DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.011

高硬度铸钢车轮生产

胡长岭,郑跃鹏
(信阳同合车轮有限公司,河南 信阳 464100)

摘　要:D 级钢 CK-36 火车轮表面硬度和断面硬度的要求远高于国际铁路标准的要求。通过偏上限控制碳 / 锰成分、添加铬 / 钼合金、提高淬火温度、增大淬火水量、减小淬火水罩的尺寸及防止其偏心等方式可以使车轮表面和断面硬度均满足要求。

关键词:铸钢车轮;淬火水罩;淬火温度;淬火水量

中图分类号:TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1047-04

High Hardness Cast Steel Wheel Production

HU Changling, ZHENG Yuepeng
(Xinyang Tonghe Wheel Co., Ltd., Xinyang 464100, China)

Abstract: The surface hardness and section hardness of D-grade steel CK-36 train wheel are much higher than the requirements of international railway standards. The surface and section hardness of the wheel can meet the requirements by controlling the carbon/manganese composition, adding chromium/molybdenum alloy, increasing amount of waterjet for quenching, reducing the size of the quenching water cover and preventing its eccentricity.

Key words: cast steel wheel; quenching water cover; quenching temperature; water-jet quenching

美国铁路协会标准(简称 AAR 标准)规定的 D 级钢铸钢车轮,是按照 C 级钢铸钢车轮成分通过不同的热处理方式等方法达到其要求的。公司接了一个供应给巴西国家的 D 级钢车轮订单,轮型为 CK-36,其断面硬度和表面硬度要求均远高于 D 级钢的,要求见表 1、2,表面硬度检测位置见图 1(断面硬度检测位置图略),铸件淬火喷水示意图见图2。这对我公司来说是个挑战,公司决定对其进行攻关。

表1 AAR标准规定车轮的主要化学成分 w(%)
Tab.1 AAR standards specified main chemical composition of wheels

钢牌号	C	Mn	Cr	Mo
B 级	0.57~0.67	0.60~0.90	≤0.25	≤0.10
C 级	0.67~0.77	0.60~0.90	≤0.25	≤0.10
D 级	各元素要求均同 C 级			
CK36				

1　车轮试验

1.1　车轮浇注

1.1.1　车轮成分控制

(1)统计以往生产的 10 656 片 C 级钢车轮碳含量与表面硬度的关系,见图 3。由图 3 数据可计算出平均提高 0.01%碳含量,车轮表面硬度平均增加 2.52 HBW。统计含碳量同为 0.70%的 3 298 片 C 级钢车轮锰含量与表面硬度的关系,见图 4。由图 4 数据可计算出平均提高 0.01%锰含量,车轮表面硬度平均增加 0.67 HBW。为了达到 CK-36 车轮高表面硬度的要求,首先车轮的碳 / 锰含量均按照偏上限

表 2 CK-36 车轮硬度要求与 AAR 标准规定
Tab.2 CK-36 wheel hardness requirements and AAR standards

项目	钢牌号	轮辋断面硬度 HBW 10/3000	轮辋表面硬度 HBW 10/3000
AAR 标准	C 级	301~363	321~363
	D 级	321~415	341~415
CK36	D 级	341~415	388~415

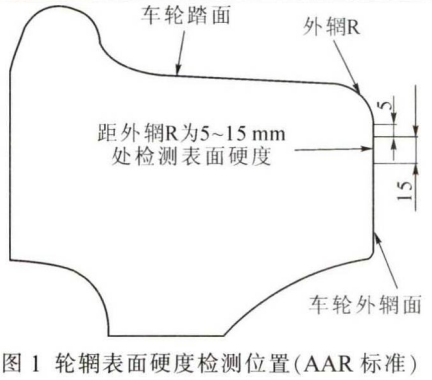
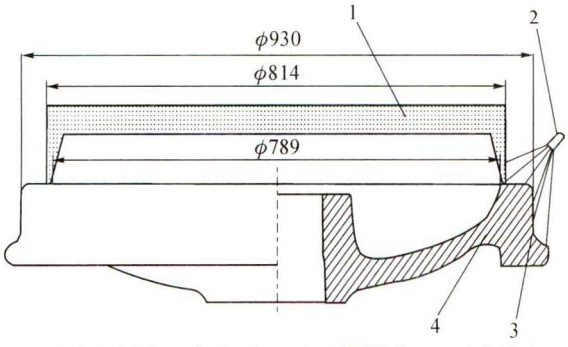


