

铝基可磨耗封严涂层的动态压缩力学行为

金辰日¹, 郭丹¹, 杨素媛^{1,2}, 何舒阳¹

(1. 北京理工大学 材料学院, 北京 100081)

(2. 北京理工大学 冲击环境材料技术重点实验室, 北京 100081)

摘要: 以大气等离子喷涂制备的铝硅-氮化硼和铝硅-聚苯酯可磨耗封严涂层为材料, 利用 XRD、OM、SEM、准静态压缩、动态压缩等手段, 研究了 2 种铝基封严涂层的微观组织及其在不同应变率下的压缩性能和损伤特征。结果表明, 铝硅-氮化硼和铝硅-聚苯酯涂层主要由 α -Al 固溶体相、共晶 Si 相、可磨耗第二相(氮化硼/聚苯酯)以及孔隙组成; 准静态及动态加载下 2 种涂层的真应力-真应变曲线均未出现明显的屈服平台, 铝硅-氮化硼涂层的动态抗压强度高于铝硅-聚苯酯涂层; 动态加载下涂层内部颗粒发生剧烈变形, 主要损伤方式为颗粒间界面的脱粘开裂以及内部缺陷处裂纹的萌生及扩展。

关键词: 封严涂层; 动态压缩性能; 微观组织; 损伤特征

中图分类号: TG174.442⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)11-3828-07

提高效率、降低油耗是当今航空发动机设计与制造的重要目标, 减小叶片间隙可减少单位耗油量, 从而提高发动机效率^[1-3]。由于发动机制造、运行过程中存在轴热变形、组件热膨胀、离心力引起叶片伸长、飞机加减速及着陆时零部件振动等因素, 叶尖和机匣之间需预留 2~3 mm 的间隙; 然而, 间隙过大会导致大量气体泄漏, 降低发动机效率, 破坏发动机气动特性, 不利于其稳定运行^[4]。因此, 气路封严可以有效提高发动机的性能和效率。应用于航空发动机的气路封严方式主要有梳齿密封、蜂窝密封、刷式密封、柔顺片密封、可磨耗封严涂层等^[5,6]。与其他封严方式相比, 可磨耗封严涂层具有选材广泛、制备工艺简单、性能可调整、密封效果好、维护返修方便等优势^[7]。

封严涂层的实际服役环境十分恶劣, 既要抵抗外部颗粒和气体的冲蚀, 又要做到可被叶片刮削, 同时还应具有一定的抗热震能力、热稳定性以及较好的表面质量和整体强度等^[8,9]。目前, 研究人员主要针对封严涂层/基体系统材料的硬度、结合强度等涂层性能以及可磨耗性、抗冲蚀性、热稳定性等使用性能进行研究^[10-17]。封严涂层在实际服役时, 外部颗粒的撞击、叶片的异常伸长以及零部件的振动等均会对其产生冲击作用, 然而对于封严涂层在冲击载荷作用下的力学行为, 尤其是对于无基体和粘结层影响的封严涂层单体材料的动态力学性能及损伤行为, 相应的研究十分缺乏。分离式 Hopkinson 压杆(split Hopkinson pressure

bar, SHPB) 技术是研究材料在应变率为 $10^2 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ 范围内的动态力学性能最常用的实验方法之一^[18,19], 但目前未见利用 SHPB 技术对封严涂层材料的动态力学行为进行研究的公开报道。

本工作以主要应用于压气机的铝硅-氮化硼和铝硅-聚苯酯这 2 种典型的铝基可磨耗封严涂层作为研究对象, 对其微观组织以及不同应变率下的压缩性能和损伤特征进行了研究, 为完善可磨耗封严涂层的动态力学性能评价体系提供理论支持。

1 实验

大气等离子喷涂制备的铝硅-氮化硼 (AlSi-hBN) 和铝硅-聚苯酯 (AlSi-PHB) 可磨耗封严涂层由北京矿冶科技集团有限公司提供, 所用原料粉末的成分和粒径如表 1 所示, 喷涂工艺参数如表 2 所示。封严涂层的宏观形貌如图 1 所示, 涂层的整体厚度为 5~6 mm。

X 射线衍射(XRD)物相结构分析通过 D8 Advance SB001 型 X 射线衍射仪进行, X 射线采用 Cu 靶 $K\alpha$ 射线源, 波长为 0.154 05 nm, 扫描角度为 $10^\circ \sim 90^\circ$,

