

文章编号: 0258-7025(2002)06-0557-04

亚共晶白口铸铁激光表面强化的 微观组织特征

姚建华, 熊 纓, 孙东跃, 陈智君

(浙江工业大学激光加工技术工程研究中心, 浙江杭州 310014)

提要 对要求高耐磨的大型工件常用的亚共晶白口铸铁材料进行了不同条件的激光表面强化处理。重点分析研究其微观组织特征, 目的是解决亚共晶白口铸铁使用寿命短和脆性大的难题。

关键词 亚共晶白口铸铁, 激光表面强化, 组织

中图分类号 TG 665 **文献标识码** A

Microstructure Characteristic of Hypoeutectic White Cast Iron by Laser Surface Hardening

YAO Jian-hua, XIONG Ying, SUN Dong-yue, CHEN Zhi-jun

(Research Center of Laser Processing Technology and Engineering of
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

Abstract The surface of the hypoeutectic white cast iron of great wearable work piece in common use was treated by laser hardening. The analysis and study laid emphasis on the microstructure characteristic of hypoeutectic white cast iron in order to resolve the difficult problems of low useful life and high brittleness.

Key words hypoeutectic white cast iron, laser surface hardening, microstructure

1 引 言

铸铁是一种常用的工程材料,其产量逐年递增。尤其铸态冷硬铸铁近 20 年来发展迅速,目前年产量已占灰铸铁 1/3,每年以 2%~4% 速度递增。为了提高各个行业机械零件,尤其是大型零件的耐磨性和使用寿命,在工业发达国家已广泛采用铸态贝氏体球墨铸铁。我国近年来也生产了这种类型的零件,但由于生产节拍的加快,以及我国冶炼、铸造等相关技术还不够稳定,多数生产的是亚共晶白口铸铁。这种材料难以满足用户的更高要求,用常规热处理方法无法解决耐磨和脆性等问题,只能用激光表面强化加以改性。

国内外对灰口铸铁、球墨铸铁已做了许多激光

表面强化的研究,而对白口铸铁激光强化的研究尚未见报道。

本文从大型零件上取下试块,研究经激光表面强化后的组织特征,试图解决亚共晶白口铸铁使用寿命低、脆性大的难题。

2 实验材料和方法

贝氏体球墨铸铁制造方法有 4 种,即等温淬火贝氏体球墨铸铁、硅锰合金化连续冷却贝氏体球墨铸铁、等温淬火硅锰合金化贝氏体球墨铸铁和铸态贝氏体球墨铸铁。最后一种成本低、工时省、生产周期短,更具有工程价值,但力学性能略低于前 3 种。目前我国大多数厂家都采用最后一种,由于冶炼、铸

收稿日期 2001-12-20;收到修改稿日期 2002-03-18

基金项目 浙江省自然科学基金(编号 500095)资助项目。

作者简介 姚建华(1965—),男,浙江工业大学激光加工技术工程研究中心副教授,硕士,主要从事激光加工技术研究。

E-mail: yaojh@mail.hz.zj.cn

造、冷却速度等原因往往生产出来的多是亚共晶白口铸铁,贝氏体、球状石墨几乎看不到。我们从生产实际需要出发,从大工件取下这种材料的试块作为本实验的材料,试块尺寸:200 mm×100 mm×50 mm,其化学成分见表 1。

采用 GFT-IV B 型 7 kW CO₂ 横流激光多功能加工系统进行激光表面强化实验。在激光处理前试

样需要进行去油及清洁处理,并喷涂或刷涂吸光涂料。选取两种激光功率密度和 3 种不同作用时间,在多模输出条件下,通过宽带积分聚焦成 10 mm×2 mm 光束对试样进行扫描。涂料对 10.6 μm 激光吸收系数为 95%。对试样进行表面强化。通过金相、电镜、显微硬度等设备研究其组织特征。

表 1 亚共晶白口铸铁化学成分(wt.-%)

Table 1 Component of hypoeutectic white cast iron

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg	No. Production
3.78	2.06	0.51	0.12	0.01	0.37	0.24	0.24	0.06	1924Q

3 实验结果与讨论

3.1 亚共晶白口铸铁基本组织特征

在铸态下获得贝氏体球铁有两种措施:合金化或改变铸铁冷却条件,后者对大型铸件难以实现。目前最现实的办法是合金化^[1]。本实验是选用中镍铬合金化。其作用有二:一是改变奥氏体转变曲线,形成宽容度大的贝氏体转变区,并使珠光体转变区明显右移,以避免珠光体的形成。二是强化基体,从而提高力学性能。从图 1 看出镍对基体组织作用巨大,在基体组织变化的“临界点”附近含镍量的微小变化,会在珠光体和贝氏体组织之间产生明显变化。

钼对形成贝氏体作用强烈,它的作用相当于镍的 3~4 倍,但硅是降低淬透性的元素^[2]。在本实验材料中硅含量最高,这不利于获得贝氏体。这些元素综合作用在冷却能力差的大型铸件上将会同时出现铁素体、珠光体、奥氏体、贝氏体、马氏体和碳化

