

我国耐磨钢铁材料标准应用概况

王定祥¹, 孙平²

(1.青岛华昆港机耐磨铸钢有限公司, 山东青岛 266033;

2.青岛港湾职业技术学院, 山东青岛 266404)

摘要: 最近五年, 我国颁布了 9 个新的铸造耐磨材料标准, 其中国家标准 7 项, 机械工业行业标准 2 项。国家标准规定了牌号、化学成分与力学性能等要求, 除以产品命名的标准以外, 均以材质命名, 未指出对产品如何应用。本文浅析耐磨钢铁材料国家标准的应用概况。

关键词: 耐磨钢铁材料; 国家标准; 行业标准; 企业标准

Application of national standard steel wear-resistant material

WANG Ding-Xiang¹, SUN Ping²

(1.Qingdao Huakun port Wear-resistant Cast Steel Co.Ltd., Qingdao 266033, Shandong;

2.Qingdao Harbour Vocational and Technical College, Qingdao 266033, Shandong)

Abstract: In recent five years, our country has promulgated nine new national standards. The national standard grade, chemical composition and mechanical performance requirements, divided by the product naming standards, are the material name, did not point out how the application of product. Application of the national standard of the wear resistant steel material.

Key words: wear resistant steel material; national standard; industry standard; enterprise standard

耐磨钢铁材料广泛用于冶金、矿山、建材、电力、建筑、机械、国防、船舶、铁道、煤炭、化工等行业, 我国年消耗耐磨钢铁铸件约 500 万吨, 折合人民币 800 亿。钢铁耐磨材料的高速发展, 新材料、新工艺、新设备、新技术不断涌现。产品日新月异。

钢铁耐磨材料的行业标准高于国家标准, 企业标准又高于行业标准。因此企业标准要高于国家标准。耐磨钢铁材料标准既是我国耐磨钢铁材料的总结但不完全代表我国耐磨钢铁材料产品的先进水平。只有企业实力及产品质量水平才代表我国耐磨钢铁材料水平。耐磨钢铁材料标准隔几年就修订一次以便跟进。

1 耐磨钢铸件

国家标准 GB/T26651-2011 耐磨钢铸件的牌号与化学成分见表 1, 耐磨钢铸件力学性能见表 2。

表 1 耐磨钢铸件的牌号及其化学成分

牌号	化学成分 (质量分数, %)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
ZG30Mn2SiCr	0.25~0.35	0.5~1.2	1.3~2.2	0.5~1.2	—	—	≤0.04	≤0.04
ZG30CrMnSiMo	0.25~0.35	0.5~1.8	0.6~1.6	0.5~1.8	0.2~0.8	—	≤0.04	≤0.04
ZG42Cr2Si2MnMo	0.38~0.48	1.5~1.8	0.8~1.2	1.8~2.2	0.2~0.6	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG45Cr2SiMo	0.40~0.48	0.8~1.2	0.4~1.0	1.75~2.0	0.75~1.0	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG30Cr5Mo	0.25~0.35	0.4~1.0	0.5~1.2	4.0~6.0	0.2~0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG40Cr5Mo	0.35~0.45	0.4~1.0	0.5~1.2	4.0~6.0	0.2~0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04

作者简介: 王定祥(1936-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事金属热处理、耐磨材料的研究、应用与开发。
E-mail:wangdx2561@163.com。

ZG50Cr5Mo	0.45~0.55	0.4~1.0	0.5~1.2	4.0~6.0	0.2~0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG60Cr5Mo	0.55~0.65	0.4~1.0	0.5~1.2	4.0~6.0	0.2~0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04

注：允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素。

表 2 耐磨铸钢件力学性能

牌号	表面硬度 (HRC)	冲击吸收能量 KV ₂ (J)	冲击吸收能量 KN(J)
ZG30Mn2SiCr	≥45	≥12	—
ZG30CrMnSiMo	≥45	≥12	—
ZG42Cr2Si2MnMo	≥50	—	≥25
ZG45Cr2SiMo	≥50	—	≥25
ZG30Cr5Mo	≥42	≥12	—
ZG40Cr5Mo	≥44	—	≥25
ZG50Cr5Mo	≥46	—	≥15
ZG60Cr5Mo	≥48	—	≥10

