

LASER CLADDING TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS



激光熔覆技术及应用

Company
LOGO



目 录



1

激光表面改性技术概述

2

激光熔覆技术原理及工艺

3

激光熔覆技术的应用案例

4

激光熔覆技术存在的问题

5

激光熔覆技术的发展



激光概述

简单的说就是受激发射的光放大所产生的辐射。

特性

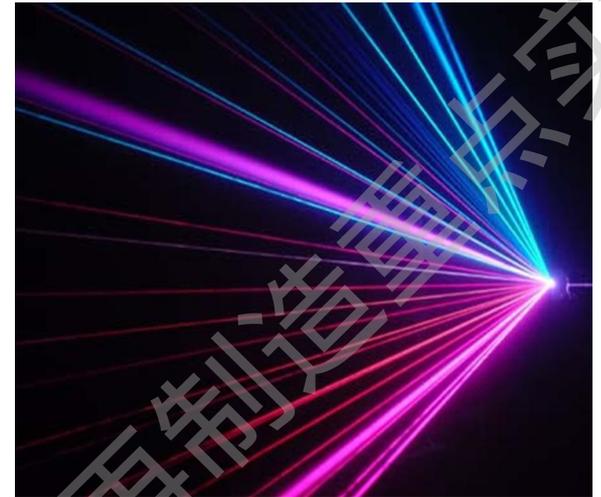
极好相干性：相干长度可达几十公里

极好单色性：氦氖激光器 $\Delta \lambda < 10^{-7} \text{Å}$

极好方向性：发散角 $\sim 10^{-4}$ 弧度

能量集中性：几个微米的范围内产生几百万度的高温

极大脉冲瞬时功率：可达 $\sim 10^{14} \text{W}$



1. 激光表面改性技术概述



激光表面改性技术简介

- ❖ 激光表面改性技术是运用高能激光束对零部件进行快速、局部的改变性能的特种加工技术，使零部件达到所需要的性能，激光在表面改性方面的应用最为广泛。
- ❖ 激光表面改性可以大幅度提高金属材料的表面硬度、耐磨性和耐蚀性等，可大幅度的提高材料或零部件的性能和寿命。激光表面处理效果的优越性使其应用领域不断扩大，从黑色金属到有色金属，甚至还可用于非金属材料的表面改性。



1. 激光表面改性技术概述



激光表面改性技术的优点

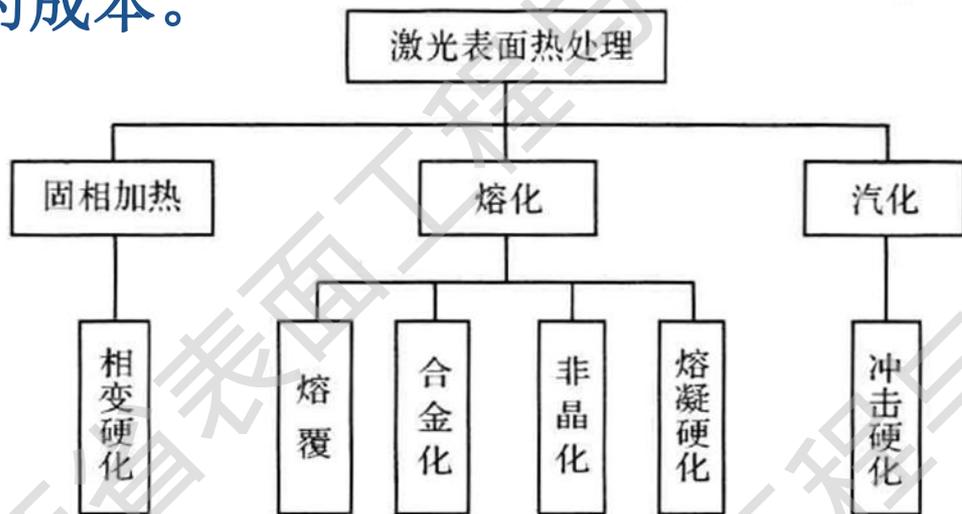
- ❖ 激光表面处理同其他处理技术相比具有很多独特优点。首先，激光熔化后形成的组织化学**均匀性**很高，而且晶粒非常**细小**，因而强化了合金，使力学性能大大提高；其次，由于热输入小，工件**变形小**，对基体产生的热影响很小等；
- ❖ 另外，激光表面处理技术对**环保**几乎没有负面效应，明显的性能优势将使激光表面改性技术在众多表面改性技术中占据主导地位。
- ❖ 随着激光器、机器人和自动控制技术的发展，激光表面改性技术将向着大功率、自动化、智能化的方向迈进。

