

搅拌摩擦加工提升碳钢铸件表面硬度的研究

■ 李文定，薛鹏

摘要：通过使用碳化钛增强的金属陶瓷作为搅拌工具，在不使用搅拌针的情况下，对J03006材质铸件进行搅拌摩擦加工处理，得到超细的铁素体和淬火态的马氏体组织，硬度可以达到母材的2.6倍，且高硬度区深度可以达到1mm以上，可有效地满足实际生产的需求。

关键词：搅拌摩擦加工；微观组织；力学性能；表面硬度

J03006(90-60)是一种 w_C 在0.25%~0.35%的中碳钢，在大型圆锥破碎机等矿山机械领域有着广泛的应用。圆锥破碎机是最近研制的一种先进的大功率、大破碎比、高生产率的液压式破碎机，是在消化吸收了20世纪80年代具有国际先进水平的各类型破碎机的基础上研制而成，与传统的破碎机在结构设计上明显不

同，并集中了迄今为止已知的各种类型破碎机的主要优点。

1. 产品简介

圆锥破碎机的主要部件主机架是整个机器的骨架，起到支撑作用，其结构如图1所示。由于工作环境恶劣，受到进料不均匀产生的应力疲劳以及石料由上向下产生的巨大冲击力，设计要

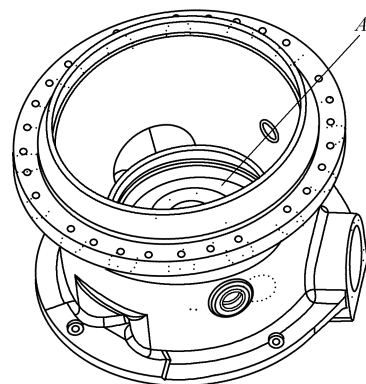


图1 圆锥破碎机主机架

3. 结语

(1) 石蜡是一种较理想的制作白模表面光整涂料的材料，当石蜡与硬脂酸比例为1:1时，可以将石蜡的熔点降低至46.5℃，从而提高石蜡的低温流动性，从而获得最佳的涂挂性能。配合采用浸涂温度为55~60℃，浸蘸时间为4~6s的浸涂工艺处理后，EPS白模涂层薄且均匀，能够达到较好的表面处理效果。

(2) 浸涂前模样表面明显

的凹陷和网纹得到很大程度的改善，浸涂之后模样表面的凹陷和纹路被填平，表面光滑平整。同时，由浸涂法处理的白模所制得的型壳内表面针状物突起变浅，表面粗糙度有很明显的改善，由原来的17.54 μm 降低到约为6.04 μm 。

(3) 浸涂法能较好地改善型壳表面质量，且光整效率高，但经过浸涂光整过的表面并不完全光滑，主要和白模表面初始的沟槽、凹坑有关，因此浸涂法主

要适用于表面初始的沟槽、凹坑较小且均匀的白模。

基金项目：湖南化工职业技术学院院级课题：“镁合金消失模-壳型复合铸造的型壳材料及其制备工艺研究”，课题编号：HNHY2015001。

作者简介：赖春明，男，材料加工工程专业，硕士，湖南化工职业技术学院机电工程学院教师。

MW 20160528

求其拥有较高的强度和硬度，一般本体硬度在179~200HBW，而A面由于要承受破碎矿石所需要的巨大冲击力，要求硬度为200~223HBW。为了达到此硬度要求，本文以我公司研制的MP系列圆锥破碎机为例，通过新型的表面处理手段——搅拌摩擦加工，来对铸件表层进行加工，以获得超细晶组织从而提高其表层硬度。

MP系列圆锥破碎机铸件使用的材质为J03006（90-60），其化学成分标准见表1。

2. 搅拌摩擦加工

摩擦搅拌加工(Friction Stir Processing, FSP)是在搅拌摩擦焊接(Friction Stir Welding, FSW)的基础上发展起来的一种新型的材料加工工艺，是一种理想的表面加工手段，由于加工过程的剧烈塑性变形，加工区会得到超细的组织，从而明显地改善材料的力学性能。搅拌摩擦加工通过多次重叠加工，可获得大面积的加工区，同时，可进行铸件的局部加工，对于铸件局部强化及缺陷修复具有很重要的意义。

