

大连工学院

# 表面工程论文集

大连工学院出版社

TG17  
36  
21

大 连 工 学 院  
表 面 工 程 论 文 集

大 连 工 学 院 出 版 社

一 九 八 七 年 五 月



B 11904

## 内 容 简 介

表面工程技术是一项正在和将要大发展的新技术，在国际上被认为是“八十年代十项关键技术之一”。而当前表面工程技术发展中的技术关键是对表层的组织与结构的研究，分析研究表面强化与机应，研究表层薄膜的形态和组织，过渡层的结构，元素分布状况，表层剥落的原因等。这本论文集是大连工学院开展这些方面工作的总结，可供从事表面工程的工程技术人员、副教授、研究生、高年级大学生参考。

## 表 面 工 程 论 文 集

BIAOMIAN GONGCHENG LUNWENJI

大连工学院出版社出版（大连市甘井子区凌水桥）

大连工学院出版社发行 大连凌水印刷厂印刷

开本，787×1092 1/32 印张，6 字数，121千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数：1—800

责任编辑：梅 川 责任校对：张 杰

封面设计：李 戈

统一书号 15400·11 [ISBN 7-5611-0004-3/TG·1]

定价：1.40元

## 前 言

为促进表面工程科研工作的发展，总结近年来所取得的成果，大连工学院于1986年5月13日~14日召开了“表面工程与科学学术讨论会”，会上宣读了40多篇论文。本书中的19篇论文就是从中精选出来的。由于我们的水平有限，在编辑过程中定有不足之处，欢迎批评指正。

大连工学院科研处

1987年3月

## 目 录

- 激光加工表面层特性的实验研究  
.....周锦进 赵福令 亢 羽 ( 1 )
- 铝在海水中孔蚀发展机理的研究  
.....翁 端 火时中 ( 11 )
- 激光打孔的影响因素及工艺探讨  
.....周锦进 赵福令 亢 羽 ( 21 )
- 金属镀层的辉光光谱逐层分析  
.....曹永民 何乃宽 孙金英 ( 30 )
- 化学镀镍磷合金层的耐蚀性  
.....郑杏绯 王国荣 崔朝令 ( 40 )
- 化学镀镍—磷钢领  
.....王国荣 崔朝令 郑杏绯  
李传贤 孙照吉 ( 48 )
- 钢在铝阳极表面溶解过程中的作用  
.....孙鹤建 火时中 ( 54 )
- Fe—Ni—Mn薄膜中等温马氏体的生长过程  
.....杨大智 孙恩喜 ( 63 )
- 铜及其合金化学着色法颜色控制的研究  
.....郭丽娟 苏显云 林桂荣 ( 72 )
- 等离子喷涂涂层结合强度的试验研究  
.....周锦进 徐忠耀 王续跃 ( 77 )

低温固体渗硼化学反应机理的研究

.....陈秀洁 王大庸 张仲麟 ( 84 )

化学镀非晶态镍磷合金的晶化

.....崔朝令 王国荣 郑杏绯  
宋美丽 王德和 李德俊 ( 92 )

离子注入表面改性研究的现状与前景.....马腾才 ( 101 )

65Cr4W3Mo2VNb 基体钢真空渗炭组织及性能

.....周兴久 王大庸 陈淑媛 尤华献 ( 109 )

电化学加工多孔表面传热管的实验研究.....张振邦 ( 124 )

铝合金活塞顶燃烧室表面喷涂氧化锆高温隔热

涂层的实验研究.....谷仁喜 许 锋 ( 132 )

磁控溅射离子镀金属膜的组织与性能研究

.....陈宝清 王斐杰 王玉魁  
朱英臣 牛铁永 韩会民 ( 143 )

磁控溅射离子镀膜装置的物理机制分析及其

等离子性能研究.....陈莉莉 陈宝清  
王斐杰 马腾才 ( 159 )