表 1 原料粉末的成分和粒径

Table 1 Composition and particle size of raw powders

Material	Composition, $\omega/\%$	Particle size/ μm
AlSi-hBN	80Al-12Si+20hBN	16~250
AlSi-PHB	60Al-12Si+40PHB	10~124

收稿日期: 2019-11-15

作者简介: 金辰日, 男, 1994 年生, 硕士, 北京理工大学材料学院, 北京 100081, E-mail: jincr@foxmail.com

表 2 等离子喷涂工艺参数

Table 2 Process parameters of the plasma spraying

Material	Ar flow/ L·min ⁻¹	H ₂ flow/ L·min ⁻¹	Powder feeding rate/g·min ⁻¹	P/ kW	S/ mm
AlSi-hBN	70	5	39.5	28	120
AlSi-PHB	60	7	22	28	90

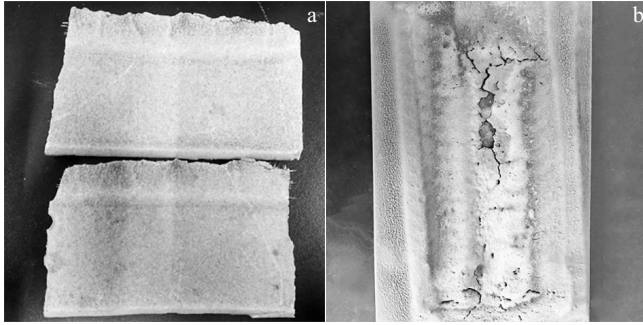


图 1 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的宏观形貌

Fig.1 Macroscopic morphologies of AlSi-hBN (a) and AlSi-PHB (b) seal coatings

扫描速率为 6°/min。封严涂层的金相组织通过 Axio Observer A1m 型光学显微镜 (OM) 进行观察。准静态压缩实验通过 INSTRON5985 型电子万能材料试验机进行, 试样为直径 5 mm、长 5 mm 的圆柱形试样。动态压缩实验通过 $\Phi 37$ mm 铝质分离式 Hopkinson 压杆装置 (SHPB) 进行, 入射杆和透射杆的长度均为 2000 mm, 子弹长度为 400 mm。使用电阻式应变片测量入射杆中的入射波形和反射波形, 并用半导体应变片 (灵敏度系数约为电阻式应变片的 50 倍) 测量透射杆中的透射波形。在入射杆前端中心贴 $\Phi 10$ mm \times 0.6 mm 的紫铜片对波形进行整形, 保证试样满足动态压缩试验中恒应变率变形和应力均匀性的要求, 同时减少粗杆引起的波形弥散。动态压缩试样尺寸为 12 mm \times 12 mm \times 5 mm。压缩后回收样品的断口形貌通过 HITACHI S-4800 扫描电子显微镜 (SEM) 进行观察。

2 结果与分析

2.1 封严涂层的微观组织

图 2 为 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的 XRD 图谱。由图可见, AlSi-hBN 涂层主要由 α -Al 固溶体 (Si 固溶到 Al 中的固溶体) 相、六方氮化硼 (hBN) 相以及少量的共晶 Si 相组成, AlSi-PHB 涂层主要由 α -Al 固溶体相、共晶 Si 相以及聚苯酯 (PHB) 相组成。

图 3 为 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的金相组织。如图 3a 所示, AlSi-hBN 涂层主要由衬度较亮的 Al-12Si 相、衬度较暗的 hBN 相以及主要位于 hBN 相

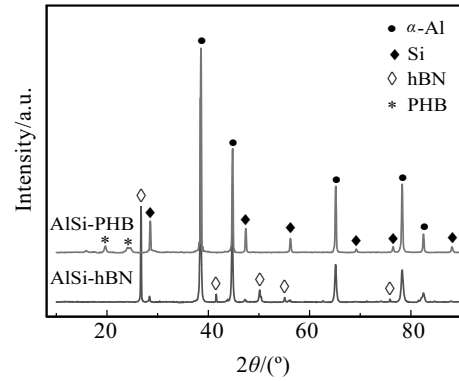


图 2 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of AlSi-hBN and AlSi-PHB seal coatings

