钢表面激光熔覆 Ni 基 ZrO_2（4Y）陶瓷层的研究

哈尔滨工业大学　　裴宇韬　欧阳家虎　雷廷权

本文用 SEM、EDAX、XRD 和显微硬度计分析了 45 钢表面激光熔覆 Ni 基 ZrO_2（4Y）陶瓷层的组织结构与性能。结果表明：激光熔覆的 Ni 基 ZrO_2（4Y）陶瓷层出现分层现象，表层为致密的 ZrO_2 陶瓷层，与钢基体结合的中间层为 Ni 基合金；陶瓷层主要由 t-ZrO_2 相与少量 Ni 基 γ 固溶体组成，激光的快速熔凝过程抑制了 ZrO_2 的 t→m 相转变；在最优激光参数条件下，可获得与钢基结合良好的致密 ZrO_2 陶瓷熔覆层，其硬度值达到 $HV_{0.2}1720$；激光参数偏离最优值时，熔覆的陶瓷层出现微孔、裂纹，且硬度大幅度下降。

关键词：激光熔覆，ZrO_2 陶瓷，表面改性

Study of Laser Clad Ni-base Alloy/ZrO_2 (4Y) Ceramic Layer on the Surface of 45 Steel

Pei Yutao　Ouyang Jiahu　Lei Tingquan
(Harbin Institute of Technology)

In this paper the microstructure and hardness of laser clad Ni-base/ZrO_2 (4Y) ceramic layer on the surface of 45 steel are examined by SEM、EDAX、XRD and microdurometer. A layering phenomenon is observed in laser cladded zone, in which there are two layers: ZrO_2 ceramic surface layer followed by solidified Ni-base solid solution. The ceramic layer mainly consists of t-ZrO_2 and γ-Ni phases. The quick melting and solidifying caused by laser processing restrains t→m-ZrO_2 phase transformation. Under appropriate processing parameters, a homogeneous and non-porous ZrO_2 ceramic layer is obtained, and its microhardness is up to $HV_{0.2}1720$.

Keywords: laser cladding, ZrO_2 ceramics, surface modification

前　言

陶瓷材料具有抗高温腐蚀、耐磨损和化学稳定性好等一系列优良特性。利用等离子喷涂、热喷涂等技术在金属表面喷涂陶瓷作为热障碍层或耐磨层，实现材料的表面改性已作过大量研究[1,2]。此类喷涂陶瓷层的不足之处是与基体结合较弱且其内存在较多孔隙，降低了使用效果。A. Petitbon 等[3]在铸铁表面等离子喷涂 ZrO_2 陶瓷层后，再用激光进行熔化处理以改善其性能。为简化工艺，本文在 45 钢表面直接用激光熔覆 Ni 基 ZrO_2（4Y）陶瓷层获得成功，并对陶瓷层的组织、性能及其与激光工艺参数的关系进行了研究。

一、实验方法

基体材料为轧制态 45 钢，尺寸 40mm×20mm×20mm，表面经磨削加工。4mol.%Y_2O_3 稳定化的 ZrO_2 粉末，粒度 0.05～1μm，m-ZrO_2 相含量 40.7vol.%，t-ZrO_2 相含量 59.3vol.%。Ni 基自熔合金粉，粒度 30μm，化学成分（wt%）：Cr15、B4.0、Si5.8、C0.8、Ni 余量。将 Ni 基自熔合金粉与 60vol.%ZrO_2（4Y）陶瓷粉末混合均匀，用自配的粘接剂均匀涂敷在 45 钢基体表面，涂敷厚度 0.25mm。

采用 GJ－Ⅰ型 2kW CO_2 激光器进行单道熔覆实验，光斑直径 3mm，使用功率 800、1000W，扫描速度 2～12mm/s，熔覆时试样用氩气保护。

激光熔覆后的试样经电化学浸蚀制备成金相样品，用 SEM、EDAX 及 XRD 研究熔覆陶瓷层的组织、成分与相组成；用显微硬度计加载 200g 测定硬度。

二、实验结果与分析

1. 陶瓷熔覆层的组织

图 1 是在 45 钢表面激光熔覆 Ni 基 ZrO_2（4Y）陶瓷层横截面的低倍形貌。由图可见，熔覆区大致可划分为三层：表面厚约 150μm 的陶瓷层、中间结合带及基体。

