复合材料。用 DK7725E 线切割机把钢/ 锌复合材料切割成如图 1 所示的试样。单向拉伸和循环试验是在美国产 MTS810 电液伺服实验系统控制的试验机上进行(拉伸速度为 1mm/min, 循环时拉伸速度为 0.2mm/min), 实验环境为室温。

表 1 16Mn 钢的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of
16Mn steel(mass fraction/%)

Fe	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni
97.822	0.16	0.36	1.38	0.13	0.017	0.011	0.12

表 2 工业纯锌的化学成分(质量分数/ %)

Table 2 Chemical composition of pure zinc(mass fraction/ %)

Zn	Pb	Fe	Cd	Cu
99. 994	0. 003	0. 001	0. 001	0. 001

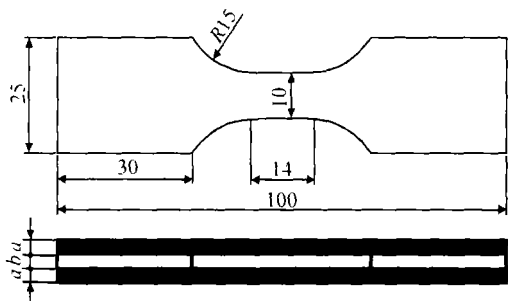


图 1 式样尺寸及截面示意图
(阴影部分为钢, 其余为锌, $a, b = 3\text{mm}$)

Fig. 1 The sketch map of dimension and section of sample
(black area is steel, white area is zinc, $a, b = 3\text{mm}$)

2 结果与讨论

2.1 单向拉伸实验

2.1.1 应力-应变曲线特征

拉伸曲线反映材料最基本的力学行为^[4], 而钢/ 锌复合材料的一些力学性能介于两种单一材料之间。图 2 为 16Mn 钢, 纯锌及钢/ 锌复合材料的单向拉伸应力-应变曲线。由图 2 可知, 钢/ 锌复合材料的屈服强度高 于 锌 而 低 于 钢, 存 在 高 屈 服 点, 并 且 随 后 屈 服 点 突 然 下 降, 即 上 下 屈 服 点 和 吕 德 斯 (Lüders) 变 形 带^[5]。由于 锌 的 加 入, 出 现 的 屈 服 平 台 相 对 于 低 碳 钢 来 讲 已 经 变 得 不 十 分 明 显 了。在 随 后 的 塑 性 变 形 过 程 中, 锌 断 裂 导 致 钢/ 锌 复 合 材 料 抗 拉 强 度 迅 速 下 降, 此 后 的 应 力 由 钢 单 独 承 载 直 至 断 裂。图 3 为 三 种 材 料 前 半 部 分 (见 图 2 中 方 框 部 分) 的 放 大 曲 线 图。大 致 将 拉 伸 曲 线 分 为 , , , 四 个 区 域。在 区 域 内 三 种 材 料 均 处 于 弹 性 阶 段。在 区 域 内 钢 和 钢/ 锌 复 合 材 料 仍 处 于 弹 性 阶 段, 但 锌 逐 渐 进 入 塑 性 变 形 阶 段, 变 化 不 十 分 明 显。而 在 区 域 内 只 有 钢 还 处 于 弹 性 阶 段, 钢/ 锌 复 合 材 料 和 锌 都 进 入 了 塑 性 区。从 区 域 开 始, 三 种 材 料 都 进 入 塑 性 区。

2.1.2 拉伸速度和锌含量对钢/ 锌复合材料应力-应变曲线的影响

图 4 为 钢/ 锌 复 合 材 料 的 拉 伸 曲 线 随 锌 体 积 分 数 的 变 化 情 况。由 图 4 可 知, 在 其 他 条 件 均 相 同 的 条 件 下, 锌 含 量 较 少 的 钢/ 锌 复 合 材 料 屈 服 强 度 高 于 锌 含 量 较 多 的 钢/ 锌 复 合 材 料, 其 曲 线 在 上 方。说 明 锌 的 加 入

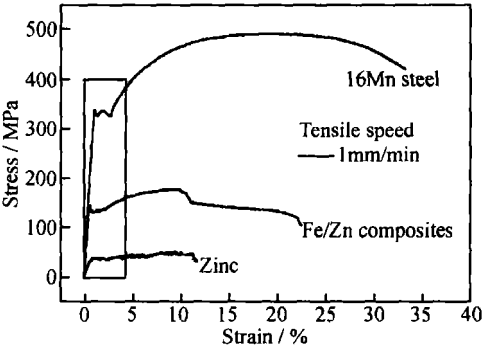


图 2 16Mn 钢, 锌和钢/ 锌复合材料的拉伸应力-应变曲线
Fig. 2 Stress-strain curves of 16Mn steel, zinc and Fe/ Zn composites under tension