物理气相沉积层的组织与相结构研究

.....王斐杰 陈宝清 王家祥  
牛铁永 王玉魁 朱英臣 ( 171 )

# 激光加工表面层特性的 实验研究

周锦进 赵福令 亢羽

## 摘 要

本文通过大量的实验研究，对激光加工的金相组织进行了系统分析。同时，研究了激光加工参数，诸如脉冲宽度、脉冲能量、脉冲次数及聚焦条件等对激光加工表面层的影响；比较了激光加工、电火花加工和机械加工的表面特性。实验表明：激光加工表面层是可以利用的热处理组织。

## 一、引 言

激光与金属材料相互作用，由于激光脉冲的短时间作用而引起了金相组织变化。分析这层变化了的金相组织，并同其它加工方式所形成的孔壁进行比较，研究激光加工表面的特性，对激光加工的应用具有非常重要的意义。目前，国内外关于这方面内容的研究较少。本文在实验研究的基础上，旨在分析激光加工表面的金相组织，并初步总结激光加工表面层的一般特性。

## 二、激光加工表面层的分布

通常，激光加工（包括打孔、切割、焊接、划线及去重等）都是利用聚焦后的激光束来完成的。由于激光作用区域极为微小（一般在 $10\sim 100\mu\text{m}$ 的范围内），所以这个微小区域内可产生相当高的温度场，中心部分可达 $10000\sim 20000^\circ\text{C}$ 〔7〕。对于加工金属来说，工件相对这个微小区域是一个大冷源。在一般情况下，激光加工表面在金属基体和空气的冷却下形成熔融再凝固层和热影响层，得到迅速淬火。

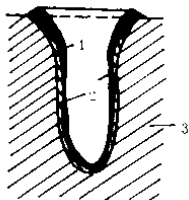


图1 孔的形状及表层结构示意图

金属材料的激光加工表面层即所谓变质层，如图1所示。它基本上由熔化层（即熔融再凝固层）及热影响层两大部分组成。

激光加工所形成的熔化层在整个孔壁上分布很不均匀，在孔口及孔底残留较多，有时甚至在孔口的瓶颈处堵塞了孔（如图2所示）。

这可能是由于激光辐射产生的液相金属占主要成份，并且在激光辐射作用结束时和结束后残留的液相金属靠本身重力自由重新分布的原故。对于大多数金属来说，当激光脉冲宽度 $\tau > 0.1\text{ms}$ 时，液相蚀除量占总蚀除量的50%以上，熔化层对于孔的质量起着非常重要的作用〔8〕。由于熔化层处于表面层的最外部，加热温度远远大于淬火温度，并且温度梯度最大，所以这层组织主要呈现马氏体组织。对于试验所用的45<sup>#</sup>钢材，熔化层的显微硬度（ $H_m 50g 863\sim 971$ ）是基体



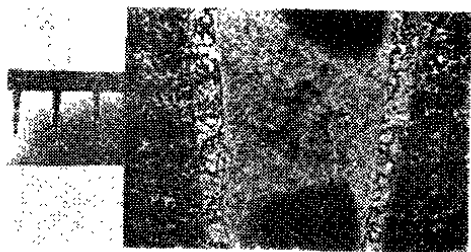


图 2 45# 钢激光打盲孔表面层显微组织 100×

组织 ( $H_m50g$  363~250) 的 2.5 倍以上。这可以由淬火来解释。由于淬火的结果, 形成低碳马氏体以及相的冷作硬化和由热应力引起的塑性变形〔3〕。对于脆性材料, 由于过高的温度梯度, 有时这层组织上产生纵向微观裂纹。裂纹的产生大大破坏了熔化层的性能, 并且熔化层分布难于控制得很均匀, 具有脆性的特点。这层组织往往是不希望的, 应尽量避免。