图 2 显示了表面陶瓷层与其下部结合区的微观组织。结合区的组织为等轴晶的 γ-（Ni、Cr、Fe）固溶体、

表 6　铸件解剖试样及其附铸试样的室温力学性能

性能 / 炉号	热处理制度	取样部位		σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ_5 %	ψ %	a_K kJ/m²
903	HIP 915±5℃, 119MPa, 2.5h	附铸试样	上	955	865	12.6	21.5	—
			中	959	866	12.3	20.5	—
			下	950	851	11.0	19.3	429
903	HIP 915±5℃, 119MPa, 2.5h	解剖试样	上锥段	959	866	10.4	18.1	421
			下锥段	936	851	8.3	19.0	440
			法兰盘	904	831	6.8	15.6	481（弦向） 504（径向）

我们认为，产生上述情况的主要原因是：上下锥段的铸件壁厚（17mm）与附铸试样直径（ϕ13.5mm）较为接近，即它们的浇注成形及冷却条件相近（或结晶组织状态相似），所以它们的力学性能也大致相当；而从法兰部位切取的试样则不同，因为法兰厚度大（36mm），浇注后冷却速度慢，形成的晶粒粗大，因此它的力学性能也就略低。

在采用本工艺铸造 ZT4 合金铸件情况下，透过（"4"）附铸试样的力学性能与其所处位置无关；（"6"）附铸试样与铸件解剖试样力学性能的差别的分析推理，似可认为：（1）附铸试样的力学性能；仅代表厚度与其截面相当那部分铸件的性能；（2）铸件壁薄部位的性能高于壁厚部位的性能；（3）可设置截面与铸件最厚部位相当的附铸试样，以代表铸件的最低力学性能。这一推理的正确性有待进一步证实，若能成立将有重要的实用价值。

五、技术经济效益

采用钛合金固定壳体代替钢制件后，其结构重量将一举减轻约 40%；这意味着可明显减轻起飞重量，或者说提高了射程。

采用铸钛代替模锻钛件后，通过初步的分析对比，其经济效益更为明显：（a）毛坯重量可减轻 50%；（b）加工工时可减少近 40%；（c）零件的制造成本可降低 50% 以上；（d）可有效提高钛材的利用率，仅就高度只有 250mm，壁较厚而且外型较简单的固定壳体而言，铸件的利用率达 40%，而锻件仅为 25%。

六、结　论

1. 采用本工艺研制的 ZT4 钛合金固定壳体，通过 HIP 后铸件的几何尺寸、化学成分、力学性能和冶金质量全面满足有关技术标准要求。这种工艺达到了国内领先水平，在国外也无先例。

2. 本课题采用的工艺方案，是当前铸造优质大型钛合金固定壳体铸件的最经济、合理和可靠的方法。对于类似结构的大型航天钛合金部件的制造，有重要的参考价值。

3. HIP 可有效消除钛铸件内部的缩孔、疏松、气孔等冶金缺陷，并可明显改善钛合金的综合性能，从而提高了使用的可靠性。

4. 铸钛固定壳体已通过了水压、地面热试车等一系列的部件试验和考核，可正式投入实际使用。

参考文献

1. Beall R. A. J. Metals 7(1965). P801
2. "铸造钛合金在喷管固定体上的应用"《查新报告》，中国国防科技信息中心，1992.7.9
3. 周彦邦 甘敬林，"国外钛合金铸造技术的发展"《现代铸造》，1981(1)，P60～66
4.《特种铸造手册》第七章
5. 王金友、葛志明、周彦邦编著，《航空用钛合金》第 1 章
6.《中国航空材料手册》第 3 卷，P593～594
7. 呼和、汪武祥，"HIP 消除 ZT4 铸造钛合金缺陷和改善铸件质量的研究"，1991

* *

（上接第 24 页）

2. 表面陶瓷层主要由 t-ZrO_2 相与少量 Ni 基 γ 固溶体组成，激光的快速熔凝过程抑制了 ZrO_2 的 t→m 相变。

3. 在最优激光参数条件下可获得致密且与钢基体结合良好的 Ni 基 ZrO_2(4Y) 陶瓷熔覆层，其硬度值达到 $HV_{0.2}$1720；激光参数偏离最优值时，熔覆的陶瓷层出现微孔、裂纹，且硬度大幅度下降。

4. 随激光束扫描速度降低，单道熔覆的 Ni 基 ZrO_2(4Y) 陶瓷层的旁侧角变小。

参考文献(略)