

激光不锈钢表面彩色打标技术

李承睿 张宇楠 张莹 高笙栋 高亮*
辽宁科技大学理学院 辽宁鞍山 114000

摘要:近年来,随着激光行业的快速发展,各种激光打标机层出不穷。而激光彩色打标技术展现出的独特优势让它逐渐取代了传统标刻的方法。利用波长为1064nm的小功率激光打标机探究其在不锈钢板表面进行不同颜色的标刻所需要满足的参数条件,分析了在不锈钢表面进行彩色打标的可行性。通过对201不锈钢打标参数的调整得到了不同的打标颜色,根据打标结果分析出扫描频率高的时候更容易产生彩色,得到了三种颜色的最佳打标参数:绿色的最佳参数为重复频率200kHz、功率0.302W、扫描速度120mm/s;粉色的最佳参数为重复频率200kHz、功率0.242W、扫描速度150mm/s;蓝紫色的最佳参数为重复频率200kHz、功率0.242W、扫描速度250mm/s。并用304和316L不锈钢验证了最佳参数的普遍性。当光斑重叠率较高时产生的颜色为绿色,随着光斑重叠率降低颜色向粉红色和蓝紫色过渡。同时偏焦距对打标的效果也具有一定影响,需要适当调节焦距来改变激光功率密度的范围从而得到较好的打标效果。

关键词:激光彩色打标;打标参数选择;201不锈钢

引言

激光彩色打标技术作为一种现代精密加工方法,与化学腐蚀加工、电火花加工,机械刻画、印刷等传统的加工方法相比,具有无可比拟的优势。例如:激光做为新型加工手段,具有无接触,无切削力,热影响区小的优点,很好的保证了工件的原有精度^[1]。激光的空间和时间控制性能很好,对加工对象的材质、形状、尺寸和加工环境的自由度大,特别适用于自动化加工^[2]。

一、实验部分

1. 呈色原理

激光作用在金属表面形成彩色的图案标记,其形成过程中涉及激光与金属材料的复杂反应。在激光彩色打标技术发展的初期,人们普遍认为标记的颜色是因为激光高能量作用在金属表面生成了相应颜色的金属化合物^[3]。以本实验中材料201不锈钢为例,根据201不锈钢的成分,在高温下能形成的金属化合物及其颜色大致分为:Fe₂O₃(红褐色)、Fe₃O₄(黑色)、Cr₂O₃(绿色)、CrO₃(暗红色)、MnO(绿色)、MnO₂(黑褐色)^[4]。而在实际的彩色打标试验中,能打出多种多样的彩色样本,彩色种类要远远多于上述化合物的种类。显然由金属化合物呈色这一说法是不成立的。随着激光彩色打标技术的发展,人们开始对激光作用后的金属表面进行研究,最后揭开了彩色呈色的本质是薄膜干涉^[5]。空气中激光

和钢表面之间的热相互作用形成的薄膜的相化学成分形成了复杂的多层复合结构,表面颜色取决于上层氧化膜的干涉效应和下层氧化膜的固有颜色。高能激光束作用在金属表面,经过一系列复杂的反应,在金属表层生成一层薄(几百纳米)的半透明氧化层,当光线以一定角度射入氧化膜,如图1.1所示^[6]。

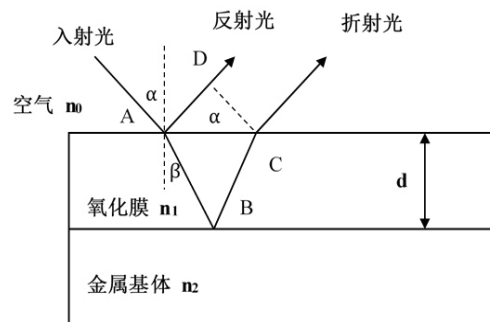


图 1.1 薄膜干涉原理图

2. 实验设备

实验过程中用到的打标机采用上海雕途实业有限公司B3系列光纤激光雕刻机,打标机使用振镜系统代替原始XY轴工作原理来控制激光的扫描方式和速度。激光输出波长为1064nm,输出激光的脉宽为10nm,重复频率在20~200kHz连续可调,最大输出功率为20W,最大单脉冲能量为0.7mJ,光斑直径为5~7mm,光束质量因子小于等于1.3。打标机采用手动对焦升降调节来调节镜头焦距,镜头焦距约为203.75mm。整个打标过程需要使用雕

途软件来建立想要打标的内容以及调节各打标参数，从而得到想要的打标效果。

打标机的雕刻面积在15cm×15cm范围内，打标深度小于等0.001~0.5mm，使用风冷系统对温度进行调节。实验材料为尺寸100mm×60mm，厚度1mm的201不锈钢板，为了保证实验结果的准确性，需要在打标前对材料进行打磨和清洁。

3. 分析不同参数对打标结果的影响

在软件上建立好要打标的模型（本实验选取直径约7mm的实心圆），调整打标参数后，用红光对打标位置进行标定，点击“标刻”后打标机即可进行打标工作，在打标机工作时用功率计测量出每次调整参数后出光的实际功率。

