

基于合理热处理工艺的压铸模挡板耐磨性改善

丁旺 范泽熙 杨弋涛
(上海大学材料科学与工程学院)

摘要 在压铸模挡板钢供货态的基础上,对其进行1 100 ℃×2 h均匀化退火、在880 ℃×30 min后水淬及分别在200 ℃和250 ℃回火2 h,随后对其显微组织、宏观硬度、力学性能和耐磨性等进行测定。结果表明,经过淬回火后挡板钢的片状珠光体和网状铁素体组织转变为回火马氏体和少量残留奥氏体组织,且抗拉强度和硬度显著增加。淬火+200 ℃回火后,其耐磨性达到最佳,250 ℃回火次之,均优于供货态挡板钢耐磨性。

关键词 压铸模挡板;热处理;显微组织;力学性能;耐磨性

中图分类号 TG249.2;TG142.33 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.12.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Improvement of Wear Resistance of Die Casting Mold Baffle Based on Reasonable Heat Treatment Process

Ding Wang, Fan Zexi, Yang Yitao

(School of Materials Science and Engineering, Shanghai University)

Abstract: Based on the experimental steel supplied by the die-casting mold baffle, it is subjected to homogenization annealing at 1 100 ℃ for 2 h, water quenching at 880 ℃ for 30 min, and tempering at 200 ℃ and 250 ℃ for 2 h, respectively, and then its microstructure, macroscopic hardness, mechanical properties and abrasion resistance were analyzed. The results show that after quenching and tempering, the flaky pearlite and reticulated ferrite structure in the experimental steel supplied by the mold is transformed into tempered martensite and a small amount of retained austenite, and the tensile strength and hardness are increased significantly. The wear resistance of the tool steel quenched and 200 ℃ tempering presents desirable, followed by 250 ℃ tempering, which is better than that of the mold supply state.

Key Words: Die Casting Mold Baffle, Heat Treatment, Microstructure, Mechanical Properties, Wear Resistance

压铸模挡板在压铸机连续工作中承受着较大的压应力和摩擦力,在其服役过程中要求长时间工作条件下仍然能保持良好的尺寸精度,不至于造成表面凹凸不平,而影响压铸机的正常运转。

热处理工艺决定材料的微观组织结构从而影响力学性能,选用恰当的热处理工艺可提升材料的抵抗断裂变形和磨损的能力^[1~5]。赵云冲等^[6]研究了热处理工艺对低合金耐磨钢板耐磨性的影响,发现硬度是反映材料耐磨性的主要宏观因素,通过淬火后低温回火处理得到的回火马氏体组织具有较好的耐磨性。邓进俊等^[7]使用不同热处理工艺对高铬铸铁进行处理,发现经过1 050 ℃×0.5 h+280 ℃×1.5 h处理后,与铸态相比,其磨损量降低了约35%。为了使压铸模挡板服役

更长时间,减少停机更换挡板次数,降低压铸生产线运行成本,本课题拟通过对服役中的挡板钢组织性能分析并进行热处理,旨在为压铸机运行服役过程中达到更优的性能状态提供参考。

1 试验材料与方法

采用移动式直读光谱仪PMI-MASTER PRO对供货态挡板钢的化学成分进行测定,结果见表1。

表1 挡板钢的化学成分

Tab.1 Chemical composition of experimental steel										%
w _B										
C	Mn	Cr	Si	Ni	Ti	Al	Cu	S	Fe	
0.482	0.643	0.127	0.254	0.036	0.002	0.024	0.098	0.022	余量	

在YFA12/15G-Y型箱式电阻炉中进行热处理,热

收稿日期:2021-04-09;修改稿收到日期:2021-05-16
第一作者简介:丁旺,男,2000年出生,硕士研究生,上海(200444),E-mail:1024213736@qq.com
通信作者:杨弋涛,男,1964年出生,教授,上海(200444),E-mail:yangyitao@shu.edu.cn
引用格式:丁旺,范泽熙,杨弋涛.基于合理热处理工艺的压铸模挡板耐磨性改善[J].特种铸造及有色合金,2021,41(12):1 564-1 568.
DING W, FAN Z X, YANG Y T. Improvement of wear resistance of die casting mold baffle based on reasonable heat treatment process[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(12):1 564-1 568.