1. 激光表面改性技术概述



激光表面改性的分类：

根据采用的不同激光能量密度和不同处理方式，激光表面改性主要有下图所示这些方法，这些方法的目的是为了**使工作面获得基材无法达到或代价太大的高硬度、高耐磨性以及高耐蚀性等性能，从而在满足工作要求的基础上大幅度节约成本。**

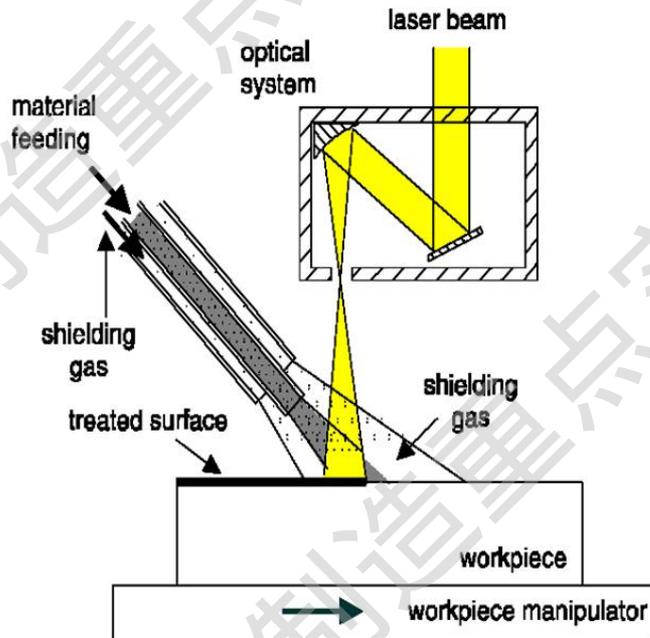


2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的原理

❖ 激光熔覆是以激光作为热源，用不同的添料方式在被熔覆的基体上放置所选择的涂层材料，经过激光照射使之与基体表面一薄层同时熔化，并快速凝固后形成**稀释度极低**、并与基体材料形成**冶金结合**的表面涂层。激光束根据应用程序给定的路线来回扫描，从而逐线逐层进行实现改性或再制造。从而显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热及抗氧化能力的工艺方法



稀释率：指的是在激光熔覆过程中，由于基材元素的混入而引起的熔覆层合金成分的变化，并用基材合金在熔覆层中所占百分比表示的一个指标。

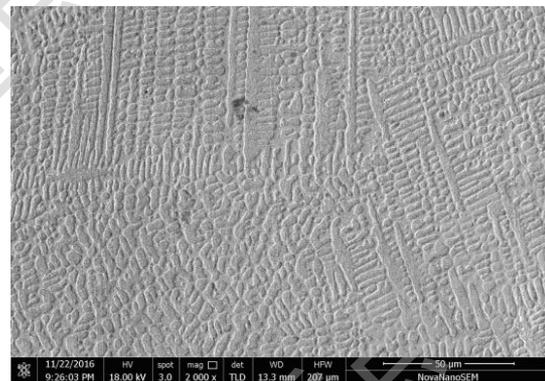
冶金结合：指两件金属的界面间原子相互扩散而形成的结合。

2. 激光熔敷技术原理及工艺



激光熔覆的特点

(1) **冷却速度快**（高达 $10E6K/s$ ），属于快速凝固过程，容易得到细晶组织或产生平衡态所无法得到的新相，如非稳相、非晶态等。



(2) 热变形小，涂层稀释率低，涂层与基体呈良好的冶金结合，成品率高；

(3) 涂层材料的选择范围大，如铁基合金、镍基合金、钴基高温合金和陶瓷材料等；

(4) 涂层厚度一般为 $0.2mm \sim 2mm$ ，适用于磨损件的修复；

(5) 加工精度高，可处理较小或难加工的区域；

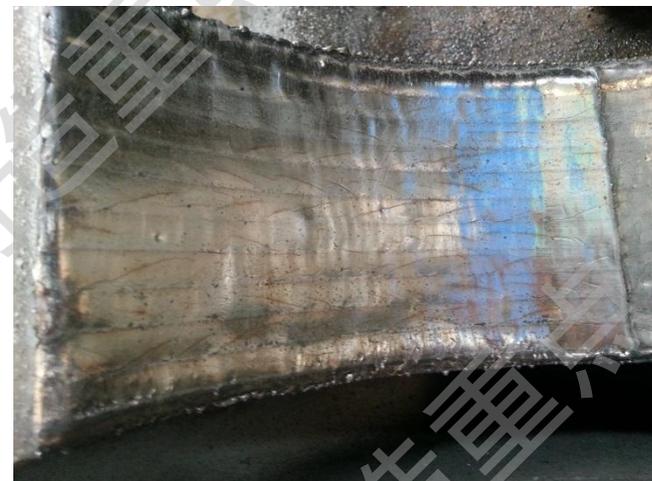
(6) 工艺过程易于实现自动化。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的特点

