

GB/T 2100—2017《通用耐蚀钢铸件》 标准解读

陈亚涛^{1, 2}, 王灵水^{1, 2}, 郑 霏^{1, 2}

(1. 中船双瑞(洛阳)特种装备股份有限公司, 河南洛阳 471000; 2. 洛阳船舶材料研究所, 河南洛阳 471023)

摘要: 介绍了GB/T 2100—2017标准的主要修订内容, 通用耐蚀钢铸件的牌号、化学成分、力学性能、热处理、焊补、试验方法、验收规则以及标准的特点和典型应用案例。标准中涉及马氏体型、奥氏体型、双相(奥氏体-铁素体)型三大类27种不锈钢铸件牌号, 能够满足各种腐蚀工况环境对铸件耐蚀性能和力学性能的要求。在选材时要结合不锈钢的特性和服役工况环境, 综合考虑材料成本、制造成本和工艺难易程度, 优选出性价比高的耐蚀钢铸件牌号, 提升装备的安全性和可靠性。

关键词: 通用耐蚀钢铸件; 标准; 不锈钢; 应用

1 标准概况

为满足各种腐蚀环境对耐蚀钢铸件的需求, 1981年7月1日, 国家标准总局发布了GB/T 2100—1980《不锈钢耐蚀钢铸件技术条件》^[1]标准, 涉及18种不锈钢(马氏体型2种, 铁素体型3种, 奥氏体型10种, 双相型2种, 沉淀硬化型1种); 2002年5月17日, 国家质量监督检验检疫总局发布了GB/T 2100—2002《一般用途耐蚀钢铸件》^[2], 涉及19种不锈钢(马氏体型5种, 奥氏体型12种, 双相型2种); 2017年11月1日, 国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会发布了GB/T 2100—2017《通用耐蚀钢铸件》^[3]标准, 涉及27种不锈钢(马氏体型7种, 奥氏体型13种, 双相型7种)。

GB/T 2100—2017《通用耐蚀钢铸件》是在参考国内外耐蚀钢铸件材料发展水平和应用现状的基础上, 结合我国现有工艺装备水平及检测能力, 采用重新起草法对ISO 11972: 2015《Corrosion-resistant cast steels for general applications》^[4]修订而成。GB/T 2100—2017《通用耐蚀钢铸件》作为我国耐蚀钢铸件基础通用技术标准, 明确了通用耐蚀钢铸件的技术要求, 试验方法, 检验规则及标志、贮存、包装和运输等通用技术要求。

2 标准的主要修订内容

2.1 对标准名称进行了修改

标准名称修改为《通用耐蚀钢铸件》, 与ISO 11972: 2015名称基本一致。

2.2 对规范性引用文件进行了修改

GB/T 2100—2017引用标准29项, GB/T 2100—2017根据引用标准的变化以及对引用标准的需求, 对GB/T 2100—2002的23项引用标准做了具有技术性差异的调整, 以适应我国目前的技术现状, 主要修改内容如下。

(1) 引用标准版本要求。GB/T 2100—2002中规定引用标准版本均为有效; 引用标准最新版本使用时, 需各方探讨使用的可能性。GB/T 2100—2017规定凡是注

作者简介:

陈亚涛(1976-), 男, 高级工程师, 主要从事新材料、新产品的研发工作。E-mail: 1263090346@qq.com

中图分类号: TG142
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2023)07-0923-08

收稿日期:

2022-07-29 收到初稿,
2022-09-27 收到修订稿。

日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

（2）引用标准变化。更新引用标准13项：GB/T 223.4、GB/T 223.5、GB/T 223.12、GB/T 223.19、GB/T 223.24、GB/T 223.26、GB/T 223.37、GB/T 223.40、GB/T 229、GB/T 6060.1、GB/T 6414、GB/T 11351和GB/T 11352，取消了版本日期，其最新版本适用于本标准，使标准的时效性更强。

更新合并引用标准1项：GB/T 2100—2002引用的GB/T 228—1987和GB/T 6397—1986被GB/T 228—2002替代，而后GB/T 228—2002又被GB/T 228.1—2010替代，因此GB/T 2100—2017将GB/T 228—1987和GB/T 6397—1986合并为GB/T 228.1。

删除引用标准8项：GB/T 223.1—1981、GB/T 223.2—1981、GB/T 223.3—1988、GB/T 4334.1—2000、GB/T 4334.3—2000、GB/T 4334.5—2000、GB/T 5613—1995、ISO 4990：1986。这些删除的引用标准有些被新标准所替代；有些可单独列入采购技术协议中。

新增引用标准15项：根据GB/T 2100—2017标准内容的需求，新增引用标准 GB/T 222、GB/T 223.13、GB/T 223.43、GB/T 223.61、GB/T 223.69、GB/T 223.85、GB/T 5677、GB/T 7233.1、GB/T 8170、GB/T 9443、GB/T 9444、GB/T 11170、GB/T 14203、GB/T 15056、GB/T 20066。

