

文章编号: 1001-3806(2007)05-0518-04

齿面激光熔覆中的防边缘塌陷工艺研究

陈 列, 谢沛霖*

(海军工程大学 机械工程系, 武汉 430033)

摘要: 为了研究激光熔覆过程中产生边缘塌陷问题的原因并且找到具有较强可操作性的解决方法, 采用对激光熔覆过程的温度场进行数值计算的方法, 分析得到边缘塌陷问题主要是由于激光熔覆过程中边缘地带温度过于集中所造成; 在分析结果的基础上, 以样块为实验对象, 提出了解决此问题的基本方法; 最后将此方法应用于齿面激光熔覆的实际中, 并根据齿面激光熔覆的特殊情况对此方法进行了改进和完善, 取得了较为令人满意的结果。结果表明, 此方法可以较好地解决齿面激光熔覆的边缘塌陷问题, 而且具有较强的可操作性。

关键词: 激光技术; 激光熔覆; 边缘塌陷; 温度场

中图分类号: TG665 TG157 **文献标识码:** A

Research of preventing the edges of tooth surface from collapsing in laser-cladding process

CHEN Lie, XIE Pei-lin

(Department of Mechanical Engineering, Naval Engineering University, Wuhan 430033, China)

Abstract Collapsing of the edges is one of the most important problems in laser cladding process. The objective is to find the reason and how to solve it. At first, an analytical model was established and the temperature field in the laser cladding was calculated. After analyzing the calculation results, it was found that the centralization of heat energy at edges was the main reason of edge collapse. Based on experiments, how to solve the edge collapse was found. Finally, this method was applied to laser cladding on tooth surface and amelioration was achieved on the tooth surface. The results of the experiments prove that this method is valuable and reliable.

Key words laser technique; laser cladding; collapsing of the edges; temperature field

引 言

激光熔覆技术是把激光加工与数控技术相结合, 通过在金属基体表面预置粉末或同步送粉的方法, 利用激光的高能量把金属粉末熔化, 与基体形成良好的冶金结合, 从而达到改善产品性能的特种加工方法。激光熔覆件表面硬度较高, 具有良好的耐磨、耐蚀性能。利用激光熔覆表面强化技术把高性能的合金材料熔覆到价格低廉的金属件上, 可以改善制品的工作性能, 也可用于修复少量磨损的工件^[1-3]。由于激光熔覆的热影响区极小, 零部件基本不变形, 特别适合于高精度零部件的磨损后修复, 因此, 将激光熔覆工艺应用于齿面修复, 有其独特的优势。

但是在激光熔覆技术中, 还有一些关键问题有待研究和解决, 比如在激光熔覆过程中的边缘塌陷问题。在激光熔覆中, 在激光扫描的进出端边界以及试件边角处, 容易出现塌陷现象, 从而对基体材料造成损伤, 影响熔覆层质量。尤其在将激光熔覆应用于齿面修复时, 由于需要修复的齿轮一般精度较高, 如果不能解决边缘塌陷的问题, 激光熔覆的优势将变得毫无意义。

因此, 解决好边缘塌陷问题, 对于完善激光熔覆工艺以及提高其在实际中的应用, 都有重大意义。目前, 很少有人对激光熔覆中的塌陷问题进行过研究, 也没有一种能够较好地解决这个问题的通用方法。作者的目的是将激光熔覆应用于齿面修复时, 针对其特殊性, 探索一种能在激光熔覆过程中避免齿面边缘塌陷问题的方法。

1 激光熔覆中的边缘塌陷现象原因分析

由于激光的能量密度极高, 在激光熔覆过程中, 激光扫描经过进出端和边角处时, 这些部位所获得的激光能量过于集中, 容易造成这些部位的基体金属过度

基金项目: 国防科技重点实验室基金资助项目
(51489040104JB1101)

作者简介: 陈 列 (1983), 男, 硕士研究生, 主要从事摩擦学和表面工程的研究。

* 通讯联系人。E-mail: cangn1983@tom.com

收稿日期: 2006-07-25; 收到修改稿日期: 2006-10-26

熔化,破坏了所要修复的零件的基本型貌。

在分析边缘塌陷产生的原因时,采用数值模拟的方法^[4-6],利用计算软件 ANSYS对激光熔覆的温度场进行数值计算,可以得到在激光熔覆过程中各个时刻试样的温度场分布情况。