附近的孔隙组成, 通过金相法测得孔隙率约为 15%。Al-12Si 和 hBN 两相之间的结合界面并不紧密, 表现为机械结合。如图 3b 所示, AlSi-PHB 涂层主要由衬度较暗的 Al-12Si 相、衬度较亮的聚苯酯相以及孔隙组成, 孔隙率约为 22%。由于聚苯酯在等离子喷涂过程中会发生烧蚀, 因此其内部存在较多孔洞。与 AlSi-hBN 涂层相似, AlSi-PHB 涂层中 Al-12Si 和聚苯酯之间为机械结合。

2.2 不同应变率下封严涂层的压缩性能

准静态压缩 (应变率为 $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) 条件下 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的真应力-真应变曲线如图 4 所示。由图可见, AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 涂层的准静态

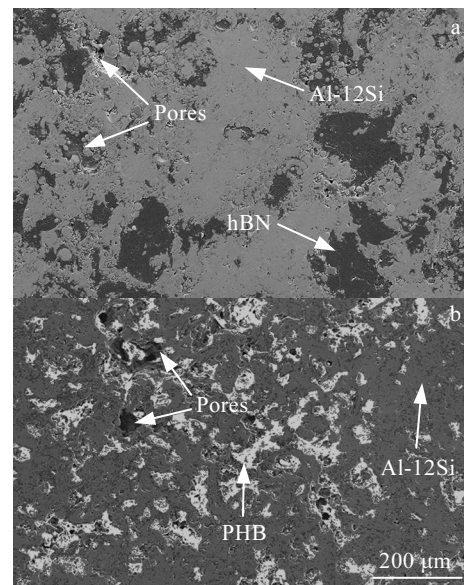


图 3 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的金相照片

Fig.3 Metallographs of AlSi-hBN (a) and AlSi-PHB (b) seal coatings

压缩真应力-真应变曲线上的纯弹性响应段很短, 并且没有明显的屈服点, 其压缩变形过程是一个渐进塑性变形的过程。这种真应力-真应变曲线中的非线性变形现象, 主要是涂层材料在载荷作用下其内部孔隙、微裂纹等缺陷扩展进而形成裂纹造成的。表 3 列出了 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的弹性模量(E_c)、抗压强度(R_{mc})和断裂应变(ϵ_m), 其中弹性模量通过对真应力-真应变曲线的初始近弹性段使用切线模量法估算得到。AlSi-hBN 涂层的准静态抗压强度高于 AlSi-PHB 涂层, 弹性模量略低于 AlSi-PHB 涂层, 2 种涂层的断裂应变均为 0.13。

图 5 为动态压缩条件下 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的典型真应力-真应变曲线。由图可见, 2 种涂层的动态压缩真应力-真应变曲线与准静态相似, 主要分为以下 3 个阶段:

(1) 线弹性阶段: 试样初始受载时压缩应力较低, 应力、应变近似成比例增加, 这一阶段涂层的变形主要以 Al-12Si 相的弹性变形为主。

(2) 非线性弹塑性阶段: 随着应变继续增加, 涂层开始发生塑性变形, 压缩应力随应变增加而升高, 存在应变硬化现象, 表明此时仍然以 Al-12Si 相的变形为主。此阶段真应力-真应变曲线的斜率逐渐减小,

即应力随应变增加而升高的速率减慢。

(3) 应力卸载阶段: 压缩应力升高至最大值后逐渐降低, 此时发生应变软化。AlSi-hBN 涂层开始发生应变软化时的应变值 (0.091~0.118) 低于 AlSi-PHB 涂层 (0.124~0.248), 且 AlSi-hBN 涂层的应力下降速率更快。

图 6a 为 10^{-4} ~ 10^3 s^{-1} 应变率范围内 AlSi-hBN 封严涂层的抗压强度-应变率关系。由图可见, 从准静态到动态的宽应变率范围内, AlSi-hBN 涂层的抗压强度表现出明显的正应变率效应, 当应变率为 $1 \times 10^{-4} s^{-1}$ 时, AlSi-hBN 涂层的抗压强度为 42.5 MPa, 应变率增加至 $2120 s^{-1}$ 时, 抗压强度为 61.5 MPa。图 6b 为 10^{-4} ~ 10^3 s^{-1} 应变率范围内 AlSi-PHB 封严涂层的抗压强度-应变率关系。由图可见, 从准静态到动态, AlSi-PHB 涂层的抗压强度随着应变率的增加表现出先降低后升高的趋势。动态加载条件下, AlSi-PHB 涂层的抗压强度在 700 ~ $3150 s^{-1}$ 应变率范围内表现出了正的应变率效应。另外, 动态 ($10^3 s^{-1}$) 压缩加载条件下 AlSi-hBN 涂层的抗压强度值范围为 48.9 ~ 63.8 MPa, 相比之下 AlSi-PHB 涂层的动态抗压强度较低, 其强度范围值为 24.8 ~ 31.4 MPa。

