

# 稠油泵内表面的重熔强化

刘政军 林克光 刘斌山

孙 波

(沈阳工业大学) (丹东稠油泵厂)

**摘要** 提高稠油泵铸铁壳体内表面的耐磨性，直接影响到泵的使用寿命。本文针对提高铸铁耐磨损性的问题，以灰口铸铁 HT200 为目标，通过系列试验，对铸铁钨极氩弧局部重熔强化原理进行了系列的研究，研究得出电弧电流、熔化速度等工艺参数对重熔层金相组织和耐磨损性的影响规律。同时与铸铁激冷、WC 焊条堆焊做了试验对比，证明重熔强化是利用钨极氩弧和铸铁的组织转变特点，发挥自身潜力、降低成本的一项新技术。

**关键词：** 铸铁 硬度 耐磨性

## 0 序 言

提高铸铁耐磨损的方法很多，如提高铸铁牌号和高合金铸铁等。但是，从整体上改善材质，采用高合金铸铁，熔炼、铸造工艺复杂，成本高。更重要的是制约零件抗磨损使用寿命的一般不是它的整体，而是零件的局部。如稠油泵主要取决于泵体内表面与转子相接触的部分，当工作面磨损量达  $300\mu\text{m}$  左右时，泵压力下降，工作效率大幅度降低，便不能使用。因而，对于这类零件从整体上改变材质是不经济的，更何况在提高易磨损部位硬度和耐磨损性的同时，还必须保证非磨损部位塑性和韧性。可是，硬度和塑性是相反的性质，这是金属材料的一般倾向<sup>[1, 2]</sup>。因此，从整体上改变材质也是不合理的，对铸铁局部强化处理是经济合理的方法。铸铁局部重熔强化与表面淬火、化学热处理、镀铬、喷涂、堆焊等表面处理相比具有操作简便，降低成本，使工作面显著硬化等许多优点。本文以灰口铸铁 HT200 为目标，进行了与冷硬铸铁、WC 堆焊相比的局部重熔强化试验，研究出重熔层组织、耐磨损性和硬度与重熔强化工艺之间的关系。

## 1 试验设备和试验方法

试验利用钨极氩弧焊机进行局部重熔处理。试块是从稠油泵泵体上直接截取的，表面经刨削加工，其厚度为 30mm，化学成分见表 1。

表 1 铸铁的化学成分 (%)  
Table 1 Chemical compositions of cast iron (%)

Element	C	Si	Mn	S	P	B
Content	3.30	1.74	0.88	0.116	0.067	0.043

WC 焊条堆焊试样是在试块上铲出宽 4mm，深 2mm 槽，用 WC 焊条堆焊制成。铸造条件下的激冷试块是用同样化学成分的铁水，在厚度 35mm 的大面积铸铁块上浇铸的，试块的断面尺寸为  $24\text{mm} \times 22\text{mm}$ 。在湿砂胶轮磨损试验机上做磨损试验。

## 2 试验结果

### 2.1 重熔强化区的形状

铸铁局部重熔强化处理试样的外观如图 1 所示。重熔区的断面形状呈半椭圆形，其最大深度( $P$ )和最大宽度( $b$ )与输入电流( $I$ )、熔化速度(电弧移动速度  $v$ )有关<sup>[3]</sup>：

$$P = 0.055 f(I) + 0.1$$

$$b/P = -0.063 f(I) + 5.2$$

$$f(I) = (I^4/E^2 \cdot v)/3$$

式中  $E$  —— 电弧电压, 24V

并且, 因铸铁的材质不同, 特别是石墨状态的不同, 前两公式中的系数

和常数项数值有一定差异<sup>[1,2]</sup>。但总的规律是增大电流, 减小电弧移动速度, 可增大重熔强化区的深度。

### 2.2 重熔强化区的硬度和耐磨性

在相同的重熔速度(电弧移动速度)下, 改变电流强度, 重熔强化区的硬度随电流变化曲线见图 2 所示。可以看出, 当电流移动速度相同时, 随着电流强度的增长, 重熔层的硬度随之降低, 但其硬度均大于 HRC60, 超过灰口铸铁的硬度, 接近 WC 堆焊层硬度, 最高值为 HRC65.5。