2.3 对耐蚀钢的牌号和化学成分进行了修改

GB/T 2100—2017在ISO 11972：2015 24种牌号的基础上增加了常用的ZG20Cr13、ZG06Cr13Ni4和ZG10Cr12Ni1牌号，共有27种牌号。与GB/T 2100—2002 19种牌号相比较，GB/T 2100—2017主要做了如下修改：

（1）删除了高镍ZG03Cr14Ni14Si4牌号，修改、完善了其余18种牌号成分，并按照GB/T 5613对牌号重新进行了表示。

（2）增加了9种不锈钢牌号及其化学成分标准值，其中马氏体不锈钢2种（ZG06Cr13Ni4Mo和ZG10Cr12Ni1），奥氏体不锈钢2种（ZG025Cr20Ni25Mo7Cu1N和ZG025Cr20Ni19Mo7CuN），双相不锈钢5种（ZG05Cr26Ni6Mo2N、ZG03Cr22Ni6Mo3N、ZG03Cr25Ni7Mo4WCuN、ZG03Cr26Ni7Mo4CuN和ZG03Cr26Ni6Mo3Cu1N）。其中双相不锈钢由于具有较高的力学性能和优良的耐蚀性能得到广泛应用，但是GB/T 2100—2017未对成分PREN值和铁素体含量提

出控制要求，不能充分发挥双相不锈钢优良的耐蚀性能。

2.4 对耐蚀钢的力学性能进行了修改

GB/T 2100—2017对标ISO 11972：2015力学性能指标，对GB/T 2100—2002的力学性能指标进行了修正，使力学性能指标更切合工程实际，主要修改内容如下。

（1）马氏体不锈钢：ZG15Cr13修改了伸长率标准值；删除了ZG06Cr12Ni4（QT2）的性能指标，ZG06Cr13Ni4性能指标与ZG06Cr12Ni4（QT1）对应，并修改了冲击功标准值；ZG20Cr13变动较大，最大厚度从300 mm降至150 mm，最小屈服强度从440 MPa降至390 MPa，最小抗拉强度从610 MPa降至590 MPa，标准中冲击功统一为KV₂，将最小冲击功从AK₀ 58 J修改为KV₂ 20 J。

（2）奥氏体不锈钢：ZG03Cr19Ni11、ZG07Cr19Ni10、ZG07Cr19Ni11Nb、ZG03Cr19Ni11Mo2、ZG07Cr19Ni11Mo2、ZG07Cr19Ni11Mo2Nb、ZG07Cr19Ni12Mo3修改了屈服强度标准值。

（3）双相不锈钢：ZG03Cr26Ni6Mo3Cu3N和ZG03Cr26Ni6Mo3N修改了屈服强度和伸长率标准值。

（4）增加了9种不锈钢牌号及其力学性能标准值。

2.5 对耐蚀钢的热处理工艺进行了修改

为获得良好的耐蚀钢性能，实现成分、组织和性能的最佳匹配，GB/T 2100—2017根据目前耐蚀钢技术发展水平，结合ISO 11972：2015的热处理工艺，对GB/T 2100—2002的热处理工艺做了如下修改。

（1）马氏体不锈钢。ZG20Cr13将“950℃退火+1 050℃油淬+750~800℃空冷”修改为“加热到950~1 050℃保温、空冷或油淬+680~740℃回火、空冷”，虽然标准中取消了退火工艺，对退火工艺不做强制性要求，但是铸造厂也可根据铸件结构及壁厚情况自行实施；ZG20Cr13淬火温度高于1 000℃时易出现过热现象，致使马氏体晶粒粗大、残留奥氏体和铁素体增多，降低钢的冲击韧性和耐蚀性，因而标准中将淬火温度降至950~1 050℃；ZG20Cr13高温回火组织为回火索氏体+铁素体，标准中将回火温度降至680~740℃，虽然塑韧性有所降低，但是强度得到提高，能够实现强度、塑性和冲击韧性的较好匹配，同时钢的耐蚀性能也有所提高。

ZG06Cr13Ni4将奥氏体化温度范围从“1 000~1 100 °C”缩减至“1 000~1 050 °C”，与ISO 11972: 2015保持一致，同时删除了ZG06Cr12Ni4 (QT2) 热处理工艺相关内容。

(2) 奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢在加热到高温时不发生相变，其热处理就是把钢加热到高温下，在奥氏体再结晶的同时，使铸态组织中的碳化物 ($M_{23}C_6$ 、MC、 M_6C 等) 和金属间相 (σ 相、 χ 相、 η 相等) 充分分解固溶到奥氏体中，然后快速冷却，使碳在奥氏体中以固溶状态保持到常温，从而提高奥氏体不锈钢的耐蚀性。在奥氏体不锈钢中，钼促进金属间相和碳化物的沉淀，并且随着钼含量的增加，碳化物和金属间相的析出敏感性显著增强，对钢的力学性能和耐蚀性能产生不利影响。固溶处理温度取决于碳化物和金属间相的分解温度和溶解速度，加热温度越高，其固溶速度越快，但是加热温度过高会引起钢中晶粒长大，降低钢的强度。因此标准中根据钼和碳的含量将奥氏体不锈钢的固溶处理温度设定四个温度区间，便于制造厂家根据合金成分对固溶处理温度进行选择和控制，一般情况下，碳含量高时，固溶处理温度取上限，碳含量低时，固溶处理温度取下限。因此在标准中，ZG03Cr19Ni11、ZG03Cr19Ni11N、ZG07Cr19Ni10和ZG07Cr19Ni11Nb将固溶处理温度从“1050 °C”修改为“1050~1 150 °C”；ZG03Cr19Ni11Mo2、ZG03Cr19Ni11Mo2N、ZG07Cr19Ni11Mo2和ZG07Cr19Ni11Mo2Nb将固溶处理温度从“1 080 °C”修改为“1 080~1 150 °C”；ZG03Cr19Ni11Mo3和ZG03Cr19Ni11Mo3N将“1 120 °C固溶处理、淬火”修改为“加热到 $\geq 1 120$ °C、保温、固溶处理、水淬”；ZG07Cr19Ni12Mo3将固溶处理温度从“1 120 °C”修改为“1 120~1 180 °C”；同时将“随厚度增加，提高空冷速度”统一修改为“也可根据铸件厚度空冷或其他快冷方法”。