2.3 损伤特征

准静态压缩后 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层回收试样的宏观形貌如图 7 所示。压缩试样的中间区域

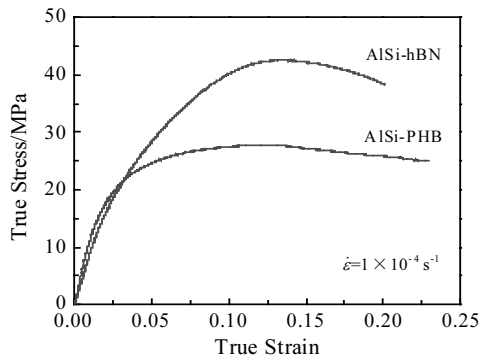


图 4 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的准静态压缩真应力-真应变曲线

Fig.4 Compressive true stress-true strain curves of AlSi-hBN and AlSi-PHB seal coatings at strain rate of $1 \times 10^{-4} s^{-1}$

表 3 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的准静态压缩性能

Table 3 Quasi-static compressive properties of AlSi-hBN and AlSi-PHB seal coatings

Material	E_c /GPa	R_{mc} /MPa	ϵ_m
AlSi-hBN	0.82	42.5	0.13
AlSi-PHB	1.06	27.8	0.13

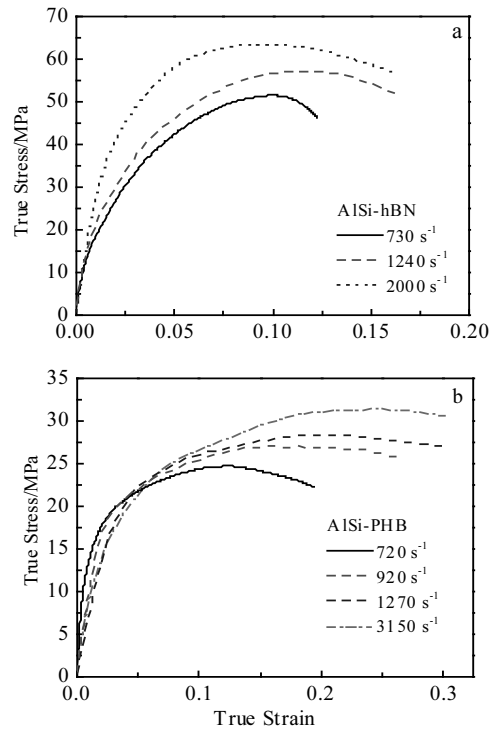


图 5 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层动态压缩真应力-真应变曲线

Fig.5 Dynamic compressive true stress-true strain curves of AlSi-hBN (a) and AlSi-PHB (b) seal coatings

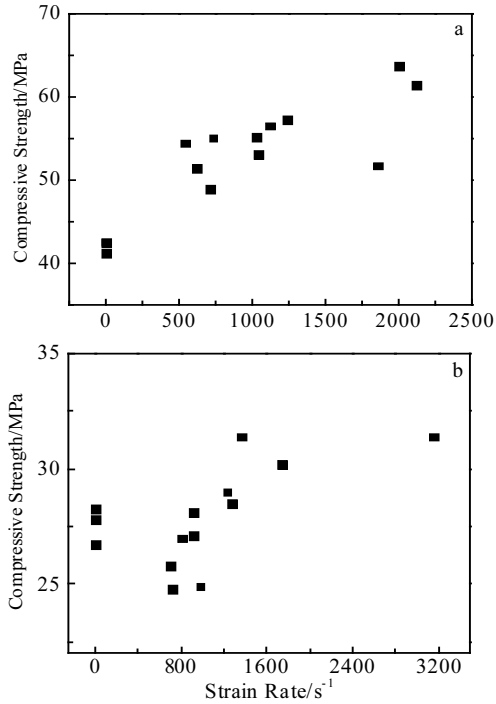


图 6 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的抗压强度-应变率关系
Fig.6 Relationship between compressive strength and strain rate of AlSi-hBN (a) and AlSi-PHB (b) seal coating

