

文章编号: 1004-0609(2004)04-0633-06

热处理工艺轿车同步器齿环用 HMn59-2-1-0.5 合金磨损性能的影响^①

杜令忠^{1, 2}, 徐滨士², 董世运², 董企铭³

(1. 上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 210030;

2. 北京装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072;

3. 河南科技大学 材料科学与工程学院, 洛阳 471039)

摘 要: 制定了国产 HMn59-2-1-0.5 合金同步器齿环的热处理工艺, 对比了该合金齿环和进口齿环的磨损性能, 分析了 HMn59-2-1-0.5 合金的磨损机理。结果表明: 国产 HMn59-2-1-0.5 合金同步器齿环耐磨性优于进口同步器齿环或与之相当, 磨损机理主要是磨粒磨损, 热处理后形成的“硬质点+ 软基体”和“软质点+ 硬基体”的典型多相复合耐磨组织使合金具有良好的摩擦特性。

关键词: 同步器齿环; HMn59-2-1-0.5 合金; 热处理; 磨损性能

中图分类号: TG 162

文献标识码: A

Effect of heat treatment technique on wear properties of HM59-2-1-0.5 alloy used in car synchro converter ring

DU Ling-zhong^{1, 2}, XU Bing-shi², DONG Shi-yun², DONG Qi-ming³

(1. College of Materials Science and Engineering,

Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. National Key Laboratory for Remanufacturing,

Beijing Armored Force Engineering Institute, Beijing 100072, China;

3. College of Materials Science and Engineering,

Henan Science University, Luoyang 471039, China)

Abstract: The heat treatment technique of HMn59-2-1-0.5 alloy used in car synchro converter ring was determined. The wear properties between HM59-2-1-0.5 alloy and imported material used in car synchro converter ring were compared and the wear mechanism was analyzed. The results show that the wear properties of HM59-2-1-0.5 alloy equal to or are better than those of imported material and the main wear mechanism is abrasive wear. The composite microstructures of hard particle+ soft matrix and soft particle+ hard matrix make the alloy have excellent friction characteristic.

Key words: synchro converter ring; HMn59-2-1-0.5 alloy; heat treatment; wear performance

汽车工业是一个国家国民经济的支柱产业, 是一个国家工业生产能力和科学技术的综合体现。我国的轿车工业经过近年的发展, 已基本上从开始的整车引进, 逐步实现了大部分零件的国产化, 并且

一些零部件的质量和性能已达到或接近国外先进水平, 降低了对国外的依赖性, 提高了民族汽车工业的自主性。但是, 目前尚有一些关键零部件及材料, 由于其技术难度较大, 尚未实现国产化。比如

① 基金项目: 国家(863)计划资助项目(863-715-012-0140)

收稿日期: 2003-07-30; 修订日期: 2003-11-24

作者简介: 杜令忠(1976-), 男, 博士研究生。

通讯作者: 杜令忠, 博士研究生; 电话: 010-66719225; E-mail: dulingzhong@sjtu.edu.cn

轿车用同步器齿环,它是变速箱中的关键零件之一,它的发明和使用是汽车变速系统技术进步的一个重要标志^[1, 2]。由于国产材料技术不过关,我国的奥迪、捷达、桑塔纳轿车用同步器齿环材料主要依赖进口,花费了大量外汇。为了实现轿车同步器齿环材料国产化,降低成本,我国自行研制了高强 HMn59-2-1-0.5 合金。由于轿车在换挡过程中要求齿环具有优良的耐磨性^[3]。因此本文作者主要研究了 HMn59-2-1-0.5 合金同步器齿环的热处理工艺,对比了该合金齿环和进口齿环的磨损性能,并分析了材料的磨损机理。

1 实验

热处理采用 SX-2.5-10 箱式电阻炉加热,炉膛尺寸为 200 mm × 120 mm × 80 mm,用 DR₂₋₄型电阻温度控制器控制温度。采用日产 V esmat- II 型金相显微镜观察微观组织;用 HB-3000 型布氏硬度计测量硬度,压头直径为 2.5 mm,载荷为 625 N。