目前，搅拌摩擦加工的研究主要集中在铝合金、镁合金等轻金属上，对于钢铁材料还比较少。如果应用常规的搅拌摩擦加工工艺，虽然加工区会得到比较细化的组织，然而其晶粒尺寸仍然较大，且对于合金元素含量较高的中碳合金钢往往得到脆硬的马氏体组织。而对于加工区附近

的热影响区而言，其晶粒粗化和马氏体化更为严重，会显著降低材料的力学性能。

近年来，强制冷却辅助搅拌摩擦加工引起了广泛关注，成为等强度焊接、超细晶材料制备的有效手段。研究表明，通过强制冷却的搅拌摩擦加工处理，对于低碳钢，由于其加工温度处于两相区温度，可得到超细的铁素体和马氏体的双相组织，具有很好的强韧性。而对于本文所研究的中碳合金钢而言，其马氏体的含量会更多，而且可能为淬火态马氏体，其脆性趋向增大，需要后续回火处理。本文主要研究圆锥破碎机铸件搅拌摩擦加工及后续回火处理过程中，铸件组织及力学性能的变化。

3. 搅拌摩擦加工参数及操作

为了保持与铸件的一致性，母材选材与原有铸件材质一致，使用淬火+回火工艺处理后的铸件，加工成80mm×50mm×10mm的板材。为了尽量降低搅拌摩擦加工过程中的温度，本文选用小尺寸的轴

肩，直径分别为14mm、10mm。加工过程旋转速度为400r/min，焊接速度为50mm/min。同时为了进一步降低热输入量，搅拌摩擦加工前将所用板材浸入水中，在加工过程中采用流动水强制冷却，水流速度为7L/min。

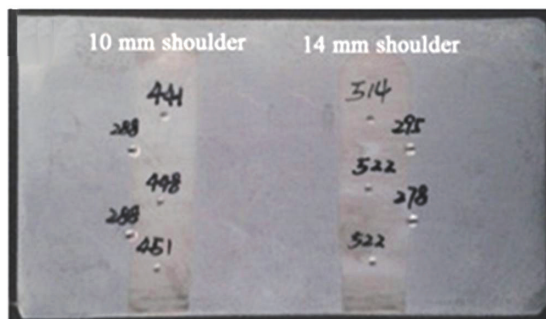
使用碳化钛增强的金属陶瓷作为搅拌工具，在不使用搅拌针的情况下，在强制冷却的条件下对铸件进行搅拌摩擦加工处理。

4. 搅拌摩擦加工铸件的组织及力学性能检测

(1) 表面打磨抛光 对铸件经搅拌摩擦加工后的表面进行打磨抛光，其原始表面形貌及抛光后形貌如图2所示。从图2a中可以看出，经搅拌摩擦加工后表面比较粗糙，需要进行打磨抛光处理。抛光打磨后的形貌如图2b所示，可以看出有明显的加工区。对加工区进行布氏硬度测试，其硬度远超出铸件所要求的值，直径为10mm、14mm的轴肩加工区所对应的硬度分别约450HBW、520HBW。目视检测，轴肩处未见明显的磨损。



(a) 铸件原始表面形貌



(b) 铸件打磨后形貌

图2 铸件表面形貌

表1 铸件化学成分（质量分数）

(%)

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu
0.25~0.35	0.7~1.75	0.20~1.0	≤0.04	≤0.04	≤0.5	≤0.25	≤0.2	≤0.3

(2) 光谱仪测量 为进一步验证,对加工区和母材分别使用光谱仪测量化学成分,得到如表2所示的结果。结果表明,母材和加工区的化学成分并无太大差异,可见轴肩并无明显磨损,不会造成原始材料的成分改变。

同时,我们对加工区横截面进行观察分析,采用直径10mm的轴肩进行搅拌摩擦加工后,铸件横截面典型宏观形貌如图3所示。

从图3中可以看,有一明显的搅拌加工区SZ存在,其表面宽度与轴肩直径相同,为10 mm。

而且,虽然没有搅拌针,其加工深度可达1mm以上,可以满足表面硬化处理的要求。

(3) 维氏显微硬度检测 对加工区进行维氏显微硬度检测,得到如图4所示的结果。从图中可以看出,母材硬度值约为250HV,相当于布氏硬度238 HBW,而经过搅拌摩擦加工处理后,加工区硬度达到650HV,相当于布氏硬度618HBW,为母材的2.6倍,硬度得到了明显的提升。