(3) 双相不锈钢。双相不锈钢提高固溶处理温度，有助于铸态中析出的碳氮化合物和金属间化合物等析出相充分溶解，提高双相不锈钢的力学性能和耐蚀性能，但是加热温度过高不仅会使钢中晶粒粗大影响钢的性能，也会使固溶后钢中铁素体含量增多。因此，ZG03Cr26Ni6Mo3Cu3N和ZG03Cr26Ni6Mo3N将固溶处理温度从“1 120 °C”修改为“1 120~1 150 °C”。

(4) 增加了9种不锈钢牌号及其热处理工艺要求。

2.6 对重大焊补技术要求进行了修改

GB/T 2100—2017将GB/T 2100—2002附录A《ISO

4990: 1986中的9.8焊补》内容与焊补章节合并，并对重大焊补的焊补工艺文件和焊补过程记录以及焊补后处理进行了补充和完善，使焊补程序合规、焊补过程可控，有效保证了焊补质量。

2.7 对力学性能检验的检验规则进行了修改

(1) GB/T 2100—2017新增双基尔试块规格，并对单铸梅花试块和单基尔试块的尺寸进行了修改，同时也对力学性能用辅助试块的厚度进行了规定。

(2) GB/T 2100—2017对力学性能复验进一步明确了处理流程和要求。

2.8 对其他主要内容的修改

(1) GB/T 2100—2017将GB/T 2100—2002中的“验收规则和试验方法”章节分成两个章节，即“试验方法”和“检验规则”，内容更加充实，要求更加明晰。

(2) GB/T 2100—2017删除了有关晶间腐蚀倾向检验的相关内容。

3 标准的主要内容

本标准分为6个章节，2个资料性附录，与GB/T 2100—2002标准的结构基本相同。

3.1 适用范围

本标准27种不锈钢牌号适用于各种腐蚀工况环境的通用耐蚀钢铸件，基本上可以满足各种腐蚀工况环境对铸件耐蚀性能和力学性能的要求。

本标准规定了通用耐蚀钢铸件的技术要求，试验方法，检验规则及标志、贮存、包装和运输等通用技术要求。

3.2 技术要求

3.2.1 通用耐蚀钢的牌号、化学成分和力学性能

本标准规定的27种不锈钢牌号、化学成分、力学性能与ISO标准对应的牌号、化学成分、力学性能分别见表1和表2。由表1和表2可知，本标准基本参考了国际标准ISO 11972: 2015，同时结合国内技术水平及应用现状，对材料的化学成分和力学性能进行了调整，使其适应性更强。

马氏体不锈钢的耐蚀性比奥氏体不锈钢和双相不锈钢要差，一般应用于腐蚀性较弱如大气、水蒸气和水等介质且要求较高力学性能的工况环境中。本标准中马氏体不锈钢牌号除了ZG20Cr13为马氏体铬不锈钢外，其余均为马氏体铬镍不锈钢。在马氏体不锈

表1 通用耐蚀钢铸件化学成分
Table 1 Chemical composition of general corrosion resistant steel castings