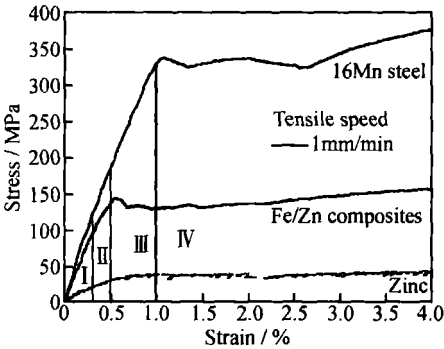


图 3 16Mn 钢, 锌和钢/ 锌的前半部分放大应力-应变曲线
Fig. 3 Former stress-strain curves of 16Mn steel, zinc and Fe/ Zn composites under tension

使 钢/ 锌 复 合 材 料 强 度 降 低, 但 是, 同 时 使 钢/ 锌 复 合 材 料 塑 性 有 所 提 高。

图 5 为 钢/ 锌 复 合 材 料 的 拉 伸 曲 线 随 拉 伸 速 度 的 变 化 情 况。在 其 他 条 件 均 相 同 的 情 况 下, 拉 伸 速 度 的 变 化 对 强 度、塑 性 的 影 响 不 太 明 显, 单 一 钢 材 料 情 况 也 类 似^[6]。

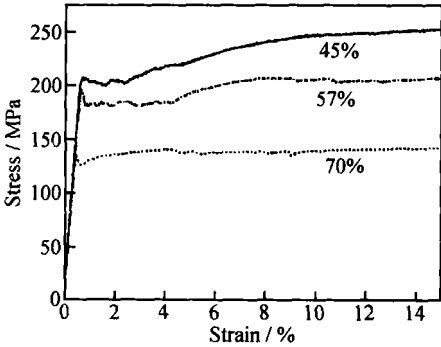


图 4 钢/ 锌复合材料的应力-应变曲线随锌体积分数的变化
Fig. 4 Stress-strain curves of Fe/ Zn composites with different volume fraction of zinc

2.2 钢/ 锌复合材料的循环变形

图 6 为 16Mn 钢 和 钢/ 锌 复 合 材 料 在 拉 伸 速 度 相 同 (0. 2mm/min), 应 变 范 围 (0. 5%, 1. 0%,

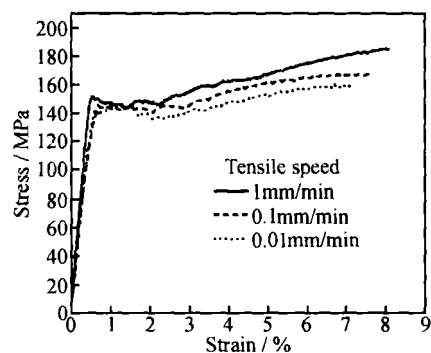


图 5 钢/ 锌复合材料的应力-应变曲线随拉伸速度的变化
Fig. 5 Stress-strain curves of Fe/Zn composites with different tensile speeds

1.5%) 不同的条件下循环应力-应变曲线变形产生的滞后环。对于每个应变都进行了 20 个循环。滞后环的面积代表材料所吸收的能量^[7,8]。由图 6b 可知, 在 0.5% 应变范围内材料还在 区内, 而在 1.0% 和 1.5% 应变范围内钢/ 锌复合材料都已经进入了 , 塑性变形区。图 6a, b 对比可知: (1) 在 0.5%, 1.0% 应变范围下, 钢/ 锌复合材料的滞后环面积远大于 16Mn 钢的滞后环面积。(2) 两种材料的滞后环相对于坐标原点为非对称图形, 同种应变范围的情况下, 压应力均都高于拉应力。

