

# GB/T 32255—2015《高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件》国家标准解读

李振纲<sup>1</sup>, 储开宇<sup>1</sup>, 姚少勇<sup>2</sup>, 刘东信<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学机械工程系, 河北保定 071003; 2. 河北国华定州发电有限责任公司, 河北定州 073000)

**摘要:** 介绍了GB/T 32255—2015国家标准制定的背景、目的宗旨以及标准的特点和应用。重点解读了标准中的高温承压马氏体不锈钢和合金钢的牌号、化学成分、力学性能、铸件的热处理以及铸件的焊补。标准中规定了12种牌号材料的热处理工艺和室温力学性能。实际选用牌号时, 要综合考虑牌号材料的力学性能、使用寿命、使用温度、承受载荷及铸造工艺等因素。本标准的制定为我国高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件的制造、应用提供了依据和参考, 将有力促进行业技术水平的提高。

**关键词:** 高温承压铸件; 马氏体不锈钢; 合金钢; 标准解读

## 1 标准制定背景

火力发电、化工和石油石化等行业广泛使用的铸造阀门、法兰、管件等都是采用不锈钢及耐热钢来制造的, 对铸件的高温性能、抗氧化性、抗蚀性和组织稳定性等都有较高的要求, 此外承受高压还要求有足够的韧性及良好的工艺性能。目前国内该产品主要依赖于进口, 国内生产的产品基本参照欧洲EN 10213: 2007《承压用钢铸件》标准和美国ASTM A217/A217M-2012《适用于高温设备的承压部件钢铸件、马氏体不锈钢和合金钢的标准规范》标准, 缺乏国内自有的标准规范, 产品的关键生产过程控制没有严格要求, 产品裂纹倾向大, 性能难以得到保证, 对产品质量和生产成本也无法做到有效控制。

鉴于此, 为指导国内厂商规范化生产, 有效管控产品质量和生产成本, 指导行业进行新产品开发, 以实现更大范围特定产品的国产化和普遍提升行业技术水平, 结合行业内的制造水平, 制定了国家标准GB/T 32255—2015《高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件》, 并于2015年12月10日发布, 2016年7月1日实施。

## 2 标准的主要内容

### 2.1 适用范围

《高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件》国家标准适用于工作温度不高于600℃条件下使用的铸造阀门、法兰和管件等, 其他高温承压铸件可参考使用。

在火力发电机组中, 高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件是不可或缺的关键零部件。本标准的发布实施将有力促进国内高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件的性能提升和新产品开发。

### 2.2 技术要求

#### 2.2.1 材料牌号和化学成分

本标准在参考国内外常用高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件的钢种的基础上, 共制定了12个牌号。铸钢牌号及化学成分见表1, 本标准与国外牌号的近似对照<sup>[1-2]</sup>见

作者简介:

李振纲(1970—), 男, 讲师, 硕士, 主要从事火力发电厂高温材料、耐蚀材料及耐磨材料方面的研究工作。  
E-mail: zhengangli@163.com

中图分类号: TG26  
文献标识码: A  
文章编号: 1001-4977(2022)11-1442-05

收稿日期:

