

研究报告

# 铸钢粗晶的成因及消除方法的研究

邹安全<sup>1</sup>, 邓沛然<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学机械设备与健康维护湖南省重点实验室, 湖南湘潭 411201;  
2. 上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200030)

**[摘要]** 通过对 ZG32Cr06 铸钢粗晶成因的分析及消除粗晶的工艺性能试验, 探讨了粗晶导致铸件断裂的机理。试验证明, 由于浇铸温度过高, 水爆清砂时开箱过早而产生的粗晶可以用热处理方法消除, 同时提出了铸件在浇铸时防止粗晶的措施。

**[关键词]** 铸钢; 粗晶; 水爆清砂; 消除方法

**[中图分类号]** TG142 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)04-0079-04

ZG32Cr06 钢负重轮生产工艺中, 因其结构复杂, 成型困难, 一般采用砂型铸造。由于清砂困难, 运用水爆清砂工艺, 但负重轮在水爆清砂时连续发生筋横向断裂, 断口部位发现大量粗晶, 起初人们认为这种粗晶就是过烧; 后经热处理工艺试验, 使晶粒细化, 晶粒组织明显改善, 保证了产品的性能。并从铸造工艺采取了措施, 从而提高了 ZG32Cr06 钢负重轮成品率。

## 1 粗晶及粗晶消除

ZG32Cr06 铸钢粗晶部位的化学成分(质量百分数, 以下同)示如表 1。

表 1 铸件粗晶部位化学成分

Table 1 Chemical composition of coarse grain region in casts

元素	C	Si	Mn	Cr	S	P	Al
%	0.32	0.33	0.75	0.71	0.015	0.023	0.053

断裂件断口不同部位晶粒度如图 1、图 2 所示。由图 1、图 2 可见, 同一断口不同部位晶粒的粗细程度差别很大, 笔者对断口粗细不同部位分别进行了晶粒度测试, 结果无论是粗晶部位还是细晶部位晶粒度都是超级别的(图 3、图 4); 铸件不同

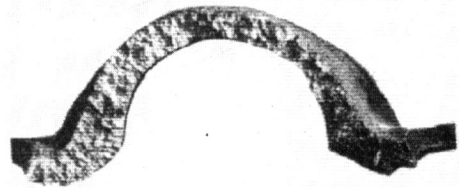


图 1 筋裂横断面断口 (1/4×)

Fig.1 Fracture of transverse section of casts

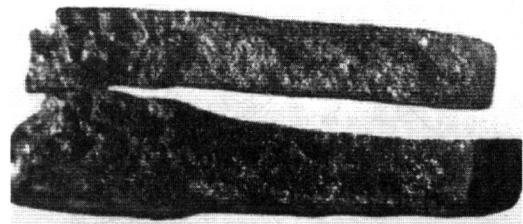


图 2 断裂部位晶粒粗细不均断口 (1×)

Fig.2 Fracture with uneven grain size

部位硬度测定结果见表 2。

## 2 铸件粗晶断口细化处理

ZG32Cr06 铸件水爆后, 在正常情况下, 铸件各部位硬度应大体相同, 显微组织也基本上一样,

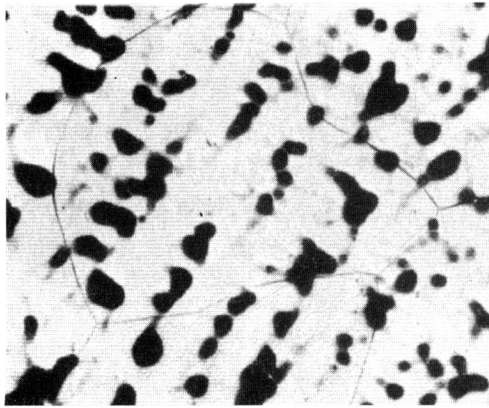


图3 断口粗晶部位晶粒度 (50×)