- ❖ 由于激光熔覆的众多优点，因而在各行各业中得到广泛的应用，但是激光熔覆技术也存在它的不足之处：
 - (1) 由于涂层与基体产生较大的温度梯度，使熔覆涂层与基体体积膨胀收缩率不一致，因此熔覆涂层产生**裂纹的敏感性比较大**；
 - (2) 由于熔覆带较窄，要想得到大面积的激光熔覆涂层比较困难。





2. 激光熔覆技术原理及工艺

激光熔覆发展现状

- ❖ 激光熔覆主要用于改善和提高材料的**表面性能**及零件**再制造**。它通过不同的添料方式（一般包括同步送粉法和预置粉末法）在基材表面添加激光熔覆材料，并利用高能量激光束使其熔覆粉末与基材表面薄层一起熔凝的方法。由于合金粉末的性能优于基体，与基体呈冶金结合，因此使基体表面的**耐高温**、**耐磨损**和**耐腐蚀**等特性得到提高。





2. 激光熔覆技术原理及工艺

激光熔覆设备

- ❖ 激光熔覆成套设备组成：激光器、冷却机组、送粉（丝）机构、熔敷头、加工工作台等。
- ❖ 激光器的选用：应用广泛的有半导体激光器、半导体光纤耦合激光器、**CO₂**激光器、固体激光器。

熔敷头

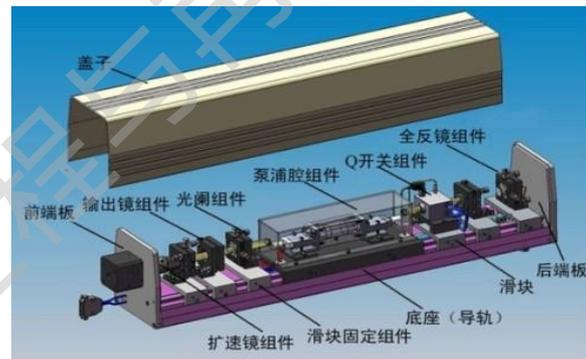
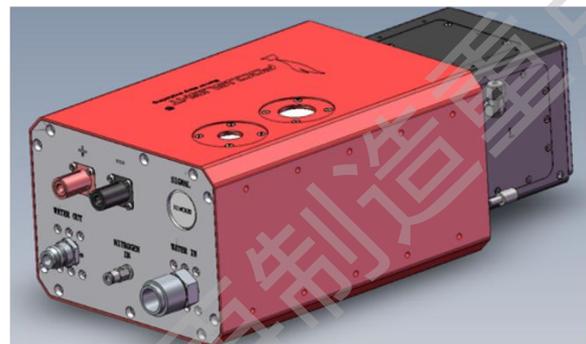
加工工作台

冷却机组



送粉机构

激光器



2. 激光熔覆技术原理及工艺



添料方式

- ❖ 根据熔敷材料供应方式的不同，激光熔覆可以分为两种，即**预置法**和**同步法**。熔覆材料可以选择丝状材料、板状材料、粉末材料等，其中粉末熔覆应用比较广泛。
- ❖ 同步法常见的有同轴送料和侧向送料两种方式。
- ❖ 直接预置法包括无粘结剂预置法和粘结剂预置法。

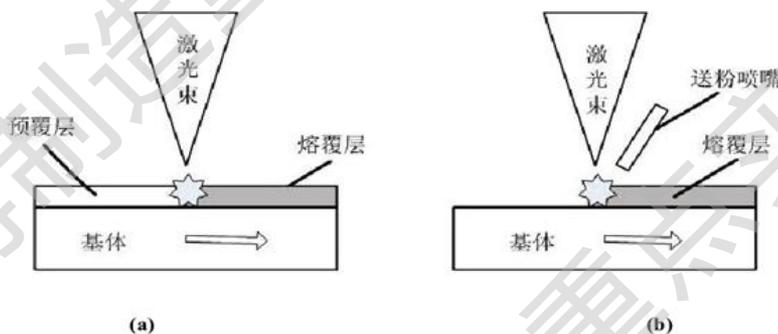


图 1-1 激光熔覆送粉方式
(a-预置粉末法；b-同步送粉法)



2. 激光熔覆技术原理及工艺



添料方式

- ❖ 无粘结剂预置法是指利用预置工件将粉末直接预置到基体上，预置的过程中要使粉末分布均匀然后用激光进行熔覆。
- ❖ 粘结剂预置法指将粘结剂（一般为有机溶剂，常用的有纤维素、环氧树脂、聚乙烯醇、酚醛树脂等）粉末按照一定的比例混合加入少量的水使其成为糊状，然后使用预置工具将其预置到基体上并放置一段时间使其涂在基体上干燥的方法，粘结剂预置法成本低，操作简单，但通过激光束的照射粘结剂界面易产生气泡，因而会造成熔覆涂层产生气孔、裂纹、脱落等缺陷使熔覆涂层的质量下降。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