磨损性能在 MM200 型磨损试验机上测试,工作压力为 100~ 500 N,转速为 400 r/min。磨损量的测定采用磨痕宽度法,磨痕宽度用显微读数计读出。由于同步器齿环是在油润滑条件下工作的,因此主要进行油润滑磨损实验,润滑油采用 20 号机油,滴油量 1 mL/5 min。磨损试样规格如图 1 所示,块状试样为齿环材料,表面粗糙度为 $Ra1.63$ 。与其对磨的是 GCr15 轴承钢滚轮,在实验前经 830 °C 固溶,150 °C 时效 3 h 处理,硬度为 HRC60,滚轮表面经精磨后使用。为了保证实验结果的可靠性和对比性,必须使对磨材料在每次试验时表面状态相同,为此,每做一个试样均对滚轮表面采用同样工艺方法进行修整。摩擦系数 μ 通过测定扭矩的大小来计算,即:

$$\mu = M / f \cdot R$$

式中 μ 为摩擦系数; M 为扭矩, N·mm; f 为法向载荷, N; R 为滚轮半径, mm。

磨损后表面的形貌在 JSM-1 型扫描电镜下观察。

实验中所用的磨损试样的形状、尺寸如图 1 所示,试样表面光洁度为 $\nabla 8$ 。

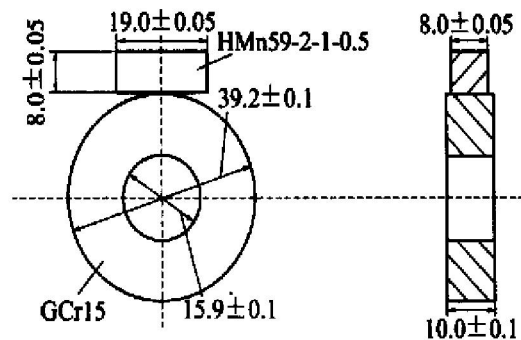


图 1 磨损试样形状及尺寸

Fig. 1 Shape and size of friction specimen(mm)

2 结果与讨论

HMn59-2-1-0.5 合金的成分(质量分数, %)为: 58~ 59Cu; 1.4~ 1.7Al; 1.8~ 2.2Mn; 0.6~ 0.9Si; 0.35~ 0.65Fe; 0.3~ 0.6Pb; 0.1~ 0.4Sn; 其余为 Zn。采用热精锻工艺制备同步器齿环,精锻温度为 720 °C。同步器齿环的金相组织对其性能,特别是寿命指标有显著的影响,因此,采用必要的热处理工艺控制锻件的金相组织,是保证同步器齿环性能充分发挥的重要环节^[4]。实验采用了 2 种热处理制度: 1) 齿环精锻后直接进行水冷、风冷、空冷、灰冷、砂冷; 2) 将齿环重新加热到精锻温度 720 °C 保温 20 min, 水淬,在不同温度下时效 1 h,然后在空气中冷却。

2.1 锻后冷却方式对硬度的影响

齿环精锻后分别进行水冷,油冷,风冷,空冷,砂上冷,灰冷及砂中冷 20、40 min 的硬度如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,从水冷到砂中冷 40 min,随冷却速度减缓,齿环硬度 HB 从 188 下降到 160。

平衡状态下, HMn59-2-1-0.5 合金的微观组织为白色针状的 α 相+ 黑色的 β 基体^[5]。齿环精锻后冷却时,会发生部分高温 β 相向 α 相的组织转变,同时 β 相转变为 β' 相。水冷时,由于冷却速度很快,抑制了 α 相的析出,得到纯 β' 组织(图 3(a)),随着冷却速度的减慢, α 相的转变量缓慢增加,空冷时 α 相的含量约为 5%(图 3(b))。由于 α 相硬度(HV 140)小于 β' 相(HV 200), α 相含量越多材料硬度越低,同时,较慢的冷却速度有利于锻造应力的松弛,因此出现了随冷却速度降低硬度降低的现象^[6, 7]。