 $w_B/\%$

序号	国标与ISO标准对应的材料牌号	化学成分																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1	ZG15Cr13	0.15	0.80	0.80	0.035	0.025	11.50~13.50	0.50	1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX12Cr12		1.0	1.0							2	ZG20Cr13	0.16~0.24	1.00	0.60	0.035	0.025	11.50~14.00				GX20Cr14 ^①	0.16~0.23	1.00	0.045	0.03	12.50~14.50	1.00	3	ZG10Cr13Ni2Mo	0.10	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.50	0.20~0.50	1.00~2.00		GX7CrNiMo12-1	4	ZG06Cr13Ni4Mo	0.06	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.50	0.70	3.50~5.00	Cu0.50, V0.05	GX4CrNi13-4	W0.10	5	ZG06Cr13Ni4	0.06	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.00	0.70	3.50~5.00		GX4CrNi12-4	1.5	11.5~13.0	1.0	6	ZG06Cr16Ni5Mo	0.06	0.80	1.00	0.035	0.025	15.00~17.00	0.70~1.50	4.00~6.00		GX4CrNiMo16-5-1	7	ZG10Cr12Ni1	0.10	0.40	0.50~0.80	0.030	0.020	11.50~12.50	0.50	0.80~1.50	Cu0.30, V0.30	GX8CrNi12-1		Cu0.30, V0.08	8	ZG03Cr19Ni11	0.03	1.50	2.00	0.035	0.025	18.00~20.00		9.00~12.00	N0.20	GX2CrNi19-11	9	ZG03Cr19Ni11N	0.03	1.50	2.00	0.040	0.030	18.00~20.00		9.00~12.00	N0.12~0.20	GX2CrNi19-11	1.5	10	ZG07Cr19Ni10	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00		8.00~11.00		GX5CrNi19-10	11	ZG07Cr19Ni11Nb	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00		9.00~12.00	Nb8C~1.00	GX5CrNiNb19-11	12	ZG03Cr19Ni11Mo2	0.03	1.50	2.00	0.035	0.025	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	N0.20	GX2CrNiMo19-11-2	13	ZG03Cr19Ni11Mo2N	0.03	1.50	2.00	0.035	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	N0.10~0.20	GX2CrNiMo19-11-2	N0.12~0.20	14	ZG05Cr26Ni6Mo2N	0.05	1.00	2.00	0.035	0.025	25.00~27.00	1.30~2.00	4.50~6.50	N0.12~0.20	GX4CrNiMoN26-5-2	15	ZG07Cr19Ni11Mo2	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00		GX5CrNiMo19-11-2	16	ZG07Cr19Ni11Mo2Nb	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	Nb8C~1.00	GX5CrNiMoNb19-11-2	17	ZG03Cr19Ni11Mo3	0.03	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	9.00~12.00		GX2CrNiMo19-11-3	18	ZG03Cr19Ni11Mo3N	0.03	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	9.00~12.00	N0.010~0.20	GX2CrNiMo19-11-3	19	ZG03Cr22Ni6Mo3N	0.03	1.00	2.00	0.035	0.025	21.00~23.00	2.50~3.50	4.50~6.50	N0.12~0.20	GX2CrNiMoN22-5-3	20	ZG03Cr25Ni7Mo4WCuN	0.03	1.00	1.50	0.030	0.020	24.00~26.00	3.00~4.00	6.00~8.50	Cu1.00	GX2CrNiMoN25-7-3	N0.15~0.25	21	ZG03Cr26Ni7Mo4CuN	0.03	1.00	1.00	0.035	0.025	25.00~27.00	3.00~5.00	6.00~8.00	N0.12~0.22,	GX2CrNiMoN26-7-4	Cu1.30	22	ZG07Cr19Ni12Mo3	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	10.00~13.00		GX5CrNiMo19-11-3	23	ZG025Cr20Ni25Mo7Cu1N	0.025	1.00	2.00	0.035	0.020	19.00~21.00	6.00~7.00	24.00~26.00	N0.15~0.25	GX2NiCrMoCuN25-20-6	0.02	N0.10~0.25	24	ZG025Cr20Ni19Mo7CuN	0.025	1.00	1.20	0.030	0.010	19.50~20.50	6.00~7.00	17.50~19.50	N0.18~0.24	GX2CrNiMoCuN20-18-6	0.02	Cu0.50~1.00	25	ZG03Cr26Ni6Mo3N	0.03	1.00	1.50	0.035	0.025	24.50~26.50	2.50~3.50	5.00~7.00	N0.12~0.22	GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	Cu2.75~3.50	26	ZG03Cr26Ni6Mo3Cu1N	0.03	1.00	2.00	0.030	0.020	24.5~26.50	2.50~3.50	5.50~7.00	N0.12~0.25	GX3CrNiMoCuN26-6-3	Cu0.80~1.30	27	ZG03Cr26Ni6Mo3N	0.03	1.00
2	ZG20Cr13	0.16~0.24	1.00	0.60	0.035	0.025	11.50~14.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	GX20Cr14 ^①	0.16~0.23		1.00	0.045	0.03					12.50~14.50	1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3	ZG10Cr13Ni2Mo	0.10	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.50	0.20~0.50	1.00~2.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX7CrNiMo12-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4	ZG06Cr13Ni4Mo	0.06	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.50	0.70	3.50~5.00	Cu0.50, V0.05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX4CrNi13-4									W0.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5	ZG06Cr13Ni4	0.06	1.00	1.00	0.035	0.025	12.00~13.00	0.70	3.50~5.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX4CrNi12-4			1.5			11.5~13.0				1.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6	ZG06Cr16Ni5Mo	0.06	0.80	1.00	0.035	0.025	15.00~17.00	0.70~1.50	4.00~6.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX4CrNiMo16-5-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7	ZG10Cr12Ni1	0.10	0.40	0.50~0.80	0.030	0.020	11.50~12.50	0.50	0.80~1.50	Cu0.30, V0.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX8CrNi12-1									Cu0.30, V0.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