Fig.3 The grain size of the coarse grain region of the rupture

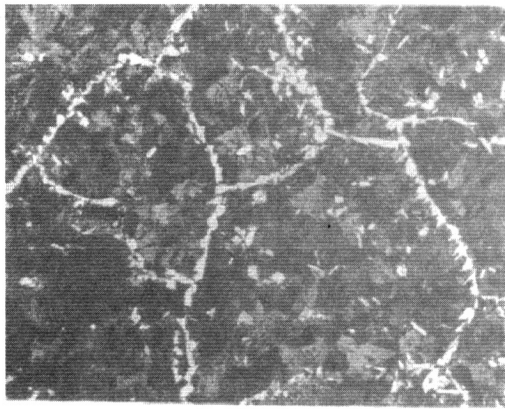


图4 断口细晶部位晶粒度 (100×)

Fig.4 The grain size of the fine grain region of the rupture

表2 铸件不同部位硬度

Table 2 Hardness of different position in casts

状 态	硬 度 值
铸件水爆后粗晶部位	40 39 41 39 40
铸件水爆后细晶部位	HRC 18 19 19 18 19
铸件水爆后粗晶部位经 900℃加热水淬	40 41 40 41 39
铸件水爆后细晶部位经 900℃加热水淬	41 40 40 41 39
铸件水爆后粗晶部位经 900℃加热水淬 + 660℃高温回火	230 228 221 225 230
铸件水爆后细晶部位经 880℃, 2h 正火, 空冷	HB 215 220 225 220 225

但由表2可见, 铸件水爆后不同部位硬度差别很大, 显然这与显微组织有密切的关系。显微分析结果表明, 粗晶部位为板条马氏体, 细晶部位为片状珠光体 + 沿晶分布的块状、针状铁素体。为了验证铸件断口粗细不同部位显微组织的差异, 探索铸件

粗晶断口细化的可能性, 进行了如下试验。

2.1 铸件粗细不同断口按同一工艺加热淬火试验

分别将粗细不同的铸件断口在 900℃加热水淬, 均得到针状马氏体; 但粗晶部位断口水淬后, 仍保留了板条马氏体的位向特征 (如图5、图6所示)。图5中可见针状和少量条状马氏体; 图6可见针状马氏体及少量铁素体。

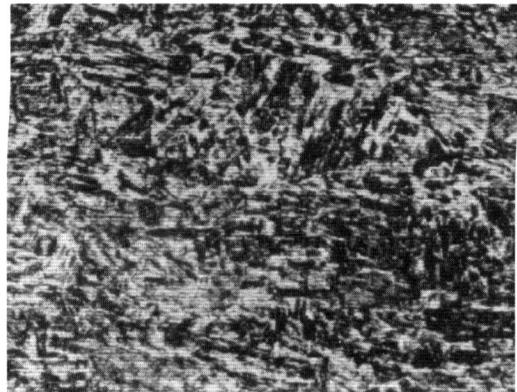


图5 粗晶断口显微组织 (400×)

Fig.5 Microstructure of the fracture with coarse grain

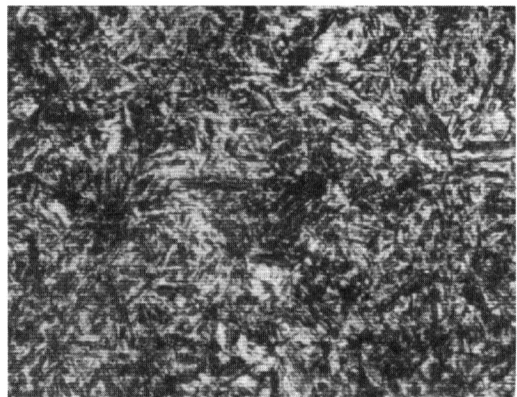


图6 细晶断口显微组织 (400×)

Fig.6 Microstructure of the fracture with fine grain

2.2 铸件粗晶断口正火细化处理

将铸件粗晶部位断口在正火温度分别保温 1 h, 2 h 后发现, 原为板条马氏体的粗晶断口, 经 2 h 正火处理后, 不仅粗晶断口可以消除, 组织可以细化, 而且机械性能完全符合 ZG32Cr06 钢正火状态的要求。说明, 充分的保温时间是获得满意性能和细化组织的必要条件 (见表3和图7)。从图7

可知，铸件水爆后粗晶断口显微组织为中等片状珠光体和铁素体。

表 3 粗晶铸件正火 (880℃, 2 h) 后力学性能

Table 3 Mechanical performance of casts with coarse grain by normalization treatment (880℃, 2h)