5. 结语

通过搅拌摩擦加工处理后,可在铸件加工区获得超细的铁素体和马氏体组织,且马氏体呈现出淬火态。加工区硬度达到母材的2.6倍,且加工硬化深度可达1mm以上,抗拉强度高达2.4 GPa,伸长率达到4%左右。对于一些对硬度要求高,塑性要求低的铸钢件表面,在不改变化学成分的情况下,可以使用搅拌摩擦加工处理达到要求。

参考文献

- [1] 黄东明,武殿梁.圆锥破碎机的多目标规划设计[J].机械工程学报,2007(3):205.
- [2] 马宗义.搅拌摩擦焊接与加工技术研究进展[J].科学观察,2009(4): 53-54.
- [3] 任淑荣,马宗义,等.搅拌摩擦焊接及其加工研究现状与展望[J].材料导报,2007(21): 86-92.
- [4] Su JQ, Nelson TW, Sterling C. A new route to bulk nanocrystalline materials [J]. Mater. Res., 2003, 18: 1757-1760.
- [5] Xue P, Xiao BL, Ma ZY. Enhanced strength and ductility of friction stir processed Cu-Al alloys with abundant twin boundaries[J]. Scripta Mater.2013, 68: 751-754.

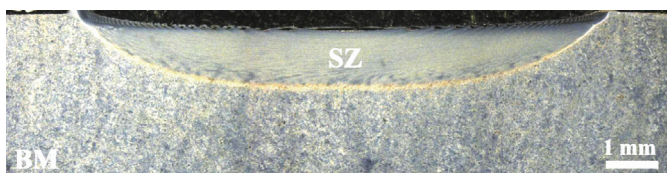


图3 ϕ 10mm轴肩搅拌加工材料横截面典型宏观形貌

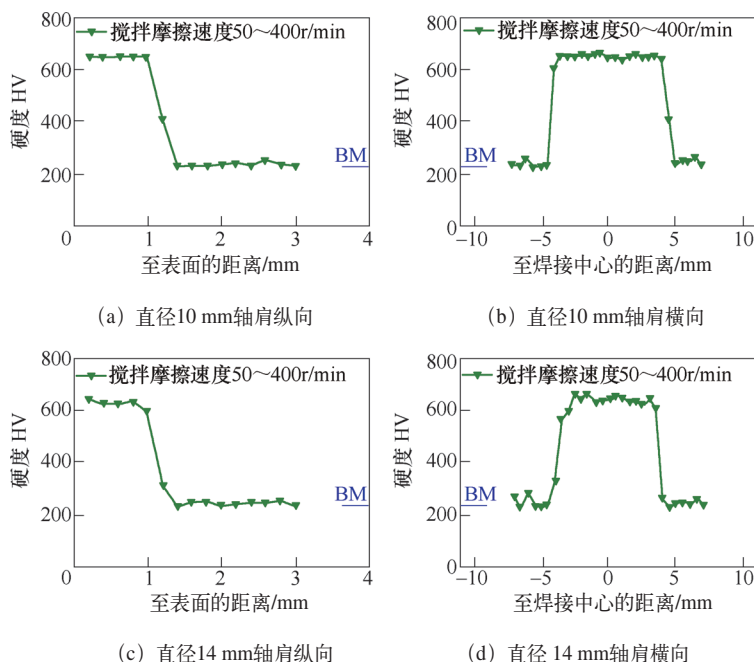


图4 加工区硬度分布

表2 母材与加工区化学成分对比 (质量分数) (%)

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
母材	0.289	0.64	1.613	0.014	0.004	0.214	0.241	0.094	0.041
加工区	0.31	0.659	1.631	0.014	0.004	0.212	0.243	0.096	0.043

作者简介:李文定,工程师,共享铸钢有限公司,主要从事大型铸钢件质量管理工作。薛鹏,中科院金属研究所。

MW 20160527