处理工艺如下:①在 1 100 ℃保温 2 h,随炉冷至室温进行均匀化退火;②在 880 ℃保温 30 min,水淬;③分别在 200、250 ℃回火 2 h。将挡板钢经线切割加工成尺寸为 10 mm×10 mm×6 mm 的试样,在砂纸上打磨、机械抛光后,用体积分数为 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀 15 s,用尼康 LV150 型光学显微镜和 HITACHI SU-1500 钨灯丝扫描电镜(SEM)对腐蚀后试样进行观察。在 HBRVU-187.5 布洛维硬度计上测量硬度值,载荷为 750 N,在每个试样上测 5 个点,取平均值。干滑动摩擦试验在立式 MM-W1 型万能摩擦磨损试验机上进行,采用销盘接触方式,结构示意图见图 1^[8],其中销的直径为 6 mm,高度为 8.5 mm。摩擦副选用 GCr15 圆盘(HRC 为 61),载荷为 60 N,旋转半径为 10 mm,转速为 100 r/min,磨损率计算公式为 $E=(m_0-m_1)/L$,其中, m_0 为摩擦试验前试验销的质量, m_1 为摩擦试验后的质量, L 为磨损距离。对 3 种不同状态挡板钢进行电解分离萃取试验,从而得到不同状态下的析出物,称重。用 375 mL H₂O+120 mL HCL 和 16 g 柠檬酸颗粒混合而成的溶液进行电解萃取,经沉淀、离心和烘干后将萃取出的析出物进行 XRD 分析,测试角度范围为 10°~90°,扫描速率为 4°/min。用线切割将热处理后挡板钢加工成非标准拉伸试样,其标距为 10 mm,厚度为 1 mm,见图 2^[9],随后用 CMT5105 型电子万能试验机进行室温下拉伸试验。

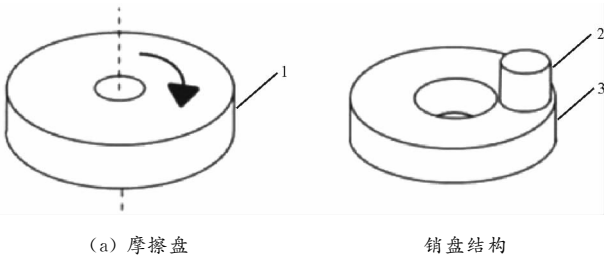


图 1 摩擦磨损销盘结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of pin-on-disk structure