8	ZG03Cr19Ni11	0.03	1.50	2.00	0.035	0.025	18.00~20.00		9.00~12.00	N0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNi19-11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
9	ZG03Cr19Ni11N	0.03	1.50	2.00	0.040	0.030	18.00~20.00		9.00~12.00	N0.12~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNi19-11			1.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
10	ZG07Cr19Ni10	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00		8.00~11.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX5CrNi19-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
11	ZG07Cr19Ni11Nb	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00		9.00~12.00	Nb8C~1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX5CrNiNb19-11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
12	ZG03Cr19Ni11Mo2	0.03	1.50	2.00	0.035	0.025	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	N0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMo19-11-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
13	ZG03Cr19Ni11Mo2N	0.03	1.50	2.00	0.035	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	N0.10~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMo19-11-2									N0.12~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
14	ZG05Cr26Ni6Mo2N	0.05	1.00	2.00	0.035	0.025	25.00~27.00	1.30~2.00	4.50~6.50	N0.12~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX4CrNiMoN26-5-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
15	ZG07Cr19Ni11Mo2	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX5CrNiMo19-11-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
16	ZG07Cr19Ni11Mo2Nb	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	2.00~2.50	9.00~12.00	Nb8C~1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX5CrNiMoNb19-11-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
17	ZG03Cr19Ni11Mo3	0.03	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	9.00~12.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX2CrNiMo19-11-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
18	ZG03Cr19Ni11Mo3N	0.03	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	9.00~12.00	N0.010~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMo19-11-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
19	ZG03Cr22Ni6Mo3N	0.03	1.00	2.00	0.035	0.025	21.00~23.00	2.50~3.50	4.50~6.50	N0.12~0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoN22-5-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
20	ZG03Cr25Ni7Mo4WCuN	0.03	1.00	1.50	0.030	0.020	24.00~26.00	3.00~4.00	6.00~8.50	Cu1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoN25-7-3									N0.15~0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
21	ZG03Cr26Ni7Mo4CuN	0.03	1.00	1.00	0.035	0.025	25.00~27.00	3.00~5.00	6.00~8.00	N0.12~0.22,																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoN26-7-4									Cu1.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
22	ZG07Cr19Ni12Mo3	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.00~20.00	3.00~3.50	10.00~13.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	GX5CrNiMo19-11-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
23	ZG025Cr20Ni25Mo7Cu1N	0.025	1.00	2.00	0.035	0.020	19.00~21.00	6.00~7.00	24.00~26.00	N0.15~0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2NiCrMoCuN25-20-6	0.02								N0.10~0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
24	ZG025Cr20Ni19Mo7CuN	0.025	1.00	1.20	0.030	0.010	19.50~20.50	6.00~7.00	17.50~19.50	N0.18~0.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoCuN20-18-6	0.02								Cu0.50~1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
25	ZG03Cr26Ni6Mo3N	0.03	1.00	1.50	0.035	0.025	24.50~26.50	2.50~3.50	5.00~7.00	N0.12~0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoCuN25-6-3-3									Cu2.75~3.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
26	ZG03Cr26Ni6Mo3Cu1N	0.03	1.00	2.00	0.030	0.020	24.5~26.50	2.50~3.50	5.50~7.00	N0.12~0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX3CrNiMoCuN26-6-3									Cu0.80~1.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
27	ZG03Cr26Ni6Mo3N	0.03	1.00	2.00	0.035	0.025	24.50~26.50	2.50~3.50	5.50~7.00	N0.12~0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	GX2CrNiMoN25-6-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