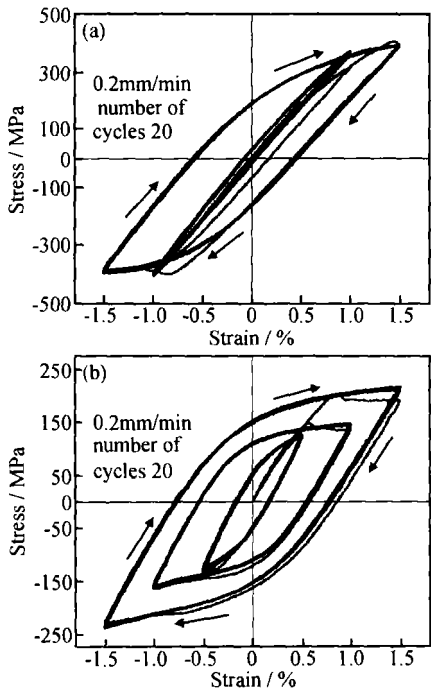


图 6 16Mn 钢 (a) 和钢/ 锌复合材料(b) 在 0.5%, 1%, 1.5% 应变条件下的滞后环
Fig. 6 Hysteresis loops of 16Mn steel (a) and 16Mn steel/zinc composites (b) under 0.5%, 1%, 1.5% strain

每个循环所对应的拉压应力峰值。图 7 进一步分析表明: 在循环过程中, -1.5% 应变范围对应的应力高于 +1.5% 应变范围对应的应力。并且两种应力对应最大拉压应力随循环次数的增加而增大, 此时发生循环硬化现象。循环硬化是当外加循环应力应变使材料进入塑性变形后, 由于反复产生塑性变形, 使金属的塑性流动特性改变, 材料抵抗变形的能力增加的一种现象。在循环应变范围为 0.5% 的钢/ 锌复合材料中, 有轻微的循环硬化出现, 进一步循环使应力趋于稳定, 由图 3 可知材料还在 区内, 应变范围为 1.0% 和 1.5% 的钢/ 锌复合材料都已经进入了 , 塑性变形区, 并且随着应变量的增加循环硬化现象逐渐显著, 相应可从图 6 中看出滞后环的面积逐渐增大, 因此吸收的能量也逐渐增多。由于在 , 阶段钢/ 锌复合材料中的钢层仍处于弹性阶段, 所以耗能主要由锌层来承担。

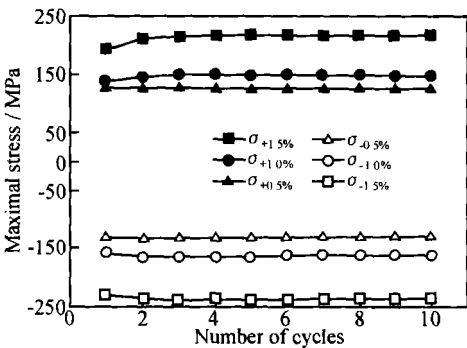


图 7 在 0.5%, 1.0%, 1.5% 应变范围下 每个循环所对应的拉压应力峰值
Fig. 7 The peak stress values of each cycle under 0.5%, 1.0% and 1.5% strain range

3 结论

- (1) 钢/ 锌层状复合材料的力学性能介于 16Mn 钢和纯锌两种单相材料之间。较锌有更好的刚度, 较钢有更好的塑性性能。在拉伸过程中, 锌较早进入塑性变形阶段, 而通过塑性变形来耗散能量; 钢最后进入塑性变形阶段, 保证了拉伸过程中钢/ 锌复合材料的刚度和强度。
- (2) 锌的体积分数的增加导致钢/ 锌复合材料强度的降低, 但提高了其塑性; 拉伸时拉伸速度对钢/ 锌复合材料的强度和塑性影响不太明显。
- (3) 循环拉压过程中出现了循环硬化现象, 并随着应变范围的增大, 循环硬化现象愈加明显, 同时钢/ 锌复合材料应力-应变曲线的滞后环面积也增大, 即耗散的能量也增多。

(下转第 48 页)

图 7 为在 0.5%, 1.0%, 1.5% 应变范围下

增长,接着又有新的吡咯单体或聚合物吸附到基底表面,但由于孔隙填充性差且只通过物理吸附相结合,形成的导电 PPy 薄膜附着性差且不连续。

PPy 薄膜在硅烷自组装膜上沉积过程为:硅烷自组装膜分子的末端是一种疏水性很强的基团,将 Al₂O₃ 膜由亲水性变为亲油性,同时引入了阴离子基团,进行聚合反应时,除存在范德华力物理吸附外,吡咯还与硅烷末端基团产生化学键合吸附在 Al₂O₃ 膜上,同时被氧化形成的吡咯阳离子自由基与自组装膜上的阴离子相互作用形成离子对而吸附在基底上,形成生长中心,继续进行聚合物的链增长,同时新的吡咯又通过化学键力或范德华力继续吸附到 Al₂O₃ 膜表面,最终制得了与多孔性 Al₂O₃ 膜牢固结合、连续致密的导电 PPy 薄膜。

