

水韧处理对消失模铸造棒磨机衬板组织与性能的影响

何 扬 王于金 秦芳诚 孟征兵
(桂林理工大学材料科学与工程学院)

摘 要 对消失模铸造 ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢衬板进行水韧处理,借助光学显微镜和显微硬度仪,研究了不同水韧处理工艺对衬板组织与性能的影响,对比分析了水韧处理前后试样的组织与性能变化。结果表明,水韧处理保温 1 h 时,衬板性能均较好。随着水韧处理温度升高,网状碳化物逐渐减少,单相奥氏体含量先增后减。ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢最佳水韧处理方案为:升温至 1 080 ℃保温 1 h 后进行快速水淬。该工艺条件下衬板试样组织均匀,碳化物消失,硬度(HB)分别达到了 210 和 220。

关键词 消失模铸造;耐磨衬板;水韧处理;显微组织;网状碳化物

中图分类号 TG331;TG142 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.04.021 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Water Toughening on Microstructure and Properties of Rod Mill Liner in Monohydrallite

He Yang, Wang Yujin, Qin Fangcheng, Meng Zhengbing
(College of Materials Science and Engineering, Guilin University of Technology)

Abstract: The as-cast ZGMn13 and ZGMn17 liners produced by lost foam casting were treated with water toughening. The influence of different water toughening process on the structure and performance of the liner was investigated using optical microscope and micro-hardness tester. The change rules of microstructure and properties before and after the water toughening were analyzed comparatively. The results reveal that the properties of the liners are better under water toughening treatment for 1 h. As the water toughness temperature increases, the network carbide is gradually decreased, and the content of single-phase austenite is firstly increased and then decreased. The optimum water toughness treatment of ZGMn13 high manganese steel and ZGMn17 ultra-high manganese steel are to heat up to 1 080 ℃ for 1 h and then conduct water quenching. Under the process, the microstructure is homogeneous without carbides, and hardness reaches 210 HB and 220 HB, respectively.

Key Words: Lost Foam Casting, Wear-resistant Liner, Water Toughening, Microstructure, Network Carbide

高锰钢作为一种优异的耐磨材料,常被用于冶金、矿山和水泥等行业,如铝土矿棒磨机和球磨机衬板、挖掘机斗齿和输运履带板,具有良好的强度、硬度、耐冲击性和耐磨性等^[1~3]。但在使用过程中,耐磨高锰钢衬板只有在冲击载荷大、接触应力高及磨料较硬的情况下,表层才能产生加工硬化,发挥出较高的耐磨性。在使用初期或低冲击载荷及磨料较软的情况下,其表面加工硬化不足易造成较大的磨损,这在很大程度上限制了高锰钢的应用^[4,5]。因此,高锰钢衬板一般在进行水韧处理后才正常使用。

水韧处理即首先将高锰钢加热至奥氏体区温度并保温一段时间,使铸态组织中的碳化物基本上都固溶到

奥氏体中,后淬入水中快速冷却,从而得到单一的过冷奥氏体组织^[6~8]。熊运霞^[9]发现 ZGMn13Cr2 钢经过 1 050 ℃×1 h(水韧)+540 ℃×1 h 时效后性能最佳,其磨损质量损失为 28.3 mg,硬度(HB)和冲击功分别达到 374 和 84 J。郑红红等^[10]通过对比水韧处理前后的高锰钢的工作性能,发现冲击功由 41.7 J 提高到 114.8 J,综合力学性能明显改善。权国辉等^[11]对 ZGMn18Cr2 衬套进行两种不同水韧处理方案,对比分析了水韧处理前后试样的组织与力学性能。结果发现,采用 1 120 ℃×15 h 保温后快速水冷工艺可降低钢的硬度,提高钢的韧性和碳化物级别,提高了衬套的使用寿命。因此,水韧处理在高锰钢耐磨衬板生产中的作用