注：（1）表中的单个值为最大值；（2）①BS EN 10283：2019标准。

表2 通用耐蚀钢铸件力学性能
Table 2 Mechanical properties of general corrosion resistant steel castings

序号	国标与DIN标准 对应的材料牌号	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa (\geq)	抗拉强度 R_m /MPa (\geq)	伸长率 $A\%$ (\geq)	冲击功 KV_2/J (\geq)	厚度 t/mm (\leq)
1	ZG15Cr13	450	620	15	20	150
	GX12Cr12					
2	ZG20Cr13	390	590	15	20	150
	GX20Cr14 ^①	440		12	-	
3	ZG10Cr13Ni2Mo	440	590	15	27	300
	GX7CrNiMo12-1					
4	ZG06Cr13Ni4Mo	550	760	15	50	300
	GX4CrNi13-4 (QT1)		750			
5	ZG06Cr13Ni4	550	750	15	50	300
	GX4CrNi12-4 (QT1)				45	
6	ZG06Cr16Ni5Mo	540	760	15	60	300
	GX4CrNiMo16-5-1					
7	ZG10Cr12Ni1	355	540	18	45	150
	GX8CrNi12-1 (QT1)		540~690			300
8	ZG03Cr19Ni11	185	440	30	80	150
	GX2CrNi19-11					
9	ZG03Cr19Ni11N	230	510	30	80	150
	GX2CrNiN19-11					
10	ZG07Cr19Ni10	175	440	30	60	150
	GX5CrNi19-10					
11	ZG07Cr19Ni11Nb	175	440	25	40	150
	GX5CrNiNb19-11					
12	ZG03Cr19Ni11Mo2	195	440	30	80	150
	GX2CrNiMo19-11-2					
13	ZG03Cr19Ni11Mo2N	230	510	30	80	150
	GX2CrNiMoN19-11-2					
14	ZG05Cr26Ni6Mo2N	420	600	20	30	150
	GX4CrNiMoN26-5-2					
15	ZG07Cr19Ni11Mo2	185	440	30	60	150
	GX5CrNiMo19-11-2					
16	ZG07Cr19Ni11Mo2Nb	185	440	25	40	150
	GX5CrNiMoNb19-11-2					
17	ZG03Cr19Ni11Mo3	180	440	30	80	150
	GX2CrNiMo19-11-3					
18	ZG03Cr19Ni11Mo3N	230	510	30	80	150
	GX2CrNiMoN19-11-3					
19	ZG03Cr22Ni6Mo3N	420	600	20	30	150
	GX2CrNiMoN22-5-3					
20	ZG03Cr25Ni7Mo4WCuN	480	650	22	50	150
	GX2CrNiMoN25-7-3					
21	ZG03Cr26Ni7Mo4CuN	480	650	22	50	150
	GX2CrNiMoN26-7-4					
22	ZG07Cr19Ni12Mo3	205	440	30	60	150
	GX5CrNiMo19-11-3					
23	ZG025Cr20Ni25Mo7Cu1N	210	480	30	60	50
	GX2NiCrMoCuN25-20-6					
24	ZG025Cr20Ni19Mo7CuN	260	500	35	50	50
	GX2NiCrMoCuN20-18-6					
25	ZG03Cr26Ni6Mo3N	480	650	22	50	150
	GX2CrNiMoCuN25-6-3-3					
26	ZG03Cr26Ni6Mo3Cu1N	480	650	22	60	200
	GX3CrNiMoCuN26-6-3					
27	ZG03Cr26Ni6Mo3N	480	650	22	50	150
	GX2CrNiMoN25-6-3					

注：①BS EN 10283：2019标准。

钢牌号中ZG06Cr13Ni4Mo、ZG06Cr13Ni4为低碳、高镍马氏体不锈钢，其组织一般为回火低碳板条马氏体+均匀分布在马氏体板条晶界及内部的逆转变奥氏体组织，改变了传统Cr13马氏体不锈钢的高碳马氏体+碳化物的组织强化模式，极大改善了马氏体不锈钢的铸造、焊接和机加工性能，显著提升了马氏体不锈钢的综合力学性能（厚大截面性能）、耐腐蚀性能、耐磨蚀性能以及耐气蚀性能等，广泛应用于水电、火电、核电、石油炼化、化工、海上钻井平台等领域。ZG06Cr16Ni5Mo为低碳、高铬、高镍、高钼的马氏体不锈钢，其不仅强度高、塑韧性好、焊接性优良，而且耐腐蚀性能优良，被称为超级马氏体不锈钢，广泛应用于海洋大气、短时浸泡海水及弱酸以及含有CO₂或H₂S等腐蚀苛刻的工况环境。

铬镍奥氏体不锈钢与马氏体不锈钢和双相不锈钢相比，铬镍奥氏体不锈钢在多种腐蚀介质中具有优良的耐蚀性、综合力学性能、工艺性能和焊接性能，多应用于化工行业。由于奥氏体不锈钢在高温和室温下不发生组织转变，不能通过热处理来强化性能，所以其强度、硬度偏低，不宜作为承受较大载荷或耐磨性的铸件材料。标准中的奥氏体不锈钢牌号均为铬镍奥氏体不锈钢，其成分特点是低碳、高铬、高镍，有的还含钼、氮、铌等元素。由于成分中合金元素种类、含量不同，导致耐蚀性能差异较大。铬镍奥氏体不锈钢在氧化性介质，如大气和稀、中等浓度的硝酸以及浓硫酸中具有优良的耐腐蚀性能；在还原性介质，如盐酸、亚硫酸及沸腾冰醋酸，特别是含氯离子环境中不耐腐蚀；在氢氧化钠和氢氧化钾溶液中也具有优良的耐腐蚀性能。钼在奥氏体不锈钢中的主要作用是提高钢的耐还原性介质的腐蚀性能和耐点腐蚀、耐缝隙腐蚀性能，含钼的奥氏体不锈钢一般不用于耐硝酸的腐蚀，除非硝酸中含有F⁻和Cl⁻等离子。碳含量≤0.03%的奥氏体不锈钢牌号具有优良的耐腐蚀性能和抗敏化态晶间腐蚀性能。含氮奥氏体不锈钢牌号强度高、耐局部腐蚀性能（晶间腐蚀、点蚀和缝隙腐蚀）优良。含铌奥氏体不锈钢牌号强度（包括高温强度）高、抗敏化态晶间腐蚀性能优良。奥氏体不锈钢牌号ZG025Cr20Ni19Mo7CuN和ZG025Cr20Ni25Mo7Cu1N，其碳含量低于0.025%、铬含量19%~21%、镍含量17.5%~26.0%、钼含量6%~7%左右，此外还含有铜和氮等元素，其不仅具有较高的强度和优良的韧性和塑性，还具有优异的耐腐蚀性能（耐点蚀、耐缝隙腐蚀、耐应力腐蚀等），被称为超级奥氏体不锈钢，主要应用于石油、化工等腐蚀苛刻的工况环境。