添料方式

- ❖ 侧向送料法是粉末流（或丝）与激光束轴线之间存在一定夹角，即喷嘴置于激光束一侧。
- ❖ 同轴送料法是粉末流与激光束都垂直于熔覆层表面。实现方法有二种：①环形送粉。环形粉末流围绕垂直放置的单个激光束，并汇聚于粉末流焦点。②光内送粉。环形激光束围绕垂直放置的单个粉末流，并与粉末流相交。

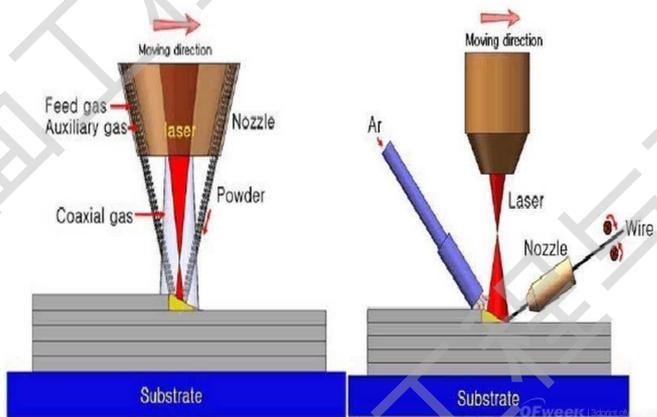


图 3

2. 激光熔覆技术原理及工艺



添料方式

- ❖ 侧向送粉方式设计简单、便于调节，适合大光斑激光器大面积熔敷加工。但熔覆层的表面精度和均匀一致性较差。侧向送粉方式只适合于线性熔覆轨迹的场合，不适合复杂轨迹的运动。同轴送粉粉末流量和熔覆层形状的稳定性和均匀性较好，金属成型件的精度和质量较高。



2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的一般工艺流程

- ❖ 预置式激光熔覆的主要工艺流程为：基材熔覆表面预处理---预置熔覆材料---预热---激光熔化---后热处理。
- ❖ 同步式激光熔覆的主要工艺流程为：基材熔覆表面预处理---送料激光熔化---后热处理。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的工艺参数

- ❖ 激光熔覆是一个复杂的物理、化学冶金过程，是一种对裂纹敏感的工艺。激光熔覆工艺参数是影响激光熔覆涂层质量的一个重要的方面。
- ❖ 激光熔覆工艺参数主要包括激光束**扫描速度**、**光斑直径**、**激光功率**、**搭接率**、**离焦量**等。
- ❖ 涂层成形质量的影响对于激光再制造产品的可靠性非常重要，熔覆材料和激光熔覆工艺的选择决定了最终的涂层质量，而工艺参数对于控制涂层质量具有很大的影响。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的工艺参数

- ❖ 激光功率与稀释率成正比关系变化，随着激光功率的增大，粉末与基体的表面温度增加从而熔化量增大，因此容易产生气孔、裂纹等现象。
- ❖ 如果激光功率持续增大，基体的熔化加剧，从而导致基体变形或者产生裂纹等现象。
- ❖ 如果激光功率过小，激光稀释度变小，涂层与基体的冶金效果不好，容易出现脱落现象。为了避免此问题，应该控制合理的激光功率。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的工艺参数

- ❖ 熔覆涂层单位面积所需能量叫做**能量密度** E ，又称激光比能，其计算公式为 $E = P / DV_b$ （激光束功率 P 、激光束光斑直径 D 及激光扫描速度 V_b ）。研究表明激光比能与激光功率有着密切的关系，在光斑直径与扫描速度一定的情况下，激光比能与激光功率成正比关系。
- ❖ 扫描速度是激光工艺参数中非常重要的参数。**极限速度**是指激光束只可使合金粉末熔化，而几乎不能使基体熔化的扫描速度。要使涂层成形完好，要求激光扫描速度必须小于极限速度。



2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的工艺参数

- ❖ 光斑直径主要影响熔覆涂层的宽度，光斑直径和熔覆涂层宽度以及扫描速度的关系可由下式确定： $W = D \times (1 - aV_b)$ ，式中， a 为经验常数，和工艺特性材料属性有关。
- ❖ 当其他工艺参数一定的情况下，随着光斑直径的增大，涂层宽度增大，激光熔池增大，因此其表面张力减小，涂层质量得到一定的提高。如果光斑直径过小，则很难得到大面积的熔覆，如果光斑直径过大，激光束热量容易分散，影响涂层的质量。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