图 1 轮辋表面硬度检测位置(AAR 标准)
Fig.1 Hardness detection position of rim surface (AAR standard)

收稿日期:2021-06-11

作者简介:胡长岭(1968—),河南信阳人,铸造工程师.主要从事铸造工艺的编制和质量控制方面的工作.
电话:18613740089,EmaiL:hu.changLing@163.com



1- 小淬火水罩;2- 水嘴(共 34 个,圆周均布);3- 喷水淬火
4-CK-36 车轮

图 2 CH-36 车轮铸件喷水淬火示意图

Fig.2 Schematic water-jet quenching of CK-36 wheel casting

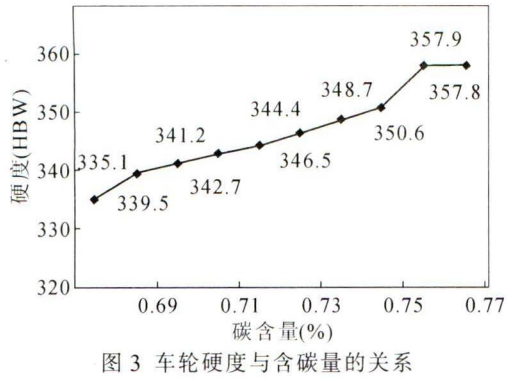


图 3 车轮硬度与含碳量的关系

Fig.3 Wheel hardness vs carbon content

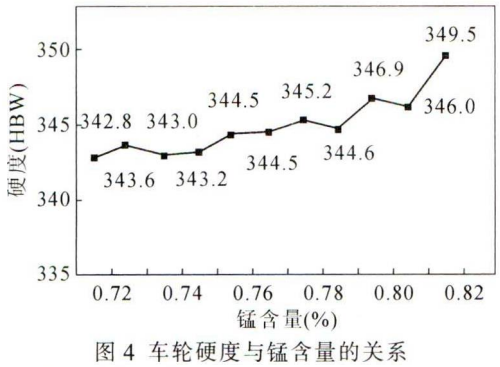


图 4 车轮硬度与锰含量的关系

Fig.4 Wheel hardness vs manganese content

即:0.72%~0.77% C、0.77%~0.90% Mn 控制。结果分析:碳 / 锰是碳化物形成元素、可提高淬透性,从而能提高车轮的表面硬度[1,8]。

(2)统计以往 110 片 B 级钢加铬 / 钼合金车轮平均表面硬度的情况见表 3,由表中数据看出,加铬 / 钼合金比不加合金平均表面硬度提高 10 HBW。结果分析:铬 / 钼较易形成碳化物、阻碍晶粒的长大、提高淬透性[2,4],使车轮的表面硬度提高。故可在

表 3 B 级钢车轮加合金(成分为均值%)硬度变化(HBW)

Tab.3 Hardness changes of B-class steel wheels with alloy (components are average%)

项目	检测数(片)	C	Mn	Cr	Mo	平均表面硬度(HBW)
B 级车轮	170	0.63	0.85	0.05	0.01	309
B 级铬钼车轮	110	0.63	0.86	0.19	0.10	319

