

三向碳/碳材料转捩压力的测量

张 骞 陆兴煜 程淑芬

(北京空气动力研究所,北京 100074)

文 摘 为评估三向碳/碳材料的烧蚀性能,在北京空气动力研究所研制的 FD—04F 电弧加热器上对三向碳/碳材料进行了滑行试验,测出了三向碳/碳材料的转捩压力。试验结果表明:滑行试验在测量转捩压力方面是有效的,并给出了三向碳/碳模型的转捩压力数据和最终外形形状。

关键词 烧蚀性能,滑行试验,转捩压力

Measurement of Transition Pressure for 3D C/C Material

Zhang Qian Lu Xingyu Cheng Shufen

(Beijing Institute of Aerodynamics, Beijing 100074)

Abstract In order to evaluate the 3D C/C material ablating performance, ramp tests are performed with FD-4F arc-heater in Beijing Institute of Aerodynamics, and transition pressure of the 3D C/C material is determined. The test results show that ramp test is effective for measuring the transition pressure. Transition pressure and final shape of 3D C/C material are given in this paper.

Key words Ablating performance, Ramp test, Transition pressure

1 引言

先进的再入弹头,要求头部可以经受住严重的气动加热,又能保持外形的对称性,以提高弹头的落点精度。在弹头日益小型化的今天,端头所处的热环境更加恶劣,这对耐热材料的性能提出了更高的要求。转捩压力是指端头表面边界层发生转捩时的驻点压力^[1]。在再入过程中转捩压力高的材料可以将层流外形保持至更低的高度,并且由于紊流加热时间的减少,总后退量也相应减少,因此它可作为材料抗紊流破坏能力的一种量度。边界层转捩对材料的烧蚀有重要影响^[2],在对材料烧蚀性能进行评估时,转捩压力是重要的性能指标。此外,最终外形的形状直接与转捩压力有关,因此通过转捩压力大小来评估材料的烧蚀性能有重要意义^[3]。

本文通过滑行试验对三向碳/碳材料的转捩压

力进行了测量,并对试验结果作出了初步的分析。

2 试验

2.1 设备

试验是在北京空气动力研究所研制的 FD—04F 电弧加热器上进行的。FD—04F 电弧加热器是一座管状电弧加热器,其工作原理是利用电弧放电的方法对空气加热,高压的空气流经喷管后得到高温高速的试验气流。试验时的弧室压力为 5 MPa,容积焓为 5 MJ/kg。

试验采用四个初始外形为半球柱的三向碳/碳模型进行滑行试验,模型的头部直径为 15 mm。

2.2 原理

转捩压力一般通过滑行试验进行测量,它利用送进装置将模型向喷管出口方向连续地移动,来流条件不断变化,使模型上的压力和热流不断增加。

收稿日期:2002-11-04;修回日期:2002-11-28

张骞,1977年出生,硕士研究生,主要从事气动热地面试验研究工作

在端头边界层发生转捩时,由于转捩点的热流会突然增加^[4],转捩点与邻近点造成烧蚀不同步,出现转捩坑。根据这一现象,使用摄像机记录模型滑行时的外形变化,待模型的外轮廓出现转捩坑时,使用图像判别的手段给出此时模型驻点与喷管出口的距离,结合喷管的轴向压力分布曲线可确定出材料的转捩压力,如图1所示。滑行试验作为一种轨道模拟试验,属于非常规试验,难度大,首先对试验设备和送进装置要求很高,必须提供比较稳定的流场,并保证模型沿轴线匀速送进;其次拍摄模型的外轮廓必须准确和及时。