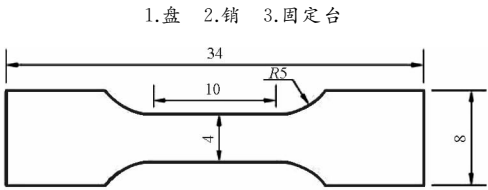


图 2 拉伸试样尺寸

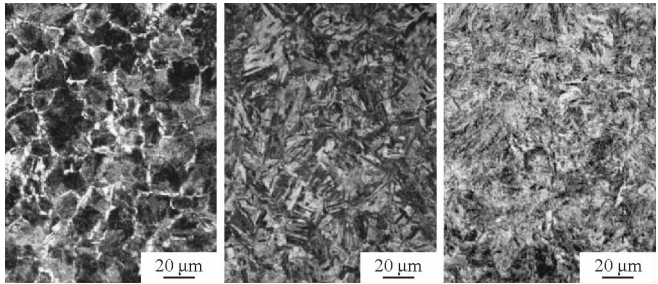
Fig.2 Dimension of tensile specimen

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

图 3 为不同状态下挡板钢的显微组织。从图 3a 可以看出,挡板钢供货态下的室温组织由白色呈网状分布

的铁素体和片状珠光体组成,网状铁素体沿晶界分布在片状珠光体之间,割裂基体,在材料受到外力挤压出现微小裂纹时,其裂纹会沿着呈网状形态的铁素体迅速延伸和扩展,使得工件更易损伤和断裂。有研究指出,在冷却过程中多余的 Fe 元素在过冷奥氏体中会由晶粒内部向晶粒外部进行析出,以达到维持其自身的相平衡和稳定性的目的,从而形成了先共析铁素体相^[10]。由于这种向晶粒外部四周析出的过程并无方向性,则这些 Fe 元素会逐渐富集到将其析出的晶粒的晶界上,从而会沿着四周把整个奥氏体晶粒“包”起来,故呈现出网状铁素体的形态。此外,还发现了魏氏组织。魏氏组织的形成主要是由于亚共析钢或者过共析钢在较高的温度进行冷却时,在奥氏体晶界上产生先共析铁素体并且沿着一定的晶面朝着晶内进行快速生长,且呈针状分布在基体组织中,属于加工处理时产生的缺陷之一,会使得材料强度、硬度变低,塑性降低,影响使用寿命。



(a) 供货态 (b) 880 ℃ 淬火 + 200 ℃ 回火 (c) 880 ℃ 淬火 + 250 ℃ 回火

图 3 不同状态下挡板钢的显微组织

Fig.3 Microstructure of experimental steel in different states

高温退火后进行 880 ℃ 淬火,在室温下得到完全的淬火马氏体组织,随后分别进行 200 ℃ 和 250 ℃ 回火,发现随着回火温度增加,板条状马氏体逐渐发生分解。由图 3b 可知,马氏体板条形态依然清晰,这是由于回火温度低,碳含量较低的马氏体析出碳化物的能量状态高于碳原子偏聚的能量状态,所以碳原子依旧会在位错线附近发生偏聚^[11]。除此之外,可以观察到有少量残留奥氏体组织分布在马氏体板条间,即挡板钢经过淬火+200 ℃ 回火后组织为回火马氏体和少量残留奥氏体。从图 3c 可以看出,与经过 200 ℃ 回火的组织相比,250 ℃ 回火后,板条马氏体束变得不明显,组织更加均匀,同时还伴随碳原子逐渐从马氏体中析出,基体中的碳含量随之降低,并形成少量 ϵ -碳化物析出,弥散分布在基体中。

图 4 为不同状态下挡板钢的 SEM 组织。可以看出,在供货态组织中其片状珠光体上分布着较多的渗碳体颗粒,见图 4a 圆圈标记,且弥散分布在基体上,起到一定的强化作用。而经过 200 ℃ 回火后,板条马氏体依

然清晰可见,碳化物析出并不明显,原始奥氏体晶界明显可见。随着回火温度升高,在 250 ℃ 回火后,马氏体进一步得到分解,碳原子析出。此外,马氏体板条内部位错运动逐渐加剧,造成位向相反的位错相遇而湮灭,马氏体板条边界经过原子间的扩散富集、合并及重组等一系列过程,使得马氏体板条束逐渐变得模糊不清^[12],且位错数量和密度降低,内应力逐渐消除。

