

残余热应力对 Si_3N_4 /金属 钎焊接头性能的影响^①

熊柏青 楚建新

(北京有色金属研究总院复合材料中心, 北京 100088)

职任涛 肖纪美 陆建栋 王连伟

(北京科技大学, 北京 100083)

摘 要 利用 X 射线衍射微区应力测定及剪切断裂实验方法研究了 Si_3N_4 /金属钎焊接头中的残余热应力分布, 分析和讨论了残余热应力对接头断裂形式及强度的影响。结果表明, 在 Si_3N_4 /金属钎焊接头中由于残余热应力的作用, 使断裂常常发生在 Si_3N_4 一侧。本实验通过选用热膨胀系数与 Si_3N_4 相近的金属进行钎焊, 结果可以有效地降低接头中的残余热应力, 提高接头强度。另外, 钎焊界面上 Cu 应力缓解层的加入也有利于使接头中残余热应力进一步降低。

关键词 Si_3N_4 钎焊 热应力 接头强度

中图法分类号 TG407

在陶瓷与金属的联接过程中, 由于两者间热膨胀系数相差较大, 冷却后接头中会形成较高的残余热应力, 使接头的结合强度降低, 甚至造成联接的失败。因此研究陶瓷/金属接头中残余热应力的大小及分布、寻找降低这种残余热应力的方法是陶瓷/金属联接中的一个重要问题^[1, 2]。

应力幅值高和应力梯度大是陶瓷/金属接头中残余热应力分布的特点^[3]。在现有实验手段中, 由于一般 X 射线衍射设备束斑面积较大, 通常在 10 mm^2 以上, 因此无法直接用来分析接头中微小区域内的残余热应力值, 从而也就得不到接头中准确的残余热应力分析结果; 电阻应变片方法作为测量应力的另一种重要手段, 在对陶瓷/金属接头的应力测量中, 同样受到了应变片尺寸的限制而无法得到令人满意的结果。计算机在工程中的广泛应用, 使有限元方法计算陶瓷/金属接头中的残余热应力变成了目前人们最常用的一种手段^[4]。但在

用有限元法计算陶瓷/金属接头中的残余热应力时, 由于种种因素的影响, 计算结果与实际结果往往偏差较大, 无法准确地解释陶瓷/金属接头的断裂现象^[5, 6]。

本文中, 我们通过对 X 射线衍射实验方法的改进, 利用 X 射线衍射微区应力测量的方法测定了 Si_3N_4 /金属钎焊接头中的残余热应力分布, 进而讨论了降低接头中残余热应力的方法, 并对实际钎钎焊接头中残余热应力对接头强度及断裂形式的影响进行了讨论。

1 实验过程

1.1 实验材料

本实验采用清华大学热压烧结的 Si_3N_4 样品, 加工成 $3\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 的长方体小块, 其抗剪切断裂强度为 400 MPa ; 待焊金属选用的是: (1) 45[#] 钢, 其热膨胀系数 $\alpha_{\text{室温}} =$

① 收稿日期: 1997-02-28; 修回日期: 1997-07-02 熊柏青, 男, 34岁, 高级工程师

$9.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; (2) GH907 Fe-Ni 基低膨胀合金; 其热膨胀系数 $\alpha_{\text{室温}} = 6.37 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。二者均加工成 $8\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 立方体小块。应力缓解层材料选用厚 0.2 mm 、纯度 99.99% 的紫铜片。

1.2 钎焊过程

本实验选用北京有色金属研究总院自制的 CZL-150 程控钎焊炉和 4% Ti-66% Ag-30% Cu 合金型钎料, 钎料为片状, 厚度 0.1 mm 。将各种待焊材料从上至下按下述方式装配成不同样品放入钎焊炉中: (1) Si₃N₄/ 钎料/ 45[#] 钢; (2) Si₃N₄/ 钎料/ GH907 合金; (3) Si₃N₄/ 钎料/ Cu/ 钎料/ GH907 合金, 在真空度高于 $6.63 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 条件下加热至 $830\text{ }^\circ\text{C}$, 钎焊保温时间为 10 min , 再以小于 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的冷却速度将样品冷至室温, 取出钎焊好的样品。

1.3 剪切断裂强度试验

用特制夹具夹持接头试样, 使钎焊界面受剪切力, 以 $1.0\text{ mm}/\text{min}$ 速度剪切, 直到试样断裂为止, 以接触面积为计算面积求最大剪切应力并以此表征接头强度。