注：(1) 铸件断面深度 40% 处的石硬度应不低于表面硬度的 92%。

(2) V_N 分别 V 型缺口和无缺口试样。KV₂ 中之 2 指制品深度。

耐磨铸钢广泛用于制作球磨机筒体衬板、磨头衬板、隔仓板、破碎机蓖板等，港机矿石漏斗衬板也多使用。ZG42Cr2Si2MnMo 钢最早在河北冀东水泥厂 $\phi 4.2 \times 15.11\text{m}$ 水泥磨第一仓使用。寿命为 11 年，赶上与超过日本同类产品衬板钢。已在我国大型水泥球磨机做衬板普遍应用。这是一种油淬、低温回火的中合金马氏体钢，合金元素含量适中，生产工艺简便、质量稳定、性价比好的钢种。用于港机矿石漏斗衬板，适合矿石冲刷速度低、落差六米以下部位。

ZG45Cr2SiMo 钢及 ZG40Cr5Mo 钢比 ZG42Cr2Si2MnMo 钢合金元素高些，是采用油淬或喷雾淬火加回火的马氏体钢，做球磨机衬板耐磨性与 ZG42Cr2Si2MnMo 钢相当，但价格贵些，热处理工艺的稳定性稍差。ZG50Cr5Mo 及 ZG60Cr5Mo 钢也是制做球磨机的衬板钢，是一种喷雾淬火、回火的马氏体加碳化物钢，由于合金元素含量比 ZG42Cr2Si2MnMo 钢多些，因此成本稍高，耐磨性比 ZG42Cr2Si2MnMo 钢不低，但喷雾淬火工艺稳定性差，价格又贵些，应用比例赶不上 ZG42Cr2Si2MnMo 钢。ZG30Mn2SiCr 是适用于中小型球磨机的衬板钢，合金元素含量低，是一种淬火、低温回火的低合金钢，生产工艺简便，价格低廉，仍获广泛应用。还可以制做球磨机隔仓板、破碎机蓖板。ZG30CrMnSiMo 钢及 ZG30Cr5Mo 钢是一种水淬低碳马氏体合金钢，由于获得板条状马氏体，韧性极佳硬度亦高，抗腐蚀性能很好，特别适应于铁矿、铜矿、铝矿、金矿、钼矿、磷肥矿等湿法各种球磨机生产条件，生产工艺简便，性价比高，是有发展前途的钢种。装载机唇板要求良好的韧性与耐磨性，磨损后期不能出现卷刃，ZG50Cr5Mo 材质最为合适。笔者研制了一个 CrMnSiB 板条马氏体钢，性价比高，在铁矿湿法球磨机做衬板比高锰钢提高使用寿命 40%；在铝厂棒磨机做衬板比 ZG42Cr2Si2MnMsRE 钢提高使用寿命 87%，在挖掘机上做斗齿比日本小松 400 型 ZG30CrSiMo 钢提高使用寿命一倍。装载机唇板要求良好的韧性与耐磨性，磨损到后期不能卷刃，ZG50Cr5Mo 材质最为适合。

2 奥氏体锰钢与金相

奥氏体锰钢就是高锰钢，原牌号表示方法是 ZGMn13-1 至 ZGMn13-5 共五个牌号。现在与国际标准 ISO 接轨，国际标准[ISO 13521:1999(E)]奥氏体锰钢牌号有 9 个，我国国标（GB/T5680-2010）

牌号有 10 个。从表 3 可见国标中 9 个均与国际标准牌号相对应，而有一个加 W 的奥氏体锰钢是我国自创。

2.1 奥氏体锰钢铸件

国家标准 GB/T5680-2010，奥氏体锰钢牌号及其化学成分并与国际标准 ISO13521:1999(E)对应牌号见表 3。经水韧性处理后 ZG120Mn13 和 ZG120Mn13Cr2 试样的力学性能应符合表 4 规定。

表 3 奥氏体锰钢铸件的牌号及其化学成分

牌号	化学成分（质量分数，%）									国际标准 ISO13521:199(E) 对应牌号
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	W	
ZG120Mn7Mo1	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	6~8	≤ 0.060	≤ 0.040		0.9~1.2			GX120MnMo7-1
ZG110Mn13Mo1	0.75 ~1.35	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040		0.9~1.2			GX110MnMo13-1
ZG100Mn13	0.90 ~1.05	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040					GX100Mn13
ZG120Mn13	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040					GX120Mn13
ZG120Mn13Cr2	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040	1.5~2.5				GX120MnCr13-2
ZG120Mn13W1	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040				0.9 ~1.2	没有对应牌号，我国自创
ZG120Mn13Ni3	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	11~14	≤ 0.060	≤ 0.040			3~4		GX120MnNi13-3
ZG90Mn14Mo1	0.70 ~1.00	0.3 ~0.9	13~15	≤ 0.070	≤ 0.040		1.0~1.8			GX90MnMo14
ZG120Mn17	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	16~19	≤ 0.060	≤ 0.040					GX120Mn17
ZG120Mn17Cr2	1.05 ~1.35	0.3 ~0.9	16~19	≤ 0.060	≤ 0.040	1.5~2.5				GX120MnCr17-2