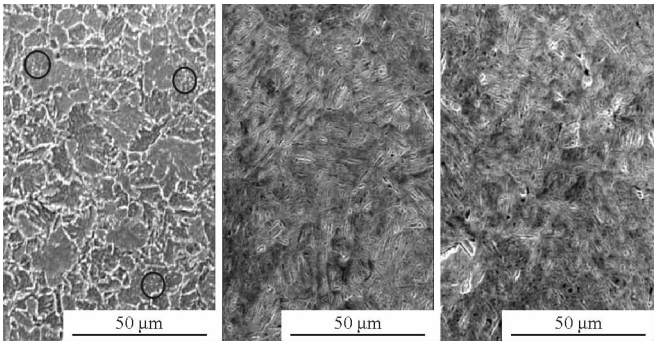


图 4 不同状态下挡板钢 SEM 图

Fig.4 SEM images of experimental steel at different states

2.2 力学性能

不同状态挡板钢的宏观硬度测试后结果见图 5。可以看出,经过淬火+200 ℃ 回火后的硬度(HBW)最高,达到 480.1,当回火温度升高到 250 ℃,硬度(HBW)降至 405.3,主要是因为低温回火的过程实际上就是过饱和马氏体逐渐分解的过程。随着回火温度升高,碳原子活动能力增强,固溶在马氏体中的碳原子会逐渐进行较长扩散并形成细小且弥散的碳化物析出,使得马氏体中的碳含量降低,基体发生软化,在宏观上表现出硬度下降。此外,供货态挡板钢的硬度显著低于经过淬回火后的硬度,这与各自对应的显微组织之间的关系有关,供货态由片状珠光体和网状铁素体组成,铁素体属于软相,而珠光体又是由铁素体和渗碳体共同组成,渗碳体的存在会在一定程度上起到增加珠光体组织硬度的作用。但由于碳含量为 0.48%,根据杠杆定律估算,其珠光体中渗碳体大约为 7%,故其铁素体和珠光体组织的硬度差异并不大,都具有较低硬度。而 200 ℃ 和 250 ℃

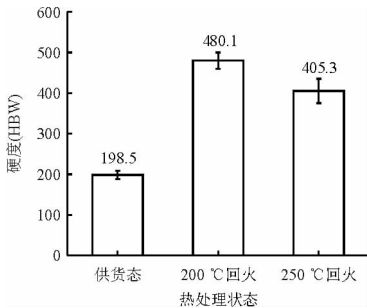


图 5 3 种状态下挡板钢硬度曲线图

Fig.5 Hardness curves of experimental steel at different states

回火得到的组织为回火马氏体,其硬度远高于珠光体和铁素体,从而使得经淬火、回火后的硬度得到显著提高。

对不同状态下试样进行拉伸,测得其力学性能见图 6。与供货态相比,经过淬火+低温回火后抗拉强度明显提高,从 650 MPa 分别提升至 1 251.2 MPa 和 728.3 MPa。供货态钢由于其网状铁素体和魏氏组织的存在,严重割裂基体组织,使得其抗拉强度大幅度降低,受到外力时极易发生变形与断裂。与 200 ℃ 回火相比,可以发现 250 ℃ 回火后伸长率增加而抗拉强度降低,这是由于经过 250 ℃ 回火后马氏体进一步分解,碳原子的存在形式发生了变化,由固溶于过饱和马氏体逐渐转变为碳化物,并析出,造成的晶格畸变效应减弱^[12]。由于回火温度低,析出的碳化物过于细小,使得析出物的弥散强化作用的效果小于过饱和度降低引起的固溶强化作用减弱的效果,且随着回火温度升高,淬火时产生的内应力得到一定程度上的释放,位错密度逐渐降低,从而表现为抗拉强度升高而伸长率下降。综上所述,供货态挡板钢进行淬火和低温回火后,强度和硬度均得到了明显的提升,而经过 200 ℃ 回火后其硬度和抗拉强度最高,经过 250 ℃ 回火后伸长率最优,但研究主要目的在于提高其在工作环境下的耐磨性能,故需要进一步对不同状态下耐磨性进行研究。