C 级钢铬 / 钼含量要求的范围内将铬、钼含量偏上限控制进行浇注车轮试验(以往钢液中的铬 / 钼是残余元素,现在是在浇注包内有意加入铬 / 钼合金)。

1.1.2 车轮浇注

为了配合试验,C 级钢碳 / 锰和铬 / 钼含量均偏上限控制浇注各批次 CK-36 车轮,见表 4。各成分要求范围见表 1。

表4 加合金的C级钢CK-36车轮主要化学成分 w(%)

Tab.4 Main chemical composition% of grade C steel CK-36 wheels with alloy

成分	C	Mn	Cr	Mo
常规非合金 C 级钢车轮成份平均	0.71	0.70	0.062	0.001
合金 CK-36 0118230094~102	0.73	0.74	0.220	0.060
合金 CK-36 0318216138~146	0.75	0.72	0.200	0.090
合金 CK-36 0418226188~196	0.74	0.70	0.230	0.080
合金 CK-36 0518226050~058	0.70	0.72	0.220	0.080
合金 CK-36 0618202065~073	0.72	0.70	0.230	0.080

1.2 车轮试验

1.2.1 延长淬火时间

公司大量生产的 C 级钢车轮淬火时间为 3.5 min,CK-36 车轮被淬火部位比较厚大,经过计算和选择不同淬火时间试验,淬火时间最终确定为 6 min[5]。

1.2.2 提高淬火温度

提高车轮出环形炉前的加热温度到 930 ℃时(即保证车轮出环形炉前在(930±15) ℃保温 30~60 min,文中出环形炉温度均近似称为“淬火温度”),车轮表面硬度比常规淬火温度 870 ℃提高 11.7 HBW;提高车轮出环形炉前的加热温度到 960 ℃时,与 930 ℃的车轮表面硬度相近,见表 5,断面硬度均合格。结果分析:根据资料介绍“铬的碳化物 850 ℃以上大量溶解,钼的碳化物 950 ℃以上大量溶解[2-3,9]”,此次试验中淬火温度提高到 960 ℃并保温后硬度没有比 930 ℃时增高,可能是钼的含量较少,在 930 ℃左右保温一段时间已充分溶解。

1.2.3 增加淬火水量

淬火水量由 3.7 L/s 增加到 4.8 L/s、5.2 L/s 后,车轮的平均表面硬度分别增高 3.3、2.1 HBW;淬火水量由 5.2 L/s 增加到 6.1 L/s 后,车轮的表面硬度基本没有变化。见表 6。结果分析:淬火水量增大后加大了车轮冷却的过冷度,水量 5.2 L/s 左右即达到车轮的淬火临界冷却速度,使车轮硬度提高[6]。超过车轮临界淬火冷却速度后,对增加车轮硬度基本没有效果。

1.2.4 减小淬火水罩

淬火水罩由 ϕ880 mm 减小到 ϕ814 mm 并防止其偏心后(参见图 2,按照常规情况,CK-36 车轮的

表 5 车轮提高淬火温度后的表面硬度

Tab.5 Surface hardness of the wheel after increasing quenching temperature

合金 CK-36 轮号	淬火温度 ±15/℃	淬火水量 /(L/s)	回火温度 ±15/℃	硬度 (HBW)	平均硬度 (HBW)	两轮硬度平均 (HBW)	硬度最大偏差 (HBW)
0118230094	870	3.7	380	380、374、372、376、371、386、383、385	378.4	379.2	15
0118230099				370、375、379、380、381、383、384、388	380.0		18
0118230097	930			408、393、380、388、385、387、388、395	390.5	390.9	28
0118230101				391、381、381、385、390、396、400、406	391.3		25
0118230100	960			378、384、379、387、397、407、398、385	389.3	390.1	29
0118230102				384、390、394、406、399、387、382、385	390.9		24