2.2 时效温度对齿环性能的影响

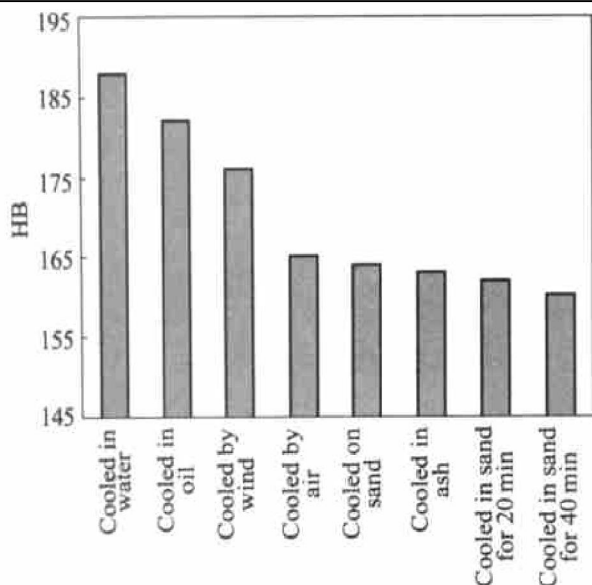


图 2 冷却方式对硬度的影响

Fig. 2 Effects of cooling condition on hardness

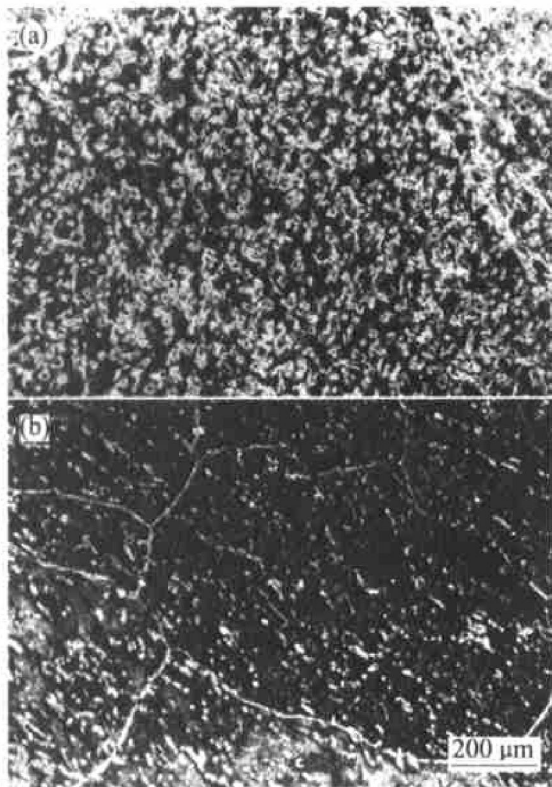


图 3 HM59-2-1-0.5 合金直接冷却的微观组织

Fig. 3 Microstructures of HM59-2-1-0.5

alloy cooled directly

(a) —Cooled in water; (b) —Cooled in air

为了进一步研究锻后热处理方式对齿环性能的影响, 又进行了以下实验: 将缓冷后的齿环重新加热到 750 °C 固溶, 而后分别在 150、200、250、300、350、400 °C 下时效 1 h, 其硬度如图 4 所示。