试件号	正火温度 / ℃	保温时间 / h	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\delta_5$ / %
1	880	2	665	540	18
2	880	2	650	530	19
3	880	2	655	535	19

铸件正火技术条件要求  $\sigma_b \geq 500$  MPa,  $\sigma_s \geq 450$  MPa,  $\delta_5 \geq 15\%$

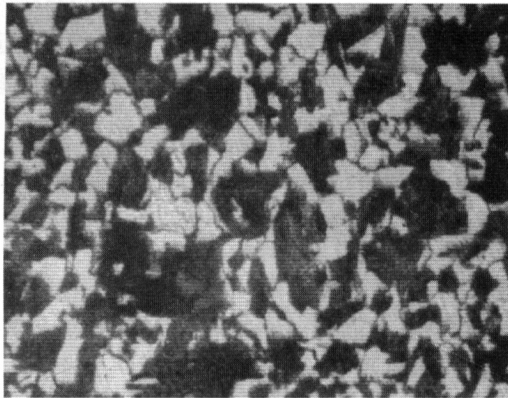


图 7 粗晶断口正火 (880℃, 2h) 显微组织 (400×)

Fig.7 Microstructure of coarse grained fracture in casts by normalization treatment (880℃, 2h)

### 2.3 铸钢粗晶调质细化

ZG32Cr06 铸钢粗晶，不仅可以用正火的方法使晶粒细化，而且可以用调质处理的方法获得符合产品技术条件要求的机械性能和较均匀的索氏体组织 (表 4, 图 8)。表 4 粗晶铸件经调质 (900℃ 加热水淬 + 660℃ 回火) 后的力学性能和回火索氏体显微组织。

表 4 粗晶铸件调质后的力学性能

Table 4 Mechanical performance of casts with coarse grain

试件号	淬火温度 / ℃	高温回火 / ℃	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\delta_5$ / %
1	900	660	740	550	15.0
2	900	660	755	565	14.5
3	900	660	745	570	15.0

铸件经调质处理技术条件要求  $\sigma_b \geq 730$  MPa,  $\sigma_s \geq 500$  MPa,  $\delta_5 \geq 10\%$

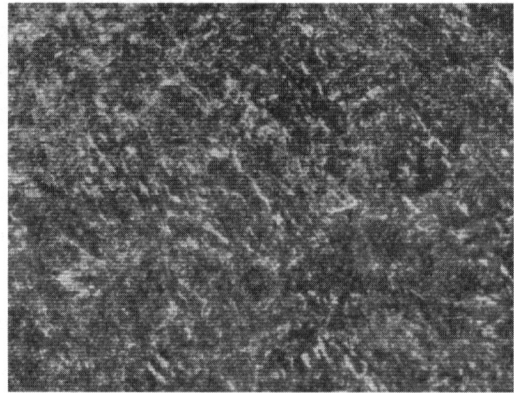


图 8 粗晶铸件调质后显微组织 (400×)

Fig.8 Microstructure of casts with coarse grain

### 3 结果分析讨论

铸钢较铸铁熔点高，铸造性能及流动性较差，容易沾砂并形成冷隔。ZG32Cr06 钢具有中等强度和较高韧性<sup>[1]</sup>。用 ZG32Cr06 钢铸造的负重轮结构复杂、清砂困难。浇铸后采用水爆清砂，对改善劳动条件，提高劳动生产率是很有益的。但铸件在水爆清砂时必须严格控制入水温度，就是说铸件入水后不应发生相变，以减少铸件水爆时应力集中，确保水爆清砂效果。笔者根据试验结果认为负重轮水爆时入水温度太高，加之浇铸温度太高是铸件产生粗晶断裂的主要原因。

铸件水爆清砂时得到粗晶板条马氏体有两个原因：第一，浇铸温度过高，奥氏体晶粒粗大；第二，浇铸后由于负重轮轮缘至轮毂过渡处砂子太厚，这个部位相对于轮缘等部位散热条件差，造成该区域长时间保持高温奥氏体状态，使奥氏体晶粒粗大，水爆时则形成粗大板条马氏体，这种马氏体显微组织往往不易辨认<sup>[2]</sup>。冷却较快的部位，水爆前已冷至  $A_{r1}$  以下发生珠光体转变，因此铸件水爆时再无相变发生。如图 3、图 4 所示的粗晶与较细晶粒的混合晶粒区，尤其是混合晶粒交界处，最易引起机械性能特别是  $a_k$  值的下降。同时也说明混晶的交界区域发生了一定程度的冶金反应。从相变动力学考虑，由于粗晶扩散充分，位错攀移容易，位错易于消失，相变驱动力下降，滑移容易进行，这对于获得板条马氏体是有利的<sup>[3]</sup>，但由于铸件处于高温奥氏体时间过长，使条状、针状铁素