收稿日期:2020-10-16;修改稿收到日期:2020-11-09
基金项目:广西自然科学基金资助项目(2019GXNSFAA245051,2018GXNSFBA281056);广西创新驱动发展专项基金资助项目(2018AA23004)
第一作者简介:何扬,男,1999 年出生,学士,广西桂林(541004),E-mail:1104516090@qq.com
通信作者:秦芳诚,男,1988 年出生,讲师,广西桂林(541004),E-mail:qinfangcheng@glut.edu.cn
引用格式:何扬,王于金,秦芳诚,等. 水韧处理对消失模铸造棒磨机衬板组织与性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(4):490-494.
HE Y, WANG Y J, QIN F C, et al. Effect of water toughening on microstructure and properties of rod mill liner in monohydrallite[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(4):490-494.

十分关键,当衬板冶金品质一定时,高锰钢衬板使用寿命主要取决于水韧处理工艺。本课题以铸态 ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢衬板为例,对其水韧处理前后的微观组织和力学性能进行分析,以获得高锰钢和超高锰钢的最佳水韧处理方案,为开发具有较高耐磨性能和抗冲击能力的棒磨机衬板提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验材料为铸态 ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢耐磨衬板,采用消失模铸造工艺生产(见图 1)。衬板需长期在中低冲击工况下使用,预期服役工时为 4 200 h,其化学成分见表 1。采用中频炉进行熔炼,出钢前加少量稀土粉末,完全熔化后加入少量的 Al 粉进行脱氧,分批加入聚渣剂,聚渣后进行分批扒渣。浇注温度为 1 480 ℃,浇注时间约为 130 s,8 h 后开箱。

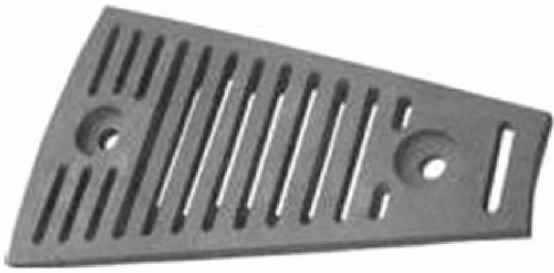


图 1 球磨机衬板
Fig.1 Ball mill liner

表 1 耐磨衬板的化学成分

Tab.1 Chemical compositions of wear-resistant liner %						
合金	w _B					
	C	Mn	Si	S	P	Fe
ZGMn13	0.90~1.20	13.00	0.30~0.80	≤0.05	≤0.05	余量
ZGMn17	0.90~1.50	17.00	0.30~1.00	≤0.05	≤0.05	余量

1.2 试验方法

对消失模铸造的 ZGMn13 和 ZGMn17 耐磨衬板进行不同的热处理,试验方案见表 2,其中水淬介质为工业 NaCl 溶液。根据铁碳相图,ZGMn13 和 ZGMn17 的

水韧温度要高于其奥氏体化温度起始线 150~200 ℃,保温时间根据衬板厚度和经验确定,达到预设保温时间后出炉,快速移入水槽中,保证衬板入水温度不低于 950 ℃,确保得到单一奥氏体组织,避免晶界网状碳化物等降低衬板的冲击韧度等。因此,选择水韧处理温度为 1 050、1 080 和 1 130 ℃,保温时间为 1 h 和 2 h。水韧处理完毕后采用线切割制备所需金相试样,采用 Phoenix 4000 抛磨机进行抛光处理,用体积分数为 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后在金相显微镜(AxioScope.A1)上观察其显微组织。用 FM-ARS-9000 显微硬度计测量试样的硬度值,外加载荷为 2 N,加载时间为 10 s,取 3 次测试数据的平均值。

表 2 ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢衬板水韧处理方案
Tab.2 Water toughening scheme of ZGMn13 high-manganese and ZGMn17 ultra-high manganese steel liner

试样号	热处理工艺
1	1 050 ℃×1 h+水淬
2	1 050 ℃×2 h+水淬
3	1 080 ℃×1 h+水淬
4	1 080 ℃×2 h+水淬
5	1 130 ℃×1 h+水淬
6	1 130 ℃×2 h+水淬