注：允许少量加入 V、Ti、Nb、B、稀土元素。

表 4 奥氏体锰钢及其铸件的力学性能

牌号	力学性能			
	下屈服强度 R_{eL} (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	断后伸长率 A (%)	冲击吸收能 KU_2 (J)
ZG120Mn13	—	≥685	≥25	≥118
ZG120Mn13Cr2	≥390	≥735	≥20	—

2.2 奥氏体锰钢金相：国家标准 GB/T13925-2010

(1) 未溶碳化物评级见表 5。在金相显微镜放大倍数为 500×，以 $\phi 80\text{mm}$ 选取最严重视场评定。不大于 W3 为合格。

(2) 标出碳化物评级是在金相显微镜放大倍数 500×，以 $\phi 80\text{mm}$ 选取最严重视场评定。析出碳化物级别不大于 X3 级为合格。

(3) 过热碳化物评级见表 7。在金相显微镜放大倍数 500×，以 $\phi 80\text{mm}$ 选取最严重视场评定。过热碳化物级别不大于 G2 级为合格。

(4) 晶粒度按 GB/T6394 中规定评级，晶粒度级别数不小于 2 为合格。

(5) 非金属夹杂物评级是在金相显微镜放大倍数 100×，以 $\phi 80\text{mm}$ 选取最严重视场评定。不大于 4A 和 4B 级且视场内超过 6mm 的夹杂物不超过 2 个为合格。

奥氏体锰钢广泛用于锤式破碎机锤头、颚式破碎机齿板、园锤破碎机轧臼壁、破碎壁，这些件有的比较大，破碎机锤头 10 多 kg 至 500kg，颚式破碎机齿板及园锥破碎机臼壁破碎壁达每件 1~2t。在湿法球磨机衬板方面奥氏体锰钢仍占一定份额，主要原因是适用性广泛，安全可靠，生产制造工

艺简便。近十年来,奥氏体锰钢衬板也用于港机矿石漏斗衬板,但是物料打击力度不够,不能强烈地加工硬化,因而不耐磨。奥氏体锰钢在港机上典型应用是衬套,一台抓斗需要十几件,装于铰轴衬套。

奥氏体锰钢加入 Cr 固溶入奥氏体以及与碳形成碳化物。因此 Cr 的加入对奥氏体锰钢的屈服极限有很大提高,对抗拉强度也提高,冲击韧性稍有降低,钢的加工硬化性能明显提高。奥氏体锰钢原来韧性就好,低一点也对使用没影响,加铬高锰钢,用做湿法球磨机衬板时使用寿命提高。为使合金碳化物 $(FeCr)_3C$ 溶入奥氏体中,故热处理时固溶温度要达到 $1100^{\circ}C$ 。笔者在 ZG120Mn13Cr2 内加入多种变质剂做锤头提高使用寿命 30%以上。奥氏体锰钢加 Mo 在熔融状态增加外来形核,细化晶粒。Mo 固溶入奥氏体使其合金化有显著的固溶强化作用。Mo 形成碳化物并改善碳化物形态与分布,在奥氏体中弥散析出使钢弥散强化。Mo 阻止奥氏体晶粒长大,并提高加工硬化速率以增加形变过程中的硬度。因此 Mo 的加入使奥氏体锰钢的强度、塑性、韧性得到很大提高,对于大断面,重量大的奥氏体锰钢件加入 Mo 能获得细晶粒,改善碳化物形态,抑制和防止针状碳化物形成以及力学性能全面提高。Mo 的加入使大断面奥氏体锰钢铸态件韧性大幅度提高,因此含 Mo 量较多,而铸件厚度 $<45mm$,ZG110Mn13Mo1 可以不固溶处理。如加 Mo 的奥氏体锰钢在固溶处理后再来一次时效处理可使碳化物弥散析出而强化,提高钢的耐磨性能。奥氏体锰钢加入一定量的 Ni 明显固溶强化作用,使钢的强度增加。对于大断面奥氏体锰钢铸件 Ni 的加入防止心部碳化物的产生,提高铸态韧性与固溶处理后的低温韧性。加 Ni 奥氏体锰钢特别适合厚大件选用。奥氏体锰钢加 W 细化晶粒,固溶强化提高奥氏体锰钢的初始硬度,提高强度,提高屈服极限。溶入奥氏体时提高淬透性,适应于制做厚大件。形成 W 的碳化物,可采用固溶处理后时效处理使碳化物弥散硬化以提高耐磨性能。有降低过热敏感性作用,比一般奥氏体锰钢使用温度高些。