激光熔覆的工艺参数

- ❖ 要想得到大面积的激光熔覆涂层，需要从搭接方面来入手分析。因此**搭接率**是影响大面积涂层质量的一个重要标准。如果搭接率过低，搭接处容易形成凹坑等缺陷且表面比较粗糙，如果搭接率过高，涂层表面变的比较平整光滑，但是可能会有气孔、裂纹的产生，因此要选择合适的搭接率。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



熔覆材料

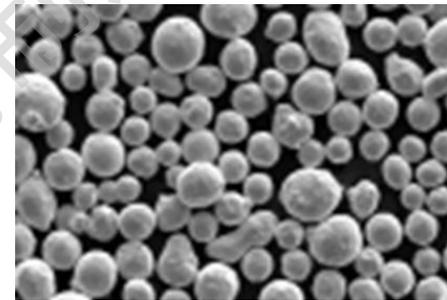
- ❖ 在激光熔覆过程中，影响激光涂层成形质量和性能的因素非常复杂，激光熔覆材料是一个主要因素。按熔覆材料的初始供应状态熔覆材料可分为**粉末状**、**膏状**、**丝状**、**棒状**和**薄板状**。其中应用最广泛的是粉末状材料。
- ❖ 按照材料成分构成激光熔覆粉末材料主要分为**金属粉末**、**陶瓷粉末**和**复合粉末**等。在金属粉末中自熔性合金粉末的研究与应用最多。
- ❖ 目前广泛应用的主要有 **Fe、Ni、Co** 基自熔性合金粉末以及为了进一步提高耐磨性而加入各种陶瓷相混合形成的金属陶瓷材料。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



自熔性合金粉末

- ❖ 所谓自熔性合金是指：含有**B**和（或）**Si**元素，熔点较低，大约在**950~1150°C**之间，本身具有脱氧、造渣、除气和良好浸润性能的合金。自熔性合金粉末具有较好的熔覆工艺性能，熔溶覆层表面成型良好。能够与基体材料形成良好的湿润性和结合性，提高冶金效果。在激光熔覆粉末中加入一些氧化物能够提高其涂层的耐磨耐蚀等性能。
- ❖ 自熔性合金粉末主要分为**镍基**、**钴基**、**铁基**自熔性合金粉末。



2. 激光熔覆技术原理及工艺



自熔性合金粉末

- ❖ **镍基**自熔性粉末具有非常好的自熔性，良好的韧性、耐冲击、耐热性、抗氧化性及较高的耐蚀性，但是高温性能较差。
- ❖ **钴基**自熔性粉末比镍基自熔性粉末自熔性能要差一些，但其耐高温性能最好，且具有良好的耐热震、耐磨、耐蚀性能，但成本较高。
- ❖ **铁基**自熔性粉末的自熔效果较前两种粉末最差且抗氧化性能差，但是成本最低。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



陶瓷粉末

- ❖ **陶瓷粉末**主要包括**硅化物陶瓷粉末**和**氧化物陶瓷粉末**两种，其中又以**氧化物陶瓷粉末**为主。
- ❖ 陶瓷材料具有优异的硬度、强度、耐磨、耐蚀、耐热以及高温抗氧化、硫化性能和化学稳定性能。
- ❖ 目前生物陶瓷研究也越来越流行，如为改善医用钛合金的生物活性和生物相容性而在金属材料表面激光熔覆含**Ca、P**的羟基磷灰石生物陶瓷涂层。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



复合材料

- ❖ **复合材料**主要指碳化物、氮化物、硼化物等各种高熔点硬质陶瓷材料与金属混合而成的粉末体系。
- ❖ 采用复合粉末，在进行激光熔覆时，一方面，合金材料可以保护陶瓷相，减少其烧损；另一方面，韧性高的合金基体可减小涂层的热膨胀不匹配，降低残余应力，提高涂层性能。通过向熔覆材料中加入陶瓷颗粒，经激光辐照并快速熔凝后可形成金属陶瓷复合涂层，从而改善单一金属熔覆层的性能，使零件表面获得更高的耐磨、耐蚀、耐高温和抗氧化性能。

2. 激光熔覆技术原理及工艺



选择熔覆材料的原则

- (1) 熔覆材料和基体材料**熔点**匹配，熔覆材料和基体材料熔点不能相差太大，否则难以形成与基体冶金结合且稀释度小的熔覆层。
- (2) 熔覆材料与基体材料应具有良好的**润湿性**（浸润性），以保证熔覆层与基体有良好的结合性能。
- (3) 尽量控制粉末的**粒度**在一定的范围内，要避免粉末过细，影响熔池的流动性，粉末如果过大，影响激光熔覆工艺性能。
- (4) 熔覆材料的**热膨胀系数**、**导热性能**应尽量与基体材料相接近，以免在熔覆层中产生过大的残余应力，从而造成裂纹等缺陷；