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

图 2 和图 3 分别为铸态 ZGMn13 和 ZGMn17 衬板试样显微组织。可以看出,衬板基体为奥氏体组织,晶粒整体较粗大,直径在 200~600 μm 之间。晶界处存在大量碳化物及少量珠光体,碳化物类型主要为(Fe, Mn)₃C,形状呈针状或网状。对比图 2 和图 3 可以发现,ZGMn17 碳化物含量更高,晶粒尺寸及网状碳化物更大。

碳化物主要分布在晶界处,这是由于钢水凝固后冷却速度过快,远大于平衡凝固时的冷却速率,使得部分奥氏体组织分解,从而形成大量呈条状或网状的碳化物,导致衬板硬度降低^[12]。Mn 作为钢中的弱碳化物形成元素,其浓度的提升能促进过剩的二次碳化物的产

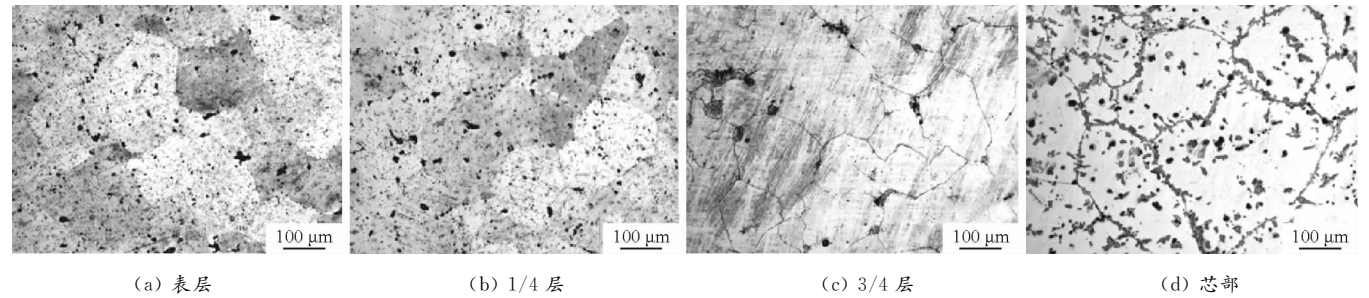
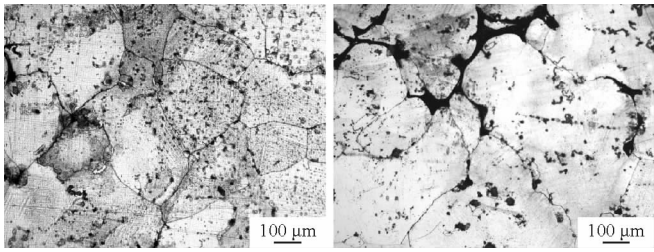


图 2 ZGMn13 衬板的显微组织

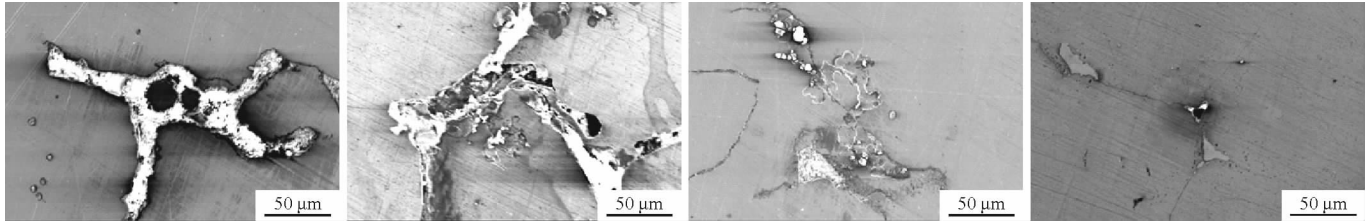
Fig.2 Microstructures of the ZGMn13 liners