较为完整，四周出现层裂，并有少量粉末脱落。2 种封严涂层材料中的 Al-12Si 相和可磨耗第二相之间的界面结合为机械结合，涂层受到载荷作用时易从颗粒间界面处开裂。另外，涂层中存在的孔隙在受载时容易产生应力集中，导致微裂纹的萌生和扩展，最终试样发生破坏。

图 8 为不同应变率下动态压缩后 AlSi-hBN 封严涂层回收试样的宏观形貌。由图可见，随着应变率从 730 s⁻¹ 增加到 2000 s⁻¹，AlSi-hBN 试样的破坏程度逐渐增大：应变率为 730 s⁻¹ 时试样出现裂纹，整体形状仍保持完整；1240 和 1850 s⁻¹ 时回收试样呈粉碎状，1850 s⁻¹ 时试样的粉碎程度更大；2000 s⁻¹ 时回收试样呈压扁的饼状。图 9 为不同应变率下动态压缩后 AlSi-PHB 封严涂层回收试样的宏观形貌。由图可见，AlSi-PHB 试样的破坏程度同样随着应变率的增加而增大：720 s⁻¹ 时试样较为完整，表面存在裂纹；920 s⁻¹ 时回收试样呈现出边缘块状崩落的特征；1270 s⁻¹ 时试样呈粉碎状；3150 s⁻¹ 时试样呈压扁的饼状。动态压缩过程中，试样中部材料受四周材料约束，因此试样受载时边缘部分首先崩落；另外，由于 SHPB 试验中试样存在径向惯性效应，试样半径越大，该处质点径向速度越大，因此试样中形成由中心到边缘传播的应力波，这一应力波在试样边缘发生反射，从而引起边缘崩落，当应

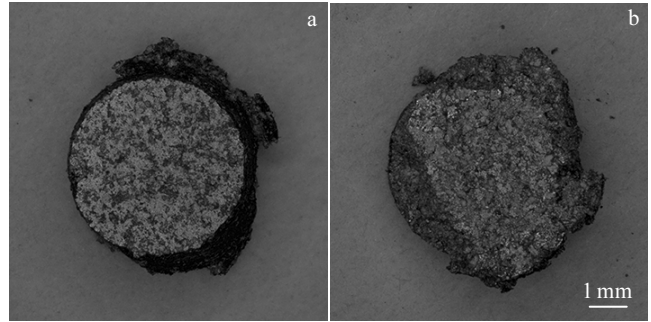


图 7 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层准静态压缩回收试样
Fig.7 Recycled samples of AlSi-hBN (a) and AlSi-PHB (b) seal coatings after compression tests at strain rate of 1×10⁻⁴ s⁻¹

力波再次回到边缘时，新形成的边缘再次崩落^[20]。此外，动态压缩加载时的能量不仅会导致主裂纹扩展，还会不断形成新裂纹，因此试样破坏时存在多个断裂面；当应变率足够大时，多重裂纹的发展使封严涂层试样发生完全破坏，表现出粉碎状乃至碎块被压实后呈饼状的特征。

结合图 5、图 8 和图 9 可知，AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的动态压缩性能与其损伤特征密切相关。由于可磨耗第二相（hBN 和聚苯酯）的加入，封严涂层内部孔隙增多，较弱界面增加，试样发生大变形时这些孔隙和界面成为试样破坏的裂纹源。涂层试样在动态载荷作用下发生较大塑性变形，而动态加载过程为绝热过程，塑性功在极短的变形时间内难以耗散，而是转化为热量，热软化效应使涂层颗粒之间的结合强度下降，因此塑性变形时应力升高速率逐渐变慢。当应变率较低（AlSi-hBN 为 730 s⁻¹，AlSi-PHB 为 720 s⁻¹）时，试样未发生完全破坏，仅在表面和内部产生裂纹。因此，应力达到最大值后随应变继续增加而迅速降低。应变率较高（ $\dot{\epsilon}_{\text{AlSi-hBN}} \geq 1240 \text{ s}^{-1}$ ， $\dot{\epsilon}_{\text{AlSi-PHB}} \geq 920 \text{ s}^{-1}$ ）时，由于孔隙、较弱界面以及热软化的作用，涂层在压缩应力达到最大值后破坏程度更大，实际受载面积变小，同时由于惯性阻力的存在，变形较加载压力滞后，因此压缩应力达到最大值后降低速率变慢，即与应变率较低时相比应力卸载的过程更长。