2022-01-12 收到初稿,  
2022-03-19 收到修订稿。

表1 铸钢牌号及化学成分  
Table 1 Cast steel grade and chemical composition

铸钢牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	其他
ZG19Mo	0.15~0.23	0.60	0.50~1.00	0.025	0.020 <sup>a</sup>	0.30	0.40~0.60	0.40	0.05	0.30	
ZG17Cr1Mo	0.15~0.20	0.60	0.50~1.00	0.025	0.020 <sup>a</sup>	1.00~1.50	0.45~0.65	0.40	0.05	0.30	
ZG17Cr2Mo1	0.13~0.20	0.60	0.50~0.90	0.025	0.020 <sup>a</sup>	2.00~2.50	0.90~1.20	0.40	0.05	0.30	
ZG13MoCrV	0.10~0.15	0.45	0.40~0.70	0.030	0.020 <sup>a</sup>	0.30~0.50	0.40~0.60	0.40	0.22~0.30	0.30	0.025 Sn
ZG17Cr1Mo1V	0.15~0.20	0.60	0.50~0.90	0.020	0.015	1.20~1.50	0.90~1.10	0.40	0.20~0.30	0.30	0.025 Sn
ZG16Cr5Mo	0.12~0.19	0.80	0.50~0.80	0.025	0.025	4.00~6.00	0.45~0.65	0.40	0.05	0.30	
ZG16Cr9Mo1	0.12~0.19	1.00	0.35~0.65	0.030	0.030	8.00~10.00	0.90~1.20	0.40	0.05	0.30	
ZG10Cr9Mo1VNbN	0.08~0.12	0.20~0.50	0.30~0.60	0.030	0.010	8.00~9.50	0.85~1.05	0.40	0.18~0.25		0.06~0.10 Nb, 0.03~0.07 N, 0.02 Al, 0.01 Ti, 0.01 Zr 0.05~0.08 Nb, 0.04~0.06 N, 0.02 Al
ZG12Cr9Mo1VNbN	0.11~0.14	0.20~0.50	0.40~0.80	0.020	0.010	8.00~9.50	0.85~1.05	0.40	0.18~0.25		0.04~0.06 N, 0.02 Al
ZG08Cr12Ni1Mo	0.05~0.10	0.40	0.50~0.80	0.030	0.020	11.50~12.50	0.50	0.80~1.50	0.08	0.30	
ZG06Cr13Ni4Mo	0.06	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.50	0.70	3.50~5.00	0.08	0.30	
ZG23Cr12Mo1NiV	0.20~0.26	0.40	0.50~0.80	0.030	0.020	11.30~12.20	1.00~1.20	1.00	0.25~0.35	0.30	0.50 W

注：<sup>a</sup>对于测量壁厚 < 28 mm 的铸件，允许S含量为0.030%。

表2。

在标准规定的12种铸钢牌号中，后三个牌号 ZG08Cr12Ni1Mo、ZG06Cr13Ni4Mo 及 ZG23Cr12Mo1NiV 的铬加入量超过了12%，在高温下具有较好的抗氧化性和化学稳定性，属于Cr13型马氏体不锈钢。前九个牌号属于合金耐热钢，其中1-6六个

表2 本标准铸钢牌号与BS EN 10213: 2007、ASTM A217-2012牌号的近似对照  
Table 2 Approximate comparison between cast steel grades in this standard and BS EN 10213: 2007 and ASTM A217-2012 grades

铸钢牌号	BS EN 10213: 2007 铸钢牌号	ASTM A217-2012 铸钢牌号
ZG19Mo	G20Mo5	WC1
ZG17Cr1Mo	G17CrMo5-5	WC6
ZG17Cr2Mo1	G17CrMo9-10	WC9
ZG13MoCrV	G12MoCrV5-2	
ZG17Cr1Mo1V	G17CrMoV5-10	
ZG16Cr5Mo	GX15CrMo5	C5
ZG16Cr9Mo1	GX15CrMo9-1	C12
ZG10Cr9Mo1VNbN	GX10CrMoV9-1	C12A
ZG12Cr9Mo1VNbN		
ZG08Cr12Ni1Mo	GX8CrNi12-1	CA15
ZG06Cr13Ni4Mo	GX4CrNi13-4	
ZG23Cr12Mo1NiV	GX23CrMoV12-1	

牌号属于珠光体耐热钢，7-9三个牌号属于马氏体耐热钢。

马氏体不锈钢中的主加元素是Cr，通过提高Fe的极化性能和电极电位、形成附着性强且稳定的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>氧化膜以及通过固溶强化增强基体原子间的结合强度等机制使马氏体不锈钢具有较好的抗氧化性和持久、蠕变强度，使马氏体不锈钢具有良好的耐蚀性和热稳定性；Mo的加入量大都在1%以下或左右，在钢中起固溶强化作用。若加入少量的W，如牌号ZG23Cr12Mo1NiV中含有0.5%的W（质量分数），W和Mo起复合固溶强化作用，效果更好<sup>[3-4]</sup>。钢中W和Mo的比例影响到钢的强度和韧性，若Mo高W低，则有高的韧性和塑性，但蠕变强度较低，牌号ZG23Cr12Mo1NiV即属于此种情况；若Mo低W高，则有高的蠕变强度而韧性和塑性较低。钢中加入少量的V，在热处理时能析出VC颗粒，起到沉淀强化作用。钢中的Cu可进一步提高钢的强度、韧性，特别是大气腐蚀性能，但容易产生热脆，铜含量超过0.5%塑性会显著降低，故牌号中的铜含量均在0.3%以下；钢中的Ni可细化晶粒，提高淬透性，使铸钢在高温下有一定的抗蚀和耐热能力。

