

激光加工技术——激光熔覆

周笑薇 王小珍



激光熔覆技术是指以不同的填料方式在被涂覆基体表面上放置选择的涂层材料经激光辐照使之和基体表面一薄层同时熔化,并快速凝固后形成稀释度极低、与基体材料成冶金结合的表面涂层,从而显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热、抗氧化及电器特性等的工艺方法。它始于1974年,而兴起于80年代,可以在低成本钢板上制成高性能表面,代替大量的高级合金,以节约贵重、稀有的金属材料,提高材料的金属性能,降低能源消耗,适用于局部易磨损、冲击、剥蚀、氧化及腐蚀等零部件,具有广阔的发展前景。正因为其发展潜力很大,经济效益可观,所以引起了国内外的普遍重视,纷纷投入人力,物力,财力等进行研究。

激光熔覆与其他表面强化技术相比,具有如下6个特点:冷却速度快(10^6 °C/s),组织具有快速凝固的典型特征;热输入和畸变较小,涂层稀释率低;粉末选择几乎没有任何限制,特别是可在低熔点金属表面熔覆高熔点合金;能进行选区熔覆,材料消耗少,具有卓越的性能价格比;光束可以瞄准难以接近的区域进行熔覆;工艺过程易于实现自动化。

国内外对激光熔覆的研究大致在以下几个方面:1、激光熔覆的理论研究;2、激光熔覆工艺及其组织性能研究;3、激光熔覆的应用研究。

一、激光熔覆的理论研究

激光熔覆是一个动态熔化过程,熔池尺寸小,不

仅存在着传热现象,而且也有着对流、质量传递等,它们直接影响熔池的宏观形貌、偏析、组织和成分的均匀性及其他物理冶金性能。由于激光熔覆采用的激光功率较高,加热和冷却速率都极快;同时熔池的尺寸较小,温度极高,用实验的方法测量熔池中液体的温度分布有一定的困难,许多研究者做了大量研究工作,从不同的方向建立了激光熔覆的热计算模型,这些工作主要分为两个方向:一是对激光熔覆所需的功率参数进行计算预测;二是激光加热温度场的计算模拟,通过激光加热温度场来分析激光熔覆中的温度场、流场及传质等情况。随着计算机技术和红外测温技术的发展,人们开始尝试利用红外热成像技术实际测量激光熔覆的温度场,利用专门软件对红外热图像进行分析,得到最高温度、单点温度、等温分布、冷却速率等结果,为激光熔覆温度场的获得开辟了一条新的思路。

二、激光熔覆工艺及其组织性能研究

激光熔覆是一个远离平衡态的快速加热、快速冷却的复杂物理、化学冶金过程。激光熔覆工艺可以分成两类:一类是激光处理前供给添加材料;另一类是激光处理过程中供给添加材料。第一类主要用粉末预置法,可以用粘结、火焰喷涂和等离子喷涂等;第二类是自动送粉法(见图1)。粉末预置法是将粉末与粘结剂混合后涂在基体表面,干燥后进行激光加热;自动送粉法是在激光照射到基体的同时侧向送粉,粉末熔化后基体微熔,冷却后得到熔覆层。按激光熔覆涂层的功能分,涂层可包括耐磨涂层、耐蚀涂层、热障涂层、抗氧化涂层。在激光熔覆技术中,

强烈刺激,大脑平衡功能遭受到破坏,人因此会产生昏晕头痛,继而是神经错乱、癫狂不止;当次声波频率为4~18赫兹时,又非常接近人体内脏器官的自然振荡频率,能与之产生共振,使人感到恶心难受、发生呕吐、失去平衡感和方向感,继而失去战斗力。次声波能穿透装甲和建筑物,对隐藏在车辆或工事中的敌人也具有良好的软杀伤效果。因此,在未来中低强度局部战争以及维和、平暴等非战争行动中,次声波武器有着广泛的应用前景。现在,有些国家正在

研制一些小功率的次声波枪、次声波炸弹,用于反恐、防暴、防劫机等行动中,只杀伤暴乱、恐怖分子,而不破坏其他一切设施。

除了上述非致命武器外,正在研制或已出现的非致命武器还有:超级润滑剂弹、阻燃弹、声光手榴弹以及电磁能非致命武器等,都是利用物理学原理,使器材或设施在不改变本身特性的情况下丧失能力的武器。

(云南昆明陆军学院物理教研室 650207)