在钨极氩弧电流固定不变的条件下(110A), 改变电弧移动速度, 图 3 是重熔层硬度随着电弧移动速度的变化曲线。从图中可以看出, 重熔层的硬度随着电弧移动速度的加大而提高。电弧移动速度由 0.93mm/s 增加到 1.67 mm/s 时, 其硬度值由平均 HRC61.0 增加到 HRC64.0。

为了研究重熔层的抗磨性, 在重熔工艺参数变化情况下的变化规律。首先在相同的电流强度(110A)下, 改变电弧移动速度, 研究电弧移动速度对耐磨性的影响规律。耐磨性随电弧移动速度变化规律见表 2、图 4。耐磨性的变化趋势与同一条件下硬度的随电弧移动速度变化趋势基本一致。即随着电弧移动速度的增加, 磨损率降低, 耐磨性随之提高。



图 1 重熔强化处理试样外观

Fig. 1 Specimen appearance after remelting hardening treatment

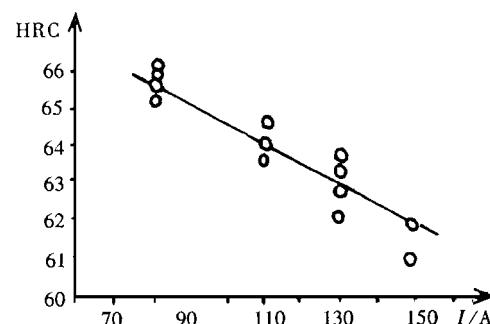


图 2 不同电流强度时的硬度曲线

Fig. 2 Hardness curve of different current

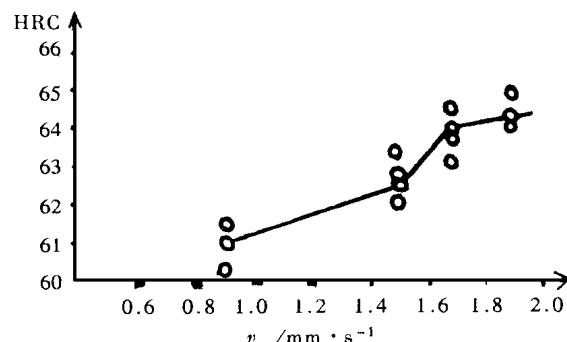


图 3 不同熔化速度时的硬度曲线

Fig. 3 Hardness curve of different melting rate

表 2 不同熔化速度试样的磨损试验数据

Table 2 Wear experimental data of different melting rate specimen

Material	1	2	3	4
Move speed of arc/ mm·s <sup>-1</sup>	0.802	1.013	1.427	1.647
Weight before wear/g	90.8953	91.2169	97.2262	95.2108
Weight after wear/g	89.2423	89.7058	95.9248	94.0107
Lost weight/g	1.6530	1.5111	1.3014	1.2001
Ratio(%)	1.819	1.657	1.339	1.260

为了研究重熔强化区内的硬度变化以及是否能够具有抗磨性, 测定了距表面不同深度的硬度并与 WC 堆焊和铸造激冷试样的断面硬度相比较, 其结果见图 5。可以看出, 局部重熔强化与 WC 堆焊状况相似, 随着距表面距离的增加, 硬度反而下降, 在一定深度范围内保持较高的硬度。当距表面距离小于 1mm 时, 硬度  $\geq HRC 55$ 。铸铁激冷试样的硬度较低, 其表面硬度只有 HRC53。随着距表面距离增加急剧下降。因此, 这也是其耐磨性较差的原因之一。

### 2.3 不同材料的硬度和耐磨性对比

为了证明铸铁局部重熔强化方法是否能够替代价格昂贵及生产工艺复杂的 WC 焊条堆焊和铸造激冷的方法, 对 WC 堆焊、铸造激冷和重熔强化试块的硬度和耐磨性进行对比, 结果如图 6、图 7 和表 3 所示。可见重熔强化试样的硬度和耐磨性的变化基本一致, 略低于 WC 堆焊试样, 高于铸造激冷试样的硬度和耐磨性。