3 抗磨铸铁件

(1)抗磨白口铸铁件:国家标准 GB/T8263-2010。抗磨白口铸铁件的牌号及其化学成分见表 5;抗磨白口铸铁件的硬度见表 6。

表 5 抗磨白口铸铁件的牌号及其化学成分

牌号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P
BTMNi4Cr2-DT	2.4~3.0	≤ 0.8	≤ 2.0	1.5~3.0	≤ 1.0	3.3~5.0	—	≤ 0.10	≤ 0.10
BTMNi4Cr2-GT	3.0~3.6	≤ 0.8	≤ 2.0	1.5~3.0	≤ 1.0	3.3~5.0	—	≤ 0.10	≤ 0.10
BTMCr9Ni5	2.5~3.6	1.5~2.2	≤ 2.0	8.0~10.0	≤ 1.0	4.5~7.0	—	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr2	2.1~3.6	≤ 1.5	≤ 2.0	1.0~3.0	—	—	—	≤ 0.10	≤ 0.10
BTMCr8	2.1~3.6	1.5~2.2	≤ 2.0	7.0~10.0	≤ 3.0	≤ 1.0	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr12-DT	1.1~2.0	≤ 1.5	≤ 2.0	11.0~14.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr12-GT	2.0~3.6	≤ 1.5	≤ 2.0	11.0~14.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr15	2.0~3.6	≤ 1.2	≤ 2.0	14.0~18.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr20	2.0~3.3	≤ 1.2	≤ 2.0	18.0~23.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06
BTMCr26	2.0~3.3	≤ 1.2	≤ 2.0	23.0~30.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 1.2	≤ 0.06	≤ 0.06

注: (1) 牌号中,“DT”和“GT”分别是“低碳”和“高碳”的汉语拼音大写字母,表示该牌号含碳量的高低。

(2) 允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素。

表 6 抗磨白口铸铁件的硬度

牌号	表面硬度					
	铸态或铸态去应力处理		硬化态或硬化态去应力处理		软化退火态	
	HRC	HBW	HRC	HBW	HRC	HBW
BTMNi4Cr2-DT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—
BTMNi4Cr2-GT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—
BTMCr9Ni5	≥50	≥500	≥56	≥600	—	—
BTMCr2	≥45	≥435	—	—	—	—
BTMCr8	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400
BTMCr12-DT	—	—	≥50	≥500	≤41	≤400
BTMCr12-GT	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr15	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr20	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr26	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400

注：(1) 洛氏硬度值 (HRC) 和布氏硬度值 (HBW) 之间没有精确的对应值，因此，这两种硬度值应独立使用。

(2) 铸件断面深度 40% 处的硬度应不低于表面硬度值的 92%。

抗磨白口铸铁件广泛用于球磨机衬板、磨球、立式磨磨盘、磨辊、衬板；球环磨的上下磨环与磨球、港机散货漏斗衬板；平盘磨的冲击板、护勾、护甲和叶轮；反击式破碎机板锤；锤式破碎机锤头等。笔者将 BTMCr12-DT 做衬板在日本进口的 $\phi 4.5 \times 15.11\text{m}$ 水泥磨第二仓使用 20 年以上。此牌号还做立式磨磨盘、衬板，压砖机螺旋铰刀等。再将 BTMCr20 多重变质处理使其硬韧性极大提高，做几 kg 至 100kg 双液双金属锤头头部及机械结合双金属锤头头部使用寿命极高。一般在国内生产的大型水泥球磨机第一仓 BTMCr15 使用寿命 6~8 年；BTMCr20、BTM26 使用寿命 8~10 年。BTMCr12-DT 衬板在水泥球磨机第二、三仓使用 12 年至 20 年。在火电厂球磨机 BTMCr20 衬板在 $\phi 3\text{m}$ 以上球磨机使用寿命 6 年以上；在 $\phi 3\text{m}$ 以下球磨机使用寿命 7 年以上。港口机械抓斗卸船机、堆取料机、装车机，适合使用 BTMCr15、BTMCr20 做衬板，板厚 16mm 平均卸载矿石量可达 600 万吨，若磨损面采用格筋“料打料”结构，可达到 700 万吨以上。