注：车轮试验期间均是检测车轮圆周均布的 8 点表面硬度取平均值，批量生产时检测 1 点即可。

表 6 增大淬火水量后车轮表面硬度

Tab.6 Wheel surface hardness after increasing quenching water

合金 CK-36 轮号	淬火温度 ±15/℃	淬火水量 (L/s)	回火温度 ±15/℃	硬度 (HBW)	平均硬度 (HBW)	两轮硬度平均 (HBW)	硬度最大偏差 (HBW)
0318216144	930	3.7	440	374、380、388、386、395、398、388、385	388.0	388.5	24
0318216139				386、389、397、397、401、388、375、379	389.0		26
0318216138		4.8		366、409、405、426、400、372、377、382	392.1	391.8	60
0318216142				370、400、403、412、405、382、383、377	391.5		42
0318216141		5.2		375、380、393、390、399、414、409、390	393.8	393.9	39
0418226089				385、392、395、402、415、401、392、370	394.0		45
0318216145		6.1		378、392、395、396、410、415、385、375	393.3	393.7	40
0418226090				390、395、400、410、414、388、374、382	394.1		40

水罩尺寸设计为 ϕ880 mm)的车轮平均表面硬度为 396.7~404.5 HBW，与水量相近的 4.8 L/s 的车轮平均表面硬度相比，增高了 4.1~12.4 HBW(此次试验回火温度为 495 ℃，若回火温度为 440 ℃，平均表面硬度会更高些)，见表 7、6。断面硬度合格。结果分析：在增加淬火水量的试验时，现场跟踪发现淬火水罩偏心以后，外辋裸露多的一侧，车轮表面硬度高，外辋裸露少的一侧，车轮表面硬度低，且高低偏差较大，见图 5。原因是该钢种淬透性较差，水罩遮挡外辋屏蔽了喷水，影响车轮淬硬。通过减少淬火水罩直径并防止其偏心保证了外辋淬火充分，使车轮的平均表面硬度有较大提高[7]。



注：外圈硬度值为铸件轮外辋面被车削2 mm后检测，内圈硬度值为外辋面加工到要求尺寸后检测。

图 5 车轮表面硬度与淬火水罩位置偏差的关系

Fig.5 Wheel surface hardness vs position deviation of quenching water cover

1.2.5 优化硬度检测

公司检测车轮硬度生产线主要是检测常规的国产车轮，由于 CK-36 车轮比国产车轮厚大，生产线上硬度机支承辊轮托起 CK-36 车轮检测硬度时，检测点在距外辋 R 处 5~15 mm 的距离内波动较大(参见图 1)，导致同一片车轮各点硬度偏差偏大，见表 5、6、7。通过更换硬度机支承辊轮，稳定了车轮硬度检测点位置后，车轮硬度偏差减小，见表8。

2 试验结论

C 级钢铸钢车轮的碳 / 锰含量高时车轮的表面硬度高；增加铬 / 钼合金后车轮表面硬度提高；CK-36 合金车轮淬火温度提高到 930 ℃左右时铬 /

表7 减少水罩后车轮的表面硬度

Tab.7 Wheel surface hardness after using small water cover

合金 CK-36 轮号	淬火温度 ±15/℃	淬火水量 /(L/s)	回火温度 ±15/℃	硬度 (HBW)	平均硬度 (HBW)	硬度最大偏差 (HBW)
0318216146	930	4.9	495	393、397、393、396、407、393、396、399	396.7	14
0318216140	930			393、398、416、386、403、415、387、392	398.8	30
0318216143	930			393、404、400、419、410、416、394、400	404.5	26

表8 优化硬度检测后车轮表面硬度

Tab.8 Wheel surface hardness after optimized hardness test

合金 CK-36 轮号	淬火温度 ±15/℃	淬火水量 /(L/s)	回火温度 ±15/℃	硬度 (HBW)	平均硬度 (HBW)	硬度最大偏差 (HBW)
0618202070	930	5.2	495	401、390、400、398、401、389、403、396	397.3	14
0518226050				408、407、402、393、413、398、391、407	402.4	17