结合图 6、图 8 和图 9 可知，AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的抗压强度在 10⁻⁴~10³ s⁻¹ 应变率范围内表现出不同应变率效应与 2 种涂层材料损伤方式存在一定差异有关。与 AlSi-hBN 涂层不同，AlSi-PHB 涂层在较低应变率（700~980 s⁻¹）时，试样未发生完全破坏，仅有在低应力水平下被激活的裂纹发生扩展，进而产生裂纹或在边缘发生块状崩落，因此其抗压强度与准

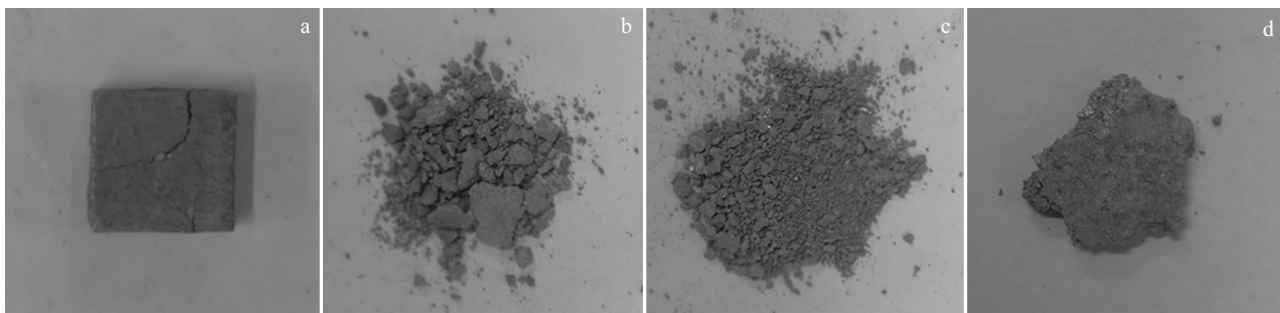


图 8 AlSi-hBN 封严涂层动态压缩回收试样

Fig.8 Recycled samples of AlSi-hBN seal coating after compression tests at strain rates of 730 s^{-1} (a), 1240 s^{-1} (b), 1850 s^{-1} (c), and 2000 s^{-1} (d)

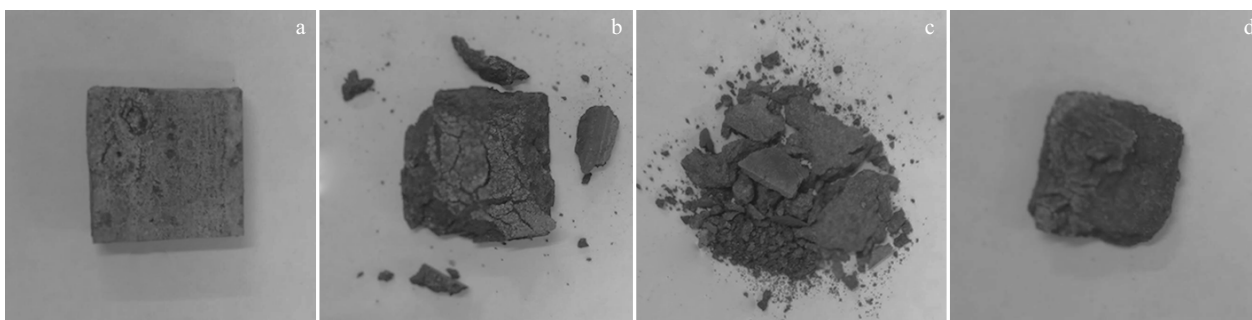


图 9 AlSi-PHB 封严涂层动态压缩回收试样

Fig.9 Recycled samples of AlSi-PHB seal coating after compression tests at strain rates of 720 s^{-1} (a), 920 s^{-1} (b), 1270 s^{-1} (c), and 3150 s^{-1} (d)

