

温度对菱形花纹的影响

周正瑾 浦群 赖培华 白秀清

(中国科学院力学研究所)

提要 研究了温度对蜂蜡和樟脑制成的尖锥模型上的菱形花纹的影响。烧蚀实验在超音速风洞中进行,得到了温度与花纹波长、压力与花纹波长的关系,并分析了温度和压力对出现花纹的起始位置、出现花纹和形成稳定花纹所需要的时间的影响。

关键词 烧蚀,烧蚀图象实验,菱形花纹波长、温度

一、引言

近年来,世界上对烧蚀表面的菱形花纹作了许多研究,虽然得到了花纹波长和外流压力之间的关系^[1,2],但没有发现温度对菱形花纹的影响规律。

在这篇文章中,我们研究了温度对(1)波长、(2)出现花纹的起始位置、(3)出现花纹所需要的时间、(4)形成稳定花纹所需要的时间的影响。

二、实验

我们的工作重点是研究温度对低温烧蚀材料——蜂蜡制成的尖锥模型上的花纹的影响。实验是在来流总温为 90—260℃, 来流总压为 2.53—5.06MPa, M 数为 5 和 6, 实验段直径为 500×500mm、200×200mm、170×170mm 的三个超音速风洞中进行的。我们对升华材料——樟脑制成的尖锥模型的花纹烧蚀实验也进行了尝试。模型是半锥角为 14°、带钢尖的、不同尺寸的尖锥。在实验过程中用定时照相机拍摄了模型的外形及表面图象的产生和发展过程,得到了温度对花纹的影响。

三、结果和分析

1. 温度的影响

图 1 为花纹波长 λ 与温度的关系, T_0 为来流总温, T_m 为材料的融化温度, 蜂蜡取 339K, 樟脑取 351K, 由图中能够看出, 在压力相同的条件下, 随着 $\frac{T_0 - T_m}{T_m}$ 的增加, 波长变大。

当来流 M 数、来流总压、材料不同时, 实验点分别落在几条具有相同斜率 $n = 0.5$ 的

本文为编委崔尔杰先生推荐,于1989年11月28日收到第一稿,于1990年3月2日收到修改稿。

平行虚线上,参考长度 $\lambda_0 = 1\text{mm}$.

$$\log \lambda / \lambda_0 = n \log [(T_0 - T_m) / T_m]$$

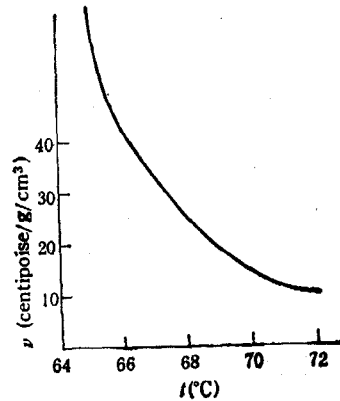
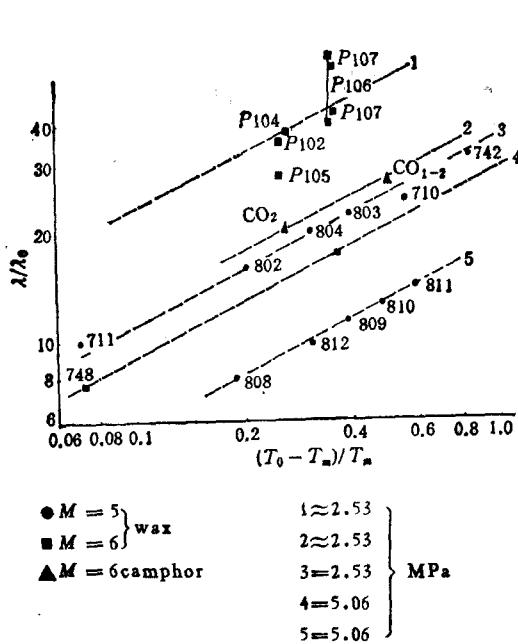


图2 蜂蜡的粘性随温度的变化

图1 温度对花纹波长 λ 的影响

图2为蜂蜡粘性随温度的变化曲线。可以看出,粘性随温度的增加是逐渐减小的。在相同压力下,花纹波长与温度变化成正比这一实验结果从机理上可这样分析:一方面温度升高,雷诺数减小,使整个菱形花纹图象在模型表面出现位置向后移。另一方面,当来流总温升高时,由于蜂蜡的粘性减小,液体蜂蜡的流动速度增大,因此形成花纹的涡^[3]比较容易向后拖动,而向上冒困难,最后波长 λ 就变大了。