在数值模拟计算中,选取的试样尺寸为 20mm × 15mm × 52mm,基体材料为 45#钢,熔覆粉末为 Ni60 合金粉末。

温度场模拟过程中,将熔覆层合金事先预置在基体上,基体材料与预置的熔覆层合金之间始终为冶金结合,忽略二者之间的热阻,且不考虑熔池中的对流换热,此外还考查了材料结晶潜热的释放,耦合到材料的焓中,且随温度变化,如图 1a 所示;材料导热系数随温度变化,如图 1b 所示;试样与环境的热交换仅考查对流换热,将辐射换热的影响耦合到对流换热中而不作单独考虑,且对流传热系数随温度变化,如图 1c 所示。

模拟所采用的激光熔覆工艺参数为:激光半径 4mm,扫描速度为 4mm/s,功率 1.5kW,实际吸收率为 0.5。熔覆过程中采取合金粉末预置法,对试样进行多道激光熔覆,得到在各个时刻试样的温度场分布情况。分别选取激光在试样进出端边角处、进出端以及试样表面中心处时的情况,各自温度场分布情况见图 2。

分析计算结果发现,激光熔覆过程中,激光照射在试样表面中心而正常形成熔池的温度大约为 1300℃ (见图 2e),而激光在进出端以及边角处,则存在明显

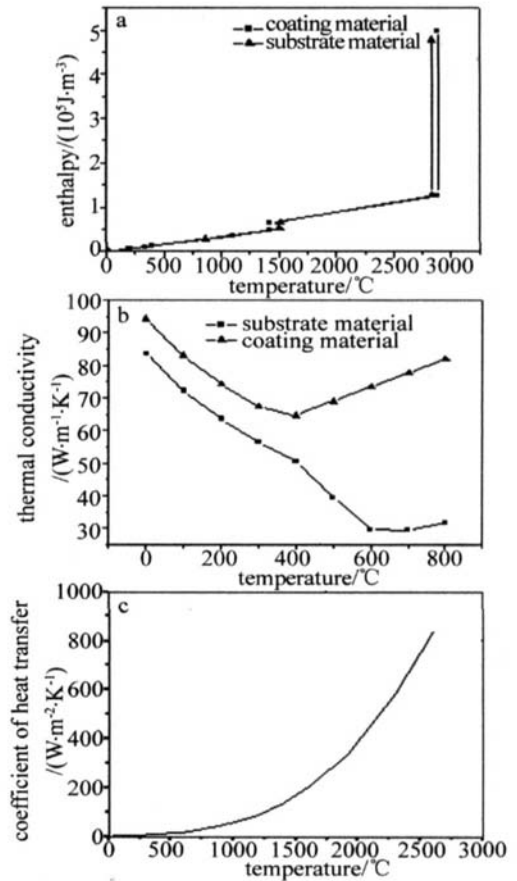


Fig 1 Relationship of the thermal properties and temperature a— relationship of enthalpy and temperature b— relationship of thermal conductivity and temperature c— relationship of coefficient of heat transfer and temperature

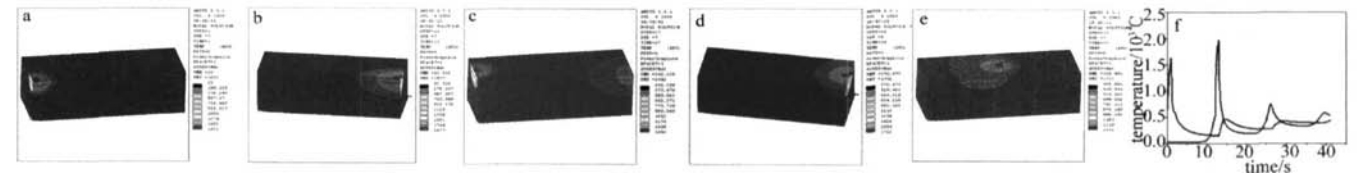


Fig 2 Calculation result of the temperature field in the laser cladding

a— laser beam at the corner of entrance b— laser beam at the corner of exit c— laser beam at the edge of entrance d— laser beam at the edge of exit e— laser beam at the center of surface f— thermal striking at the corners