实验1探究扫描速度对打标效果的影响：选择焦点位置，将功率设置为2W，重复频率选择20kHz，以100mm/s为间隔，从200mm/s至1100mm/s依次调节扫描速度进行打标，并测量出实际功率。得到的10组数据如下表1.1所示，可以看出随着扫描速度的加快，测量出的实际功率在逐渐降低。

表 1.1 不同扫描速度对应的实际功率

次数	扫描速度 (mm/s)	实际功率 (W)	次数	扫描速度 (mm/s)	实际功率 (W)
1	200	7.43	6	700	7.17
2	300	7.34	7	800	7.11
3	400	7.29	8	900	7.04
4	500	7.26	9	1000	6.97
5	600	7.21	10	1100	6.90

扫描速度和实际功率的关系如下图1.2所示，可以看出实际功率和扫描速度呈负相关。

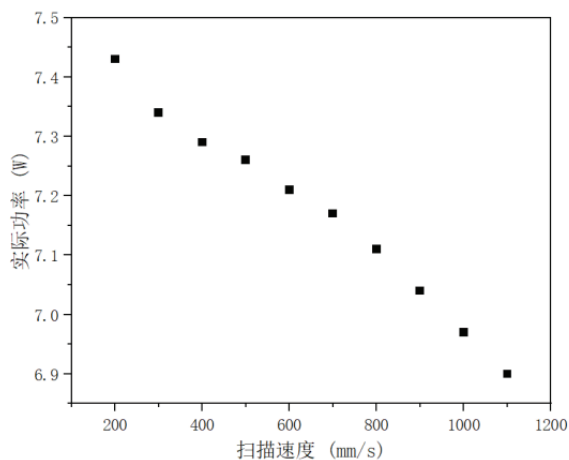


图 1.2 实际功率随扫描速度变化曲线图

实验2探究功率对打标效果的影响：选择焦点位置，将扫描速度设置为700mm/s，重复频率选择20kHz，功率从2W~12W每隔2W调节一次进行打标并测量出实际功率。得到的6组数据如表1.2所示，可以看出随着功率的增大，测量出的实际功率也随之增大。

表 1.2 不同功率对应的实际功率

次数	功率 (W)	实际功率 (W)
1	2	7.15
2	4	7.71
3	6	8.80
4	8	9.89
5	10	10.81
6	12	11.95

功率和实际功率的关系如下图1.3所示，可以看出实际功率和打标功率呈正相关。

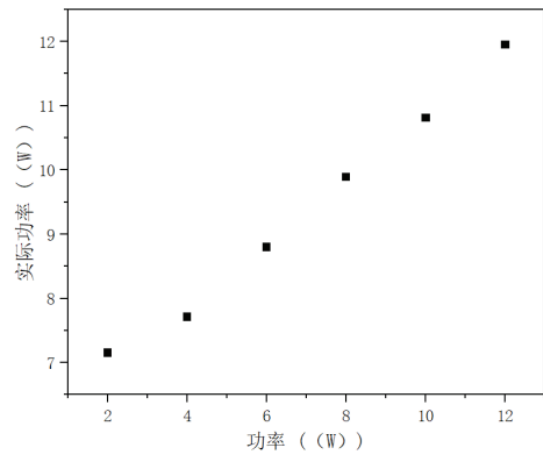


图 1.3 实际功率随功率变化的曲线图

实验3探究重复频率对打标效果的影响：选择焦点位置，将打标速度设置为700mm/s，功率设置为2W，重复频率从20~70 kHz每隔10 kHz调节一次，打标并测量出实际功率。得到6组数据作如表1.3所示，在20~40 kHz时随着重复频率的增加，测量出的实际功率逐渐增大，当重复频率为50 kHz时实际功率反而变小，在50 kHz以后实际功率继续增大。

表 1.3 不同重复频率对应的实际功率

次数	重复频率 (kHz)	实际功率 (W)
1	20	7.13
2	30	7.15
3	40	7.18
4	50	6.29
5	60	6.32
6	70	6.32

重复频率和实际功率的关系如下图1.4所示，可以明显的看出实际功率和重复频率在20~40kHz区间呈正相关，在40~50kHz区间呈负相关，大于50kHz时又呈正相关。

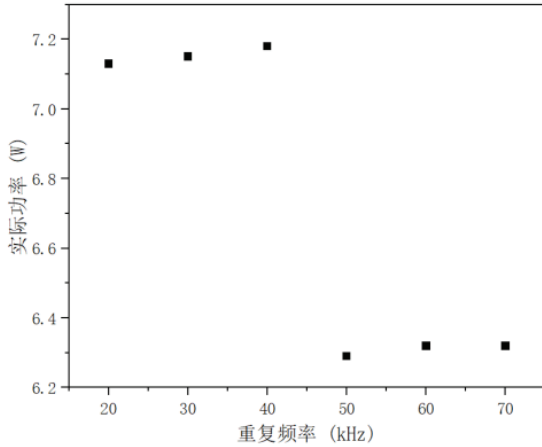


图 1.4 实际功率随重复频率变化的折线图

实验4探究偏焦距对打标效果的影响：将扫描速度设置为700mm/s，功率设置为2W，重复频率选择20kHz，在焦点附近小范围的左右调节焦距，打标并测量实际功率。得到的5组数据纪录如下表1.5，可以看出在焦点附近测量出的实际功率较大，当偏焦距相同时测量出的实际功率也相同。