(a) 表层 (b) 芯部

图 3 ZGMn17 衬板的显微组织

Fig.3 Microstructure of ZGMn17 liner



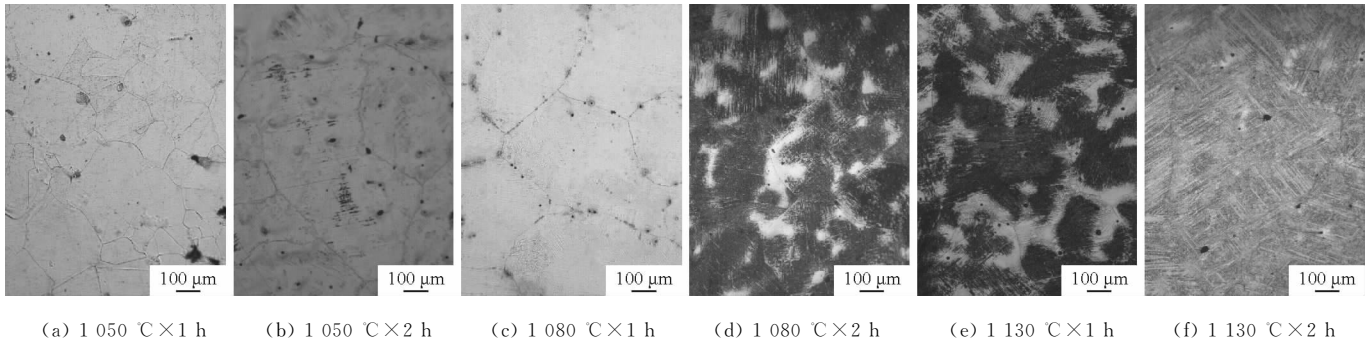
(a) 表层 (b) 1/4 层 (c) 3/4 层 (d) 芯部

图 4 ZGMn17 衬板的 SEM 形貌

Fig.4 SEM morphology of the ZGMn17 liner

图 5 为 ZGMn13 高锰钢衬板不同水韧处理工艺的显微组织。可以看出,大量网状碳化物已完全溶于奥氏体中。对比发现,保温温度相同时,保温时间越长,晶粒越粗大。而保温时间相同时,随着水韧处理温度升高,形成的单相奥氏体组织先增后减。这是由于水韧温度为 1 050 ℃时,晶粒尚未完全长大且分布不均,此时组

织仍以奥氏体+碳化物为主。水韧温度为 1 080 ℃时,其晶粒分布均匀,说明此时已完全长大,晶粒、晶界上碳化物大多已溶于奥氏体中,因此单相奥氏体含量增加。水韧温度为 1 130 ℃时,部分晶粒明显粗大,出现过热组织且发生马氏体转变,导致单相奥氏体减少。同时,加热温度过高会发生脱碳反应,导致衬板力学性能下



(a) 1 050 ℃×1 h (b) 1 050 ℃×2 h (c) 1 080 ℃×1 h (d) 1 080 ℃×2 h (e) 1 130 ℃×1 h (f) 1 130 ℃×2 h

图 5 不同水韧处理工艺的 ZGMn13 衬板的显微组织

Fig.5 Microstructure of ZGMn13 liner with different water toughening process

降^[13]。

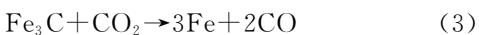
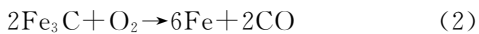
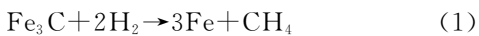


图 6 为 ZGMn17 超高锰钢衬板不同水韧处理工艺的显微组织。可以看出,保温 2 h 时碳化物明显增加,沿晶界呈带状分布,偏聚在晶界上造成晶格畸变,从而削弱晶界间强度,导致衬板性能下降。保温 1 h 时网状碳化物几乎全部溶解,说明此保温时间下衬板的性能更

