DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.05.015

ZG35Cr2Si2CuMo 耐磨钢 A_K 的影响因素分析

商海燕[1],张延青[1],王定祥[2]
(1.陕西金堆城钼业集团有限公司,陕西 华县 714102;2.青岛市机械研究所,山东 青岛 266033)

摘　要:通过对耐磨钢 ZG35Cr2Si2CuMo 的化学成分、力学性能、显微组织、夹杂物检验、对夹杂物评级以及夹杂物成分分析,指出 A_k 值的主要因素是 D 型非金属夹杂物,提高 A_k 值的途径为控制非金属夹杂物种类,数量、形态等。

关键词:耐磨钢;夹杂物;A_K
中图分类号:TG142; TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)05-0486-03

Analysis Example of A_K Influencing Factors of ZG35Cr2Si2CuMo Wear-resistant Steel

SHANG Haiyan[1], ZHANG Yanqing[1], WANG Dingxiang[2]
(1. Shaanxi Jinduicheng Molybdenum Group Co., Ltd., Huaxian 714102, China; 2. Qingdao Machinery Research Institute, Qingdao 266033, China)

Abstract: By means of chemical composition, mechanical properties, microstructure, inclusion test, inclusion grading and inclusion composition analysis. Find out the influence factor of A_K and point out the way to improve A_K.

Key words: wear-resistant steel; inclusins; A_K

ZG35cr2si2CuMo 钢是一种用于湿法球磨机衬板的材质。生产的衬板产品 A_K 值虽然合格然而不高,因此对该产品检验剖析,找出了冲击功 A_K 的影响因素,明确了提高 A_K 的途径,提高了产品质量。

1　ZG35Cr2Si2CuMo 钢的化学成分,力学性能与显微组织

ZG35Cr2Si2CuMo 钢的化学成分见表 1,力学性能与显微组织见表 2。

2　产品生产工艺流程

电弧炉熔炼,消失模铸造,塞杆底漏式钢液包浇注,打箱清整后热处理。热处理工艺:正火+淬火+低温回火。

3　产品检验结果

产品化学成分,力学性能及显微组织在产品附铸试棒上取样检测。硬度是在冲击试样上检测,显微组织是在冲击试样冲断后的半截试样上制作金相试样检测。化学成分检验结果见表 3、力学性能检验结果见表 4。显微组织检验为马氏体,显微组织也存在有不均匀枝晶偏析现象。

检验结果表明,产品化学成分、显微组织及力学性能均合格,然而冲击力 A_{KU} 及 A_{KU2} 值不高,显微组织马氏体存在不均匀枝晶偏析。为此检验夹杂物。

表1　ZG35Cr2Si2CuMo钢的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of ZG35Cr2Si2CuMo steel

C	Cr	Si	Mn	Cu	Mo	Ti	P	S
0.30~0.40	1.80~2.20	1.60~2.00	0.40~1.10	0.50~0.80	0.50~0.80	0.08~0.10	≤0.030	≤0.030

表2 2G35Cr2Si2CuMo钢的力学性能与显微组织
Tab.2 Mechanical properties and microstructure of 2G35Cr2Si2CuMo steel

HRC	$A_{KU(J)}$	显微组织
≥50	≥25	马氏体

表3 化学成分检验结果 w(%)
Tab.3 Chemical composition test results

C	Cr	Si	Mn	Cu	Mo	Ti	P	S
0.34	2.18	1.98	0.63	0.61	0.58	0.095	0.020	0.018

4　夹杂物检验

4.1　夹杂物评级

试样按照 GB/T 10561-2005《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》检验。该标

收稿日期:2019-03-15
作者简介:商海燕(1968-),女,山东宁阳人,高级工程师.主要从事矿山耐磨材料研发与应用方面的工作.
电话:13571342056,E-mail:525959504@qq.com

表 4 力学性能检验结果

Tab.4 Test results of mechanical properties

编号	试样类型	A_K				HRC	
		$A_{KU(J)}$		$A_{KU2(J)}$			
		测量点	平均值	测量点	平均值	测量点	平均值
1	无缺口冲击试样	28 23 25	25.3			54.9 55.0 56.4	55.4
2	有缺口冲击试样			6 6 6	6	54.5 54.9 55.1	54.8