从图 4 可知, 硬度随着温度的升高而升高, 在 200 °C 时出现峰值 (HB 176), 超过 200 °C 时硬度

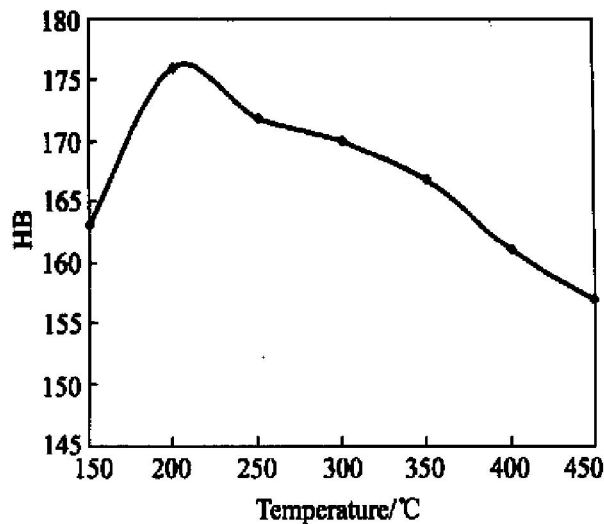


图 4 时效温度对硬度的影响

Fig. 4 Effects of aging temperature on hardness

缓慢下降。

齿环冷却后重新加热固溶, α 相分解, 溶入 β 基体, 得到了纯 β 相的微观组织。从图 5 可以看出: 在时效过程中 α 相从基体中析出, 200 °C 以下析出量很少, 超过 200 °C α 相析出量增加很快, 随着温度的升高, Mn_5Si_3 ^[8] (图中灰色颗粒) 等颗粒增强相析出量增加, α 相析出使硬度降低, 而 Mn_5Si_3 颗粒析出使硬度升高^[9], 在两者共同作用下, 硬度值出现先升后降的趋势。

200 °C 时效 1 h 具有较好的组织和性能, 而空冷工艺简单, 成本低, 非常适合工业生产。因此我们选择了 200 °C 时效 1 h 以及直接空冷处理的合金试样与进口齿环 (取自桑塔纳轿车) 进行了对比磨损试验。

2.3 对比磨损试验结果

图 6 所示是 200 °C 时效 1 h 以及直接空冷处理的 HMn59-2-1-0.5 合金与进口齿环的对比磨损试验结果, 从图中可以看出, 随着加载载荷的增加及磨损时间的延长, 3 组材料的磨损量都增加, 进口齿环的耐磨性略高于直接空冷试样而略低于 200 °C 时效 1 h 处理的试样。

在载荷为 400 N, 磨损时间为 1 h 的实验条件下, 材料达到稳定阶段时的摩擦系数分别为: 进口齿环 0.011 5; 空冷 0.121 26; 200 °C 时效 1 h 0.010 875。3 组材料的摩擦系数相差不大, 200 °C 时效 1 h 的摩擦系数最低。