(2) 铬锰钨系列抗磨铸铁件：国家标准 GB/T24597-2009《铬锰钨系列抗磨铸铁件》的牌号及其化学成分见表 7；铬锰钨系列抗磨铸铁件的硬度与耐热温度见表 8。

表 7 铬锰钨系抗磨铸铁牌号及化学成分

牌号	化学成分 (质量分数%)						
	C	Si	Cr	Mn	W	P	S
BTMCr18Mn3W2	2.8~3.5	0.3~1.0	16~22	2.5~3.5	1.5~2.5	≤0.08	≤0.06
BTMCr18Mn3W	2.8~3.5	0.3~1.0	16~22	2.5~3.5	1.0~1.5	≤0.08	≤0.06
BTMCr18Mn2W	2.8~3.5	0.3~1.0	16~22	2.0~2.5	0.3~1.0	≤0.08	≤0.06
BTMCr12Mn3W2	2.0~2.8	0.3~1.0	10~16	2.5~3.5	1.5~2.5	≤0.08	≤0.06
BTMCr12Mn3W	2.0~2.8	0.3~1.0	10~16	2.5~3.5	1.0~1.5	≤0.08	≤0.06
BTMCr12Mn2W	2.0~2.8	0.3~1.0	10~16	2.0~2.5	0.3~1.0	≤0.08	≤0.06

表 8 铬锰钨系抗磨铸铁件的硬度

牌号	硬度/HRC		耐热温度/℃
	软化退火态	硬化态	
BTMCr18Mn3W2	≤45	≥60	≤700
BTMCr18Mn3W	≤45	≥60	≤600
BTMCr18Mn2W	≤45	≥60	≤500
BTMCr12Mn3W2	≤40	≥58	≤600
BTMCr12Mn3W	≤40	≥58	≤500
BTMCr12Mn2W	≤40	≥58	≤400

铬锰钨系列抗磨铸铁也是一类抗磨白口铸铁件。国家标准 GB/T8263-2010 抗磨白口铸铁件是铬钼镍（铜）系抗磨铸铁。这两类抗磨白口铸铁含铬量对应，而 GB/T8263-2010 国家标准中以铬钼镍（铜）为主，而 GB/T24597-2009 国家标准中以铬锰钨为主，铬锰钨系是以消化吸收国外牌号结合国情而创立，开发我国丰富合金元素资源 W 创铬锰钨系抗磨铸铁达到国际领先水平。铬锰钨系抗磨铸铁中 W 使钢的晶粒细化。Mn 与 W 同时加入，代替了高铬白口铸铁中钼、镍等元素，使 C 曲线右移，提高了淬透性。W 形成碳化物，增加了硬质点。W 减少了回火脆性，加入 $\omega(\text{W})1\%$ 消除回火脆性。一定量 W 加入提高钢的抗腐蚀、耐热性，同时韧性与耐磨性比高铬白口铸铁好，解决了高铬白口铸铁抗腐蚀性差，在湿法磨做衬板、磨球耐磨性不足、性价比差的问题。铬锰钨系抗磨铸铁做磨球力学性能 $a_{\text{kn}}=8\sim 12\text{S}/\text{cm}^2$ ，HRC=60~66，铬锰钨系抗磨铸铁不同牌号可适用于 700~400℃ 的不同工作温度工况。不仅适用于干法磨机而且适用于湿法磨机中做衬板、钢铁厂的弓辊、校直辊，挖掘机与装载机的斗齿、铲刀。例如 BTMCr18Mn3W2 用于大型烧结机刮刀勾头；BTMCr18Mn3W 用于 8 寸以上渣浆泵叶轮、护套；BTMCr18Mn2W 用于 6 寸及以下渣浆泵叶轮、护套；BTMCr12Mn3W2 用于焊接钢管轧辊；BTMCr12Mn3W 用于大型球磨机 $\phi 130\text{mm}$ 磨球；BCTMCr12Mn2W 用于大型球磨机 $\phi 100$ 磨球。