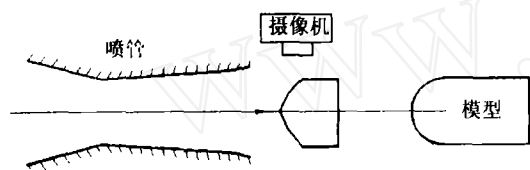


图1 滑行试验原理图
Fig.1 Schematic of ramp test

3 喷管的选择及试验流场的测量

为确定滑行试验所需流场,自行设计了型面、锥形和扩张型三种喷管,喷管喉道直径 $D = 16 \text{ mm}$,出口直径 $D_e = 22 \text{ mm}$,出口马赫数 $Ma = 2.1$ 。使用送进装置将水冷压力探头沿轴向移动,在一次试验中可以测量出喷管的轴向压力分布,如图2所示。与压力探头横向扫描测量轴向压力的方法相比,压力探头横向扫描在一次试验中只能得到沿轴向一点的压力数据,本次试验采用的轴向压力测量方法既可以消除试验状态不稳定的影响,又减少了试验次数。

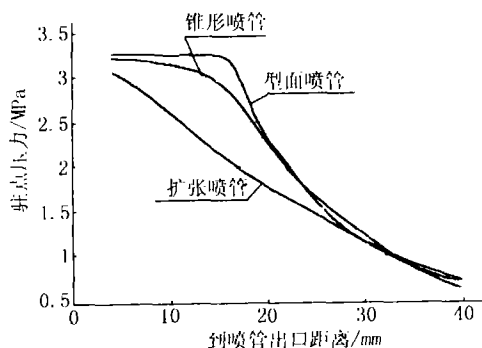


图2 三种喷管的轴向压力分布
Fig.2 Pressure distributions of three nozzles in axis

根据图2所示的轴向压力分布曲线,从距出口30 mm到距出口10 mm处,型面、锥形和扩张型喷管
宇航材料工艺 2003年 第2期

的驻点压力分别升高了2.1 MPa、2.0 MPa和1.4 MPa。由于扩张型喷管轴向压力分布曲线下降得比较平缓,这样可以减少喷管出口与模型驻点之间距离的测量误差对转捩压力测量的影响,故选用扩张型喷管进行滑行试验。

4 模型送进速度的选择

在滑行试验中,送进速度的选择是非常重要的。送进速度与材料的种类、试验状态等多种因素相关。例如,碳基材料在电弧射流中的最低响应时间为1 s,否则出现不了转捩坑。送进过快,碳基材料来不及响应,不会出现转捩坑;送进过慢,端头所处的热环境不能满足滑行试验的要求。滑行试验选择送进速度为 15 mm/s ^[1],但其试验气流的参数较高。考虑到上述因素,确定送进速度为 10 mm/s 。从试验结果看,送进速度的选取基本满足了本次试验的要求。此外,为避免横向送进的模型不能准确地位于射流中心,试验前将模型放置于喷管中心线上,从距喷管出口40 mm处开始送进。

在模型送进时,使用一台摄像机进行拍摄。为能及时观察到转捩坑的出现,在模型送进过程中,将模型沿轴线以 2 周/s 的速度旋转,这样既模拟了真实再入时的飞行状况,又降低了转捩随机性对测量结果的影响。

5 转捩压力的测量结果及分析

图3给出了滑行试验过程中端头烧蚀外形的变化过程。图3(a)中的模型是层流烧蚀,这时驻点的烧蚀量最大;随着模型的继续送进,可以看出图3(b)中模型的边界层转捩刚发生,出现转捩坑,此时模型的驻点压力即转捩压力;然后在端头多处发生转捩现象,如图3(c)所示;图3(d)和图3(e)中的模型外形变尖,边界层转捩点向驻点移动,最后形成图3(f)所示的双锥外形。模型的外形变化过程充分反映出滑行试验的特点,即模型所处的流场参数不断增大,这类似于真实再入情况,对于评估材料的烧蚀性能是方便和有效的。

图4给出了低焓滑行试验转捩压力和最终外形的判断准则^[1],从图中可以看出:(1)滑行终点处端头层流区最终半径 R_c 与转捩压力有关;(2)可以确定转捩压力的区间,转捩压力低于2.4 MPa,端头的最终外形为双锥;转捩压力高于2.9 MPa,端头不会形成双锥外形;在2.4 MPa~2.9 MPa之间,这两种