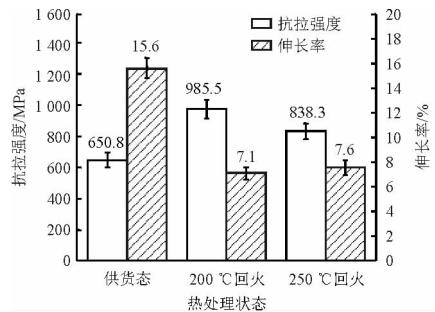


图 6 不同状态下挡板钢的力学性能

Fig.6 Diagram of mechanical properties under different states

2.3 耐磨性测试

图 7 为 3 种状态挡板钢经 30 min 磨损时的磨损率。可以看出,与供货态挡板钢相比,经过 880 ℃ 淬

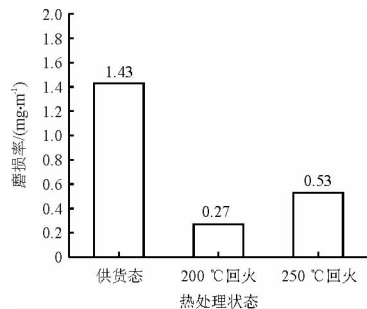


图 7 干摩擦条件下不同状态下挡板钢的磨损率

Fig.7 Wear rate of experimental steel under different states with dry friction

火+200、250℃回火后的磨损率大幅降低,其中经过200℃回火的磨损率最低。

图8为3种状态下挡板钢对应的摩擦因数,可以明显看出其磨损过程均呈现出两个阶段。首先与其对磨材料两者接触表面较高的微凸体之间会进行点接触或线接触,并在之后的磨损过程中受到碰撞而变形、断裂或磨平,进而有少量的磨屑随之产生,而磨屑会分布在接触表面增大表面粗糙度,造成摩擦因数逐渐升高。随

着摩擦时间增加,在外压力的作用下材料摩擦表面剩余的微凸体之间继续接触从而发生严重的变形和断裂,导致材料表面间的接触由最开始的点接触和线接触慢慢转变为两个面之间的接触^[13],在相对运动时实际接触面积增大,产生更大的磨损,产生磨屑也不断增多。当磨屑数量增加到一定程度,因受外压力后逐渐形成一层具有减弱材料磨损作用的磨屑膜,且摩擦因数不再随着磨损过程的进行而增大,即为稳定摩擦阶段。

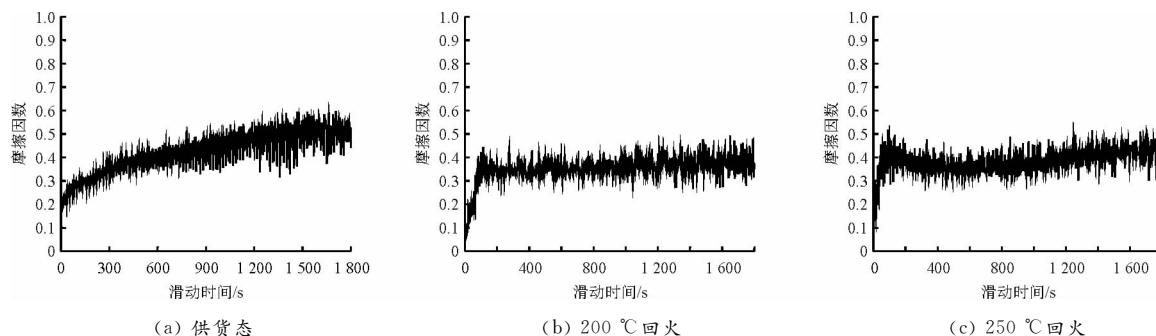


图8 不同状态下挡板钢摩擦因数随滑动时间变化曲线

Fig.8 Curve of friction coefficient of experimental steel versus sliding time under different states

此外,随着摩擦持续进行,磨屑膜不断遭到破坏后继而形成新的磨屑,新的磨屑在外力挤压作用下逐渐形成新的磨屑膜,当磨屑膜的形成和消失达到一个动态平衡时,摩擦因数出现间断性波动^[14]。

对比3种挡板钢的磨损过程和摩擦因数,会发现供货态挡板钢在1800s的磨损过程中,其摩擦因数逐步增加,在3种状态中其摩擦因数最高,平均达到了0.51,说明其耐磨性最差。另外,其宏观硬度较低,耐磨性也相对较差。而在经过淬火+200、250℃回火后,其平均摩擦因数明显降低,分别为0.38和0.40,耐磨性得到了大幅度的改善,这主要是回火马氏体组织。