双相不锈钢的组织由奥氏体和铁素体组成，在一定程度上兼有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的特征。一般要求双相不锈钢组织中铁素体含量30%~60%。

双相不锈钢不仅综合力学性能好，而且具有优良的耐海水腐蚀性能、耐晶间腐蚀性能、抗氯化物应力腐蚀断裂性能、耐腐蚀疲劳以及耐磨损腐蚀性能等。双相不锈钢仍具有铁素体不锈钢的各种脆性倾向，为避免脆性相析出，铸件使用温度≤315℃。双相不锈钢广泛应用于炼油、石化、化工、造纸、化肥、核电、船舶、海水淡化、海工装备、建筑、环保等行业。双相不锈钢牌号ZG03Cr25Ni7Mo4WCuN和ZG03Cr26Ni7Mo4CuN，其成分特点是超低碳、高铬、高镍、高钼、含氮，点蚀指数PREN≥40，具有较高的强度、硬度和优异的耐腐蚀性能，被称为超级双相不锈钢，主要应用于要求强度高、耐氯化物应力腐蚀和局部腐蚀等腐蚀苛刻的工况环境，如海洋环境和海底油气田开采（含Cl⁻、CO₂、H₂S）、烟气脱硫（FGD）以及石油化工等领域。

本标准对27种耐蚀钢的化学成分和力学性能均做出了明确规定。在对化学成分进行分析时，铸造厂家可根据分析检测设备情况选择化学分析方法或光谱分析方法，同时标准规定化学成分允许偏差应符合GB/T 222的规定。标准规定了27种耐蚀钢的室温力学性能（屈服强度、抗拉强度、伸长率和冲击功）和铸件的最大厚度，但是对耐蚀不锈钢铸件的高/低温力学性能、使用温度以及其他性能等未进行明确规定，这就需要供需双方对铸件服役工况环境进行识别，合理确认铸件服役参数。例如，在石油炼化领域，为避免产生硫化物应力开裂，要求马氏体不锈钢ZG06Cr13Ni4Mo铸件HRC硬度不超过23；在丁二醇化工领域，要求奥氏体不锈钢ZG07Cr19Ni10铸件-70℃的低温冲击不低于20J。

3.2.2 热处理

标准对27种耐蚀钢铸件的热处理方式、加热温度、冷却方式进行了较为明确的规定，但是未对保温时间进行规定，这就需要根据铸件材料、壁厚、结构以及热处理炉的特性合理设计保温时间。

马氏体不锈钢铸件在热处理过程中组织转变复杂，一般采用正火+回火的热处理方式，其中回火对马氏体不锈钢的综合性能影响较大。马氏体不锈钢ZG06Cr13Ni4Mo和ZG06Cr13Ni4等在热处理过程中，由于其马氏体转变终止温度 M_f 较低，在空淬时，铸件温度必须降低至 M_f 温度以下才可以装炉回火，否则由于组织中 $\gamma \rightarrow M$ 的转变还未完成，进入回火后本该转变的奥氏体停止转变，待回火冷却温度降低至 M_s-M_f 区间时，未转变的奥氏体继续发生 $\gamma \rightarrow M$ 的转变，则导致回火后铸件组织中存在未经回火的马氏体，严重影响铸件的力学性能和加工性能。

奥氏体不锈钢铸件在热处理过程中不发生组织转

变,所以不能通过热处理来强化。奥氏体不锈钢铸件一般采用固溶处理,在高温下将碳化物和金属间相全部溶解到奥氏体中,然后快速冷却,从而提高奥氏体不锈钢的耐蚀性。标准中指出,奥氏体不锈钢在固溶处理时,可以用水淬,也可根据铸件厚度空冷或其他快冷方法。

双相不锈钢铸件在热处理过程中发生组织转变,在加热时发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变,在随后水冷时发生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 转变。双相不锈钢铸件一般采用固溶处理,固溶处理后双相不锈钢的相比比例(α/γ)严重影响双相不锈钢的力学性能和耐蚀性能,而影响相比比例的因素有两个,一个是合金成分,一个是固溶处理温度,因此合理选择固溶处理温度对双相不锈钢的性能至关重要。双相不锈钢在固溶处理时选择快速水淬,因为双相不锈钢如果经过高温加热后缓慢冷却时,组织中会析出碳化物、金属间相(α' 相、 σ 相、 χ 相等),这些相硬而脆,严重恶化双相不锈钢的性能。同时标准还指出为防止形状复杂的铸件水淬开裂,双相不锈钢在高温加热保温后,也可随炉冷却至1 010~1 040 °C时再固溶处理,水淬。

3.2.3 铸件质量、尺寸和重量公差

标准对铸件的外观质量、内部质量、尺寸和重量公差等进行了明确规定。例如,铸件表面粗糙度按照GB/T 6060.1选定,并在图样或订货合同中注明;铸件几何公差、尺寸公差如在图样和订货合同中无规定,按照标准GB/T 6414选定;铸件重量公差按照标准GB/T 11351选定;铸件内部质量应符合需方的图样和技术要求。