类型均能观察到。表 1 给出了本次滑行试验转换压力的测量结果以及模型的最终外形。本次滑行试验测量的转换压力值均低于 2.4 MPa, 虽然转换的随机性导致转换压力的数值不同, 模型出现双锥的时间也不相同, 但模型最后均出现了双锥外形, 试验结果与该准则吻合得较好。

转换压力不仅和材料本身、材料加工工艺有关, 还与试验气流参数、设备本身固有的因素, 如射流端

流度有关, 加上转换的随机性都会影响转换压力的数值^[5], 所以转换压力不是固定的数值, 是一个有统计意义的量, 直接比较转换压力的绝对值没有意义, 因此在使用转换压力评估不同材料烧蚀性能时, 必须在同一设备上大量的滑行试验, 并使气流参数保持不变。通过大量的测量结果, 找出转换压力的分布情况, 根据转换压力的分布情况评估材料的烧蚀性能。

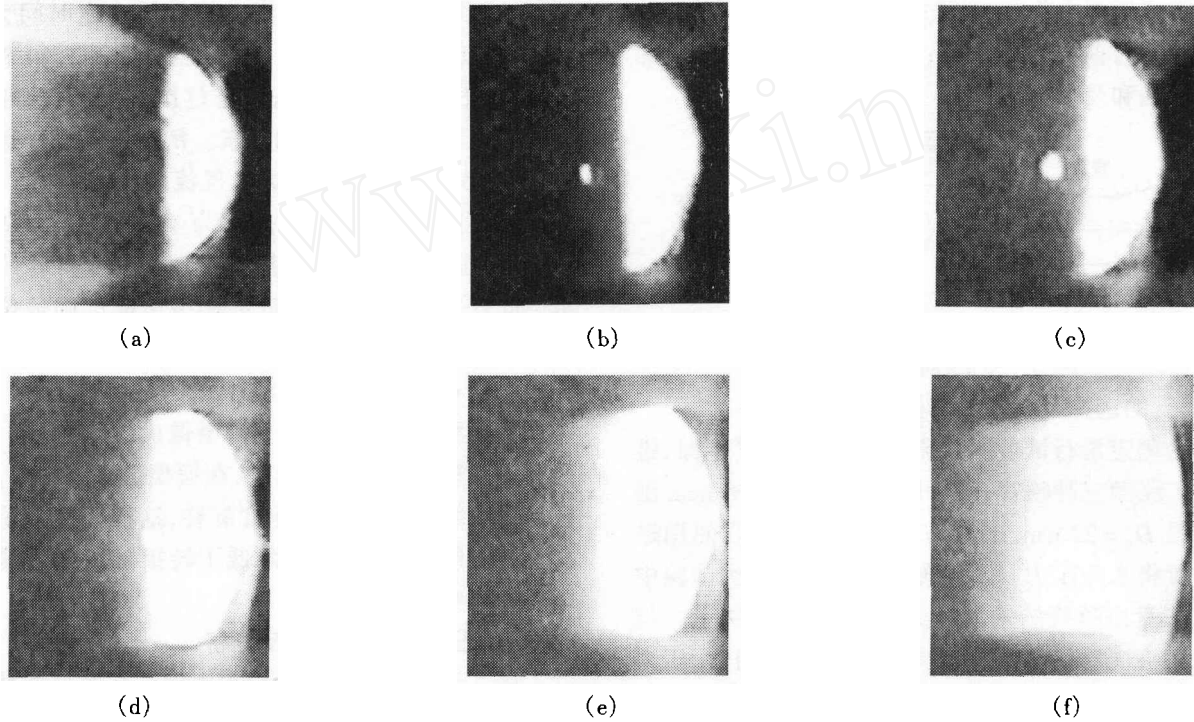


图 3 滑行试验中模型的外形变化过程
Fig.3 Model shape change process in ramp test

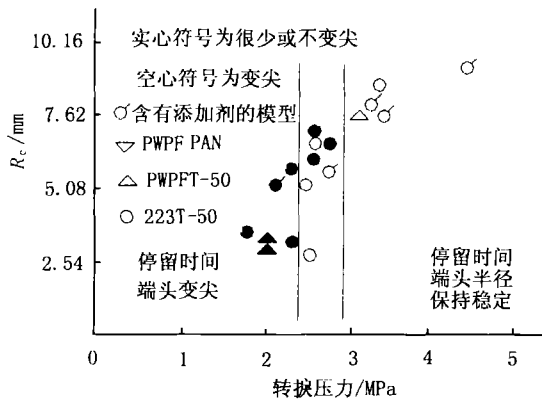


图 4 转换压力和最终外形判断准则
Fig.4 Criterion of transition pressure and final shape

表 1 转换压力数据和最终外形

编号	转换压力/MPa	最终外形
1*	1.3	双锥
2*	1.4	双锥
3*	1.7	双锥
4*	1.8	双锥
5*	1.4	双锥

6 结论

(1) 选择扩张型喷管进行本次滑行试验对于减少试验误差是有益的。

(2) 在本次试验的条件下, 选择 10 mm/s 的送进速度是可行的。

(3) 滑行试验不仅可以测量出材料的转换压力而且可以记录模型在送进过程中的外形变化历程,

宇航材料工艺 2003 年 第 2 期

作为评估材料烧蚀性能的一种方法是方便和有效的。

参考文献

- 1 Nestler D E. High pressure arc test performance of carbon-carbon nosetips. AIAA, 1971: 71 ~ 771
- 2 于翹. 材料工艺. 北京: 宇航出版社, 1993: 45

- 3 Wool M R. Final summary report passive nosetip technology (PANT) program. AD-A 019 186, 1975