1.4 X 射线衍射微区应力分析

普通的 X 射线衍射设备由于光斑面积较大, 最低约为 10 mm^2 , 难以直接对微小区域内的残余热应力进行测量。在本实验中, 我们对日本 MSF-2M 型 X 射线应力分析仪的样品台进行了改进, 即在待测样品上方固定一块留有狭缝的铅板, 测量时, 将样品钎焊界面对准狭缝, 通过特制的样品架微量移动样品, 这样就可测得接头中不同微区部位的残余热应力。在测试时, 为提高 X 射线接收探头的灵敏度, 应撤除接收探测器的滤波片。得出衍射谱后, 标定峰位并用 $\sin^2 \Psi$ 法计算样品不同部位的残余热应力。

2 实验结果

2.1 接头断裂强度

用 Ti-Ag-Cu 合金型钎料对 Si₃N₄ 与金属钎焊, 不同接头的抗剪切断裂强度值如表 1。

表 1 不同接头的抗剪切断裂强度

Brazing joints	Interlayer	Shearing strength of brazing joints
Si ₃ N ₄ / 45 [#] steel	—	76.8
Si ₃ N ₄ / GH907 alloy	—	92.7
	0.2 mm Cu layer	115.6

对 Si₃N₄/ 金属钎焊接头断裂部位的观察发现, 断裂全部发生在 Si₃N₄ 一侧距钎焊界面约 1 mm 处。

2.2 残余热应力

由于 Si₃N₄/ 金属钎焊接头的断裂产生在 Si₃N₄ 一侧, 因此本实验重点测量了接头中 Si₃N₄ 一侧垂直于钎焊界面的残余热应力值 σ 随距焊缝距离 x 的变化, 结果如图 1 所示。

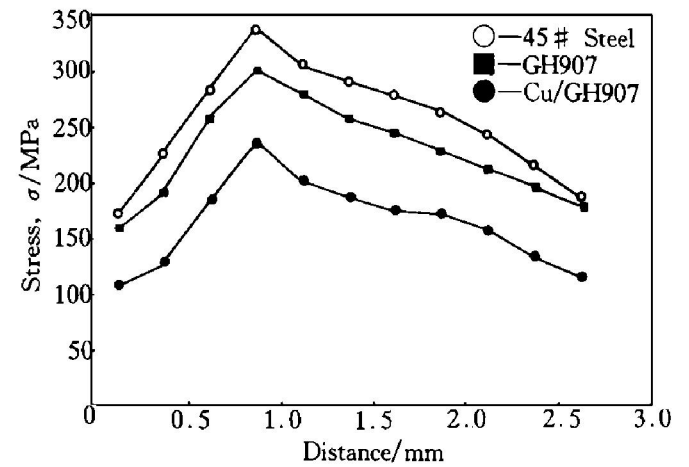


图 1 不同接头中 Si₃N₄ 一侧残余热应力分布

Fig. 1 Distribution of internal thermal stress on Si₃N₄ side of brazing joints
1—45[#] steel; 2—GH907 alloy;
3—Cu/ GH907 alloy

3 分析与讨论

3.1 残余热应力对接头断裂形式的影响

Si₃N₄ 与金属进行钎焊前, 原始 Si₃N₄ 抗剪强度为 400 MPa ; 钎焊后, 抗剪切断裂强度仅为 100 MPa 左右时接头中的 Si₃N₄ 一侧即发生断裂, 我们认为这是由于在钎焊后, Si₃N₄

一侧出现了明显的张应力集中的结果。

Si_3N_4 是脆性材料, 塑性变形能力差, 且其抗张强度远低于抗压强度^[7, 8]。在钎焊后的冷却过程中, Si_3N_4 与金属之间热膨胀系数差异会导至接头中钎焊界面附近产生很大的残余热应力。接头中的金属一侧, 当残余热应力值超过金属屈服强度时, 金属会产生塑性变形, 从而释放掉一部分残余热应力, 故在金属一侧不会有明显的应力集中; Si_3N_4 一侧由于塑性变形能力差, 应力无法释放, 因此冷却后应力集中明显, 且在靠近钎焊界面附近所分布的均为张应力。这种张应力的存在, 导致了 Si_3N_4 一侧强度下降, 如果由于这种张应力影响使 Si_3N_4 一侧强度低于接头中其它部位的, 断裂便首先在 Si_3N_4 一侧产生。