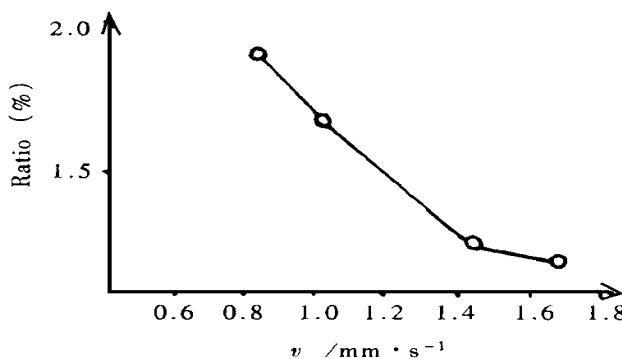


图 4 耐磨性与熔化速度关系曲线

Fig. 4 Relation curve between wear resistance and melting rate

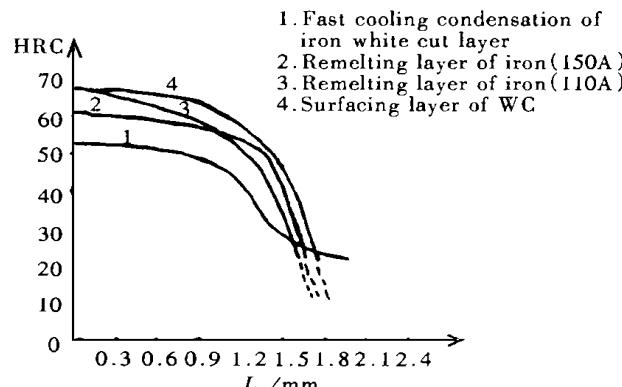


图 5 不同断面的硬度变化曲线

Fig. 5 Hardness curves of different section

表 3 不同材料的磨损试验数据

Table 3 Wear experimental data of different material

Material	Remelting	Surfacing	Fast cooling condensation	Iron
Weight before wear/g	97.2827	103.6401	105.6207	106.2923
Weight of ter wear/g	96.6138	103.2245	104.5924	104.6528
Lost weight/g	0.6689	0.4156	1.0283	1.6395
Ratio(%)	0.668	0.401	0.974	1.542

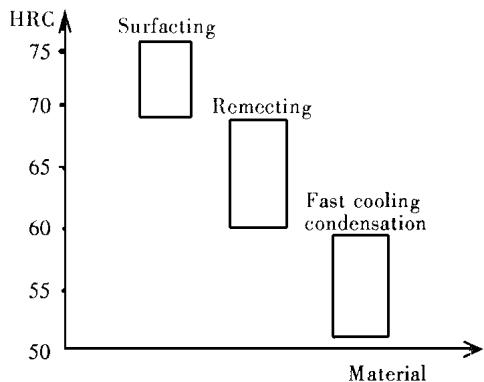


图 6 不同材料的硬度分布

Fig. 6 Hardness distribution of different material

#### 2.4 重熔强化区的显微组织

灰口铸铁的金相组织为铁素体+珠光体+片状石墨。经重熔强化后的组织如图 8 所示。从图 8a 中可以看出，重熔强化后得到的亚共晶组织莱氏体呈网状，因此比较耐磨。熔化速度快时（图 8c）比熔化速度慢时（图 8b）的显微组织更加细小。由于快速冷却形成的白口组织以鱼骨形状使其硬度和耐磨性均有所提高。

