

# 轧辊表面激光处理技术的应用分析与展望

张坤 陈光南

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要** 轧辊使用过程中可出现多种形式的表面损伤乃至破坏,如塑性变形、开裂、粘着、剥落等,降低轧辊寿命、产品加工效率和质量,为此常对表面进行强化处理。在众多表面强化方法中,激光表面强化的特点鲜明:1)加热集中、热影响区小;2)强化区组织高度细化、强化效果超乎常规;3)利用点加工或线扫描加工方式可以获得软硬相间、强韧兼顾的离散强化表层。本文介绍了国内激光表面强化在轧辊延寿中的部分应用结果,同时对需要开展的应用领域进行初步分析。

## 1 应用现状

在激光表面强化技术中,可以采用多种方案如相变、熔凝、合金化乃至熔覆等来提高新辊表面性能。下表1摘录了2000年以来部分钢厂的实验数据。

表1 部分钢厂热轧辊激光表面强化应用效果

材质	技术方案	性能指标	应用效果
带钢中轧铸钢辊 75CrMnMo	熔凝	原始硬度 40-50HSD, 处理后硬度 70-85HSD, 强化深度 1-2mm	降低磨损, 过钢量提高 1.5 倍。
钢筋铁素体钢轧辊	相变	处理后硬度 HSD80, 强化深度 1mm	过钢量提高 58%
带钢粗轧辊 70Mn2	熔凝	原始硬度 37HSD, 处理后硬度 70HSD, 深度 3mm	过钢量提高 40%
中孔钢轧辊 70Mn2	相变	原始硬度 38HSD, 处理后硬度 80 HSD, 深度 1mm	过钢量提高 1.8 倍
重轨铸钢辊 60CrMnMo、方钢轧辊 60CrMnMo	熔凝(+合金化)	处理后硬度 HRC55, 深度 1.0-1.8mm	过钢量提高 1 倍, 表面无龟裂
白口铸铁热轧辊	激光熔凝	处理后 HV0.5780, 处理前 HV0.5650	过钢量提高 15.6%~23.4%, 无裂纹、无剥落 18.7%~37.4% 无裂纹、无剥落
白口铸铁热轧辊	激光熔敷	—	—
180CrNiMo 半钢辊	相变	处理后 50-60 HRC, 原始 40HRC, 深度 0.5mm	最大磨损处磨损量降低 58%
MCS 锻钢冷轧辊辊颈	相变+回火	53-62HSD(原始 38), 深度 0.3mm	—

从表1可以看出:1)主要针对工作条件恶劣、消耗量大的热轧辊;2)主要关注磨损问题,因此性能指标往往是硬度和强化深度,且硬度指标也是常温硬度。另外对于表面热裂、剥落等方面的性能指标关注较少;3)从工艺角度来看,相变和熔化相对简单,合金化和熔覆涉及到合金粉注入等外界因素,工艺相对复杂,但性能提高的幅度一般更大。因此,也存在工艺性能和使用性能的协调问题。

冷轧辊表面强化有一种特殊的技术方案,即激光表面毛化(图1)。毛化轧辊主要用于生产毛面钢板,但毛化轧辊的寿命也可得到显著提高,这里包含了特殊的离散强化机制,如:毛化表面具有大量的微坑和凸包,有利于保持良好的润滑条件,微坑还有收集磨粒,避免磨损轧辊表面和擦伤板面的作用;利用熔凝过程产生的拉应力来松弛原来过大的压应力。应用结果表明:在20辊森吉米尔轧机上轧制低碳钢板,寿命提高3倍。平整退火低碳软钢板时,寿命提高5~10倍。在普通二辊轧机上冷轧高强度65Mn弹簧钢,寿命提高2~3倍。

近年来离散强化概念进一步拓展。工艺上从点状熔凝发展到点状合金化和点状熔覆(图2)等。应用上从冷轧辊扩展到热轧辊。例如,为了增加粗轧辊对坯料的咬合力,需增加粗轧辊的粗糙度。为此,曾在河北

某高速线材厂粗轧二架球墨铸铁热轧辊( $\phi 505 \times 381\text{mm}$ )上进行了大面积激光熔凝网纹加工(图 3),可提高过钢量 50%。另外,一般强化时追求表面均匀强化,但型材轧制时由于各处受力条件不一样,往往存在不均匀磨损或破坏。例如,内蒙某钢厂方钢开坯辊磨损不均匀现象严重,后来在不同部位分别采用熔凝处理和合金化处理,甚至不同规范的熔凝处理,使不同部位的强化程度与磨损程度对应,应用效果良好。还有,广东某钢厂堆焊修复后,由于制造问题导致各处性能不均匀,结果磨损不均匀,后来用激光进行表面性能调整,最后达到均匀磨损,过钢量提高 75% - 100%。