的热冲击效应。从图 2a 图 2b 和图 2c 中可以看到,激光在经过这些部位时,进出端的边角处熔池中心温度在短时间内分别上升到 1600℃ 和 1900℃ 以上,远远高于激光熔覆形成正常熔池时的温度,这样势必会导致这些部位基体的过度熔化而形成塌陷。从图 2c 和图 2d 中也发现,激光在经过试样表面的进出端时,在这些部位所形成熔池的中心温度也分别达到了 1400℃ 和 1700℃ 以上,都高于正常熔池的中心温度,说明在熔覆过程中,这些部位容易出现塌陷现象。

2 基于样块的防塌陷工艺研究

在对样块进行的试验中发现,虽然在激光熔覆中,进出端面以及边角处都容易发生塌陷现象,但是它们

的塌陷又各有差异 (见图 3), 因此分别对这两种情况进行了实验研究,并提出了不同的解决方法。

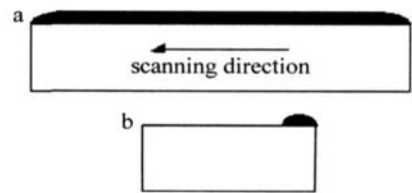


Fig 3 Collapsing of edges

a— collapsing at the edges of entrance and exit b— collapsing at the corner

实验中选取的基体材料为 45# 钢,熔覆用粉末为 Ni60 合金粉末,激光功率 1150W,扫描速度 2.5mm/s,送粉速率 4g/min。

2 1 进出端边界防塌陷工艺研究

试验研究表明, 尽管在激光扫描进出端通过降低扫描速度、增大送粉速率、来回多次熔覆的办法, 可以减轻塌陷现象, 但受边角效应的影响, 塌陷现象难以根除。而根据温度场的计算结果知道, 在激光熔覆过程中, 激光只是在进出端时由于热冲击使熔池温度急剧上升而导致塌陷, 从理论上讲, 可以通过降低边角处的激光功率来消除过大的热冲击效应, 但是在实际操作中, 由于所采用的激光器在功率调整上有一个延时效应, 难以保证在边角处激光功率可以及时得到调整, 而且激光功率一旦调整, 其它各种参数必须随之调整, 否则必然会影响熔覆层质量^[7-8], 所以, 此方法在实际操作上存在较大难度, 因此, 通过调整熔覆工艺来解决这个问题的方法基本被否定。根据这种情况, 作者提出通过延伸被熔覆表面来解决此问题的方案: 在扫描进出端面附加一部分材料, 这样由于能量集中而过热的地带延伸至基体以外, 塌陷只发生在附加材料上。操作过程中应该注意 (见图 4): (1) 使附加材料表面与试样表面无缝共面衔接; (2) 附加材料具有足够的长度, 使激光熔覆层的边界塌陷只发生在附加材料表面; 熔覆完毕后, 将附加材料与试样分离, 就可在试样表面获得边界平直的熔覆层。

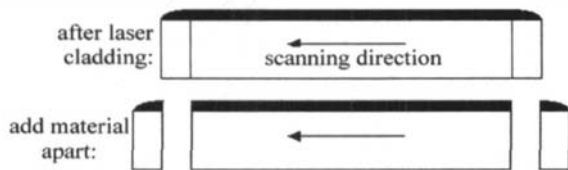


Fig 4 Craft of preventing from collapsing at the edges of entrance and exit

2 2 边角处防塌陷工艺

相对于扫描进出端边界的塌陷, 由于边角处的表面型貌相对复杂, 外接物体的方法就不太适用。因此采取的方法是: 在试样完成整体激光熔覆后, 将试件转过一定的角度, 对边角处再进行单道或多道重叠熔覆, 使熔覆层包覆在原熔覆层上, 使包覆层达到一定厚度, 留下加工余量, 最后通过机加工的办法去除多余的熔覆材料 (见图 5)。