4 耐磨损复合材料铸件

国家标准：GB/T26652-2011。耐磨损复合材料铸件组成及耐磨损增强体材料应符合表 9 规定。耐磨损复合材料铸件硬度复合材料铸件硬度应符合表 10 的规定。

表 9 耐磨损复合材料铸件的牌号及组成

名称	牌号	复合材料组成	铸件耐磨损增强体材料
镶铸合金复合材料 I 铸件	ZF-1	硬质合金块/铸钢或铸铁	硬质合金
镶铸合金复合材料 II 铸件	ZF-2	抗磨白口铸铁块/铸钢或铸铁	抗磨白口铸铁
双液铸造双金属复合材料铸件	ZF-3	抗磨白口铸铁层/铸钢或铁铸层	抗磨白口铸铁
铸渗合金复合材料铸件	ZF-4	硬质相颗粒/铸钢或铸铁	硬质合金；抗磨白口铸铁；WC 和（或）TiC 等金属陶瓷

表 10 耐磨损复合材料铸件硬度

名称	牌号	铸件耐磨损增强体硬度（HRC）	铸件耐磨损增强体硬度（HRA）
镶铸合金复合材料 I 铸件	ZF-1	≥ 56 （硬质合金）	≥ 79 （硬质合金）
镶铸合金复合材料 II 铸件	ZF-2	≥ 56 （抗磨白口铸铁）	—
双液铸造双金属复合材料铸件	ZF-3	≥ 56 （抗磨白口铸铁）	—
铸渗合金复合材料铸件	ZF-4	≥ 62 （硬质合金）	≥ 82 （硬质合金）
		≥ 56 （抗磨白口铸铁）	—
		≥ 62 （WC 和（或）TiC 等金属陶瓷）	≥ 82 （WC 和（或）TiC 等金属陶瓷）

注：洛氏硬度 HRC 和洛氏硬度 HRA 中任选一项。

耐磨损复合材料铸件包括以镶铸硬质合金的 ZF-1，有将硬质合金镶铸于基体中，硬质合金与基体母材为冶金结合；将硬质合金镶焊于基体的使用面，称为三明治锤头。将抗磨白口铸铁镶铸于基体中的 ZF-2，抗磨白口铸铁的基体母材为冶金结合，这也是大金牙锤头之一。双液双金属是将抗磨白口铸铁使用面与钢的支撑面冶金结合，高硬抗磨与高韧抗冲相结合的抗磨件，如双液双金属锤头使用效果很好。铸渗合金复合材料技术分为两种：一种是增强相直接加入预制体内，基体高温金属液经渗透、烧结等作用与增强相冶金结合形成，铸渗复合层无化学反应；另一种是基体高温金属液将预制体内的粉末发生自蔓延反应生成增强相形成铸渗复合层。在基体中加入或生成的是陶瓷颗粒，陶瓷颗粒有碳化钨（WC）、氧化铝（ Al_2O_3 ）、氧化锆（ ZrO_2 ）、碳化硅（SiC）、碳化钛（TiC）等。近期研究显示在以 WC 颗粒与增强铁基的研究上取得进展，其耐磨性为高铬铸铁的 2-10 倍。实

验室产品取得重大成果。生产上已成功应用在立式磨磨盘等产品。耐磨损复合材料铸件是耐磨材料先进技术发展的方向。国标中没有包括双金属机械复合锤头, 此项技术用于不超过 50kg 级锤头, 与不超过 50kg 级的双液双金属锤头相比使用寿命毫无逊色, 而熔炼设备单一, 工艺稳定, 采用砂型铸造或消失模铸造均可, 操作简单, 成本低廉。

5 耐磨损球墨铸铁件

机械行业行业标准 JB/T11843-2014《耐磨损球墨铸铁件》。耐磨损球墨铸铁化学成分见表 11 规定。耐磨损球墨铸铁铸件的硬度见表 12 的规定。

表 11 耐磨损球墨铸铁件化学成分

名 称	牌 号	化学成分 (质量分数%)					
		C	Si	Mn	Cr	P	S
奥铁体连续冷却淬火球墨铸铁件	QTML-1	3.2~3.8	2.0~3.0	2.0~3.0	—	≤0.05	≤0.03
马氏体连续冷却淬火球墨铸铁件	QTML-2	3.2~3.8	2.0~3.0	0.5~1.5	—	≤0.05	≤0.03
奥铁体等温淬火球墨铸铁件	QTMD-1	3.2~3.8	2.0~3.0	0.5~1.5	—	≤0.05	≤0.03
奥铁体低温等温淬火球墨铸铁件	QTMD-2	3.2~3.8	2.0~3.0	0.5~1.5	—	≤0.05	≤0.03
含碳化物奥铁体等温淬火球墨铸铁件	QTMCD	3.2~3.8	2.0~3.0	0.5~3.5	≤1.5	≤0.05	≤0.03