2.4 磨损机理探讨

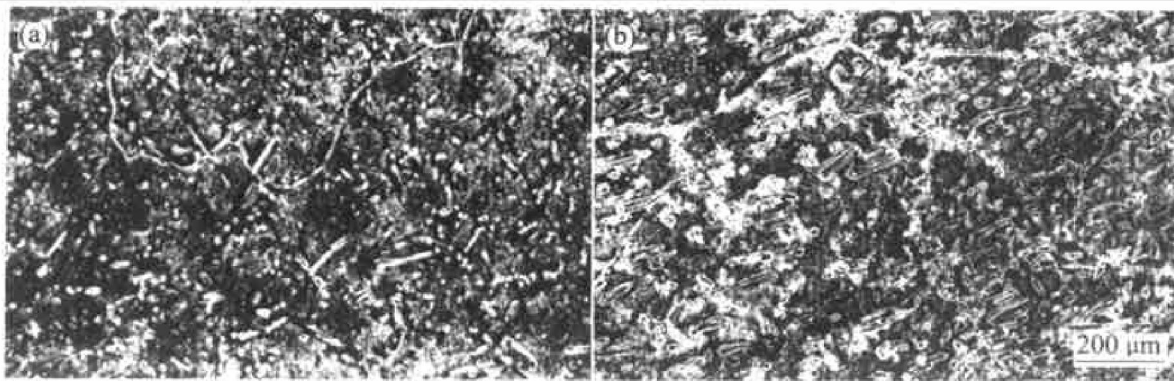


图 5 HM59-2-1-0.5 合金不同温度时效的微观组织

Fig. 5 Microstructures of HM59-2-1-0.5 alloy aging at different temperatures

(a) —Aging at 200 °C for 1 h; (b) —Aging at 250 °C for 1 h

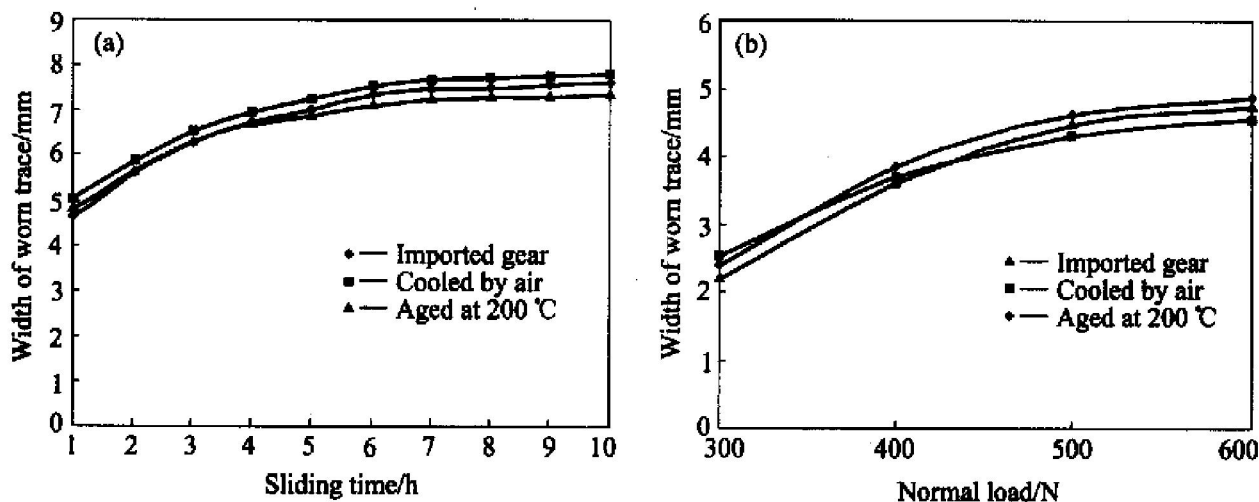


图 6 不同磨损条件下的磨损曲线

Fig. 6 Wear curves in different conditions

(a) —Worn trace width with sliding time(normal load: 400 N)

(b) —Worn trace width with normal load(sliing time: 1 h)

图 7 所示是 3 组齿环试样的磨痕 SEM 形貌, 磨损表面是平行分布的犁沟, 其磨损机制为磨粒磨损, 从犁沟表面也可以看出: 200 °C 时效 1 h 的犁沟较细较浅, 耐磨性要优于进口齿环, 与磨损实验所得结论一致。

磨损过程中, 由于摩擦副 GCr15 的硬度远大于铜合金的硬度, 摩擦副表面的微凸体, 可以很容易的压入铜合金表面, 在切向力的作用下, 这些微凸体会对合金表面产生切削作用, 使合金表面发生塑性变形而形成犁沟。分布在软基体上的颗粒相 Mn_5Si_3 硬度很高, 而且很脆, 在摩擦副的反复冲击下, 很容易碎裂, 有时甚至整个从基体中脱落下来, 这些硬质颗粒相夹杂在润滑油中在接触面间滚动, 也会在合金表面留下犁沟。

热处理后的 HM59-2-1-0.5 合金, 软韧 α 相 (HB 140) 和高硬的 Mn_5Si_3 (HV 800) 质点分布在较

高强度的 β' (HB 300)^[10] 的基体中, 形成了“硬质点 + 软基体”^[11] 和“软质点 + 硬基体”^[12] 的典型多相复合耐磨组织从而获得了良好的摩擦特性。硬质点 Mn_5Si_3 分布在软基体 β' 上, 可以提高材料表面的硬度, 使摩擦副表面的微凸体难以压入基体中, 减轻了微凸体对磨损表面的切削作用, 即使那些从材料表面脱落的 Mn_5Si_3 硬质颗粒相, 存在摩擦面间, 也可以产生类似与滚动摩擦的“微滚珠”效果^[13], 使摩擦系数减小。而韧性 α 相由于较软, 分布在较硬基体 β' 上, 可以防止对磨材料的硬性接触, 经跑合后, α 相首先被磨损而低洼, 可以作为存储润滑油的容器, 可以充分发挥油润滑功能, 另外, 韧性 α 相, 其本身就有抑制裂纹发展的作用, 在磨损过程中, 磨损表面形成的显微裂纹在向表面下方扩展, 如果遇到塑性的 α 相, 将会因 α 相发生塑性变形, 使裂纹尖端钝化而停止扩展^[14]。进一步提高了该