3 结论

(1) 通过多孔性 Al₂O₃ 膜表面涂覆硅烷偶联剂,在其表面形成一层排列紧密的硅烷自组装薄膜,有效地改善了制备在多孔性基底上 PPy 薄膜的表面形貌和附着状态,制得了附着性好、均匀、连续、致密的 PPy 薄膜。

(2) 硅烷偶联剂的使用提高了 PPy 薄膜的电导率,相同比表面积基底上制备的 PPy 薄膜的电导率由 5 4S/cm 提高到了 16 6S/cm。

参考文献

[1] SKOTHEIM T A. Handbook of conducting polymers [M]. New York: Dekker, 1986. 489- 499.

(上接第 35 页)

参考文献

[1] 张小农,吴人洁,张荻,等.高阻尼金属基复合材料的发展途径[J].材料工程,1997,(7):34- 37.
[2] 高慧婷,包晓军,曹占义,等.金属基抗震复合材料的 research 现状与展望[J].中国冶金,2003,(11):34- 36.
[3] 刘维镐,朱劲松.高阻尼铝基复合材料的研究[J].功能材料,2001,(4):440- 442.
[4] WOLFENDEN A, WOLLA J M. Dynamic mechanical properties [A]. EVERETT R K, ARESENAULT R J. Metal Matrix Composite: Mechanisms and Properties [C]. San Diego: Academic Press Inc, 1991. 92- 101.
[5] 黄明志,石德珂,金志浩.金属力学性能[M].西安:西安交通大学出版社,1986.

[2] SCHMEI ER D, BARTL A, DU NSCH L, et al. Electronic and magnetic properties of polypyrrole films depending on their one-dimensional and two-dimensional microstructures [J]. Synthetic Metals, 1998, 93(1): 43- 58.
[3] WANG Lin-xia, LI Xin-gui, YANG Yu-liang. Preparation, properties and applications of polypyrroles[J]. Reactive and Functional Polymers, 2001,47 (2): 125- 139.
[4] DERONZIER A, MOUTET J-C. Polypyrrole films containing metal complexes: syntheses and applications [J]. Coordination Chemistry Reviews, 1996, 147: 339- 371.
[5] KIM H S, CHO J H, SHIN M C. Electrochemical adsorption of glucose oxidase onto polypyrrole film for the construction of a glucose biosensor[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1996, 30 (2): 137- 141.
[6] KIM M S, KIM H K, BYUN S W, et al. PET fabric/polypyrrole composite with high electrical conductivity for EMI shielding [J]. Synthetic Metals, 2002, 126(2- 3): 233- 239.
[7] SOUZA DE J E G, SANTOS DOS F L, BARROS-NETO B, et al. Polypyrrole thin films gas sensors [J]. Synthetic Metals, 2001, 119(1- 3): 383- 384.
[8] 严继民,张启元.吸附与凝聚固体的表面与孔[M].北京:科学出版社,1979.
[9] ALAN R J, GERRITT P B. The chemistry of pyrroles [M]. London: Academic Press, 1977.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60071027);天津市自然科学基金资助项目(023603811)
收稿日期:2005-08-09;修订日期:2006-01-05
作者简介:沈腊珍(1978-),女,博士研究生,研究方向为功能薄膜材料与器件,联系地址:天津大学电子信息工程学院 27 号信箱(300072)。

[6] GOODWIN, FRANK E. Progress on developing an improved creep resistant zinc alloy[J]. Die Casting Engineer, 2004, 44(4): 32- 35.
[7] LUKAS P, KUZ L. Cyclic plasticity and substructure of metals [J]. Materials Science and Engineering, 2002, 322: 217- 227.
[8] 孙庆鸿,张启军,姚慧珠.振动与噪声的阻尼控制[M].北京:机械工业出版社,1993.

基金项目:长春市科技攻关计划资助项目(03- 045G18)
收稿日期:2005-05-09;修订日期:2006-04-08
作者简介:包晓军(1961-),男,博士,高级工程师,研究方向为金属基抗震复合材料,联系地址:吉林省地震局(130022)。