注: 允许加入适量 Mo、Cu、Ni 等元素和微量 V、Ti、B、RE、Mg 等元素。

表 12 耐磨损球墨铸铁件的硬度

名 称	牌 号	表面硬度 (HRC)
奥铁体连续冷却淬火球墨铸铁件	QTML-1	≥50
马氏体连续冷却淬火球墨铸铁件	QTML-2	≥52
奥铁体等温淬火球墨铸铁件	QTMD-1	≥43
奥铁体低温等温淬火球墨铸铁件	QTMD-2	≥48
含碳化物奥铁体等温淬火球墨铸铁件	QTMCD	≥56

注: 铁件断面深度 40%处的硬度应不低于表面硬度值的 90%。

球墨铸铁等温淬火 (包括低温等温淬火) 就是在过冷奥氏体的贝氏体转变区域生成有球状石墨的以贝氏体为主并有一定量残余奥氏体 (大约在 20%~40%之间确定) 的显微组织称为奥氏体—贝氏体, 而贝氏体又称为针状铁素体, 即奥氏体—针状铁素体, 简称 ADI(Austempered Ductile Iron): 即奥铁体(Ausferrite), 显微组织是奥铁体及球状石墨 (石墨为游离的碳晶体, 密排六方结晶)。

QTML-1 奥铁体连续冷却淬火球墨铸铁件: 将球墨铸铁奥氏体化, 以连续冷却的方式获得奥铁体基体组织的球墨铸铁件。

QTML-2 马氏体连续冷却球墨铸铁件: 将球墨铸铁件奥氏体化, 以连续冷却到马氏体转变点 M_s 以下, 获得马氏体基体组织的球墨铸铁件。

QTMD-1 奥铁体等温淬火球墨铸铁件将球墨铸铁奥氏体化以等温淬火的方式获得奥铁体基体球墨铸铁件。

QTMD-2 奥铁体低温等温淬火球墨铸铁件: 将球墨铸铁奥氏体化以低温等温淬火到下贝氏体转变区获得的奥铁体基体的球墨铸铁件。

QTMCD 含碳化物奥铁体等温淬火球墨铸铁件 (Carbide Austempered Ductile Iron 简称 CADI): CADI 是在 ADI 化学成分的基础上加入碳化物生成元素产生的, 显微组织由奥铁体、碳化物和球状石墨组成。

它的抗磨性比 ADI 高, 韧性好。奥铁体中残余奥氏体所占比例直接影响 CADI 的各项力学性能及耐磨性指标。残余奥氏体随等温淬火温度在 210~320℃的升高而增加而在体积分数 20%~40%之间确定。残余奥氏体的含碳量也随等温淬火温度 210~320℃的升高而增加, 在 $W(C)=1.25\% \sim 1.45\%$ 之

间选取。

ADI 广泛应用于汽车工业的正时齿轮、后桥螺旋伞齿轮、半轴齿轮、差速器行星齿轮控制臂、行事万向节、发动机支架、差速器壳、转向节、拖钩、制动器支架、钢板弹簧支架、悬架托架、轮毂等。风电设备的塔筒齿轮、叶片等。

CADI 在铁矿选矿厂 $\phi 3.6\text{m}$ 球磨机制做磨球，耐磨性是低铬铸铁磨球的 2~4 倍；台时产量提高 10%~20%；球磨机电机电流降低 15%~20%，节电降耗 15%~20%。此外制做渣浆泵过流部件使用寿命提高 2~3 倍。做输送管道使用寿命提高 1~2 倍。