表 1.4 不同焦距对应的实际功率

次数	焦距 (mm)	偏焦距	实际功率 (W)
1	202.5	1.25	7.07
2	203.0	0.75	7.07
3	203.5	0.25	7.08
4	204.0	0.25	7.08
5	204.5	0.75	7.07
6	205.0	1.25	7.07

焦距和实际功率的关系如下图1.5所示，从图1.5中可以明显的看出在以焦点为中心，左右两侧的实际功率相同，呈对称分布。

二、结果与讨论

1. 三组最佳参数

结合201不锈钢板的着色实验研究结果，分析并总结了三种彩色的最佳打标参数如下表2.1所示，表中列举了绿色、粉色和蓝紫色的最佳参数并分别对其进行了验证，为以后更加深入的研究提供便利。

2. 最佳参数普遍性验证

为了验证表2.1中的最优参数是否具有普遍性，选

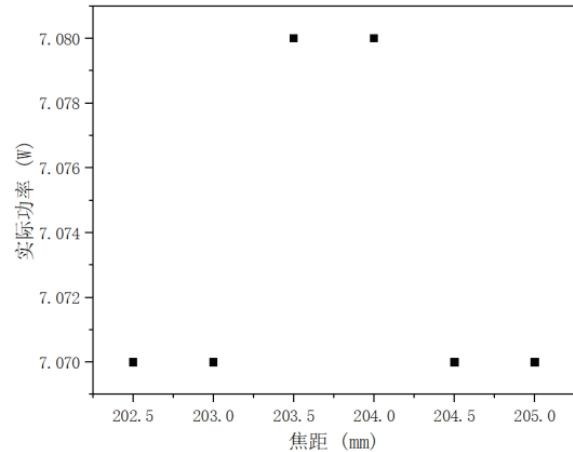


图 1.5 实际功率随焦距变化的折线图

表 2.1 不同颜色打标参数

	频率 (kHz)	功率 (W)	速度 (mm/s)	颜色
第一组	200	0.302	120	绿色
第二组	200	0.242	150	粉色
第三组	200	0.242	250	蓝紫色

注：我们用201不锈钢分别对每组参数进行三次重复实验以保证数据的准确性。

择分别利用304不锈钢板和316L不锈钢板对其进行验证。分别准备尺寸100mm×60mm，厚度1mm的304不锈钢板和316L不锈钢板，在打标前对钢板进行打磨和清洁。对照表2.1中的三组参数分别对两个钢板进行打标，得到了用304和316L不锈钢板对三组打标参数进行验证得到的打标结果。我们可以对比得到316L第一组参数打出的颜色总体是绿色但相对于304打出的结果略偏粉色，而用其他两组数据打出的颜色大致相同。两组打标结果都很好的验证了用201不锈钢板得到的最佳参数对304和316L同样适用，据有一定的普遍性。

结论

本文分析了在不锈钢表面进行彩色打标的可行性，并通过对打标参数的调整得到了不同的打标颜色。总体来说几种打标参数中扫描频率对彩色的产生影响较大，扫描频率高的时候更容易产生彩色。利用矩阵测试法对201不锈钢逐一进行彩色打标，分析打标结果得到了绿色、粉色、蓝紫色三种颜色的最佳打标参数，其中绿色的最佳参数为重复频率200kHz、功率0.302W、扫描速度120mm/s；粉色的最佳参数为重复频率200kHz、功率0.242W、扫描速度150mm/s；蓝紫色的最佳参数为重复

频率200kHz、功率0.242W、扫描速度250mm/s,并用304和316L不锈钢验证了最佳参数具有普遍性。

参考文献

[1]徐白.激光打标物理机制研究[D].长春理工大学,2006.

[2]赵宏亮.金属激光彩色打标技术研究[D].北京工业大学,2008.

[3]Lu Ming. Colour Marking of Metals with Fiber Lasers Proceedings of the 3rd Pacific International Conference on

Application of Lasers and Optics 2008:67-70.

[4]Hongliang Zhao. Investigation in Laser Colorful Marking in Stainless Steel Plate and Ti plate by Pulsed Fiber Laser. Proceedings of the 3rd Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics 2008:515-517.

[5]Zheng. H. Y. Process study for laser-induced surface coloration. Journal of laser application. v14, 2002:215-220.

[6]Talkenberg. M. Modifications and color markings in glasses by UV laser radiation. Materials research society symposium proceedings, v850, 2005:143-147.