最先选用且研究最广的涂层材料是 Ni 基、Co 基、Fe 基自熔合金,基体材料有各种碳钢、不锈钢、工具钢、铸铁、铝合金、铜合金、钛合金等。这几种自熔合金与上述基体材料具有良好的润湿性,易获得稀释率低、与基体成为冶金结合的致密涂层。在此基础上,在自熔合金中加入各种高熔点的碳化物(TiC、SiC、B₄C、WC)、氮化物、硼化物和氧化物陶瓷颗粒,形成了复合涂层甚至纯陶瓷涂层,进行复合涂层或纯陶瓷涂层的激光熔覆,可获得各种优异的表面性能。熔覆过程中的工艺参数对熔覆件的质量有很大的影响,这些参数可以分成 4 类,它们分别为激光系统、基体材料、处理条件和涂敷材料。激光熔覆工艺参数主要有激光功率、光斑直径、离焦量、送粉速度或预置厚度、扫描速度、熔池温度等,他们对熔覆层的稀释率、裂纹、表面粗糙度以及熔覆零件的致密性都有着很大影响。一个好的熔覆层应该具有较低的稀释率,无开裂、无气孔、无夹渣,使用时无脱落,熔覆层与基体呈冶金结合,性能均匀,外观平整,能满足预定的使用性能要求。

激光熔覆工艺决定了熔覆层分为 3 个区域,熔覆区、结合区和热影响区。在激光束的辐照下,熔覆区的温度呈径向分布,使得熔覆区组织呈现为定向生长的组织形态。但在不同的材料体系和工艺参数条件下,熔池结晶的形态是各不相同的,如平面晶、胞状树枝晶、柱状晶、树枝晶和等轴晶等。随着离熔覆层与基体结合界面距离的增加,熔覆层枝晶特征尺寸随之减小,即组织不均匀;同一高度下,不同部位的特征尺寸变化不大,即组织均匀。研究表明,提高扫描速度是改善熔覆层组织不均匀和提高熔覆层性能的途径之一。随着工艺研究的深入和拓宽,特别是随着高精密分析测试技术的成熟,已可以在纳米

尺度甚至原子尺度给出精细结构及性能的有关信息,为激光熔覆层组织的观察,扩展固溶体、非晶相及亚稳相的鉴定、位错亚结构的观察与识别提供了强有力的技术手段。

熔覆层的开裂和基体的变形,是激光熔覆中最棘手的问题。而导致熔覆层裂纹的产生是由于内部存在着较大的拉应力。这种内应力是激光熔覆过程中组织应力、热应力和拘束应力综合作用的结果。综合现有的研究成果改善激光熔覆层的应力状态和消除裂纹的方法有以下几种:

合理设计熔覆材料的成分和组织 由于不同的熔覆材料具有不同的热物理参数(弹性模量、熔点、导热系数和热膨胀系数等),它们与基体材料在热物性上的差异,将导致熔覆层内产生很大的内应力。熔覆材料体系的选择,必须根据覆层要求的使用性能和工艺条件,遵循着改善熔覆合金对基材润湿能力,降低覆层的热胀系数,减少熔覆合金的熔化温度区间,控制结晶方向,提高韧性相含量的原则。采用中间过渡层,也是减少熔覆裂纹的有效方法。

合理地选择激光工艺方法和参数 目前,对低能密度、大光斑的研究发现,大光斑配以慢速扫描,可以形成无裂纹的覆层。由于影响因素很复杂,在实际选取工艺参数时,根据覆层的几何尺寸和使用性能的要求,通过调整激光功率、光斑的形状和尺寸、送粉速率和扫描速度来控制激光能量密度和作用时间,以达到最佳的熔覆层质量。通过对基材预热和熔覆后的保温,也可以降低裂纹形成的倾向。

改善熔覆层的冶金质量 对于熔覆层与基体间的气孔和夹杂物,可以通过调整工艺参数,适当增加能量密度,改善熔体的流动性来净化熔覆材料,消除气孔和夹杂。另外,添加稀土元素是细化熔覆层组织、减少应力、降低夹杂的有效方法。稀土元素的加入可以提高熔体的流动性,降低熔池的表面张力,改善熔覆层的表面粗糙状况;促进熔覆材料中 Si 等元素发生脱氧、造渣反应,减少残渣与熔体的表面张力,使熔渣迅速上升,覆盖在高温熔体表面,隔绝其与大气的接触,防止氧化。稀土元素有利于提高熔覆合金结晶的形核率,细化晶粒,提高强韧性。另一方面,可使组织内的微小孔洞减少,提高合金组织的致密性,改变共晶产物和化合物的形态。在熔池凝固初期就会沉淀出高熔点的稀土化合物,消除易产生热