6 铸造磨球

国家标准：GB/T17445-2009。铸造磨球的主要化学成分应符合表 13 规定。铸造磨球的表面硬度应符合表 14 的规定。

表 13 化学成分

名称	牌号	化学成分%								
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P	S
铬合金铸铁磨球	ZQCr26	2.0~3.3	≤ 1.2	0.3~1.5	$> 23.0\sim 30.0$	0~3.0	0~1.2	0~1.5	≤ 0.10	≤ 0.06
铬合金铸铁磨球	ZQCr20	2.0~3.3	≤ 1.2	0.3~1.5	$> 18.0\sim 23.0$	0~3.0	0~1.2	0~1.5	≤ 0.10	≤ 0.06
铬合金铸铁磨球	ZQCr15	2.0~3.3	≤ 1.2	0.3~1.5	$> 14.0\sim 18.0$	0~3.0	0~1.2	0~1.5	≤ 0.10	≤ 0.06
铬合金铸铁磨球	ZQCr12	2.0~3.3	≤ 1.2	0.3~1.5	$> 10.0\sim 14.0$	0~3.0	0~1.2	0~1.5	≤ 0.10	≤ 0.06
铬合金铸铁磨球	ZQCr8	2.1~3.3	≤ 2.2	0.3~1.5	7.0~10.0	0~1.0	0~0.8		≤ 0.10	≤ 0.06
铬合金铸铁磨球	ZQCr5	2.1~3.3	≤ 1.5	0.3~1.5	4.0~6.0	0~1.0	0~0.8		≤ 0.10	≤ 0.10
铬合金铸铁磨球	ZQCr2	2.1~3.6	≤ 1.5	0.3~1.5	1.0~3.0	0~1.0	0~0.8		≤ 0.10	≤ 0.10
球墨铸铁磨球	ZQQTb	3.2~3.8	2.0~3.5	2.0~3.0	—				≤ 0.10	≤ 0.03
球墨铸铁磨球	ZQQTm	3.2~3.8	2.0~3.5	0.5~1.5					≤ 0.10	≤ 0.03

表 14 铸造磨球表面硬度

名称	牌号	表面硬度/HRC
铬合金铸铁磨球	ZQCr26	≥ 58
铬合金铸铁磨球	ZQCr20	≥ 58
铬合金铸铁磨球	ZQCr15	≥ 58
铬合金铸铁磨球	ZQCr12	≥ 58
铬合金铸铁磨球	ZQCr8	≥ 48
铬合金铸铁磨球	ZQCr5	≥ 47
铬合金铸铁磨球	ZQCr2	≥ 45
球墨铸铁磨球	ZQQTb	≥ 50
球墨铸铁磨球	ZQQTm	≥ 52

我国宁国市众多磨球企业是名符其实的铸造磨球之都。铁型覆砂保温浇包机械化生产线与磨球产品质量达到国际先进水平。发展方向：化学成分向微量合金多元化发展，使显微组织的晶粒细化、固溶强化更加提高耐磨性。熔炼方面要采用真空熔炼、炉外精炼以及多重变质处理。采用保护气氛连续热处理炉生产线。铸球的熔炼、造型、浇注、脱膜、清理以及热处理全自动生产线。

7 铸造磨段

机械工业行业标准 JB/T11842-2014《铸造磨段》，铸造磨段化学成分应符合表 15 的规定。铸造磨段的表面硬度应符合表 16 的规定。我国铸造磨段生产线及产品达国际先进水平。

表 15 铸造磨段化学成分

牌号	化学成分%					
	C	Si	Mn	Cr	P	S
ZDCr26	2.3~3.3	≤1.2	0.3~1.0	>24.0~30.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr23	2.3~3.3	≤1.2	0.3~1.0	>22.0~24.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr20	2.3~3.3	≤1.2	0.3~1.0	>18.0~22.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr17	2.3~3.3	≤1.2	0.3~1.0	>16.0~18.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr15	2.3~3.6	≤1.2	0.3~1.0	>14.0~16.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr12	2.3~3.5	≤1.8	0.3~1.0	>10.0~14.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr8	2.2~3.5	≤2.2	0.3~1.5	7.0~10.0	≤0.10	≤0.06
ZDCr5	2.2~3.5	≤1.8	0.3~1.5	4.0~6.0	≤0.10	≤0.10
ZDCr2	2.2~3.5	≤1.8	0.3~1.5	0.5~3.5	≤0.10	≤0.10

表 16 铸造磨段表面硬度

牌号	表面硬度 (HRC)	
	铸态或铸态去应力处理	硬化态或硬化态去应力处理
ZDCr26	—	≥59
ZDCr23	—	≥59
ZDCr20	—	≥59
ZDCr17	—	≥59
ZDCr15	—	≥59
ZDCr12	—	≥58
ZDCr8	≥48	≥56
ZDCr5	≥47	≥55
ZDCr2	≥46	≥54