钼提高车轮硬度的作用已充分发挥，再继续提高淬火温度作用不大；CK-36 合金车轮淬火水量增加到 5.2 L/s 左右时车轮硬度最高，再继续增加水量时对提高表面硬度作用不大；CK-36 合金车轮使用直径 ϕ814 mm 的较小水罩并防止其偏心时有益其表面硬度提高。

3 批量生产

(1)关键参数　铬 / 钼和碳 / 锰含量均偏 C 级铸钢车轮成分要求的上限控制、车轮出环形炉前保证在(930±15) ℃保温 30~60 min、淬火水量增加到 5.2 L/s、缩小水罩直径至 ϕ814 并防止其偏心、使用合适的硬度机支承辊。

(2)批量生产　共生产了 2 000 多片 CK-36 车轮，表面硬度合格率 99.6%，部分 CK-36 车轮硬度分布见图 6。抽检车轮的断面硬度、金相组织和力学性能均合格(数据略)[10]。

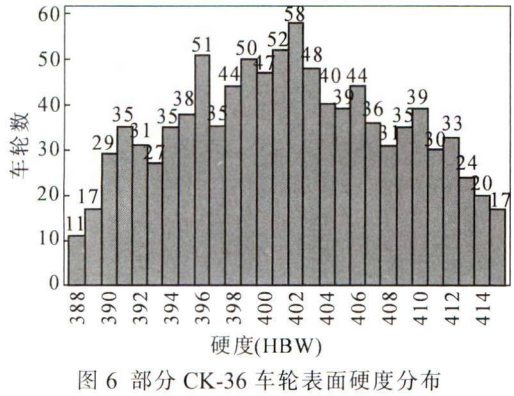


图 6 部分 CK-36 车轮表面硬度分布

Fig.6 Surface hardness distribution of some CK-36 wheels

(3)效益　该批 CK-36 车轮出口创利润 500 多万元；为后续研发车轮积累了经验。

参考文献：

[1] 毕金凤，李祖来，山泉，等. 不同碳含量对中碳低合金钢分级等温淬火组织与性能的影响 [J]. 铸造技术，2016，37 (9)：1846-1847.

[2] 上海热处理协会. 实用热处理手册[M]. 2 版.上海：上海科学技术出版社，2014.

[3] SI W H, JI J H, LEE E G, et al. Tensile deformation of a duplex Fe-20Mn-9AI-0.6C steel having the reduced specific weight [J]. Materials science and Engineering A, 2011, 528(15):5196-5203.

[4] 曾正明. 实用钢铁材料手册(2 版)[M]. 北京：机械工业出版社，2007.

[5] 庄巧玲. 基于 jMatPro 软件的 ZG70CrMo 钢的热处理工艺研究[J]. 中国铸造装备与技术，2020(5)：70-73.

[6] 杨小鹏. 热处理对 45 钢煤矿巷道支护锚杆组织与性能的影响[J]. 铸造技术，2018, 39(5)：1112-1114.

[7] [Russia]SOLOBIEVA M A. Running test of whole surface hardened wheel tyres for diesel locomotive [J]. Bulletin of the Russian Railway Transportation Research Institute，2011, No2, 22-23.

[8] 钟韬，金云学. 中高碳低合金贝氏体钢研制[J]. 铸造技术，2018, 39(6)：1221-1223.

[9] 冀鑫刚，白恩诺，杜旭景. 离心复合辊套差温淬火热处理研究[J]. 中国铸造装备与技术，2019(3)：38-39.

[10] 李晴，程巨强. 淬火后回火温度对 20SiMn2Mo 钢组织和性能的影响[J]. 铸造技术，2019, 40(8)：828-830.

技术资料邮购

《铸造抗磨产品实用生产技术集》

《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。 共8章： 1 关于锰钢生产技术； 2 球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术； 3 抗磨产品生产技术； 4 锤头生产技术； 5 消失模、V法生产技术； 6 典型铸件的生产技术； 7 还原罐生产技术； 8 关于企业管理。全书22万字。特快专递邮购价：98元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-88491681