好。加热至 1 050 ℃时,其晶界上仍存在着少量呈网状分布的碳化物,水韧处理效果较差;加热至 1 080 ℃时,晶界上碳化物逐渐变细,变窄,甚至消失,说明 1 080 ℃为理想的水韧处理温度;加热至 1 130 ℃时,晶粒出现过热组织,组织内部晶粒大小不均,由 Hall-Petch 公式可知,此时材料强度较低,衬板力学性能较差^[14~16]。

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (5)$$

式中, σ_y 为材料的屈服强度; σ_0 为位错移动时产生的晶格摩擦阻力; k 为与材料种类及晶粒尺寸有关的常数; d 为平均晶粒直径。

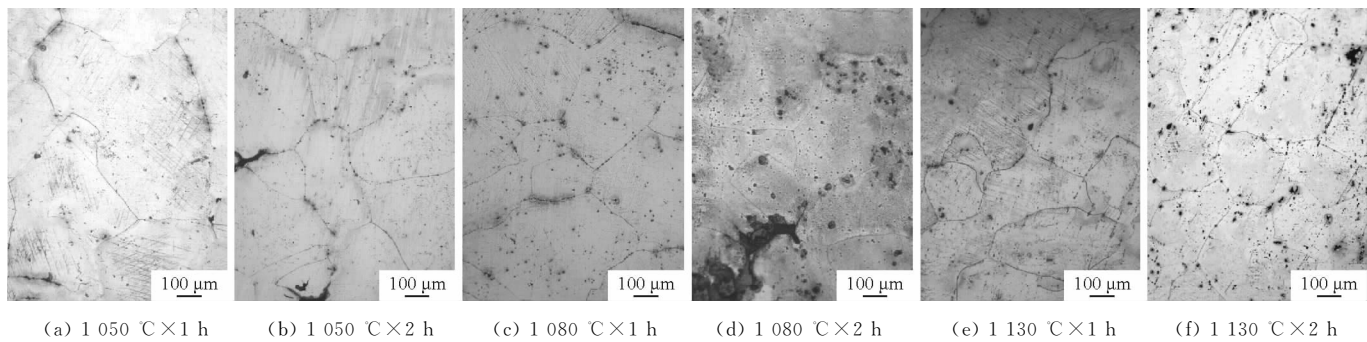


图 6 不同水韧处理工艺下 ZGMn17 衬板显微组织

Fig.6 Microstructure of ZGMn17 liner with different water toughening process

2.2 硬度测试

图 7 为不同水韧处理下 ZGMn13 和 ZGMn17 的硬度。可以看出,1 050 °C 保温 1 h 时,ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢衬板硬度(HB)最高,分别为 213 和 223,这是由于在该温度下存在少量碳化物尚未溶入基体,因此硬度较高。当升温到 1 080 °C 时,两者晶粒完全长大,碳化物溶解,因此硬度减小。当升温到 1 130 °C 时,两者晶粒因过热而粗大,导致硬度进一步降低。铸态高锰钢及超高锰钢的硬度(HB)较高,分别为 230、245.7 左右^[11,13]。对比发现,水韧处理后硬度整体下降。经 1 h 保温后超高锰钢衬板硬度比高锰钢衬板硬度高,但经 2 h 保温后反而更低。这是由于虽然水韧处理对试样起固溶强化作用,但由于固溶强化对硬度的影响远不及铸态钢中碳化物对其硬度的影响,所以水韧处理后,随着碳化物含量减少,试样硬度明显降低。一般情况下碳化物含量与硬度成正比^[17]。在保温 1 h 时,由于超高锰钢的碳化物高于高锰钢,故硬度要比高锰钢衬板的高;而保温 2 h 时,衬板出现过热现象,晶粒内发生脱碳反应,由于超高锰钢析出的碳化物远高于高锰钢,因此硬度更低。

