

毛化轧辊的新方法及其应用

陈光南

(中国科学院力学研究所 北京 100080)

A

提要 用脉冲激光毛化轧辊既可精确控制辊面的形貌与粗糙度又能使辊面得到强化。在冷轧薄钢板(带)生产中,激光毛化轧辊比目前常用的喷丸毛化轧辊有更好的使用效果和更长的使用寿命,所轧薄板的质量也更为优异。

关键词 轧辊 激光毛化 喷丸毛化 冷轧薄板(带)

TG 333.17

A New Method of Texturing Surface of Roll and its Application

Chen Guangnan

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Texturing surface of roll by laser pulses, not only topography and roughness on the surface can be controlled accurately, but also the surface can be strengthened and toughened. In production of cold-rolled steel sheet or strip, the lasertex rolls are superior to the shotblasted rolls in application effect and service life, and the rolled lasertex sheet or strip has super performance.

Key words roll, lasertexturing, shot-blasting, cold-rolled sheet(strip)

为了生产冲压或深冲压用优质毛面薄钢板,需要对工作轧辊表面进行毛化处理。通常采用喷丸方法来毛化轧辊。毛化的程度(即辊面粗糙程度)可通过调整砂丸的粒度和喷丸时间来调节。由于喷丸方法不能精确控制辊面的形貌与粗糙度,所轧薄板的表面质量也难以适应日益提高的使用要求。于是,利用 CO₂ 激光来毛化轧辊的新方法应运而生^[1]。89年以后,采用 Nd:YAG 脉冲激光毛化轧辊获得成功^[2,3],这使激光毛化装备小型化和大幅度降低其制造成本成为可能,因而大大推进了这一新的轧辊毛化方法的实用化步伐。本文结合我们近几年的工作简介有关研究和应用情况。

激光毛化原理

将具有高能量密度和高重复频率的脉冲激光,按一定方式编组,等间隔地逐点辐照在按一定速度转动着的轧辊表面,使之熔化、形成熔池;同时,用具有一定成分、压力、流量和入射角的辅助气体,将熔池中的熔融物按指定的形貌和粗糙度要求搬运并堆积到熔池边缘、形成精细的凹坑与凸包结构(见图1);当这种精细结构均布于整个轧辊工作表面时毛化加工即告完成。

毛面薄板表面上微坑的密度(微坑直径 D 与微坑间距 S_m 之比)和粗糙度 R_a 的大小与其使用性能有密切关系。在微坑直径一定的情况下,微坑间距小一些和粗糙度大一些有利于改善薄板的冲压成形性,反之,则有利于提高薄板

1996年3月4日收稿

表面涂层的光亮度^[4]。因此,轧辊激光毛化工艺和加工参数应根据所轧薄板的用途来确定。

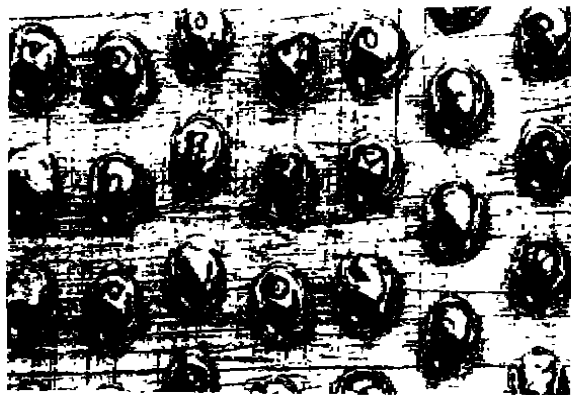


图1 激光毛化后辊面形貌

轧辊激光毛化装备

工业用轧辊激光毛化装备主要由激光器系统、机械系统、辅助气体系统和控制系统四个部分组成。根据机械结构的不同,可以将激光毛化装备分为两种类型,即工件转动、激光聚焦头平动的车床型和工件转动加平动而整个激光系统固定不动的磨床型。前者体积较小、成本较低,但其导光和聚焦系统易受床身振动的影响;后者激光系统工作稳定性较好,但体积大、价格高。