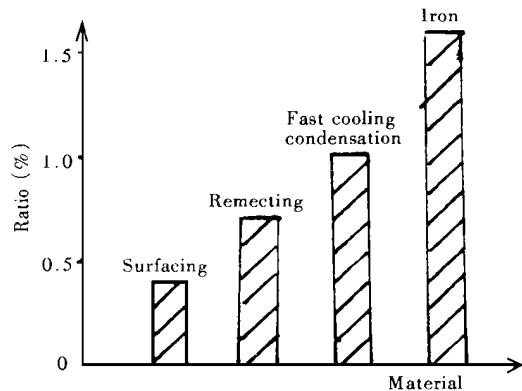
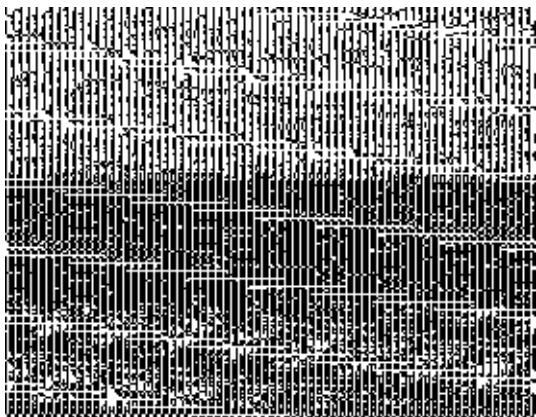


图 7 不同材料的耐磨性

Fig. 7 Wear resistibility of different material



(a) Picture of microstructure electronic scanning (SEM) in the remelting zone

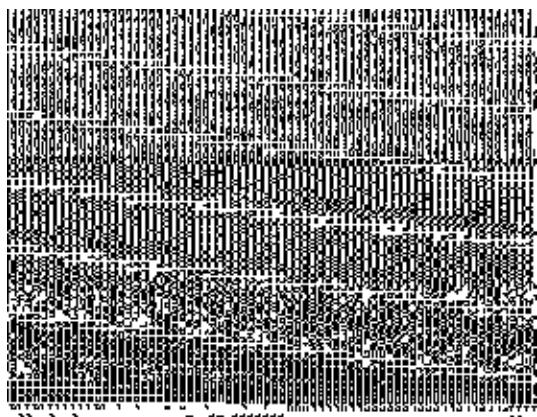
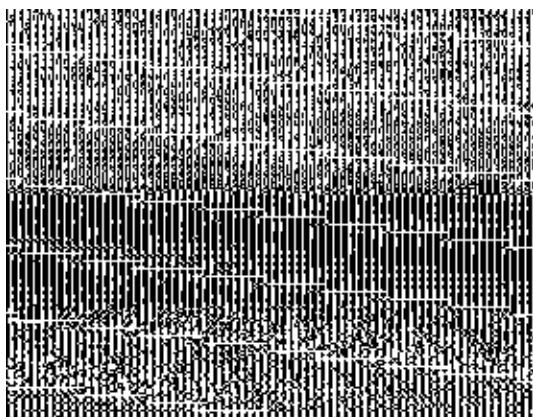
(b) Cooling rate is slow ( $v = 1.83 \text{ mm/s}$ )(c) Cooling rate is high ( $v = 2.87 \text{ mm/s}$ )

图 8 重熔强化区金相组织电子扫描照片

Fig. 8 Picture of microstructure electronic scanning (SEM) in remelting zone

### 3 试验结果分析

铸铁钨极氩弧局部重熔强化处理过程中,即使不添加任何合金元素,也未改变铸铁的化学成分,但却获得了硬度高于母材灰口铸铁的金相组织即白口组织。这是利用铸铁凝固时相变转变特点的结果,充分地发挥其本身的潜在内能来达到耐磨的目的,利用钨极氩弧重熔的工艺,即节省材料又快速的先进工艺,同时代替价格昂贵的WC堆焊复杂工艺,具有重大的实际意义。

钨极氩弧电弧加热面积小( $10^{-3} \text{ cm}^2$ )<sup>[4]</sup>,电弧温度高(800K),电弧最大功率密度 $1.5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ ,能量非常集中,瞬间将铸铁件局部加热熔化,由于温度很高,所以可使石墨迅速解体,碳原子和铁原子相互扩散。但是电弧是移动的,对熔池作用时间很短,电弧能量密度大,形成的熔池小。电弧移动后,铸铁件对于小熔池即成为一个强大的激冷源,此时根据铸铁的凝固特性熔池中铁水不可能有足够的我和能量按稳定状态结晶形成稳定的石墨,而是按介稳定状态转变,形成莱氏体组织和 $\text{Fe}_3\text{C}$ 的亚共晶组织,这就是钨极氩弧局部重熔利用自身的加热特点改变铸铁局部组织提高硬度和耐磨性的根本原因。