图版 I 照片 1 是来流总压为 25 大气压,来流总温分别为 135°C 和 200°C 的模型 802 号和 803 号,后者的花纹出现的起始位置比前者后移,这表示温度增加,使外流雷诺数减小,花纹的起始位置沿模型轴向后移。

当来流总温增加时,烧蚀率增加,容易出现花纹。

图版 I 照片 2 为实验时间 $t = 21.8$ 秒时,806 号模型表面的花纹,此时呈岛状,随着烧蚀时间的增加,花纹逐渐变成坑状。还发现当头部的花纹出现坑状时,后体的花纹仍是岛状,这是因为花纹是由前向后传播的。

2. 压力的影响

花纹波长与物面外流压力 P_e 的 0.77 次方成反比的规律^[1],对于本文的结果也是适用的。

如果来流总压增加,出现花纹的起始位置沿物体轴向前移,并且容易出现花纹,形成稳定花纹所需要的时间也减少。

致谢 本工作得到林同骥先生、骆勇同志、北京空气动力研究所等的真诚帮助,作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Rudolph J. Swigart, Cross-Hatching Studies—A Critical Review. *AIAA J.*, 12, 10(1974), 1301—1318.
- [2] Hans W. Stock, Surface Patterns on Subliming and Liquefying Ablation Materials, *AIAA J.*, 13, 9(1975), 1217—1223.
- [3] Pu Qun, Cross-Hatching—An Interaction between shock and Turbulent Boundary Layer, IUTAM Symposium on Three-Dimensional Turbulent Boundary Layer (1982).
- [4] 林同骥、陈仲英、王汝涌、浦群、周正瑾、阎明山, 有序熔楔和转缺, *力学学报*, 4(1981), 326—332.

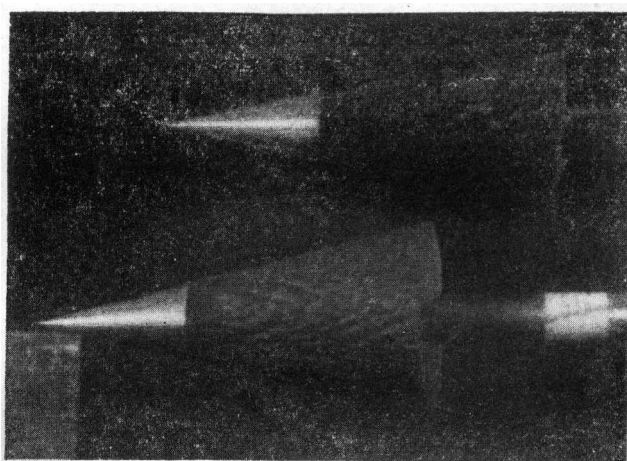
THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON CROSS-HATCHING

Zhou Zhengjin Pu Qun Lai Peihua Bai Xiuqing

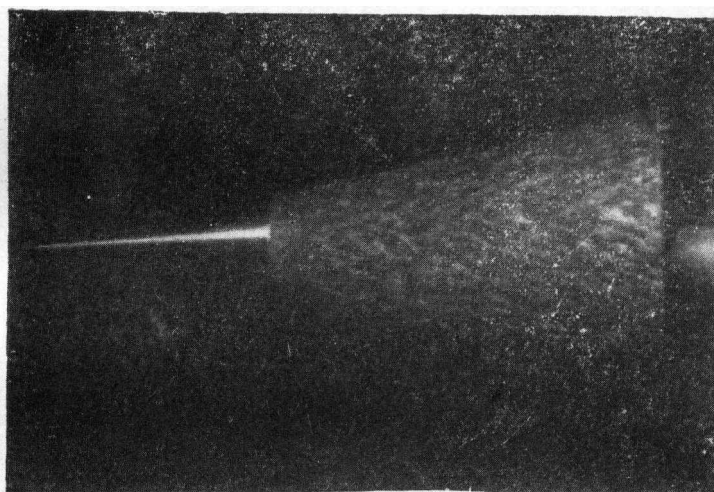
(Institute of Mechanics, Academia Sinica, China)

Abstract The influence of temperature on cross-hatching on cone models made of wax and camphor is studied. Ablating experiments are carried out in heated supersonic tunnels. The relation between temperature and the wavelength of hatching is obtained. The relation between pressure and the wavelength of hatching is verified. The influence of temperature and pressure on the initial position of the appearance of hatching and on the time required for both the appearance of hatching and the formation of stable hatching analyzed.

Key words ablation, ablation pattern, cross-hatching wavelength



照片 1 温度对花纹出现的起始位置的影响



照片 2 806 号模型表面的岛状花纹 ($t = 21.8$ 秒)