- 4 Dirling R B. The effect of transition and boundary layer development on hypersonic reentry shape change. AIAA, 1975: 75 ~ 673
- 5 Dicristina V. Hyperthermal ablation performance of carbon-carbon composites. AIAA, 1977: 71 ~ 416

(编辑 马晓艳)

特高矫顽力铁氧体永磁磁片

特高矫顽力铁氧体永磁磁片是以共沉淀与高温助熔相结合的工艺制得的铁氧体粉体,避免了常规球磨工艺造成的晶粒缺陷及严重的应力,使磁粉的矫顽力接近理论值。以聚乙烯醇缩丁醛为粘接剂,与磁粉均匀混合,通过应力取向辗制而成的磁片具有性能稳定、易加工、成本低廉等优点。技术指标为:矫顽力 > 716.20 kA/m; 剩余磁感应强度 > 0.07 T; 能承受的反向磁场强度 > 477.46 kA/m。

本工艺制备的铁氧体磁粉及磁片,达到国际先进水平,该磁粉及磁片具有广泛的应用前景,社会效益、经济效益显著。这种特高矫顽力铁氧体粉体的使用范围宽广,可以部分取代价格昂贵的稀土永磁体。该类永磁磁片将会随着变压器技术的发展而进一步显示出它的社会效益。

(四川成都电子科技大学 303 教研室, 028-83201475)

高强度铍青铜系列材料

铍青铜是具有优良综合性能的析出硬化型合金材料,广泛应用于电子机械、航空航天、仪器仪表等工业中,做各类信号开关、电连接器、接插件、继电器等弹性元件,用于导弹、雷达、卫星、通讯等重点工程中。

本成果在国产材料铍青铜的基础上,适当降低铍含量,加入微量元素镁,对应美、日等国外相关材料标准,成功研制开发出两个牌号四种状态的系列高强度铍青铜条带材,并制定常规热处理峰值强化工艺规范。系列新材料由于微量镁的加入,细化了晶粒并强烈抑制了时效过程中的晶界反应,使材料得以充分强化。经常规时效处理后各项性能达到美、日同类产品的技术指标。

上述系列材料经特殊热处理,由于沉淀相颗粒更细小、均匀、弥散析出,从而提高了弹性元件的强度、硬度、改善了应力松弛和弹性后效,显著提高了弹性元件的寿命和可靠性。

本成果研制的系列材料已批量生产,可替代进口材料,并广泛应用,经济效益和社会效益明显,可促进我国电子元件和产品进入国际市场,为国创汇,其经济前景十分可观。

(杭州电子工业学院机械系, 0571-8075450)

· 李连清 ·