2. 激光熔覆技术原理及工艺



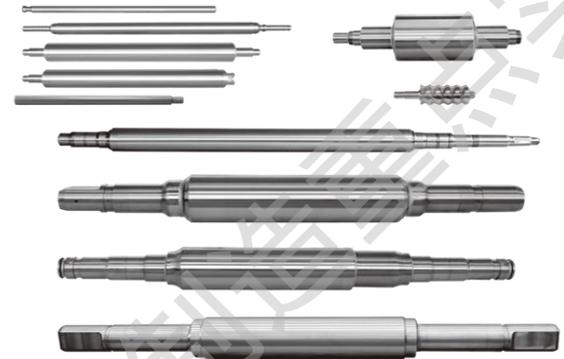
选择熔覆材料的原则

- ❖ **4.** 熔覆材料应具有良好的**化学稳定性**和**热稳定性**。材料在激光熔覆过程中承受高温，应具有良好的化学稳定性和热稳定性，即在高温下不挥发、不升华、不发生有害的化学反应和晶型转变，保持原材料的良好性能；
- ❖ **6.** 熔覆材料应具有良好的**脱氧、造渣**能力；
- ❖ **7.** 熔覆材料为粉末时应具有良好的**流动性**，熔覆材料为丝材或板材时应具有良好的成形性能，具有一定的强度、规格尺寸应均匀准确、表面清洁无污染。



3. 激光熔覆技术的应用案例

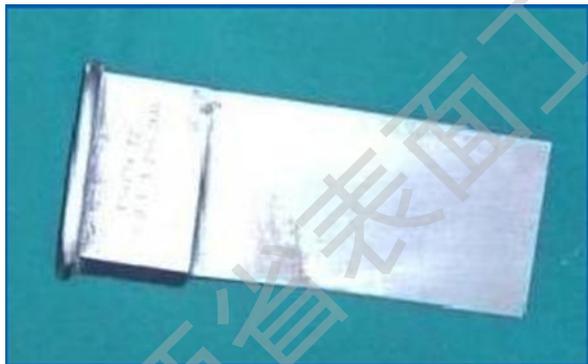
❖ 激光熔覆技术作为材料表面改性技术的一个重要方向，已经经历了将近半个世纪的发展，现在已经在汽车工业生产、航空航天、模具等诸多领域中都有广泛的应用，而且取得了很好的经济和社会效益。



3. 激光熔覆技术的应用案例



轴流风机动叶





3. 激光熔覆技术的应用案例

- ❖ 在汽车发动机气门、气门座圈密封锥面、气门阀杆小端面、排气阀表面等工作表面上，利用激光熔覆技术进行处理，能够在工作表面上形成致密的涂层，提高工件工作表面的耐高温、高硬度、耐磨、耐蚀等性能。
- ❖ 激光熔覆技术在农业汽车行业中也得到广泛应用，例如应用在汽车的曲轴、活塞、齿轮等方面。



3. 激光熔覆技术的应用案例



发动机曲轴



包头某公司发动机曲轴，曲轴在长期使用过程中磨损严重，经激光熔覆修复以后恢复到原来尺寸，使用寿命是原来3倍。

3. 激光熔覆技术的应用案例



- ❖ 激光熔覆在热动力工业中也得到应用，可以用于汽轮机叶片耐蚀、耐高温、耐疲劳等性能，或者某些锅炉阀门密封面的抗磨损、抗冲蚀等，也能代替其他焊接方法来提高生产效率，进一步提高使用性能进而提高使用寿命。