从图 1 所示接头中 Si_3N_4 一侧残余热应力分布曲线可看出: 在距钎焊界面 0.8~ 1.0 mm 处, 残余热张应力分布有一个峰值, 剪切断裂实验结果表明, 接头断裂也正是发生在这个位置附近, 这说明在 Si_3N_4 / 金属钎焊接头中, 当工艺条件合适时, 接头断裂总在 Si_3N_4 一侧残余热张应力值最大的部位产生。

3.2 钎焊接头中金属一侧材料的选择及应力缓解层的作用

从残余热应力分析和剪切断裂实验结果看, Si_3N_4 / GH907 合金钎焊接头中相同部位的残余热应力值远低于 Si_3N_4 / 45[#] 钢钎焊接头, 而前者的抗剪强度高于后者, 这是由于 GH907 合金与 45[#] 钢相比, 有与 Si_3N_4 更为接近的热膨胀系数, 即热匹配性更好的原因。通过本实验可知, 在与 Si_3N_4 钎焊接前, 选择与 Si_3N_4 热匹配性尽可能好的金属, 有利于降低钎焊接头中的残余热应力, 提高接头强度。

由实验结果还可看出, 当焊缝中加入 Cu 做应力缓解层时, 接头中残余热应力值下降,

接头强度提高。这是由于 Cu 的屈服强度较低, 在接头冷却过程中产生的残余热应力作用下, 首先产生塑性变形, 释放了接头中一部分残余热应力的结果。除了 Cu 外, 其它材料作为应力缓解的效果还有待进一步研究。

4 结论

(1) 在 Si_3N_4 / 金属钎焊接头中的 Si_3N_4 一侧, 存在较高的残余热张应力, 接头断裂首先发生在 Si_3N_4 一侧残余热应力值最大的部位, 在本实验中, 这个部位距焊缝 0.8~ 1.0 mm。

(2) 金属与 Si_3N_4 热膨胀系数的匹配性差异, 会给接头中的残余热应力值及接头强度带来显著影响。同时, 钎焊界面上 Cu 应力缓解层的加入, 可进一步缓解接头中的残余热应力, 进一步提高接头强度。

REFERENCES

- 1 Hsueh H. J Am Ceram Soc, 1985, 68(3): 120.
- 2 Boldgett A J. Am Sci, 1983, 249(1): 86.
- 3 Ishida Y *et al.* Acta Metall Mater, 1992, 40: 289.
- 4 Sukanuma K. Communication of American Ceramic Society. 1984: 12: 29.
- 5 Frisch A *et al.* Acta Metall Mater, 1992, 40: 361.
- 6 Chu Jianxing(楚建新) *et al.* Electron Technology(电子工艺技术). 1991: 2: 17.
- 7 Japan Industry Investigation Society ed, Chen Junyan (陈俊彦) tran. Up to Date Ceramic Technology (最新陶瓷技术). Beijing: China Building Industry Press, 1988: 139.
- 8 Kingerg W D ed, Qinghua University tran(清华大学无机非金属材料教研室译). Ceramic Introduction (陶瓷导论). Beijing: China Building Industry Press, 1982: 57.

EFFECT OF RESIDUAL THERMAL STRESS ON PROPERTIES OF Si_3N_4 / METAL BRAZING JOINTS

Xiong Baiqing and Chu Jianxin

General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088, P. R. China

Zhi Rentao, Xiao Jimei, Lu Jiandong and Wang Lianwei

University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China

ABSTRACT Residual thermal stress distribution of Si_3N_4 / metal brazing joints was studied by means of X-ray diffraction micro-region stress analysis and shearing tests. The effect of residual thermal stress on fracture form and strength of brazing joints was discussed. The results showed that fracture occurs very easily along the Si_3N_4 side of the brazing joints because of the concentration of residual thermal stress; when the metal whose thermal expansion coefficient is near that of Si_3N_4 is chosen to braze with Si_3N_4 , the residual thermal stress can decrease and the strength will increase. A reduced internal thermal stress of brazing joints was also obtained using Cu as interlayer metal.

Key words Si_3N_4 brazing residual thermal stress strength of joints

(编辑 朱忠国)