如果选择合适的加工参数, 或者采用有效的加工工艺, 在加工过程中控制液相的比例, 排除熔融状的金属, 熔化层可以被控制在很薄的范围内。图 3 所示的试件几乎不存在熔化层。这里的白区组织是在固态下实现淬火的马氏体组织。在打通孔的情况下, 几乎见不到熔化再凝固层。这可能是在激光击穿工件的瞬时促进了熔融金属的排除。

表面层的中间层即热影响层, 由完全淬火层和不完全淬火层两部分组成。与熔化层相接的完全淬火层呈现微细的针状马氏体 (如图 4 所示)。这层组织与熔化层有本质区别。熔化层是熔化再凝固过程中淬火形成的马氏体组织, 而这层

组织是在固体状态下实现了相的转变。因此，这层组织具有一般淬火状态下钢的一切特性。

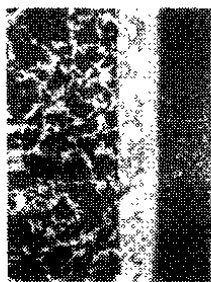
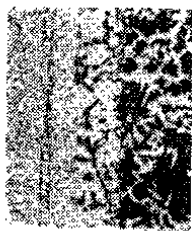


图 3 激光加工表面层组织  
200×



熔化层 热影响层 基体

图 4 45# 钢激光加工表面层  
200×

热影响层的不完全淬火层呈现双相组织。由于加热温度在  $A_{C_1}$  以下，明显的可以见到这层组织中除了马氏体之外，还存在铁素体。铁素体组织的存在降低了这层组织的硬度（见图 5）。

### 三、激光加工参数对表面层的影响

#### 1. 激光脉冲宽度的影响

在激光输出能量一定的情况下，激光加工表面层的厚度随着脉冲宽度的增加而增加。熔化层厚度的增加更为明显。采用过大的脉冲宽度不仅降低了表面层的性能而且破坏了表面光洁度。采用较小的脉冲宽度可以使表面层的厚度降低到很小的范围。

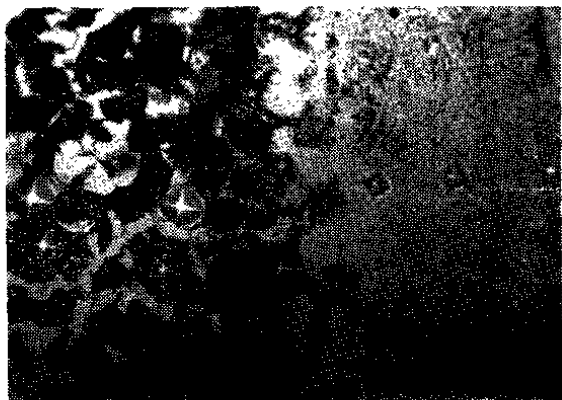


图 5 45# 钢激光加工表面层的显微硬度

## 2. 脉冲次数的影响

图 6 所示为脉冲次数与表面层厚度的关系曲线。从图中可见，在开始的几个脉冲，表面层厚度增加。一般来说，当脉冲数至 5~6 个以后，表面层厚度就不再增加了，甚至有降低的趋势。这可能是由于后续的脉冲击除了前面脉冲遗留下来的部分熔化金属的缘故。

## 3. 聚焦条件的影响

图 7 所示为偏焦量对表面层厚度的影响曲线。在焦点偏离工件表面数值不大时，表面层厚度有所增加。这可能是此时去除金属最多，从而产生了过量熔融金属增加了表面层的厚度。当偏焦量增大时，表面层厚度开始下降。这是由于偏焦降低了加工区的能量密度。

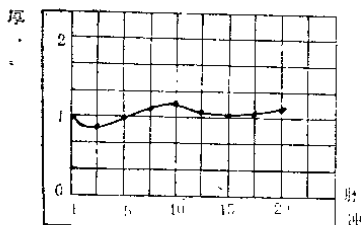


图 6 脉冲次数与表面层厚度的关系 (材料 45# 钢)  
(1 格=0.0775mm)