体沿晶析出,条状铁素体偏析只有在热处理过程中得以均匀化<sup>[4]</sup>,尽管 ZG32Cr06 钢制负重轮水爆后出现超级别的严重粗晶,但这种粗晶的板条马氏体可以通过正火或调质处理的途径使晶粒细化,获得如表 3、表 4 所示的完全满足产品技术条件的综合机械性能,而且采用正火处理可得到与淬火+高温回火差别不大的力学性能<sup>[5]</sup>。因此对铸钢件出现的粗晶的处置应持慎重态度,不应随便报废,应对铸件粗晶的特征、成因进行全面综合分析,严格区分过烧断口与板条马氏体粗晶断口的界线。但对浇铸温度的控制是十分必要的,以防因浇铸温度过高导致粗晶组织长时间保持高温奥氏体状态,不发生珠光体转变,水爆时发生马氏体相变。这种相变体积效应、热应力、组织应力往往易使铸件产生断裂。铸件开箱不应过早,铸件水爆入水温度必须适度,过低没有水爆清砂效果,过高不仅产生粗晶断口甚至使铸件断裂。已产生裂纹的铸件可以适时的按技术条件规定进行补焊,补焊后,再进行消除粗晶的细化处理。经探伤检测并抽检解剖进行力学性能测试及显微组织分析,合格后方可投入使用。必须指出:对因开箱过早、浇铸温度过高的铸件粗晶可能产生的内裂应引起高度重视,它将在水爆清砂热处理及使用过程中扩展,最后导致铸件断裂。

#### 4 结论

ZG32Cr06 钢制负重轮铸件由于浇铸温度过高

导致粗晶的形成,这种粗晶组织长时间保持高温奥氏体状态,不发生珠光体转变。水爆时粗晶奥氏体发生马氏体相变,这种相变体积效应、热应力、组织应力易使铸件产生断裂。因此,铸件浇铸在保证成型的条件下,浇铸温度宜低为好。

开箱过早、浇铸温度过高,不仅易产生粗晶,而且易产生内裂。铸件在水爆清砂、热处理及使用过程中裂纹扩展,最后导致断裂。因此,对内裂应特别注意。

获得板条马氏体的粗晶组织可以通过正火细化晶粒,甚至可以通过调质处理获得较均匀的索氏体组织。铸件粗晶经细化处理的力学性能均符合产品技术条件要求。可见,对粗晶组织铸件的处置应进行试验分析、科学判断,以便使可以通过热处理改善组织和性能的铸件产品得以使用。

#### 参考文献

- [1] 车辆金属材料工作组编. 装甲履带车辆材料手册[M]. 北京:国防工业出版社,1985. 463~465
- [2] 徐祖耀. 马氏体与马氏体相变[M]. 北京:科技出版社,1980. 102
- [3] 邓奇文. 高温奥氏体对 45 钢组织和性能的影响[J]. 湖南机械,1981,(3):26
- [4] 朱童斌等. 高炉铸钢冷却壁的研制[J]. 铸造 2003,(7): 525~528
- [5] 余荣有,苏建勇. 集装箱角件用铸钢低温韧性的探讨[J]. 铸造技术,2003,(4): 297~299

## Study on the Formation and Elimination of Coarse Grains in Cast Steel

Zou Anquan<sup>1</sup>, Deng Peiran<sup>2</sup>

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**[Abstract]** The relation between coarse grain and rupture of casts was found through analyzing the formation of coarse grains and tests for eliminating coarse grains on ZG32Cr06 cast steel. The results of tests show that the coarse grains, as a results of too high casting temperature and the premature trunk opening in water explosion blast cleaning, can be eliminated by heat treatment. The measures for preventing coarse grains in casts were proposed.

**[Key words]** cast steel; coarse grain; water explosion blast cleaning; measures of elimination