马氏体不锈钢是一种既耐腐蚀又能通过热处理强化的不锈钢。马氏体不锈钢具有较高的强度和耐磨性，但是其塑性和焊接性较铁素体不锈钢要差。因为其具有好的力学性能和抗腐蚀性，在机械工业中应用较广泛。

前六种铸钢，其合金元素质量分数不超过5%，退火后得到铁素体加珠光体组织，属于Cr-Mo或Cr-Mo-V系铁素体-珠光体耐热钢，通过热处理可使钢强化。Mo溶于基体相，能增强基体原子间结合强度，提高再结晶温度，因而能显著地提高基体的蠕变抗力，固溶强化效果最好；Cr在质量分数小于0.5%时强化基体的作用较强，再增加则强化作用增加很少；V加入后在钢中形成的VC可实现弥散强化并稳定组织以提高钢的热稳定性。随着Cr加入量的增加，其抗氧化性和抗蚀性会随之提高。

牌号7-9三种铸钢是典型的9Cr-1Mo型马氏体耐热钢，该种钢在593℃、105 h条件下的持久强度可达100 MPa，且有较好韧性<sup>[5]</sup>。ZG10Cr9Mo1VNbN铸钢是在ZG16Cr9Mo1钢的基础上添加了0.18%~0.25%V和微量Nb，在回火时会在铁素体基体上沉淀析出复合碳-氮化物M(CN)<sub>x</sub>，再加上VN的沉淀析出，可提高钢的高温强度<sup>[2]</sup>。合金中还加入微量的Ti和Zr，通过几种合金元素的复合弥散强化作用来进一步提高钢的高温强度；少量Al的加入形成的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>稳定致密保护膜可提高钢的抗氧化性，但其不能大量加入，也不能单独加入，否则会使钢变脆，恶化工艺性能。ZG12Cr9Mo1VNbN和ZG10Cr9Mo1VNbN相比，碳质量分数有所增加，合金元素加入种类变化不大，也未添加Ti和Zr，其耐热性能变化不大。铁素体耐热铸钢的抗应力腐蚀性能较好，生产成本较低，应用更广泛，但铁素体耐热铸钢的高温抗蠕变性能较奥氏体耐热铸钢差。

在化学成分控制方面，本标准具有良好的操作

性。生产厂家一般采用中频炉或中频炉加AOD炉熔炼工艺，就可达到成分的技术参数，并且AOD精炼技术已经在国内开始推广应用，精炼工艺已逐步趋于成熟。本标准试验论证中，采用了碱酚醛树脂砂造型工艺，碱性酚醛树脂砂比呋喃树脂砂具有更好的退让性，比水玻璃砂具有更好的溃散性，是比较成熟的铸造工艺。

本标准规定的12种马氏体不锈钢和合金钢，应根据铸件的设计要求、使用条件、力学性能以及高温和耐腐蚀性能进行选择。

与发达国家相比，我国对不锈钢及耐热钢的研究还相对落后。目前的牌号也存在产品性能不高、使用寿命明显低于国外同类产品的情况。所以提高材料认识，优化生产工艺，是国内企业面临的实际问题。

### 2.2.2 铸件的热处理

采用标准规定的铸钢牌号生产的所有铸件均应进行热处理，且热处理应在铸件温度冷却到相变温度以下进行，具体热处理要求和室温力学性能见表3。

所有的铸钢牌号既可以正火+回火处理，也可以淬火+回火处理。ZG19Mo、ZG17Cr1Mo、ZG17Cr2Mo1三种铸钢合金元素加入量和种类较少，正火和淬火后的力学性能差别不大，但加热温度会随着合金元素加入量的增加应略有提高。ZG13MoCrV、ZG17Cr1Mo1V一般在回火前进行淬火处理，这两种钢中都添加了V，为保证VC等碳化物能充分地溶入到奥氏体中，淬火加热温度提高了约30~80℃；ZG16Cr5Mo、ZG16Cr9Mo1、ZG10Cr9Mo1VNbN、

表3 高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件热处理要求和室温力学性能

Table 3 Heat treatment requirements and room temperature mechanical properties of general castings of high temperature pressure bearing martensitic stainless steel and alloy steel