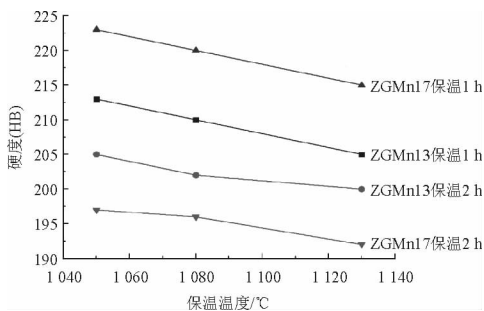


图 7 ZGMn13 和 ZGMn17 衬板水韧处理后的硬度

Fig.7 Hardness of ZGMn13 and ZGMn17 liner after water toughening

综上,高锰钢和超高锰钢衬板在 1 050 °C 保温 1 h 时硬度最高,但此时组织存在的部分碳化物导致其塑性、韧性较差,并不适用于球磨机上。1 080 °C 保温 1 h 时,碳化物完全溶解,改善了钢的塑韧性,保证了强冲击作用下衬板不会发生脆性断裂。同时,由于硬度没有明

显降低,使得衬板抵抗变形能力较好,使用寿命较长。

3 结 论

(1)水韧处理前 ZGMn13 高锰钢和 ZGMn17 超高锰钢衬板组织中碳原子均以碳化物的形式在奥氏体晶界处聚集,形成网状结构。水韧处理后,随着水韧处理温度的升高,网状碳化物逐渐溶解,单相奥氏体含量先增后减,各衬板力学性能得到明显改善。

(2)不同水韧处理工艺对衬板微观组织和力学性能有显著影响。ZGMn13 和 ZGMn17 衬板最佳的热处理方案为:升温至 1 080 °C 保温 1 h 后进行水淬处理,此工艺下各衬板晶粒分布均匀,硬度(HB)分别达到 213 和 223。

参 考 文 献

- [1] CHEN P C, CHAO C G, LIU T F. A novel high-strength, high-ductility and high-corrosion-resistance FeAlMn low-density alloy [J]. Scripta Materialia, 2013, 68(6): 380-383.
- [2] SEOL J B, RAABE D, CHOI P, et al. Direct evidence for the formation of ordered carbides in a ferrite-based low-density Fe-Mn-Al-C alloy studied by transmission electron microscopy and atom probe tomography[J]. Scripta Materialia, 2013, 68(6): 348-353.
- [3] SOHN S S, LEE B J, LEE S, et al. Effect of annealing temperature on microstructural modification and tensile properties in 0.35C-3.5 Mn-5.8Al lightweight steel [J]. Acta Materialia, 2013, 61 (13): 5 050-5 066.
- [4] DASTUR Y N, LESLIE W C. Mechanism of work hardening in Hadfield manganese steel [J]. Metallurgical Transactions, 1981, A12(5): 749-759.
- [5] 何奖爱, 李书琴, 辛启斌, 等. 水韧处理温度对含硼超高锰钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2009, 34(5): 83-85.
- [6] PETROV Y N, GAVRILJUK V G, BERNS H, et al. Surface structure of stainless and Hadfield steel after impact wear[J]. Wear, 2006, 260(6): 687-691.
- [7] LI Y, ZHU L, LIU Y, et al. On the strain hardening and texture evolution in high manganese steels: Experiments and numerical investigation[J]. Journal of the Mechanics & Physics of Solids, 2013, 61(12): 2 588-2 604.
- [8] FARID A, SHIJU G, PEIZHONG F, et al. TiC-maraging stainless steel composite: microstructure, mechanical and wear properties [J]. Rare Metals, 2006, 25(6): 630-635.
- [9] 熊运霞. 工程机械用 ZGMn13Cr2 高锰钢热处理工艺研究[J]. 热加工工艺, 2020, 49(14): 129-131.