Fig 5 Craft of preventing from collapsing at the corners

3 齿面激光熔覆的防边界塌陷工艺研究

齿面激光熔覆中, 齿轮的端面和齿顶的塌陷情况不尽相同, 在试样上获得的解决方法可以分别应用于这两种情况。

3 1 激光扫描进出端边界 (齿轮端面) 防塌陷工艺研究

齿轮进出端面的塌陷现象与试块的进出端塌陷相似, 因此采取的方法也是以此为基础。

此试验中, 选取的齿轮为模数 4mm 的 45# 钢齿轮, 其它参数同前。

激光熔覆过程中, 在齿轮被加工齿面边界处外接一段 5mm ~ 10mm 的材料, 外接材料的上表面要力求与被加工齿面处于同一平面, 两者间的接缝应尽可能小。最理想的是在被加工齿轮两端各拼接一个同样参数但齿宽较小的辅助齿轮, 且使各齿面对齐。在齿面激光熔覆时, 将外接材料视为齿面同时进行处理。

结果表明, 该方法可很好地解决熔覆层边界的塌陷问题。试验结果如图 6 所示, 激光熔覆层厚度约 1mm, 实际后加工量约 0.2mm ~ 0.3mm, 试样以及齿轮的端面塌陷情况得到明显改善。

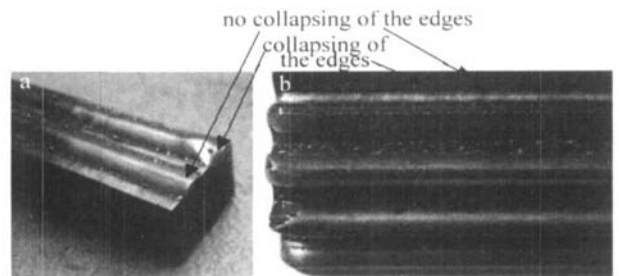


Fig 6 Comparison of the conditions of the laser cladding coats before and after adopting the craft of preventing from collapsing

进出端面的防塌陷工艺在齿面激光熔覆上的应用, 说明该方法具有良好上的可移植性, 可以推广应用于其它零件的激光修复工作。

3 2 齿轮齿顶防塌陷工艺研究

与轮齿端面防塌陷相比, 齿顶防塌陷难度较大, 这是因为: (1) 齿顶熔覆更容易出现开裂现象; (2) 齿面和齿顶必须采用搭接扫描, 故一旦齿顶熔覆层出现开裂, 则裂纹很容易向齿面熔覆层扩展, 从而造成整个齿面熔覆层的报废; (3) 齿面与齿顶的交界处是尖顶, 熔覆时激光功率过小则容易出现裂纹, 激光功率过大则容易烧塌齿顶, 从而使熔覆层没有足够的修复余量。

因此, 齿面、齿顶激光熔覆的先后次序、扫描工艺、参数选择等都将对熔覆层的开裂倾向及齿顶防塌陷效果产生显著影响。

此实验选取的齿轮模数为 2mm, 其它参数同前。经过大量试验和反复探索, 最终确定采用先齿面、后齿顶的激光搭接熔覆工艺。

具体方法是: 先采用单向送粉双向扫描^[9-10]进行齿面多道搭接熔覆, 然后采用单向或双向送粉双向扫描完成齿顶单道熔覆或齿顶多道重叠熔覆, 以使齿顶

具有足够的熔覆层厚度,确保修复余量。

采取防塌陷工艺后,齿面激光熔覆修复效果如图 7 所示。齿顶处的熔覆层约 0.7mm,使齿顶高增大也就是实际后加工量约 0.3mm,保证了加工余量。

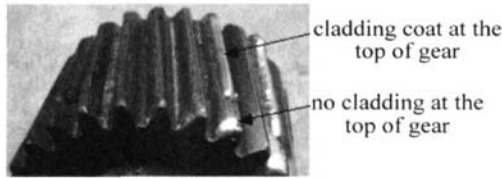


Fig 7 Laser cladding coat at the top of gear with the craft of preventing from collapsing

4 结 论

以实验为依据,针对齿面激光修复中容易出现的边界塌陷问题,提出了有效并可行的解决方法。

由于齿面激光熔覆中,进出端面以及齿顶的塌陷情况不尽相同,因此在样块实验的基础上,针对这两种情况分别提出了不同的解决方法,即在进出端面采取外接物体使边缘地带移至基体之外,以及对齿顶采取包覆的方法,解决了边缘塌陷的问题。实验结果证明,该方法是有效的。其中对端面采取外接物体的方法具有较强的可移植性,可适用于其它零件的激光熔覆。

参 考 文 献

[1] HUANG R F, HUO JM, WANG ChQ. Application and development

of laser cladding technology [J]. Ordnance Material Science and Engineering 2005 28(4): 57~ 58(in Chinese).