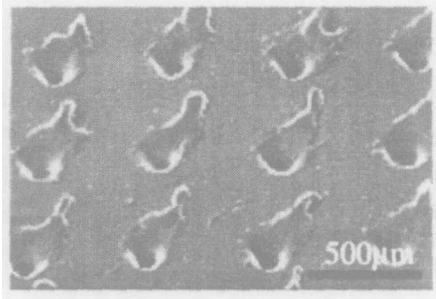


图 1 激光毛化表面结构

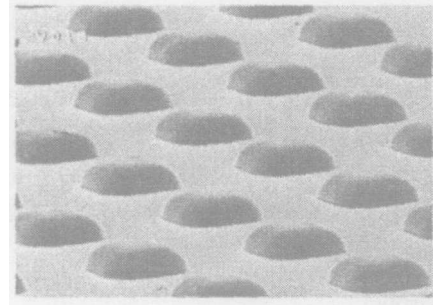


图 2 点状熔覆加工模型图

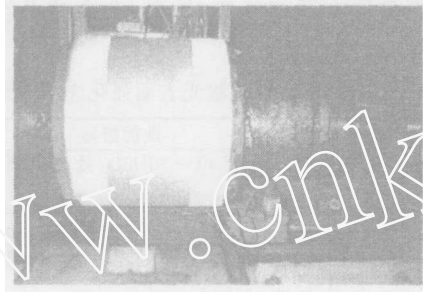


图 3 QT 热轧辊激光熔凝网纹加工过程

## 2 应用展望

### 2.1 激光修复

经典的修复方法是埋弧堆焊和手工堆焊,应用广泛但问题也不少。例如对冷轧辊,表面组织和性能均匀度要求高,堆焊时由于热影响区大,难于获得均匀硬度表面,容易导致轧件缺陷。另外堆焊残余应力大、易开裂、易剥落,且工序复杂(焊前预热、层间保温、焊后回火)、生产效率低。有一些备选方法如热喷涂修复、电刷镀修复,但它们的结合强度、高温硬度、抗氧化性能、疲劳性能、抗冲击性能等等尚需更多验证。

激光修复是激光熔覆技术的延伸,应用效果也需要更多验证。但从原理角度看,有其用武之地,特别是在局部修复情况。例如,广东某钢厂的德国冷轧辊出现局部剥落问题,采用铁基粉末激光修复后,使用效果很好。湖北某钢厂高线轧辊用球墨铸铁轧辊,尺寸超差后用镍基粉末激光修复,耐磨性也胜于原始基体。

### 2.2 轧辊镀铬层界面强化

镀铬轧辊应用广泛,但镀铬应力较大,表面会有裂纹,而且随厚度增加,裂纹也会加深,甚至直接达到底层,在轧钢过程中较厚的铬层容易剥落。此时有两种激光处理工艺可望得到应用:1)用激光离散相变强化或熔凝强化的方法在基体上形成软硬相间的结构,获得具有应力缓冲作用的基体(图 4)。2)在基体表面利用毛化方法形成适当的微坑,抑制电镀层结构的形成,以提高界面结合力和涂层抗开裂能力。前一种工艺已在某军用镀铬零件上成功应用,可望推广到轧辊上。

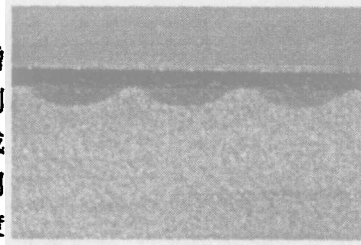


图 4 镀铬界面激光离散强化处理

(下转第 224 页)

2.6 通过实验对比,确定最佳工艺参数:

P:2500W      V:500mm/min      光斑搭接:1.5/5.5

硬化层深>3.5mm 表面硬度为 66~68HRC

2.7 显微镜下观察发现在合金化层和相变硬化区,晶粒明显细化晶粒细化为使强度提高而不降低韧性,甚至使韧性略有提高的强化方式,由于进行了合金化,表面硬度达 66~68HRC。激光硬化处理后,马氏体和残余奥氏体形态、结构有别于常规淬火组织,激光硬化处理后,晶粒更细小、碎化,并且比常规淬火具有更高的位错刻度结构,因而熔凝层中固溶强化,细晶强化,位错强化的马氏体和残余奥氏体已经不是一种简单类似常规淬火的组织形态,不仅强度有极大的提高,而且韧性也有较大的提高,所以,这类组织结构更有利于抵抗裂纹的萌生和扩展,因而具有较高的硬度和耐磨性。

### 3 结论

3.1 在本实验中,试样表面形成了表面合金层,硬化层深度随激光功率的增大,扫描速度的降低而增大。

3.2 合金层表面硬度达到 66~68HRC,硬化层深度>3.5mm,满足使用要求。

3.3 通过本实验可以认为用激光表面合金化的方法处理 70Mn 轧辊是可行的。

### 4 实用效果

4.1 经过激光表面合金化处理的 70Mn 开坯轧辊,赤烧性、耐磨性能明显改善。天钢带钢厂 550 开坯轧第六孔型激光合金化后,过钢量为 18000 吨,而不经过处理轧制最多为 9000 吨,使用寿命提高一倍。

4.2 实践证明普通轧辊孔型磨损后,修辊减径量为 10~15mm,而激光合金化后减径量为 25~30mm。

4.3 70Mn 轧辊激光表面合金化处理工艺,不仅提高单孔过钢量,延长换辊周期,而且可以减少修辊减径值,增加轧辊使用次数,有效提高产量、降低轧制成本。因而该工艺的开发、应用具有较大的经济效益和社会效益。

---

(上接第 220 页)

### 3 结语

提高轧辊寿命是一个系统工程,需要考虑制造工艺、装配、使用之间配合。轧辊表面激光处理技术是轧辊技术中的一个技术单元,在应用时应该充分发挥其特点,特别是离散强化方式的应用。