牌号	热处理状态		厚度 <i>t</i> /mm (≤)	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa (≥)	抗拉强度 $R_m$ /MPa	伸长率 $A$ % (≥)	冲击吸收能量 $KV_2$ /J (≥)
	正火或淬火温度/℃	回火温度/℃					
ZG19Mo	920~980	650~730	100	245	440~590	22	27
ZG17Cr1Mo	920~960	680~730	100	315	490~690	20	27
ZG17Cr2Mo1	930~970	680~740	150	400	590~740	18	40
ZG13MoCrV	950~1000	680~720	100	295	510~660	17	27
ZG17Cr1Mo1V	1020~1070	680~740	150	440	590~780	15	27
ZG16Cr5Mo	930~990	680~730	150	420	630~760	16	27
ZG16Cr9Mo1	960~1020	680~730	150	415	620~795	18	27
ZG10Cr9Mo1VNbN	1040~1080	730~800	100	415	585~760	16	27
ZG12Cr9Mo1VNbN	1040~1090	730~780	100	450	630~750	16	35
ZG08Cr12Ni1Mo	1000~1060	680~730	300	355	540~690	18	45
	1000~1060	600~680	300	500	600~800	16	40
ZG06Cr13Ni4Mo	1000~1060	590~630	300	550	760~960	15	27
ZG23Cr12Mo1NiV	1030~1080	700~750	150	540	740~880	15	27

ZG12Cr9Mo1VNbN、ZG08Cr12Ni1Mo和ZG06Cr13Ni4Mo六种铸钢的合金元素加入量和加入种类明显增多，大大地提高了其淬透性，一般采用正火处理就能保证其强度要求。为保证碳化物的充分溶解，正火加热温度大都在1 000 ℃以上。ZG23Cr12Mo1NiV中含碳量最高，加入的合金元素种类最多，为保证其高强度的要求，一般要进行淬火处理，加热温度提高到1 030~1 080 ℃，回火温度也比大多数铸钢要高。

### 2.2.3 力学性能

高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件在室温状态下的力学性能见表3。测试力学性能用的试样，应取自与铸件同一批浇注并同炉热处理的单铸试块或附铸试块。

高温承压铸钢既要求有良好的高温强度和与之相适应的塑性，还要求具有较好的抗氧化性和耐腐蚀性，并随着工作温度的提高，化学稳定性的要求会随之提高。表3中明确规定了各牌号室温状态下的力学性能最低值和范围。前六个牌号属于碳铬钢或铬钼钢，铬和钼的加入量较低，热处理后其强度相对较低，抗氧化性和耐腐蚀性也较差，但其塑性和韧性较好，可在温度不太高的工作条件下使用；一般来讲，铁素体耐热铸钢在高温条件下强度较低，作为结构材料使用时需要慎重。

7-9牌号铸钢属于9Cr-1Mo型耐热钢，铬的加入量显著提高，并加入了一定的钒，使钢的高温强度大大提高，韧性也较好。后三种牌号属于马氏体不锈钢，热处理后具有较高的强度，且具有较高的化学稳定性，虽然其塑性有所降低，但仍保持较高的韧性，可以承受更高温度和更高介质压力的冲击。

目前对耐热铸钢及合金钢的高温强度，无论是生产企业还是用户，一般都不具备检测条件，还缺乏这方面的数据支持，在标准附录B列出了12种牌号不同温度下的最小屈服强度值作为参考。耐热铸钢及合金钢的使用寿命主要是由材质、工况条件以及铸造工艺等因素决定的，在实际选用牌号时还应考虑环境、载荷等实际使用条件<sup>[6]</sup>。

### 2.2.4 铸件的焊补

本标准规定了焊补规范，允许焊补铸件缺陷，焊补前须将铸件缺陷部位清理干净，焊补后应不影响铸件的使用和外观质量。当焊接坡口（凹坑）深度超过壁厚的40%或25 mm（二者中取较小者），属于重大焊补。重大焊补须经需方事先同意，并且应有施焊条件、焊补位置和范围等记录。对重大焊补的铸件，均