利用冷铁激冷的铸造工艺,虽然也可获得硬度高的组织,但由于熔体量大,激冷作用有限,铸件局部即使获得白口组织,莱氏体也较粗大,因而如图6、图7所示,硬度和耐磨性都低于局部重熔强化组织。

不同电流强度或电弧移动速度对硬度和耐磨性能的影响,与上述原理是一致的。电弧电流增大或电弧移动速度变小,则输入热量增多,熔池变大,熔体量增多,导致激冷效果减小,使莱氏体变粗,在性能上便表现为硬度和耐磨性的降低;反之减少电弧电流或加大电弧移动速度,则输入热量减少,熔池变小,熔体量减少,铸件对铁水的激冷作用增大,激冷效果增强,不仅细化了莱氏体,而且促进随后奥氏体向马氏体的转变,最后获得渗碳体和马氏体微细组织,硬度和耐磨性得到提高。

通过调整电弧电流和电弧移动速度,获得硬度高、耐磨的重熔强化组织,与具有较好的强度和韧性的母材相配合,可使白口、灰口组织二者优劣互补,更好地发挥铸铁的自身潜力,获得更佳的应用效果。

当然,从研究结果看,采用WC堆焊提高硬度和耐磨性的效果也是十分显著的,但是,生产上采用的局部铲槽,用WC焊条堆焊方法,不仅增加成本,而且随后的机械加工(磨削)工作量更比局部重熔强化大得多。所以,在能满足耐磨性要求的情况下,局部重熔强化比堆焊方法经济得多。

### 4 结 论

铸铁钨极氩弧局部重熔强化是铸造、焊接、热处理相结合,利用钨极氩弧和铸铁材料的凝固及其相变组织转变特性,充分发挥铸铁自身潜力的一项新技术。通过调整电弧电流和电弧移动速度等工艺规范,可使铸铁获得较高的硬度和耐磨性,与其它方法相比,具有效果显著、操作简便、节约合金、成本低等突出优点。

(1997—09—24 收到初稿, 1998—04—28 收到修改稿)

## 参考文献

- 1 田中雄一等. イナートガスアーケ再溶融法による球状黒鉛鋳物の表面硬化. 鋳物, 1985, 57(10): 43~48
- 2 平岡武等. 再溶融硬化処理した鋳物の組織性状に及ぼす黒鉛形状の影響. 鋳物, 1995, 67(2): 82~87
- 3 田中雄一等. 鋳物の局部再溶融による表面硬化. 鋳物, 1990, 62(6): 412~417
- 4 平岡武等. TIG アーケ再溶融法による表面硬化した球状黒鉛鋳物の耐摩耗特性. 鋳物, 1994, 66(8): 573~578
- 5 張文鍊等. 金属熔焊原理及工艺. 北京: 机械工业出版社, 1979.

**Remelting Hardening for Inter Surfacing of Thick Oil Pump**

*Liu Zhengjun, Lin Kegung, Liu Bingshan*

*Sun Bo*

(Shenyang Polytechnic University) (Dandong Thick Oil Pump Factory)

**Abstract** To improve wear resistibility of inter surface for thick oil pump shell made from cast iron that will increase the time of pump itself directly. The wear resistibility of grey cast iron HT200 is increased through hardening the surface of cast iron which is obtained as remelting it with tungsten inert shielded gas arc. The effect of arc current and melting rate on the microstructure and wear resistance is studied. The results are compared with those of WC electrode hardfacing for cast iron with chilled treating and proved that remelting hardening principle is much better and cheaper technique than the others.

**Key words** cast iron, hardness, wear—resistibility.

**作者简介** 刘政军,男,36岁,党员,1995年10月获天津大学工学博士学位(焊接)。1994年晋升为副教授,现在沈阳工业大学任教。机械工业部跨世纪学术骨干。

现在从事焊接专业工作,研究方向为表面强化技术,现有两项辽宁省科委自然科学基金项目已完成正在组织鉴定。已发表27篇文章。参加编写《焊接工程综合试验技术》一书,独立撰写《锅炉、压力容器焊接及缺陷防止》一章,预计1999年初由机械工业出版社出版。