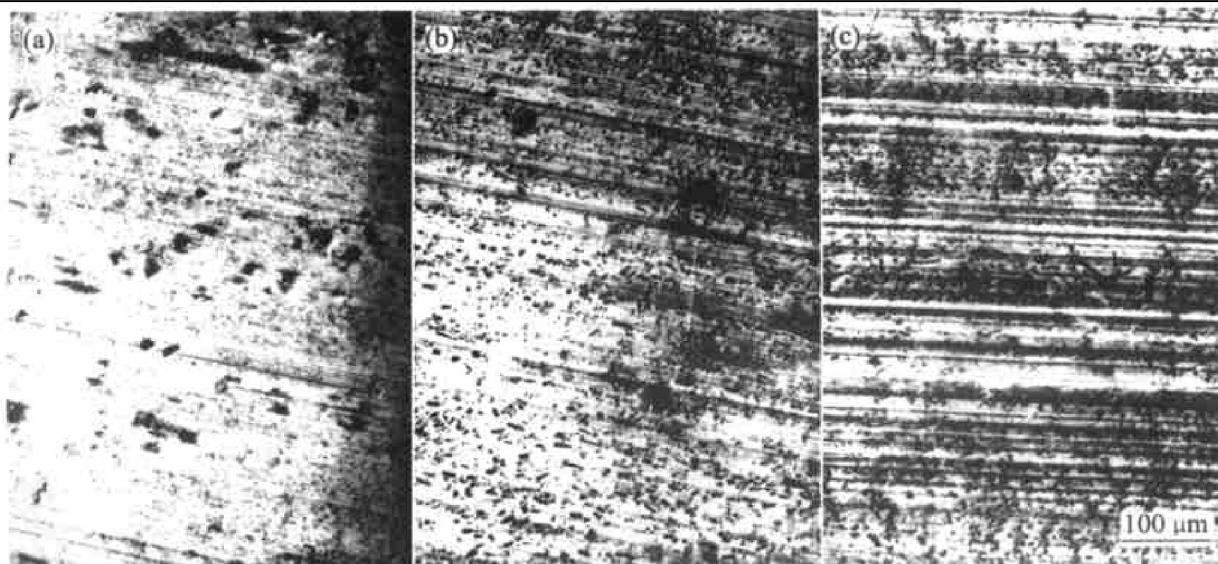


图 7 3 组材料的表面磨痕形貌

Fig. 7 Morphologies of worn trace of three kinds of material
(a) —Aging at 200 °C for 1 h; (b) —Imported gear; (c) —Cooling in air

合金的耐磨性。

HM59-2-1-0.5 合金经热处理后获得优良的耐磨组织, 耐磨性优于进口齿环或与之相当, 为取代进口、实现同步器齿环材料的国产化提供了可能。

3 结论

1) 200 °C 时效 1 h 处理的 HM59-2-1-0.5 合金齿环耐磨性优于进口齿环而空冷时合金的耐磨性与进口齿环相当。

2) HM59-2-1-0.5 合金齿环的磨损机理主要是磨粒磨损。

3) “硬质点+ 软基体”和“软质点+ 硬基体”的典型多相复合耐磨组织使合金具有良好的摩擦特性。

REFERENCES

- [1] 黄 伟. 汽车变速器的结构与维修[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992. 6.
HUANG Wei. Structure and Maintaining of Car Speed-Varior[M]. Beijing: Defense Industry Press, 1992. 6.
- [2] 戴晓峰. 汽车同步器齿环精密模锻工艺[J]. 锻压机械, 1999(3): 24-25.
DAI Xiaofeng. The process of precision forging used in synchro converter ting[J]. Forge and Press Machinery, 1999(3): 24-25.
- [3] 宋克兴, 郇建新, 周伯楚. 重型汽车同步器齿环的铸坯精锻[J]. 热加工工艺, 2000(5): 59-60.