2.4 析出物 XRD 分析

将试样电解萃取后的析出物进行定量和XRD分析,结果见图9。可以发现,随着回火温度升高,析出物的含量有微小的波动。

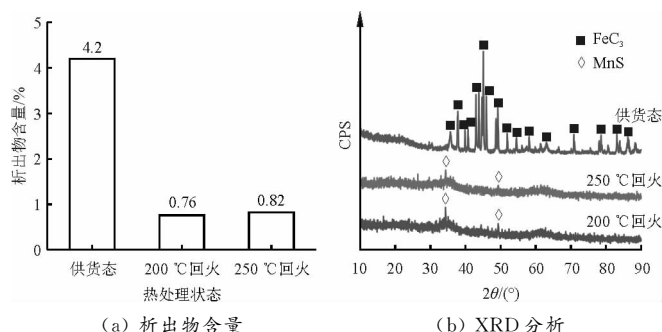


图9 不同状态下挡板钢析出物含量和XRD分析

Fig.9 Precipitation content and XRD analysis of experimental steel at different states

由图9b可见,供货态挡板钢的析出物为渗碳体,供

货态挡板钢组织正是由片状珠光体和网状铁素体组成,其中珠光体由 α 相和渗碳体组成的机械混合物,而渗碳体的存在会在一定程度上提高其耐磨性,但由于其基体组织为网状铁素体和片状珠光体,故耐磨性仍较低。

经过200℃和250℃回火后,XRD分析显示无较明显的衍射峰,有极少量MnS析出,除此之外,并未观察到碳化物析出,但是考虑到其基体组织为回火马氏体和少量残余奥氏体,正是由于基体组织的明显改善,导致淬火回火后挡板钢耐磨性得到显著提高。

3 结 论

(1)经过淬火+低温回火后挡板钢组织由供货态的片状珠光体和网状铁素体转变为回火马氏体和少量残留奥氏体,其力学性能大幅提高。经过淬火+200℃回火后抗拉强度和硬度(HBW)分别达到1251.2MPa和480.1。在回火温度达到250℃时,抗拉强度和硬度降低。

(2)供货态挡板钢含有最高含量析出物 FeC_3 ,而经淬火+低温回火后其析出物含量极少,仅发现有少量MnS非金属夹杂物存在。

(3)供货态挡板钢磨损率和摩擦因数最高,经淬火+200℃回火后磨损率和摩擦因数分别为0.27mg/m和0.38,经250℃回火的分别为0.53%和0.4。结果,经淬火+200℃回火后的耐磨性最佳。

参 考 文 献

- [1] WEN S Z. Research progress of material wear and thinking[J]. Tribology, 2008, 28(1): 1-5.

热处理工艺对离心铸造 QAl10-4-4 铝青铜组织及性能的影响

应俊龙 巢曷轩 李智勇
(航空工业集团昌河飞机工业集团)

摘 要 对衬套用 QAl10-4-4 铝青铜热处理工艺及其机理展开研究,探究适合衬套零件的热处理工艺。通过金相分析及力学性能检测,分析了不同固溶及时效参数下 QAl10-4-4 铝青铜的组织及性能。当固溶温度为 950 ℃时,组织中存在大量的 β 相及 β' 相,并有少量 α 相及 k 相残留,具有较高的强度且基本无开裂倾向;时效温度为 520~720 ℃,随着时效温度提升、保温时间延长, β 相及 β' 相的共析反应趋于完全,强度、硬度降低,而塑性、韧性提高。考虑到衬套零件在具备强韧性的同时,需要一定的塑性、韧性,故而理想的热处理制度为:固溶温度为 950 ℃,保温时间为 1.5 h;时效温度为 670 ℃,保温时间为 3 h。