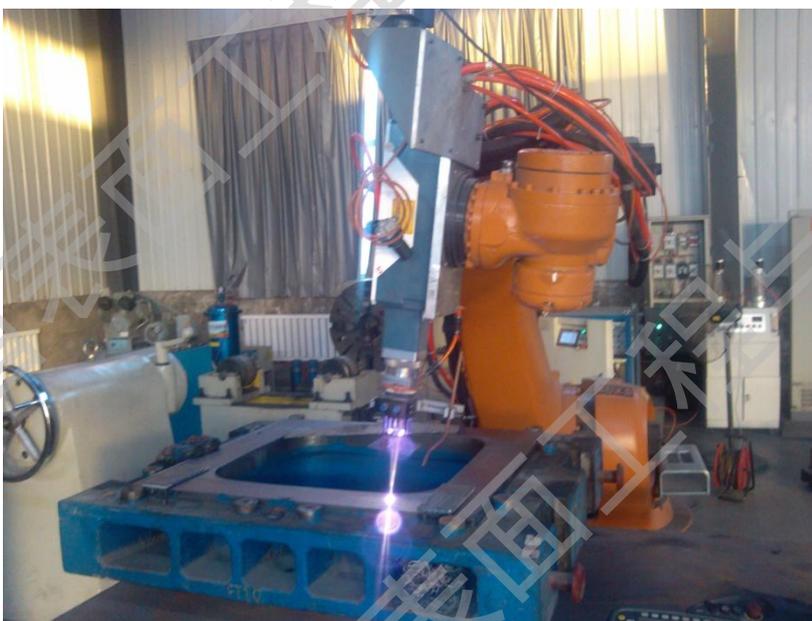
汽轮机转子轴激光修复现场



3. 激光熔覆技术的应用案例



汽车模具

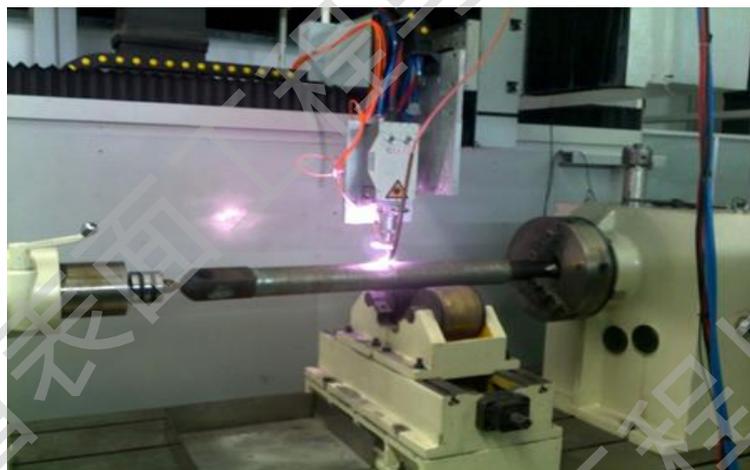


某单位汽车模具，该模具材质为球墨铸铁，使用后表面出现数个小凹坑，经激光熔覆修复补平并在工作面做激光淬火处理，使用寿命是原来3倍。

3. 激光熔覆技术的应用案例



液压支架活塞杆





3. 激光熔覆技术的应用案例

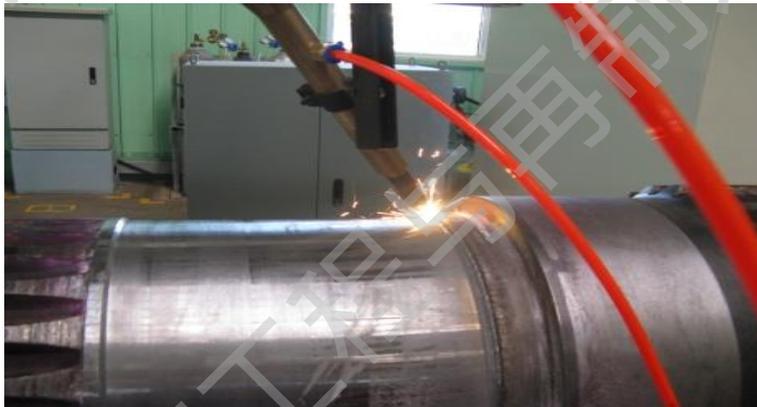
- 空心轴



3. 激光熔覆技术的应用案例



- 链轮组件





3. 激光熔覆技术的应用案例

- 摇臂和滚筒





3. 激光熔覆技术的应用案例

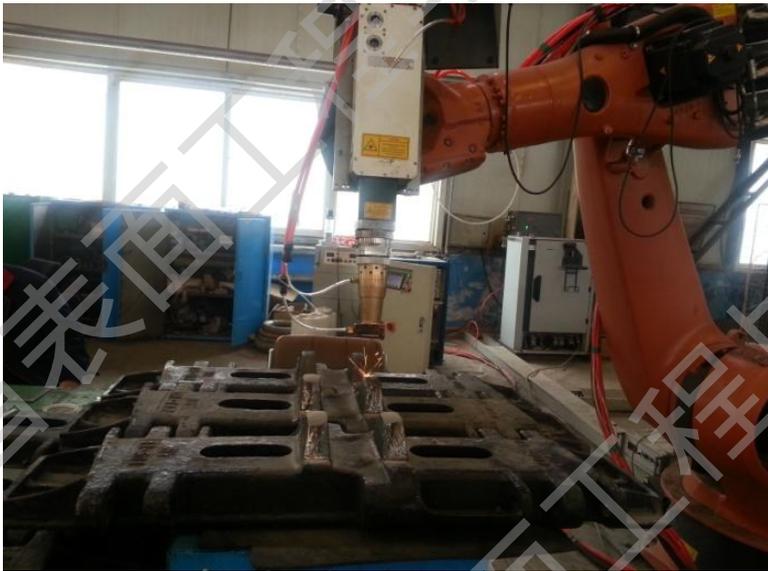
- 电动轮





3. 激光熔覆技术的应用案例

- 履带板





3. 激光熔覆技术的应用案例

• 球磨机衬板



3. 激光熔覆技术的应用案例



- 机床箱体



某公司机床箱体，机床箱体轨道处表面会磨损严重。该电机轴经激光熔覆修复以后恢复到原来尺寸，使用寿命是原来5倍。



4. 激光熔覆技术存在的问题

激光熔覆层质量评价办法

- ❖ 评价激光熔覆层质量的优劣，主要从两个方面来考虑。
- ❖ 一是宏观上，考察熔覆层气孔、裂纹、形状等。二是微观上，考察是否形成良好的组织，能否提供所要求的性能。
- ❖ 此外，还应测定表面熔覆层化学元素的种类和分布，注意分析过渡层的情况是否为冶金结合，必要时要进行质量寿命检测。目前研究工作的重点是熔覆设备的研制与开发、熔池动力学、合金成分的设计、裂纹的形成、扩展和控制方法、以及熔覆层与基体之间的结合力等。



4. 激光熔覆技术存在的问题

气孔的产生及防止

- ❖ 气孔是**Ni**基激光熔覆涂层中经常出现的缺陷。激光熔覆层中的气孔是由于在激光快速熔凝的条件下，熔池中的气体来不及逸出而形成的。
- ❖ 此外，在采用粉末预置法预置涂层材料时激光加热过程中产生气体，形成气孔。一般来说，气孔是难以完全避免的，但可以采用一些措施加以控制。常用的方法有：防止合金粉末储运中的氧化，在使用前要烘干去湿以及激光熔覆时要采取防氧化措施等。

4. 激光熔覆技术存在的问题



裂纹的产生、控制及防止