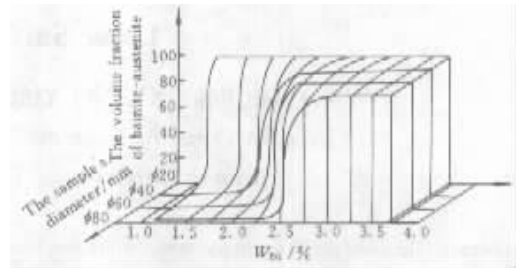


图 1 镍对基体组织的影响

Fig. 1 Influence of nickel on base macrostructure

物^[3]。因此,本实验材料的基本组织基于上述原因而产生了亚共晶白口铁。从图 2(a)(b)明显看出,它的基本组织为莱氏体+二次渗碳体+珠光体^[4]。这种组织将使力学性能,特别是塑韧性明显降低。

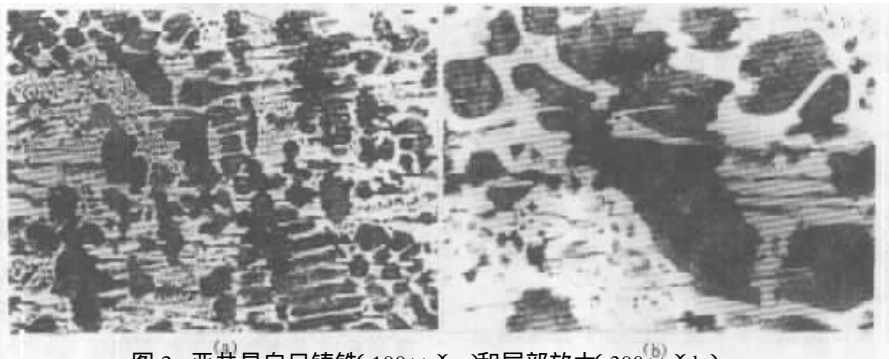


图 2 亚共晶白口铸铁(100×)(a)和局部放大(300×)(b)

hypoeutectic white cast iron (100×)(a) and local expend (a)(300×)(b)

3.2 激光表面强化后的组织特征

亚共晶白口铸铁经激光表面强化处理后,从横

断面金相组织观察可分 3 个区,即凝固区、过渡区和热影响区。

图 3 是在如图 2(a)所示的亚共晶白口铸铁基体上进行的激光表面强化处理。图 3(a)和图 3(b)注入的激光功率密度相同,但激光作用时间后者比前者快一倍;图 3(c)注入的激光功率密度比(a)大

1/3,作用时间比(a)快 1.5 倍。这 3 种状况虽然注入的激光功率密度和作用时间不同,但它们仍分为 3 个区,只是 3 个区几何尺寸、组织性能有所不同,详见表 2 及图 4。

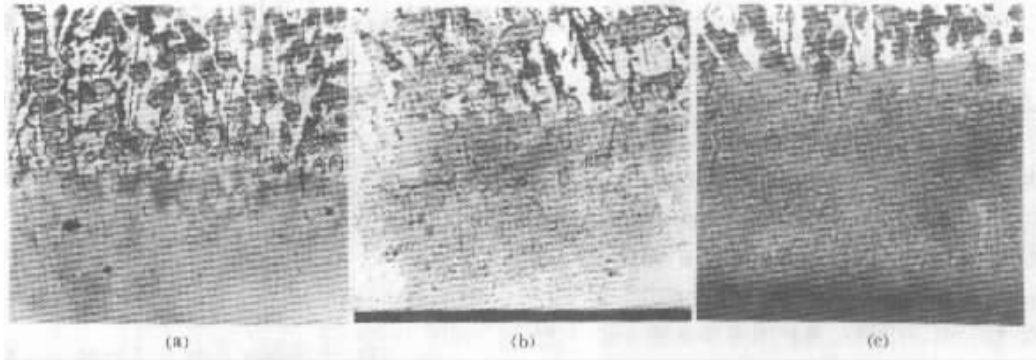


图 3 激光强化后的金相(100×)

激光功率密度 (a)(b) $1 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$, (c) $1.3 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$; 激光作用时间 (a)7 s, (b)3.5 s, (c)2.3 s

Fig. 3 Metallurgical phase of transactions of laser hardening(100×)

laser power density : (a)(b) $1 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$, (c) $1.3 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$; laser actuation duration : (a)7 s, (b)3.5 s, (c)2.3 s