应进行焊后回火处理。铸件的焊补规范应符合表4规定。

表4 铸件焊补规范  
Table 4 Specification for welding repair of castings

材料牌号	预热温度/℃ <sup>a</sup>	最高道间温度/℃	焊后热处理/℃
ZG19Mo	20~200	350	≥650
ZG17Cr1Mo	150~250	350	≥650
ZG17Cr2Mo1	150~250	350	≥680
ZG13MoCrV	200~300	400	≥680
ZG17Cr1Mo1V	200~300	400	≥680
ZG16Cr5Mo	150~250	350	≥650
ZG16Cr9Mo1	200~300	350	≥680
ZG10Cr9Mo1VNbN	200~300	350	不高于回火温度
ZG12Cr9Mo1VNbN	200~300	350	不高于回火温度
ZG08Cr12Ni1Mo	100~200	350	不高于回火温度
ZG06Cr13Ni4Mo	20~450	450	不高于回火温度
ZG23Cr12Mo1NiV	100~200	300	不高于回火温度

注：<sup>a</sup>预热温度涉及到几何尺寸、铸件的厚度和气候条件。

## 3 标准特点

本标准在修改采用EN 10213: 2007《承压用钢铸件》和美国ASTM A217/A217M-2012《适用于高温设备的承压部件钢铸件、马氏体不锈钢和合金钢的标准规范》，并研究总结国内产品制造的实践基础上制定的，在技术内容上与之等效。在本标准制定前，EN 10213: 2007《承压用钢铸件》标准更受行业认可，本标准与EN 10213: 2007《承压用钢铸件》标准在主要技术内容上存在以下差异。

(1) 在规范性引用文件中增加了通用标准、铸钢牌号、外观质量、铸件致密性、形状尺寸和公差等国家标准要求；

(2) 综合考虑国内熔炼技术改进、原材料中的S、P含量以及市场应用要求，并结合国外标准确定了有害元素S、P含量，高于目前国外标准平均水平，达到国外标准的先进水平；

(3) 为使标准具有更强的适用性，本标准对焊补工艺做出了建议性规定，未做强制性规定，具体操作遵循市场要求，由用户和制造商协商决定焊补工艺。

近年来，国内在铸造高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件方面取得了不少研究成果，制定本标准时除了参考国外标准化成果以外，主要借鉴了国内研究成果，属于国际先进水平。

## 4 结束语

本标准的制定建立了国内铸造高温承压马氏体不

锈钢和合金钢通用铸件的标准体系，为我国特种行业承压部件高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件的选材、制造、应用提供了参考和依据，必将有力促进

国内高温承压马氏体不锈钢和合金钢通用铸件应用性能提升和新产品开发，指导行业更大范围地实现特定产品的国产化，普遍提升行业技术水平。

#### 参考文献:

- [1] 2007 Steel castings for pressure purposes: EN 10213 [S]. The British Standards Institution, 2016.
- [2] Standard specification for steel castings, martensitic stainless and alloy, for pressure-containing parts, suitable for high-temperature service: A 217/A 217M-02 [S]. ASTM International, 2012.
- [3] 李云凯, 薛云飞. 金属材料学 [M]. 3版. 北京: 北京理工大学出版社, 2019.
- [4] 刘正东. 电站耐热材料的选择性强化设计与实践 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2017.
- [5] 赵勇桃. 超超临界锅炉用P92钢的组织性能及应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015.
- [6] 张寅, 崔兰芳. GB/T 8492—2014《一般用途耐热钢和合金铸件》国家标准解读 [J]. 铸造, 2016, 65(7): 677-682.

## Interpretation of the National Standard GB/T 32255—2015 “General Martensitic Stainless Steel and Alloy Steel Castings Suitable for High Temperature and High Pressure Service”

LI Zhen-gang<sup>1</sup>, CHU Kai-yu<sup>1</sup>, YAO Shao-yong<sup>2</sup>, LIU Dong-xin<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanical Engineering North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei, China; 2. Hebei Guohua Dingzhou Power Generation Co., Ltd., Dingzhou 073000, Hebei, China)

#### Abstract:

The background, purpose, characteristics and application of GB/T 32255—2015 standard are introduced. The brand, chemical composition, mechanical properties, heat treatment and welding repair of high temperature pressure bearing martensitic stainless steel and alloy steel in the standard are focused on. The standard specifies the heat treatment process and room temperature mechanical properties of 12 grades of materials. When actually selecting the brand, the mechanical properties, service life, service temperature, load and casting process of the brand material shall be comprehensively considered. The formulation of this standard provides a basis and reference for the manufacturing and application of high temperature pressure bearing martensitic stainless steel and alloy steel general castings in China, and will effectively promote the improvement of the technical level of the industry.

**Key words:** castings suitable for high temperature and high pressure service; martensitic stainless steel; alloy steel; standard interpretation