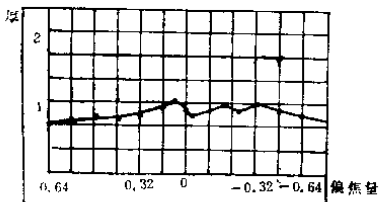


图 7 偏焦量对表面层厚度的影响曲线 (材料 45# 钢)  
(1 格=0.0775mm)

#### 四、激光加工表面层的一般特性

我们利用 MEF-3 型金相显微镜和 MNT-3 型显微硬度计对碳钢和合金钢材料激光加工后的表面层特性进行了试验研究。主要内容归纳如下:

1. 激光加工表面层中的热影响区在整个孔壁上分布基本上一致，特别是在加工通孔的情况下。这可能是由于激光产生的热源在整个孔壁上分布比较均匀的缘故。熔化层分布的不均匀性并不影响热影响层的均匀性。

2. 熔化层的厚度取决于激光辐射结束后熔融的液相金属产生的多少和排除情况。如果选用功率通量密度和脉冲宽度的最佳匹配范围值，控制脉冲前后沿形状，在工件底部衬垫易汽化的非金属材料，或者在激光辐射方向吹入高压气体等〔8〕，可以大大减少这层组织的厚度，甚至可以消除。这层组织由于分布不均匀和具有过脆的性质，破坏了孔的精度和表面光洁度。因而应该尽量采取措施加以消除。

3. 激光加工带来高的加热速度和冷却速度，产生相的冷作硬化。因此，熔化层和热影响层与基体组织相比都具有较高的硬度。如表 1 所示为 45<sup>#</sup> 钢激光加工表面层的显微硬度值。

4. 表面层的相变特征及范围大小与材料加工前的

原始状态有关。如图 8 图 9 所示，40Cr 在热处理前后激光加工所形成的表面层有明显区别。热处理后的 40Cr 激光加工的热影响区厚度增加 1 倍左右。

5. 激光加工产生的热影响层是可以利用的组织部分。如果改变激光加工的介质或者在激光加工的同时喷射适当的气体（如 N<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub>，O<sub>2</sub> 等），这层组织在高温高压下会发

表 1

层次	硬度	组 织	硬 度 Hm 50g 15秒钟
熔 化 层			971~863
热影响层		白色组织	863~733
		黑色组织	546~522
基 体		白色组织	284~250
		黑色组织	364~284

生组织成分的改变，以期得到各种不同应用目的要求的孔壁性质。这种情形对激光精密切割情况也同样适用。这部分内容我们正在做进一步的研究。

## 五、激光加工与电火花、机械 加工表面层的比较

激光加工是在高温熔融和冲击波的作用下，蚀除了金属面而打出一个具有一定锥度的小孔。

电火花加工是基于工具和工件（正负电极）之间脉冲放电的电蚀现象去除多余的金属以达到尺寸加工的目的。火花放电蚀除金属的原因是：放电通道瞬时产生大量的热，达到很高的温度，足以使电极表面的金属局部熔化甚至汽化蒸发而被蚀除下来，形成放电凹坑〔4〕。