至于激光器系统,目前能用来毛化轧辊的只有CO₂激光器和Nd:YAG激光器。已用于工业生产的轧辊毛化装备多采用基模或低阶模、脉冲频率可达50kHz的大功率(0.8~3kW)CO₂气体激光器^[1,4,5]。采用低阶模、声光调制、脉冲频率可达20kHz、单台连续光功率为0.2~0.4kW的Nd:YAG固体激光器毛化轧辊只是近几年的事^[2,3]。CO₂激光的优点是激光功率大,加工速度快,利于加工大型轧辊。其缺点是波长较长(10.6μm),轧辊材料对它的吸收率很低(不过5%)。因此,必须在毛化前对辊面进行发黑或喷粉处理,毛化后还要再对轧辊进行冷处理并镀铬,才能使辊面硬度达到HV900以上^[5]。目前工程应用的Nd:YAG激光器的功率虽然较小,但因其波长只是CO₂激光的1/

10,易于为轧辊材料所吸收(吸收率~40%)。用其毛化轧辊工艺简单,成本也低得多。

激光毛化轧辊的使用寿命

工业应用表明,冷轧工作辊经激光毛化加工后其使用效果和使用寿命有明显提高。在20辊森吉米尔轧机上用其冷轧低碳钢板,激光毛化轧辊的寿命比普通轧辊提高3倍以上;用其平整退火低碳软钢板,其使用寿命可较普通轧辊提高5倍以上、甚至超过10倍^[6]。在普通二辊轧机上用激光毛化辊冷轧高强度($\sigma_b \geq 800\text{MPa}$)65Mn弹簧钢,其寿命是普通辊的2~3倍。激光毛化轧辊使用寿命的提高,主要是通过以下三个途径实现的:

1. 表面改性与细晶强化作用。激光毛化时,辊面作用区材料由于熔凝速度非常快(加热速度可达 $10^6 \sim 10^9^\circ\text{C}/\text{秒}$,冷却速度可达甚至超过 $10^5^\circ\text{C}/\text{秒}$,可以形成超细晶(深亚微米至纳米级)组织,其硬度可超过HV900(相当HRC67),远高于常规淬火所能达到的程度。高硬度的表面组织有利于提高辊面的耐磨损能力。

2. 毛化形貌的耐磨作用。激光毛化后,毛化加工形成的微坑和凸包均布于辊面。这种辊面形貌既有利于改善轧制时辊板间的摩擦状态,又有利于保持良好的润滑条件。均匀分布的微坑还可以起到收集磨粒、防止它们磨损轧辊和擦伤板面的作用。

3. 表面应力松弛的韧化作用。为了提高使用寿命,通常要对冷轧工作辊进行表面淬火处理。要求的硬度愈高,由马氏体相变导致的体积膨胀效果愈严重,产生的残余压应力也愈大。压应力过大,容易导致辊面爆裂,反而危害轧辊的使用。用激光毛化轧辊,其表层激光辐照区域的材料由于熔凝时的热胀冷缩作用会产生残余拉应力。X光应力测定结果表明:当激光辐照区域(即微坑)的密度达到一定程度时,这种均匀分布的拉应力确实可以有效地松弛轧辊表层中原有的强残余压应力,从而使轧辊表面得到韧

化^[7]。

在薄钢板冷轧生产中采用激光毛化轧辊,不仅可以提高轧辊使用寿命还可显著改善轧辊的使用效果。如:提高轧制速度,改善所轧钢板板形、表面质量和使用性能,防止薄板退火粘结^[6],以及使两工作轧辊保持不同的表面粗糙度达到在普通轧机上实现异步轧制等^[8]。