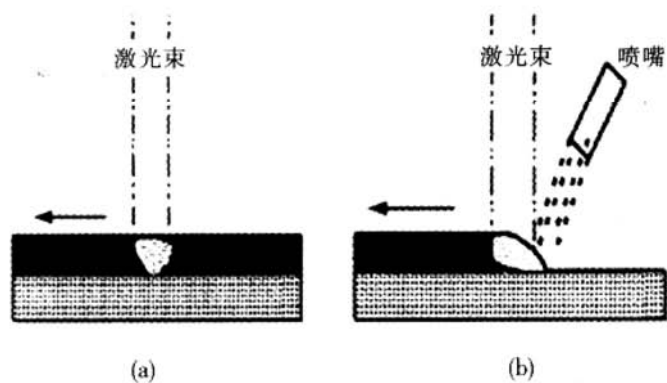


图 1 激光熔覆技术原理示意图
(a)粉末预置法 (b)自动送粉法

裂纹的低熔点共晶产物。

熔覆层的界面问题 熔覆层与基体的结合状态、稀释程度、应力分布、开裂倾向、组织和性能的关系等都与界面行为有关。目前,对熔覆界面的主要研究方向有:(1)从固/液界面角度出发,要求熔覆材料对基体具有良好的润湿性和铺展性。由于熔覆过程中,覆层和基体界面往往具有反应界面的特征,因此,界面的化学相容性成为熔覆研究的重点。(2)从固/固界面角度出发,研究每一个亚层的性质与熔覆材料、基体材料的性质和熔覆工艺的关系。随着高精度仪器的开发与应用,人们必能直接观察界面的微观、介观层次,结合计算机进行结构的模拟分析和变化。实现界面的相容性设计,熔覆合金体系的设计,促进激光熔覆技术的发展。

三、激光熔覆的应用研究

激光熔覆的应用大致体现在以下几个方面:

在航天工业中的应用 航空发动机钛合金和镍基合金摩擦层的接触磨损使发动机使用和维修中的一大难题,通过激光熔覆技术则可获得优质的涂层,为燃气涡轮发动机零件的修复开创了一个新局面。如针对航空发动机涡轮转子部件,航空发动机涡轮叶片叶尖锁口部位的实际使用情况,研究了激光熔覆高温耐磨涂层的激光喷涂技术,在 DZ4 合金基体上,喷涂了 CoCrW 合金粉末和 WC 粉末的机械混合物,厚度为 0.3mm,提高了高温耐磨及抗腐蚀性能;再者对镍基合金制造的航空发动机涡轮叶片,利用激光熔覆技术熔覆钴基合金,提高了耐热和耐磨性能,与过去的方法(如热喷镀)相比,缩短了涂层制备的时间,质量稳定,且消除了由热影响所致可能出现的裂纹等等。

在汽车工业中的应用 在汽车发动机气门、气门座全密封锥面、气门阀杆小端面以及排气阀、阀门座表面等要求耐高温、耐磨损及耐腐蚀性的工作面上,用激光熔覆形成具有优良的耐磨、耐热性合金涂层。

改善金属材料的耐蚀性 激光熔覆是提高金属材料腐蚀性能的有效途径之一。如熔覆 NiCrSiB 使电化学性能提高,熔覆陶瓷材料使耐蚀、耐磨等性能提高;化工设备使用的管道需要有高的耐蚀性能,用 CO₂ 激光进行辐照,在管子外部形成 50Cr-50Ni 成分的涂层,耐蚀性能明显提高;大型排尘风叶片 30CrMnSi 的 Ni 基合金与 WC 合金粉末的熔覆,使

其抗磨粒磨损和耐腐蚀性能大大提高。

在模具上的应用 激光熔覆处理可以改善工模具钢的表面硬度、耐磨性、红硬性、高温硬度、抗热疲劳等性能,从而不同程度上提高了工模具的使用寿命。如激光熔覆高温耐磨涂层在轧钢机导向板上,其寿命与普通碳钢导向板相比提高 4 倍以上;与整体 4Cr5MoVSi 导向板相比轧钢能力提高一倍以上,减少了停机时间,提高了产品的产量和质量,降低了生产成本等。

在轧辊行业中的应用 轧辊是轧钢工业中经常耗用的工具,它作为轧钢机的直接工作部件,其质量的好坏直接关系导轧板、带材的质量和产量。利用激光熔覆技术对轧辊表面进行改性和修复已成为国内外普遍关注的实际问题。

激光熔覆的快速成型 激光技术的发展使人们可以精确调节和控制高能光速,从而可以实现对材料的精细的转换、堆积和加工处理。正是由于激光技术和材料科学的发展,结合 CAD 技术,在传统制造工艺的基础上,开发了新的工艺即快速成型-RPM 技术,该技术的实质是精密激光熔覆。它可以降低生产费用,缩短生产周期。目前,该技术仍处于起步阶段。

四、激光熔覆的发展方向

激光熔覆技术作为新兴的交叉的表面处理技术,从基础理论、工艺、设备的开发和研制、工业化应用方面都面临着许多研究课题。以下几个方面是激光熔覆发展的关键和前沿课题:

◆从凝固动力学、结晶学和相变理论出发,系统研究激光快速凝固行为,揭示材料微结构的形成、演化机理及其规律;凝固过程中溶质的非平衡规律及界面的稳定性,丰富和发展快速凝固理论、相变理论和界面理论。

◆深入研究界面的精细结构,并结合计算机模拟分析,揭示界面结构,实现界面的相容性设计。

◆深入研究激光束和熔覆材料粉末的相互作用规律。重点解决同步松粉激光熔覆粉末粒子在激光束中的运动规律、加热和吸热特性。为激光参数的选择和送粉控制系统的设计提供理论依据。

◆建立简洁的、适合于现场控制的数学分析模型,缩短确定最佳工艺参数的时间,实现熔覆工艺系统的设计。

◆从理论和实践上,研究熔覆层产生残余应力和

超声医学诊断技术的发展

王 钠

早在 20 世纪 40 年代,工业上用于探伤的超声脉冲回波技术首次被引入医学诊断,提出了 A 型 (amplitude mode) 诊断技术,从而掀开了超声诊断的历史篇章。

A 型超声诊断技术采用了如雷达或声纳的回波定位原理。当把一束超声波射入人体后由于人体内不同组织器官或同一组织器官的不同结构或状态(正常的和病变的)下的声学特征阻抗不同,就会引起强度与数量不同的反射或散射回波。示波器屏幕上 Y 轴表示回波幅度, X 轴表示声波传入人体的时间(或深度)。医生就是根据这疏密与大小不同的回波波形进行诊断的。

A 型超声诊断技术虽然在 20 世纪 50 年代就已有效地应用于颅脑、眼睛、心、胰及胆等疾病的诊断。但是这种波形既不直观也不形象,所以自 60 年代起,临床上应用的大部分 A 型超声诊断仪就开始逐渐被 B 型超声诊断仪所取代。

B 型 (brightness mode) 是指由超声脉冲回波调制的二维亮度(或灰度)显示。它反映的是人体某一断面上的信息。此时,屏幕上的 Y 轴代表声波传入体内的时间(或深度),而其亮度则由对应空间点上的超声回波幅度调制; X 轴代表声束(或声线)对人体扫描的方向。这样,超声束对人体扫描,就等同于无损地把人体切开一个断面,并用亮度调制的相应的二维图像把它再现在屏幕上。从物理学上来看,一帧 B 超图像大体上可看成是人体内这个断面上声阻抗变化界面的分布。

B 超诊断仪几乎可对人体所有脏器进行诊断,如心、肝、胆、胰、肾及眼、乳房、妊娠子宫。在妇产科, B 超已在确定妊娠日期、评价胎儿生长发育及检查胎儿先天性畸形等方面发挥着独特的作用。

B 超图像显示的就是声束扫描的那个人体断面。如果显示的图像是与声束相垂直的某一等深断

裂纹的机理,寻找出有效的解决方法,确保工艺实施的稳定性。

◆解决与大功率配套的适于熔覆的宽带扫描装置及熔覆材料添加方式和工艺稳定性。开展大面积

面,则称为 C 型 (constant deep mode) 技术。C 型与 F 型 (free section mode) 超声显示仪已开始用于乳房病变诊断,但还远未推广。

M 型 (motion mode) 超声诊断仪,通常称为超声心动图。它与 B 超诊断仪的区别在于显示屏幕上的 X 轴代表时间展开,因此它显示的是在超声传播方向上(一维)回波位置随时间变化的位移信息。M 型技术用于检查心脏时,可显示心内膜,外膜及心肌层的运动状况,它常与心音、心电等测量同步显示,以在多种参数相互比较中获得尽量多的诊断信息。

D 型 (Doppler mode) 超声诊断仪的工作原理完全是另一套。如果说上述各种诊断仪都是从超声回波幅度来获取诊断信息的,那么 D 型诊断仪则是通过物理学中为人熟知的多普勒效应,从超声回波的多普勒频移中取得诊断信息的。因此 D 型诊断仪只适用于检查运动目标,如血流及胎心等。例如,一束频率为 f_0 的超声波作用到运动速度为 v 的目标上,从目标物上的反射(或散射)回波频率将变成 f ,则有

$$f_D = f_0 - f = f_0 \frac{2v}{c_\alpha} \cos\theta$$

f_D 即称为多普勒频移, C_α 为声速, θ 为声波传播方向与目标运动方向的夹角。可见, f_D 的大小反映了目标的运动速度, f_D 的正负符号则反映运动方向,朝向或远离声源。

超声多普勒诊断仪主要分连续与脉冲两种。前者多用于胎心监护,后者主要用于血液动力学分析

激光搭接熔覆的实验研究,开发新的激光熔覆技术。完善熔覆层质量的监控、检测和评价手段;加强激光熔覆层复合加工技术的探讨。

(郑州师范高等专科学校物理系 450044)

现代物理知识