SONG Kexing, GAO Jianxin, ZHOU Bochu. The process of casting blank-precision forging used in synchromesh gear of heavy-duty truck[J]. Hot Working Technology, 2000(5): 59-60.

- [4] 张胜华, 马 斌. HM59-2-1 合金的新型本构关系[J]. 锻压技术, 2002(3): 40-42.
ZHANG Shenghua, MA Bin. New constitutive relation of HM59-2-1 alloy[J]. Forge and Press Technology, 2002(3): 40-42.
- [5] 郭淑梅, 王 硕, 曹秀兰. 轿车同步器齿环用 HM59-2-1-0.5 合金的组织性能关系研究[J]. 上海有色金属, 2001, 23(3): 101-105.
GUO Shumei, WANG Shuo, CAO Xiulan. Structure and properties of HM59-2-1-0.5 alloy for synchronous ring gears[J]. Shanghai Nonferrous Metals, 2001, 23(3): 101-105.
- [6] Gronostajski Z J. Correlation between stress-strain relation and phase transformation in copper alloys[J]. Processing Technology, 2001, 119: 244-250.
- [7] 杜令忠, 徐滨士, 董世运. 轿车同步器齿环用 HM59-2-1-0.5 合金的热处理工艺研究[J]. 金属热处理, 2004, 29(1): 76-79.
DU Lingzhong, XU Bingshi, DONG Shiyun. Heat treatment of HM59-2-1-0.5 used in car synchro converter ring[J]. Metal Heat Treatment, 2004, 29(1): 76-79.
- [8] 郭淑梅, 王 硕. 复杂黄铜的合金设计[J]. 云南冶金, 1999, 28(5): 40-44.
GUO Shumei, WANG Shuo. Alloy design of intricate brass[J]. Yunnan Metallurgy, 1999, 28(5): 40-44.
- [9] Oishi K, Sadaki I, Otani J. Effect of silicon addition of grain refinement of copper alloys[J]. Materials Letters,

- 2003, 57: 2280 - 2286.
- [10] 李元元, 夏 伟, 张 文. 高强度耐磨铝青铜合金及其摩擦学特性[J]. 中国有色金属学报, 1996, 6(3): 76 - 80.
- LI Yuan-yuan, XIA Wei, ZHANG Wen. Strong and wear resistant aluminum-bronze alloy and its tribological characteristics[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1996, 6(3): 76 - 80.
- [11] 马 斌, 张胜华. 高强度黄铜的显微组织和耐磨性[J]. 湖南有色金属, 2001, 17(2): 35 - 38.
- MA Bin, ZHANG Sheng-hua. Microstructure and wear of high-tensile brasses[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2001, 17(2): 35 - 38.
- [12] 王智平, 金玉花, 路 阳. 高铝青铜 CuAl4X 摩擦磨损特性的试验研究[J]. 铸造, 2003, 52(3): 185 - 189.
- WANG Zhi-pin, JIN Yu-hua, LU Yang. Friction property of new wear-resistance CuAl4X aluminum bronze [J]. Foundry, 2003, 52(3): 185 - 189.
- [13] 张玉平, 李联英, 王灵卉, 等. 新型黄铜摩擦磨损特性的试验研究[J]. 特种铸造及有色合金, 1999(3): 28 - 30.
- ZHANG Yu-ping, LI Lian-ying, WANG Ling-hui. Wear performance of new type brass[J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 1999(3): 28 - 30.
- [14] Nomura Y, Suzuki R, Saito M. Strength of copper alloys in high temperature environment[J]. Journal of Nuclear Materials, 2002, 307 - 311: 681 - 685.

(编辑 李向群)