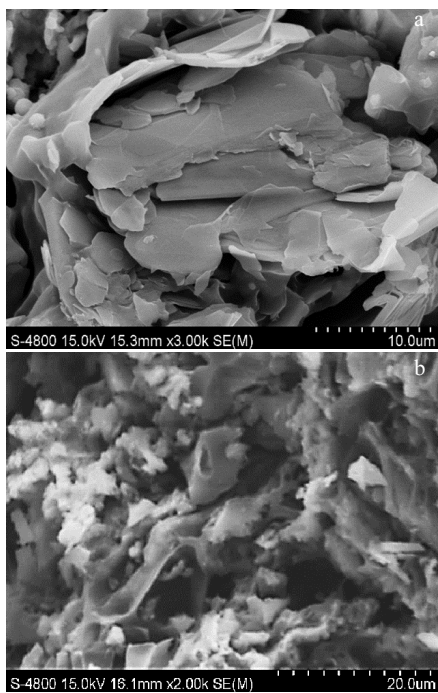


图 10 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 封严涂层的动态压缩断口形貌

Fig.10 Compression fracture morphologies of AlSi-hBN at 1030 s^{-1} (a) and AlSi-PHB at 1360 s^{-1} (b)

静态相比稍有降低。而在更高的应变率（ $1230\sim 3150\text{ s}^{-1}$ ）下，试样完全破碎，表明最终破坏前其内部产生了更多的裂纹参与扩展，所需应力水平更高。因此，随着应变率的继续增加，AlSi-PHB 涂层的抗压强度有所升高。

图 10 为 AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 2 种封严涂层的动态（ $\dot{\epsilon}_{\text{AlSi-hBN}}$ 为 1030 s^{-1} ， $\dot{\epsilon}_{\text{AlSi-PHB}}$ 为 1360 s^{-1} ）压缩试样断口形貌。等离子喷涂制备的涂层表现为扁平粉末颗粒的层状堆叠结构特征，从 2 种封严涂层的断口形貌可以看出，涂层断口处主要存在粉末间界面的脱粘以及 AlSi 未熔颗粒。封严涂层的层状堆叠结构中存在的缺陷，Al-12Si 相和可磨损第二相（hBN 和聚苯酯）之间结合并不紧密的界面，未熔颗粒界面以及粉末间界面均会对裂纹的萌生和扩展产生影响。动态载荷作用下，缺陷及弱界面结合处容易产生应力集中，进而成为裂纹源，裂纹沿着界面进行扩展从而发生界面脱粘，最终导致材料破坏。

3 结 论

1) 大气等离子喷涂制备的 AlSi-hBN 封严涂层主要由 $\alpha\text{-Al}$ 固溶体、共晶 Si 相、可磨损第二相 hBN 以

及孔隙组成, AlSi-PHB 封严涂层主要由 α -Al 固溶体、共晶 Si 相、可磨耗第二相聚苯酯以及孔隙组成。

2) 准静态 (10^{-4} s^{-1}) 及动态 (10^3 s^{-1}) 压缩条件下, AlSi-hBN 和 AlSi-PHB 涂层的真应力-真应变曲线上均未出现明显的屈服平台。AlSi-hBN 涂层的动态抗压强度 (48.9~63.8 MPa) 高于 AlSi-PHB 涂层 (24.8~31.4 MPa), 动态加载下 2 种涂层的抗压强度均表现出正应变率效应。