准与国际《ISO4967:1998 钢中非金属夹杂物的测定，评级图显微检验法》一致。检验评级为 D 型(球状氧化物)2.5 级，不同放大倍数夹杂物见图 1。

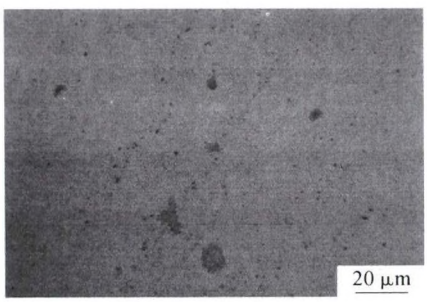

图 1 夹杂物

Fig.1 Microstructure

夹杂物评级分成 A、B、C、D、Ds 5 种类型，A 硫化物，B 氧化物，C 硅酸盐，D 球状氧化物，Ds 单颗粒球状物。每种类型又划分 6 个级别，即 0.5；1.0；1.5；2.0；2.5；3.0。D 型为球状氧化物，呈圆形、多角形、方形为无规则分布的颗粒。级别数字越低表示越好，表示夹杂物数量越少、尺寸越小、对力学性能降低越少。目前钢铁耐磨材料尚未制定出夹杂物合格的级别，可以借此标准制定出夹杂物合格的级别，譬如从检验结果得出冲击功为 2.5 J，对应 D 型夹杂物 2.5 级为合格。

4.2 夹杂物成分分析

夹杂物已经评级，再对夹杂物成分分析。用扫描电镜配备能谱仪对夹杂物的 X 射线能谱分析出夹杂物成分及相对量。夹杂物形貌见图 2，为球形与方形夹杂物。夹杂物能谱图见图 3 及图 4。图 1 能谱图分析出方形夹杂物为氮化钛。它们都是非金属夹杂物。

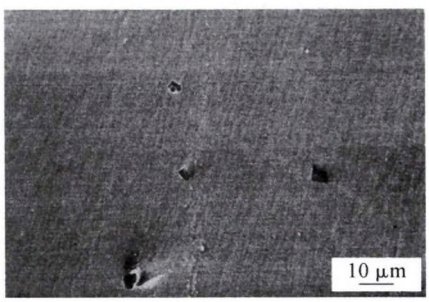

图 2 夹杂物形貌

Fig.2 Microstructure

5 讨论

(1)显微组织检测马氏体存在不均“枝晶偏析”现象。“枝晶偏析”是指钢液浇注冷却凝固形成固态时先冷却的以树枝状生长结晶，冷却速度不均匀构成先结晶的枝干和后结晶的枝干成分不一致，这在实际的浇注工艺操作中不能实现缓慢均匀冷却形成“枝晶偏析”。要解决“枝晶偏析”需采用铸造后退火。因此，把原来热处理工艺正火+淬火+低温回火改为退火+淬火+低温回火。“枝晶偏析”的存在影响钢的力学性能的提高。

(2)夹杂物的显微检验未发现 A、B、C、Ds 4 种夹杂物，仅是 D 型球状夹杂物。

(3)夹杂物显微组织评级为非金属 D 型 2.5 级。夹杂物的存在对钢的冲击功下降影响极大。检验 A_{KU}=25.3 J，对应为 D 型 2.5 级，即 A_{KU} 2.5 J 对应 D 型 2.5 级。在夹杂物 D 型中有 6 个级别，2.5 级是第 5 个级别，比较差了。要提高 A_K，就要把 D 型级别提高，例如提高到 1.5 级、2.0 级。

(4)扫描电镜能谱分析非金属夹杂物成分分为

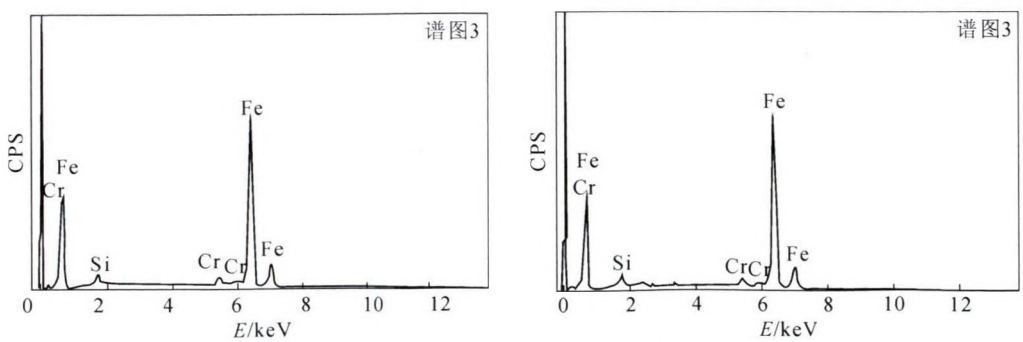

图 3 球形夹杂物 氧化铁、氧化铬、氧化硅能谱图

Fig.3 Energy spectrum of iron oxide, chromium oxide and silicon oxide in spherical inclusions