- [2] XIAO H J, PENG Y, MA Ch Y. Surface modification of laser [J]. Surface Technology 2005 34(5): 10~ 12(in Chinese).
- [3] ZHOU X W, WANG X Zh. Application of the laser processing technology in industry [J]. Journal of Zhongzhou University, 2005 22(4): 110~ 111(in Chinese).
- [4] LU J B, WANG Zh X, XI Y J. Calculation of temperature field in laser cladding using FEM [J]. Journal of Zhongyuan Institute of Technology, 2005 16(6): 58~ 60(in Chinese).
- [5] HUANG Y L, ZOU D N, LIANG G Y. Numerical simulation on cladding track, fluid flow field and temperature field in laser cladding process with powder feeding [J]. Rare Metal Materials and Engineering 2003, 32(5): 330~ 334(in Chinese).
- [6] ZENG D W, XIE Ch Sh. A numerical simulation for two dimensional quasi-state fluid flow field and temperature field in the molten pool of laser cladding [J]. Acta Metallurgica Sinica 1999 35(6): 604~ 610(in Chinese).
- [7] LI Sh HU Q W, ZENG X Y. Effect of laser mode on the quality of laser cladding layers [J]. Laser Technology, 2005 29(6): 667~ 669(in Chinese).
- [8] HUANG Y L, LI J G, LIANG G Y. Effect of powder feeding rate on interaction between laser beam and powder stream in laser cladding process [J]. Rare Metal Materials and Engineering 2005 34(10): 1520~ 1523.
- [9] WU G, SHI J DAI Zh S. The scanning techniques and technology for gear laser harden [J]. Applied Laser 1998 18(4): 151~ 154(in Chinese).
- [10] SONG G M, WU G, HUANG W J. Cracking control in laser cladding process with unidirectional powder feeding and double scanning [J]. Heat Treatment of Metals 2005 30(5): 26~ 28(in Chinese).

(上接第 495 页)

参 考 文 献

[1] PENG W, GAO S J, ZHANG L *et al*. Influence of the change of refractive index in the cladding of photonic crystal fiber on photonic bandgap [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics 2005 22(5): 777~ 780(in Chinese).

[2] DENG Y L, YAO J Q, RUAN Sh Ch *et al*. High power photonic crystal fiber laser and key issues [J]. Laser Technology, 2005, 29(6): 596~ 598(in Chinese).

[3] RENG G B, WANG Zh LOU Sh Q *et al*. Localized orthogonal function model of the photonic crystal fiber [J]. Acta Optica Sinica 2004 24(8): 1130~ 1136(in Chinese).

[4] WANG R X, DOU Ch Sh, ZHOU Ch L *et al*. Dispersion characteristics of photonic crystal fiber [J]. Semiconductor Optoelectronics 2005, 26(3): 249~ 252(in Chinese).

[5] LEE JH, BELARD IW, FURUSAWA K *et al*. Four wave mixing based

10Gbit/s tunable wavelength conversion using a holey fiber with a high SBS threshold [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2003, 15(3): 440~ 442

- [6] PETROPULOS P, HE DEPR EM H E, FNAZZIV *et al*. Highly nonlinear and anomalously dispersive lead silicate glass holey fibers [J]. Optical Express 2003 11(13): 3568~ 3573
- [7] LIU B, LI H, HUANG D X *et al*. Study on dispersion properties of photonic crystal fiber with orthogonal function methods [J]. Optoelectronic Technology & Information 2006 19(1): 29~ 33(in Chinese).
- [8] FANG H, LOU Sh Q, REN G B. Theoretical analysis on splice loss of photonic crystal fiber [J]. Acta Optica Sinica 2006, 26(6): 806~ 811(in Chinese).
- [9] LI Ch L, SHENG Q Q. The relation between the nonlinear coefficient of PCF and its geometry parameters and the optical wavelength [J]. Acta Photonica Sinica 2006, 35(5): 734~ 737(in Chinese).