3) 动态载荷作用下封严涂层内部颗粒发生剧烈变形, 涂层的主要损伤方式为颗粒间界面的脱粘开裂以及内部缺陷处裂纹的萌生及扩展。

参考文献 References

- [1] Liu Zhenbo(刘振波). *Seal Coating High Temperature and High Speed Wear Test Technology Research*(封严涂层高温高速磨耗试验技术研究)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [2] Tian Ye(田 晔), Zhang Shuting(张淑婷), Ma Jianghong(马江虹) *et al. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*(有色金属, 冶炼部分)[J], 2006, (Z1): 96
- [3] Lattime S B, Steinetz B M. *Journal of Propulsion and Power*[J], 2004, 20(2): 302
- [4] Zheng Jihong(郑济宏). *Seminar on Application Technology of Thermal Spraying in Industry, Application of Thermal Sprayed Seal Coatings for Aeroengine*(热喷涂在工业中应用技术交流研讨会——航空发动机热喷涂封严涂层应用)[C]. Xi'an: Shaanxi Provincial Institute of Mechanical Engineering, 2006
- [5] Liu Suwei(刘凤伟), Li Shu(李 曙), Liu Yang(刘 阳). *China Surface Engineering*(中国表面工程)[J], 2009, 22(1): 12
- [6] Öksüz M, Yıldırım H. *Journal of Applied Polymer Science*[J], 2004, 93(5): 2437
- [7] Chen Lishun(陈礼顺), Wang Yanling(王彦岭), Lu Jianhong(卢建红) *et al. Aeronautical Manufacturing Technology*(航空制造技术)[J], 2008(8): 82
- [8] Gao Junguo(高俊国), Lu Feng(陆 峰), Guo Mengqiu(郭孟秋) *et al. Thermal Spray Technology*(热喷涂技术)[J], 2012, 4(2): 6
- [9] Wu Xiuying(吴秀英), Han Zhihai(韩志海), Zhao Yuliang(赵玉良) *et al. Heavy Machinery*(重型机械)[J], 2012(5): 45
- [10] Borel M O, Nicoll A R, Schlöpfer H W *et al. Surface and Coatings Technology*[J], 1989, 39-40: 117
- [11] Liu J M, Yu Y G, Liu T *et al. Proceedings of the International Thermal Spray Conference, Effect of Thermal Aging on Properties and Microstructure of AlSi-hBN Coating*[C]. Ohio: ASM International, 2017
- [12] Liu T, Yu Y G, Liu J M *et al. Proceedings of the International Thermal Spray Conference, Influence of Spray Process Parameters on Microstructure and Properties of AlSi-Hexagonal Boron Nitride Abradable Seal Coating*[C]. Ohio: ASM International, 2018
- [13] Delebarre C, Wagner V, Paris J Y *et al. Wear*[J], 2014, 316(1-2): 109
- [14] Lu Mingzhu(陆明珠), Liu Junhai(刘军海), Su Qisheng(苏启生). *Chinese Journal of Materials Research*(材料研究学报)[J], 1997, 11(4): 407
- [15] Yang Xiaojian(杨晓剑), Liu Tong(刘 通), Liu Jianming(刘建明) *et al. Thermal Spray Technology*(热喷涂技术)[J], 2016, 8(4): 7
- [16] Chen Yajun(陈亚军), Wang Zhiping(王志平), Ding Kunying(丁坤英). *Materials Protection*(材料保护)[J], 2010, 43(3): 7
- [17] Chen Yajun(陈亚军), Ding Kunying(丁坤英), Wang Zhiping(王志平). *Welding Technology*(焊接技术)[J], 2009, 38(12): 7
- [18] Kolsky H. *Proceedings of the Physical Society Section B*[J], 1949, 62(11): 676
- [19] Wang Lili(王礼立), Hu Shisheng(胡时胜), Yang Liming(杨黎明) *et al. Kinetics of Materials*(材料动力学)[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2017: 179
- [20] Li Yuanzhang(李元章). *Dynamic Compressive Testing and Mechanical Behavior of Limestone and Fiber Reinforced Concrete*(灰岩及纤维混凝土的动态压缩力学性能实验研究)[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006

Dynamic Compressive Behavior of Aluminum-Based Abradable Seal Coatings

Jin Chenri¹, Guo Dan¹, Yang Suyuan^{1,2}, He Shuyang¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

(2. National Key Laboratory of Science and Technology on Materials under Shock and Impact,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Two kinds of aluminum-based abradable seal coatings (AlSi-hBN and AlSi-PHB) were prepared by atmospheric plasma spraying. XRD, OM, SEM, quasi-static and dynamic compression tests were used to research the microstructure, compressive properties under different strain rates and relevant damage characteristics of the seal coatings. The results indicate that AlSi-hBN and AlSi-PHB seal coatings are mainly composed of α -Al solid solution phase, eutectic Si phase, abradable second phase (hBN/PHB) and pores. No obvious yield platform is observed on compressive true stress-true strain curves of the two coatings under both quasi-static and dynamic loading conditions. The dynamic compressive strength of AlSi-hBN coating is higher than that of AlSi-PHB coating. Particles inside the coatings are severely deformed under dynamic loading. The main damage forms are debonding and cracking at the interparticle interface as well as initiation and propagation of cracks at the internal defects.

Key words: seal coating; dynamic compressive property; microstructure; damage characteristics

Corresponding author: Yang Suyuan, Master, Professor, School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, P. R. China, Tel: 0086-10-68912712, E-mail: yangsuyuan@bit.edu.cn