激光毛面钢板的性能优势

1. 激光毛面钢板的冲压性能

激光毛面钢板在冲压性能方面的优势已为大量工作所证实^[4,9]。图2表明用同材质但不同表面形貌(即用不同毛化方法生产)的镀锡薄板挤拉薄壁罐时板面粗糙度与成形力之间的关系^[10]。在表面粗糙度相同的情况下,冲成同样薄壁罐,喷丸板所需挤拉力最大,放电毛面板其次,激光板最小;且表面粗糙度愈小,这几种板所需挤拉力之差愈大。说明在相同成形条件下,具有相同表面粗糙度的薄板中,激光板有最好的冲压流动性。近年来,干电池外壳逐渐改用薄钢板冲压而成。这种壳生产率高、使用效果好,但冲压难度大,对钢板性能的要求苛刻。为了使这种电池壳用钢国产化,中科院力学所配合国内厂家,采用激光毛化技术开发出一种电池壳专用激光毛面带钢,其冲压效果良好,并已开始批量生产。

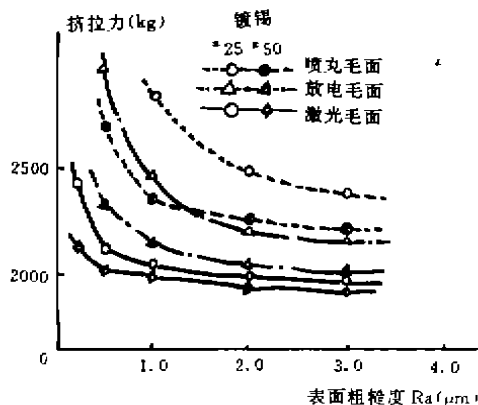


图2 板面粗糙度与冲压时挤拉力的关系

2. 激光毛面板的涂漆光亮度

表面三维形貌测定^[9]表明:涂漆前的喷丸板表面形貌是杂乱无规的,而激光板表面形貌清晰、规则;涂漆后,喷丸板的漆面上仍有明显的起伏(即波度),而激光板的漆面相当平整。这说明在相同的涂漆工艺条件下激光板有更好的漆面光亮度。在荧光灯下检测两种板的光反射效果,可以看到激光板漆面上的荧光灯反射像要比喷丸板漆面上的灯像清晰得多(图3)^[9]。镜像清晰度(DOI)测定结果表明:在相同粗糙度和相同涂漆工艺的情况下,激光板的DOI值一般要比喷丸板高三至五个百分点(图4)^[11]。

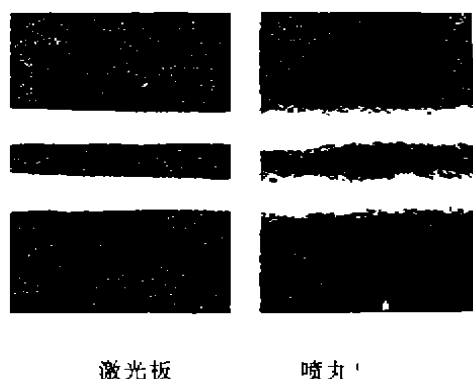


图3 两种板漆面荧光灯像

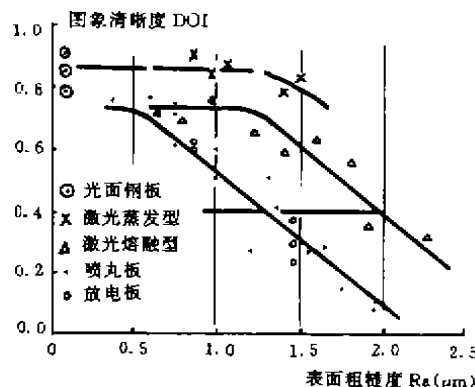


图4 不同毛面板 DOI 值与 Ra 的关系

结 论

用脉冲激光毛化轧辊是一项新型表面加工技术。与传统的喷丸毛化方法相比,该技术有如下优势:

1. 可精确控制所加工轧辊表面的形貌和粗糙度,其毛化(造形)效果好;
2. 可在强化激光作用区材料的同时使辊面因原有的残余压应力得到松弛而韧化,其强韧化效果好;
3. 可延长轧辊的使用寿命和改善其使用效果;
4. 可使钢板具有更优良的冲压流动性和更高的漆面光亮度(DOI值)。

参考文献

- [1] Crahay, J. et al. Proceedings of 12th Biennial Congress of IDDRG, May 1982, 153
- [2] 南田藤宏等,制铁研究(日文),1990, No 336, 22
- [3] 中国科学院,《科学技术成果鉴定证书》,中科院

- (93)成鉴字第 017 号,北京,1993 年 5 月 5 日
- [4] Ujihara, S., et al. Iron and Steel Engineer, August 1991, 52
- [5] 井口贵郎等,中国专利,申请号:89102686. X
- [6] 朱怀清,中科院(93)成鉴字第 017 号,资料 4,北京,1993 年 5 月 5 日
- [7] 陈光南、沈还等,94' 秋季中国材料研讨会论文集,第三卷,第二册,1994 年 11 月
- [8] 高宏等,“用激光毛化轧辊在普通冷带轧机上实现异步轧制”,待发表
- [9] Makoto Imanaka, et al. Proc. of 15th Biennial Congress IDDRG, 1988, May, 16
- [10] 和久井等,中国专利,审定号:CN 1008720. B,公告日期:1990 年 7 月 11 日
- [11] 特开昭 64-57905(日本专利)

(上接第 160 页)

2. 加工激光与测量激光采用同一透镜时的色差

为消除传统球面透镜聚焦时存在的球差,我们采用双曲面透镜聚焦 YAG 激光,如图 4 所示。聚焦透镜为 K9 玻璃。对 1.064mm 的 YAG 激光, $n=1.50624$; 对 0.6328mm 的 He-Ne 激光, $n=1.51466$ 。被加工工件置于 YAG 激光的焦点处,最大位置色差为 $(ds')_{\max} = d \cdot \Delta n = 0.06736\text{mm}$,

这里 d 为双曲面透镜的中心厚度, Δn 为 K9 玻璃对两种激光的折射率之差。

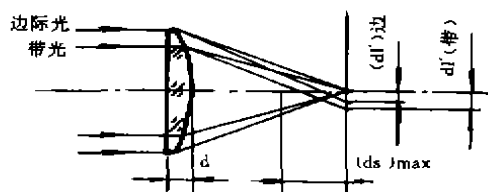


图 4

为求取垂轴色差,分别计算边际光和带光两条光线的光路,其垂轴球差分别为 $(dL')_{\text{边}} = 0.013\text{mm}$; $(dL')_{\text{带}} = 0.018\text{mm}$ 。取二者中的较大值,即垂轴色差为 0.018mm。对于激光三角

测量,一般要求聚焦光斑在被测表面的直径小于 0.2mm 即可,可见,因加工激光与测量激光采用同一透镜而产生的垂轴色差对测量激光聚焦焦斑的影响可以忽略不计,采用图 3(b)的方案可行。

结 论

1. 照明光路与接收光路的光轴夹角越大,激光三角测量的位置分辨率越低;
2. 在 PSD 能接收足够光能的情况下,照明光路与接收光路的光轴夹角取较大值仍能满足激光烧蚀的位置分辨率要求;
3. 对 1.064μm 的加工用 YAG 激光,加工激光与测量激光可采用同一透镜,由此引起的色差对测量激光聚焦焦斑大小的影响可忽略不计

参考文献

- [1] 刘劲松等,光学精密工程,1995, 3(3), 33
- [2] M. Wiedmaier, et al. .SPIE, 1993, 1990, 689
- [3] Z. Ji et al. .Optics & Laser Technology, 1989, 21(5), 335