- ❖ 由于材料的熔化、凝固和冷却都是在极快的条件下进行的，如果成形工艺控制不当，易于在成形件中形成裂纹，成形过程中裂纹一旦产生，整个成形过程将被迫终止，同时已成形的金属零件只能报废处理。
- ❖ 裂纹产生的原因很多，但主要还是与激光熔覆处理后材料内部存在较大的应力有关。熔覆层内部的应力类型主要包括基本应力（基本应力包括因高能激光束对金属材料的热作用而产生的热应力和组织应力）和残余应力。

4. 激光熔覆技术存在的问题



裂纹的产生、控制及防止

- ❖ 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：
 - 1) 合理选择激光工艺方法和参数；
 - 2) 合理设计熔覆材料的成分和组织；
 - 3) 在基体上添加涂层提高基体对熔覆层的润湿性；
 - 4) 在熔覆材料中添加合金元素提高熔覆层组织的强韧性；
 - 5) 利用熔覆层应力的作用特点改进熔覆工艺。
 - 6) 对熔敷层进行后处理（如退火处理、喷丸处理、超声冲击等）。

5. 激光熔覆技术发展趋势



- ❖ 虽然激光熔覆技术发展较快，在工业生产中具有广泛的应用前景。但是激光熔覆技术真正大范围的应用于生产尚有许多问题有待深入系统的研究：一是熔覆涂层的耐磨损、耐腐蚀性，目前国内外对激光熔覆层耐磨性研究的比较深入，但有关激光熔覆层耐蚀性的研究报道较少也不够系统和深入；二是激光熔覆的开裂问题，减少和解决开裂和熔覆层孔洞等问题有待深入研究。

5. 激光熔覆技术发展趋势



❖ 激光熔覆主要的发展趋势如下：

- (1)** 设计使用梯度功能涂层材料，先预置过渡层或韧性、塑性相，在激光加工前后进行预热与后热处理。
- (2)** 结合现代计算机科学技术，通过模拟计算建立熔池的温度场分布模型，研究熔池内流体的对流机制，模拟激光熔覆层的应力分布规律，以及凝固时熔覆层内组织变化的规律，进而优化设计熔覆工艺参数；
- (3)** 设计出适合于激光熔覆的专用材料，根据熔覆层的性能要求定性与定量地设计出合金的成分，并根据不同的使用工况设计不同形状的涂层材料；

5. 激光熔覆技术发展趋势



(4) 通过激光熔覆与其他表面改性技术结合，制定新的工艺、方法，扩大激光表面处理技术的应用范围；

(5) 进一步改进激光熔覆配套设备中的送粉器控制系统，提高其精确度，使其实现自动化、智能化、人性化等；更应致力于大功率、小型化激光器的研制与开发，完善大面积激光熔覆层制工艺，以适应大规模生产与加工。



Thank You!



Company
LOGO