分级加压压差对真空差压铸造 ZL114A 合金微观组织及显微硬度的影响

黄普英 芦 刚 严青松 徐 翱 黄朋朋 刘 栋
(南昌航空大学轻合金加工科学与技术国防重点学科实验室)

摘 要 采用真空差压铸造法制备 ZL114A 合金试样,借助金相显微镜、扫描电镜及显微硬度计研究了分级加压压差对真空差压铸造 ZL114A 合金微观组织及显微硬度的影响。结果表明,分级加压压差显著影响 ZL114A 合金的显微组织和性能。在分级加压压差为 35~185 kPa 的范围内,随着分级加压压差增加,金属液的挤渗能力逐渐增强,ZL114A 合金的初生相形貌由粗大的树状晶向细小的蔷薇晶与等轴晶转变,组织明显细化,共晶 Si 也由粗大的棒状或针片状向细小的棒状或圆粒状转变;同时合金的显微硬度显著提高,当分级加压压差为 185 kPa 时,其显微硬度(HV)为 96.9,相比在压差为 35 kPa 的条件下提高了 33.4%。

关键词 ZL114A 合金;真空差压铸造;分级加压压差;硬度

中图分类号 TG146.21 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.04.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Graded Pressure Difference on the Microstructure and Microhardness of Vacuum Differential Pressure Casting ZL114A Alloy

Huang Puying, Lu Gang, Yan Qingsong, Xu Pian, Huang Pengpeng, Liu Dong
(National Defense Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nanchang Hangkong University)

Abstract: The ZL114A alloy samples were prepared using vacuum differential pressure casting method. With the help of metallographic microscope, scanning electron microscope and microhardness tester, the effects of graded pressure difference on the microstructure and micro-hardness of vacuum differential pressure casting ZL114A alloy were investigated. The results show that the graded pressure difference significantly affects the microstructure and properties of ZL114A alloy. Within the range of the graded pressure difference of 35 kPa~185 kPa, with the increase of the graded pressure difference, the squeezing ability of molten metal is also enhanced. The primary phase in ZL114A alloy is changed from coarse dendritic crystals to fine resette crystals and equiaxed crystals. The microstructure is obviously refined, and the eutectic silicon phase is changed from coarse rods or needles to fine rods or round grains. Meanwhile, the microhardness of ZL114A alloy has been significantly improved. When the graded pressure difference is 185 kPa, the microhardness reaches 96.9 HV, which is 33.4% higher than that of ones with the pressure difference of 35 kPa.

Key Words: ZL114A Alloy, Vacuum Counter-Pressure Casting, Graded Pressure Differences, Microhardness

收稿日期:2020-09-12;修改稿收到日期:2020-10-18
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51861027);江西省优势科技创新团队重点项目(20181BCB19001)
第一作者简介:黄普英,男,1997 年出生,硕士研究生,南昌(330063),E-mail: 2576675112@qq.com
通信作者:芦刚,男,1982 年出生,副教授,南昌(330063),E-mail: aimulalg@163.com
引用格式:黄普英,芦刚,严青松,等. 分级加压压差对真空差压铸造 ZL114A 合金微观组织及显微硬度的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(4): 494-497.
HUANG P Y, LU G, YAN Q S, et al. Effects of graded pressure difference on the microstructure and microhardness of vacuum differential pressure casting ZL114A alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(4):494-497.

[10] 郑红红,赵爱民,曹佳丽,等. 水韧处理对高锰钢铸件组织与性能的影响[J]. 金属热处理,2014,39(2):112-115.

[11] 权国辉,张沛. 水韧处理对 ZGMn18Cr2 铸件组织与性能影响[J]. 铸造技术,2018,39(7):1 582-1 585.

[12] 张增志. 耐磨高锰钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

[13] 李玉建. ZGMn13 热处理工艺对其组织与性能的影响[D]. 沈阳:沈阳大学,2015.

[14] SYLWESTROWICZ W, HALL E O. The deformation and ageing of mild steel[J]. Proceedings of the Physical Society Section, 2002, B64(6):495.

[15] PETCH N J. The cleavage strength of polycrystals[J]. J. Iron Steel Inst.,1953,174:25-28.

[16] RICHARDS TL. The geometry of the plastic deformation of polycrystalline aggregates[J]. Rheologica Acta,1962,2(1):1-9.

[17] 彭世广,宋仁伯,王威,等. 热处理工艺对新型轻质奥氏体耐磨钢的组织与力学性能的影响[J]. 材料工程,2016,44(9):24-31.

(编辑:栗万仲)