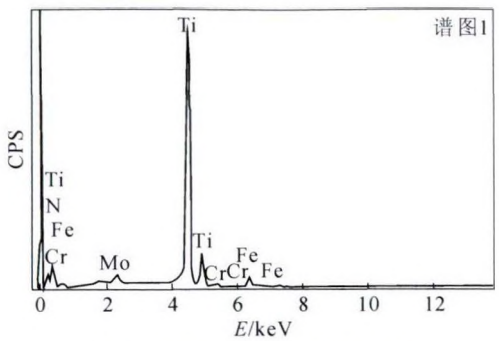

图 4 方形夹杂物氮化钛能谱图

Fig.4 Energy spectrum of titanium nitride with square inclusions

氧化铁、氧化铬、氧化硅及氮化钛。夹杂物种类、形态、尺寸及含量破坏了钢的显微组织的致密度与连续性。造成钢的 A_K 下降。

钢中夹杂物产生的原因是 Fe、Cr、Si、Ti 等合金元素与溶解在钢液中的氧、氮及发生反应生成氧化铁、氧化铬、氧化硅、及氮化钛，系内生非金属夹杂物。减少非金属氧化物要在钢的熔炼工艺加强扒渣造渣操作清除，并要有一层渣覆盖钢液表面防止空气中氧、氮等元素溶入，并在熔炼终期加铝或脱氧剂充分脱氧出钢。在浇注工艺中防止空气中氧、氮元素卷入注流形成非金属夹杂物。在钢的冷却与凝固时形成非金属夹杂物降低钢的冲击功。

(6)非金属夹杂物对硬度 HRC 也有影响，洛氏硬度的检测是宏观硬度不是显微硬度，因此相对来说对 HRC 的影响比 A_K 下降要小。

(7)要减少或清除钢中夹杂物，在熔炼工艺上采用真空熔炼。或者中频炉炉内精炼或对钢包吹氩气精炼等技术以提高钢的纯洁度，提高钢的 A_K。

6 结论

ZG35Cr2Si2CuMo 钢中影响 A_K 的主要因素是 D 型非金属夹杂物，成分为氧化铁、氧化铬、氧化硅及氧化钛。非金属夹杂物的种类、形态、尺寸及含量破坏了钢的致密度与连续性，使 A_K 下降。A_{KN} 25 J 对应非金属夹杂物 D 型 2.5 级。在耐磨钢中要建立非金属夹杂物检验标准及检验制度。要提高 A_{KU} 值就要提高非金属 D 型在 2 级以上。在钢的熔炼、铸造、浇注等工艺上加强清除非金属夹杂物措施及采用新技术。该钢在显微组织马氏体中存在不均匀“枝晶偏析”现象，也是降低 A_K 因素。在铸造后采用预先热处理为退火代替正火可消除。

2019 年《铸造技术》杂志征订启事

《铸造技术》杂志，月刊，1979 年创刊，中国铸造协会会刊，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855，中国标准刊号：ISSN1000-8365/CN61-1134/TG.

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、应用技术、生产管理经验及信息和铸造设备，覆盖铸铁、铸钢和有色合金等铸造领域，包括砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、消失模铸造和压铸等特种铸造技术。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、特种铸造、装备技术、实用成型技术、材料改性、材料开发、材料保护及表面工程、材料失效分析、应力控制与理化测试技术、今日铸造等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造原辅材料、铸造设备、熔炼设备、热处理设备、环保设备、检测仪器以及铸件生产、科研成果转让、企业形象宣传等相关广告。

订阅方式：请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年 12 期，每期定价 18 元，平寄全年 216 元(含邮费)，挂号全年 252 元，快递全年 336 元。中国香港、澳门：每期定价 36HKD，全年 432HKD。海外：每期定价 18 美元，全年 216 美元。

欢迎订阅、欢迎投稿、欢迎刊登广告

地址：西安市金花南路 5 号西安理工大学 608 信箱　**邮编：**710048　**联系人：**李巧凤　029-83222071

电话/传真：029-82312140　**网址：**www.zhuzaojishu.net　**E-mail：**zzjsyz@vip.163.com

银行汇款：户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司

账　号：3700 0235 0920 0091 309

开户行：中国工商银行西安市互助路支行