激光和电火花加工都是依靠熔化和汽化金属，因此它们形成的加工表面层有相似之处，都具有熔化层和热影响层。

图8和图9所示为40Cr（厚2.8mm）钢材分别在激光加工、电火花加工和机械加工方式下形成的孔壁的显微照片。它们的特点如下：

1. 激光加工比电火花和机械加工的孔壁具有更高的光洁度。这是因为激光加工不存在电火花加工产生的放电凹坑和机械加工时产生的金属撕裂。

2. 激光加工比电火花加工形成的表面层厚2~3倍。这可能与激光辐射强度，作用时间和加温、冷却程度有关。

3. 激光加工和电火花加工孔都具有一定锥度。电火花打孔产生锥度的原因是电极的耗损和二次放电现象；激光打孔产生锥度的原因是激光束几何形状带来的缺陷。但是，选

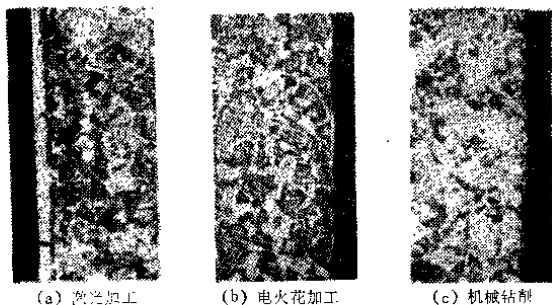


图 8 40Cr在不同加工方式下孔壁表面层的显微组织 200×

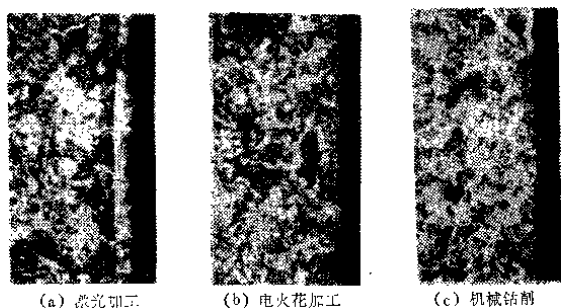


图 9 热处理后的40Cr在不同加工方式下孔壁表面层的显微组织 200×

择有效加工工艺措施，可以限制孔的锥度。

4. 电火花加工是在电解液中进行，不易随便改变；激光加工可以用不同成份的气体作介质，这样就可以根据应用的要求改善孔壁表层的机械物理性质〔3〕。

## 六、结 束 语

激光加工表面层特性的试验研究是一个较大较新的课题。目前，对于表面层的可利用性还存在许多争议。我们初步实验结果表明：在一定条件下，激光加工表面层具有良好的性质，并且在激光打孔和切割的同时，进行某些热处理是可能的。激光加工是利用光——热进行去除金属的方法，它有可能把加工和热处理合并为一道工序，我们称之为“激光加工热处理”。我们实验室正在进行更深入的研究以期获得满意的结果，并寻找一种可行的工艺方法。

### 参 考 文 献

- 〔1〕孙广友译，《国外激光》1985,1.
- 〔2〕张梓华，《国外激光加工》1981,11.
- 〔3〕N. RYKALIN, 《Laser Machining and Welding》.
- 〔4〕刘晋春，《特种加工》哈尔滨工业大学.
- 〔5〕马兴荣等，《电加工》1984,6.
- 〔6〕王荣华，《电加工》1985.
- 〔7〕中国技术大学编，《束流加工》.
- 〔8〕大连工学院 周锦进, 赵福令, 亢羽, 《激光打孔的影响因素及工艺探讨》.



# 铝在海水中孔蚀发展 机理的研究

翁 端 火时中

## 摘 要

研究了铝在海水中孔蚀生长时蚀孔内 PH 和  $\text{Cl}^-$  浓度的变化,  $\text{Cl}^-$  浓度和温度对孔蚀速度的影响; 进行了孔蚀生长过程的跟踪和形貌分析; 讨论了孔蚀生长的自催化作用和孔蚀过程自动停止的特点。

## 一、前 言

铝及其合金具有优良的钝性, 是海洋工程中应用最广泛的材料之一。铝在海水中全面腐蚀率极小, 约  $0.03 \sim 0.05 \text{ mm/a}$ , 小孔腐蚀是其主要破坏形式。铝设备在海水中的使用寿命仅取决于耐孔蚀性能。

铝的孔蚀生长, 前人做了一些工作 [1~8], 考察了诸如电位、电流、时间及某些离子对孔蚀生长速度的影响。关于孔蚀生长的动力学, 亦作了一定的研究。在孔蚀发展过程中, 孔内的  $\text{Cl}^-$  浓度升高和 PH 降低已得到公认, 但目前

• 本课题得到国家科学基金资助。