关键词 QAl10-4-4 铝青铜;固溶时效;力学性能;金相组织

中图分类号 TG162.83;TG146.1⁺1 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.12.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Heat Treatment Process on Microstructure and Properties
of QAl10-4-4 Aluminum Bronze

Ying Junlong, Chao Bingxuan, Li Zhiyong

(Changhe Aircraft Industries Corporation, Aviation Industry Group Company)

Abstract: The heat treatment process and mechanism of QAl10-4-4 aluminum bronze were investigated to explore heat treatment specification for parts conforming to bushing. The microstructure and mechanical properties of QAl10-4-4 aluminum bronze with different solid solution and aging parameters were analyzed by metallographic analysis and tensile test. When the solution temperature is 950 ℃, a large number of β and β' phases are generated in the structure with a small amount of α phase and k phase residues, which exhibits high strength without crack-ing tendency. With the increase of aging temperature and holding time, the eutectoid reaction of β and β' phases tends to be complete, where the strength and hardness are decreased, while the plasticity and toughness are in-creased. Considering synergetic toughness and plastic toughness, the ideal heat treatment system is presented as follows: solid solution at 950 ℃ for 1.5 h and aging at 670 ℃ for 3 h.

Key Words: QAl10-4-4 Aluminum Bronze, Solution Aging, Mechanical Properties, Metallographic Structure

收稿日期:2021-04-12;修改稿收到日期:2021-06-20
第一作者简介:应俊龙,男,1988 年出生,高级工程师,江西景德镇(333000),E-mail:447597982@qq.com
引用格式:应俊龙,巢曷轩,李智勇. 热处理工艺对离心铸造 QAl10-4-4 铝青铜组织及性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(12):1 568-1 571.
YING J L, CHAO B X, LI Z Y. Effect of heat treatment process on microstructure and properties of QAl10-4-4 aluminum bronze[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(12):1 568-1 571.

[2] HE J A, WANG Y W. Material Abrasion and Wear Resistant Ma-
terials[M]. Liaoning: Northeastern University Press, 2002.

[3] XIE M Y. The wearability of high vanadium high speed steel re-
search[J]. Machinery Industry Standardization & Quality, 2012,
474(11): 37-41.

[4] JOHN A W. Wear and wear particles-some fundamental[J]. Tri-
bology International, 2005, 38(10): 863-870.

[5] YANG S C, SHE Y W. Investment casting process and the meth-
ods to prevent defects[J]. Journal of Agricultural Mechanization
Research, 2005(4): 192-194.

[6] 赵云冲,杨兴亚,龙伟濤,等.热处理工艺对 TBM 刀盘低合金耐磨钢
的耐磨性影响研究[J].热加工工艺, 2020, 49(12): 135-137.

[7] 邓进俊,邵红红,彭玉婷,等. 热处理对高铬铸铁组织与耐磨性的
影响[J]. 金属热处理, 2013(3): 82-85.

[8] 张拓,滕铝丹,臧其玉,等. 含铌中铬耐磨铸钢的摩擦磨损行为[J].
材料研究学报, 2019, 33(4): 313-320.

[9] 刘腾轼,杨弋涛. 铌对低合金铸钢组织及性能的影响[J]. 铸造,
2014, 63(10): 1 051-1 055.

[10] 黄胜银,段闪闪,郑喜平. 45 钢调质工件的金相组织分析[J]. 热
加工工艺, 2018, 47(16): 起止页码

[11] 康煜平. 金属固态相变及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2007.

[12] 索忠源,王鑫,王文革,等. 回火工艺对 ZG5Cr17Ni2 马氏体不锈
钢组织及硬度的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(11):
22-24.

[13] 张雷,黄兴民,翁玉鸣,等. 热处理对 Cr15 高铬铸铁组织和耐磨性
能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35.

[14] 符宏山,杨敏,任慕苏,等. 不同试验条件下 C/C 复合材料的摩擦
磨损性能[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2018, 24(6): 99-106.

(编辑:张正贺)