表 2 激光作用区显微硬度分布及几何尺寸

Table 2 Micro-hardness distributing and geometric size of laser action sphere

No.	Laser action zone	Freezing zone							Transition zone			Heat infection zone		
		0.02	0.07	0.12	0.17	0.22	0.27	0.32	0.37	0.42	0.47	0.52	0.62	0.65
(a)	Distance to surface/mm	0.02	0.07	0.12	0.17	0.22	0.27	0.32	0.37	0.42	0.47	0.52	0.62	0.65
	Micro-hardness (Hv)	944	877	841	814	874	913	920	818	847	1035	1055	939	900
	Geometrical size/mm	0.37							0.5			0.03		
(b)	Distance to surface/mm	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.35	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50
	Micro-hardness (Hv)	1886	1167	921	1041	975	896	686	896	686	821	821	671	671
	Geometrical size/mm	0.30							0.05			0.05		
(c)	Distance to surface/mm	0.10	0.12	0.22	0.27	0.32	0.37	0.42	0.27	0.32	0.37	0.42	0.52	0.52
	Micro-hardness (Hv)	975	991	958	876	766	993	904	876	766	993	904	951	951
	Geometrical size/mm	0.22							0.05			0.15		



图 4 (a)图 3(a)的局部 a 放大(300×)(b)图 3(b)的局部 b 放大(300×)(c)图 3(c)的局部 c 放大(300×)

Fig. 4 (a) local expend Fig. 3(a)(300×);(b) local expend Fig. 3(b)(300×);(c) local expend Fig. 3(c)(300×)

图 4(a)最表层是凝固区,其组织的形成是经激光快速加热至液相区,此时基体中的珠光体莱氏体,二次渗碳体迅速进行奥氏体化,剩余渗碳体继续溶于奥氏体中,基体中的碳和合金元素在奥氏体中扩散。当激光移开时,其表面熔化区迅速凝固,呈现细枝晶马氏体,残余奥氏体,其细化程度约为基体的 10~30 倍,深度为 0.37 mm。在 0.37~0.52 mm 处为过渡区,这是液-固态混合区,由于碳和锰、铬、镍、钼元素都能降低 M_s 点,冷凝后在奥氏体边界和晶体内均产生了细针状马氏体及其贝氏体与奥氏体混合共存,二次渗碳体和莱氏体已转变为垂直表面(热输入方向)定向生长的极细柱状晶。距表面 0.52~0.65 mm 为热影响区。此区为固态相变区,激光注入的能量传到此区,通过基体本身导热的冷却,其温度降至 M_s 点以下,在奥氏晶界和晶内产生针状马氏体、贝氏体和残余奥氏体,而二次渗碳体和莱氏体仍原位保留,但晶粒明显比基体细化。

图 4(b)的组织特征与(a)基本相同,由于前者的作用时间比后者快 1 倍,表现出三个区晶粒更细化,各区的几何尺寸更小,在过渡区和热影响区马氏体转变量比图 4(a)少而细。

图 4(c)注入的激光功率密度大,作用时间短,三个区的组织有所不同。表层枝晶较前两种粗大,过渡区界限明显。莱氏体和渗碳体仍呈细柱状晶生长。由于冷却速度过快,碳和合金元素在奥氏体中来不及扩散,奥氏体化极不均匀,在奥氏体晶界和晶内只能部分转变为针状马氏体,在同一个奥氏体晶群内有一半落在过渡区,由于此区冷却后的温度达不到 M_s 点以下,因此奥氏体残留在过渡区。在热影响区所有组织较前两种状态细化,但马氏体转变不如前两种充分,马氏体转变的量也相应减少。

通过 3 种状态组织特征的研究说明,在相同功

率密度或相同作用时间使材料表面熔化的条件下,激光作用在亚共晶白口铸铁的功率密度的作用不如激光作用时间贡献大。这是因为铁的熔点比钢低很多(钢 1430~1510℃,铁 1150~1300℃);而铸铁导热性比钢差,按照热传导理论,激光加热时光束中心的最高温度反比于材料的导热性。在相同激光功率密度作用下,铸铁熔体的过热度远大于钢的过热度。因此,铸铁热扩散需要一定的时间。另外研究表明白口铁可以通过激光表面强化改善其硬脆性。综合 3 种状态的组织特性,作者认为图 4(b)表面组织状态能满足大型工件高耐磨、低脆性的要求。

4 结 论

1) 用激光表面强化技术可以解决亚共晶白口铸铁的表面不耐磨、使用寿命短的问题。

2) 在相同功率密度或相同作用时间,使材料表面熔化的条件下,激光作用在亚共晶白口铸铁的功率密度的作用,不如激光作用时间贡献大。

参 考 文 献

- 1 Wei Binqing, *et al.*. Bainite Ductalloy [M]. Engineering Industry Publishing Company, 2001. 10 (in Chinese)
- 2 Liu Jiangleong, *et al.*. The study of laser Si-alloy on gray cast iron's surface [J]. *Metal Heat Treatment Transaction (金属热处理)*, 1992, 13(4):12 (in Chinese)
- 3 Compile Committee of Heat Treatment, The Manual of Heat Treatment No. 1 Fascicule [M]. Engineering Industry Publishing Company, 1984. 4 (in Chinese)
- 4 Li Jionghui, *et al.*. A Collection of Illustrative Plates Atlas of Metallurgical Phase For Steel Material [M]. Shanghai: Shanghai Technology Publishing Company, 1981. 10 (in Chinese)