3.2.4 铸件的焊补

标准对铸件重大焊补进行了定义,并明确了重大焊补流程和要求。除订货合同中规定不允许焊补或重大焊补外,供方可进行焊补。铸件重大焊补定义,即除供需双方另有商定外,焊接坡口(凹坑)深度超过壁厚的22%或者25 mm者(两者中取较小者),或其面积超过65 cm²者,或当承压铸件水压试验漏水时,均认为是重大焊补。对铸件的重大焊补,应经需方同意后才能进行焊补;需提供材料的焊补工艺评定报告、施焊条件、补焊位置、补焊范围记录等报告,并在质量证明书中说明;在焊补过程中要做好焊补记录,记录内容包括焊补位置图、补焊工艺参数、补焊人员、设备及材料批号等。此外,标准还要求铸件焊补后还应根据材料牌号及焊补情况及时做消除应力处理。

3.3 试验方法

标准明确规定了化学分析,力学性能试验,表面

粗糙度,几何公差、尺寸公差及重量公差,内部质量等试验方法、检测工具或检测方法等,提升了铸件检测的统一性和合规性。

在铸件成分分析中既可采用化学分析方法,也可采用光谱分析方法,都符合本标准的要求。在铸件内部质量检测时,可以采用渗透、磁粉、超声波或射线探伤检测,但是标准未对每种探伤方法的适用范围进行说明,如磁粉和超声波探伤不适用于奥氏体不锈钢和双相不锈钢铸件。

3.4 检验规则

标准对化学成分检验、力学性能检验、外观质量检验、尺寸公差检验及检验结果的修约等进行了明确规定。标准未对铸件如何组批进行说明,但是明确了铸件化学成分应按熔炼炉次数逐炉进行检验,力学性能试验用试样应取自同一炉次的单铸试块或附铸试块,试块与其所代表的铸件应同炉进行热处理。针对砂型铸造的铸件试样,化学成分检验取样部位应在表层下6 mm处。力学性能试验用单铸试块可采用梅花状试块、单基尔试块或双基尔试块,标准中提供了单铸试块的图样和试样切取位置;力学性能试验用辅助试块厚度应满足25~150 mm;当力学性能试验结果不符合要求时,标准对力学性能复验的处理流程和要求进行了规定。此外,标准还规定铸件的外观质量要逐件100%目视检查。

4 标准的特点

本标准修改采用ISO 11972: 2015《通用耐蚀铸钢》,根据我国的技术水平和应用现状,在其24种牌号的基础上增加3种。目前标准中所列27种牌号并未囊括目前应用的全部牌号,仅为当前常用的耐蚀钢牌号,但是能够满足我国一般腐蚀领域对耐蚀铸钢的需求。同时结合我国国情,本标准对适用范围、规范性引用文件、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、贮存、包装和运输等进行了明确规定,内容翔实,操作性强,能够为耐蚀钢铸件的生产 and 验收提供依据。

本标准达到国内先进水平,标准的主要技术指标相当于ISO 11972: 2015国际先进水平。目前,虽然我国在耐蚀钢铸件领域与国外先进水平相比在质量和性能上还存在一定的差距,高端耐蚀钢铸件还依赖进口,但是在我国科技人员的不断努力下,新材料、新工艺不断涌现,数字化、智能化铸造正在普及,极大促进了我国铸造产业的技术进步和产业升级,我国铸造企业不应当以满足本标准为最高质量目标,在努力提升工艺水平和产品质量的同时追求品质卓越,必将缩短与国外的差距,达到国际先进水平。

5 标准应用

本标准规定的27种耐蚀钢能够满足一般腐蚀环境对耐蚀钢铸件的要求，耐蚀钢铸件应用领域基本涵盖了目前所有的工业领域，如石油炼化、天然气、化工、造纸、化肥、电力（水电、火电、核电）、航空航天、建筑、环保、船舶、海水淡化、海底油气田开采以及海工装备等。

本标准耐蚀钢包含马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢和双相不锈钢，材料的化学成分和性能差异较大。由于各类设备或装置服役工况环境不同，对材料的耐腐蚀性和力学性能要求也不相同，如核电站主给水泵铸件和前置泵铸件常选用马氏体不锈钢ZG06Cr13Ni4Mo（要求控制硬度），能源化工主洗甲醇多级泵铸件常选用奥氏体不锈钢ZG07Cr19Ni10（要求低温冲击性能），船舶动力装置用导叶体铸件常选用

ZG03Cr22Ni6Mo3N（要求控制铁素体含量）。

在选择铸件材料牌号时，首先要确认服役工况环境对材料性能的真实需求，其次要综合考虑材料成本、制造成本以及工艺实施难易程度等因素，优选出性价比高的耐蚀钢铸件牌号，提升耐蚀钢装备的安全性和可靠性。

6 结语

（1）本标准促进了我国耐蚀钢铸件技术与国际接轨，推动了我国耐蚀钢铸件行业的技术进步和产业升级，进一步提升了我国耐蚀钢铸件的国际竞争力。

（2）本标准不仅为耐蚀钢铸件的规范化生产提供了指导，而且也为耐蚀钢铸件的验收提供了依据，对提高铸件性能，保证铸件质量，提升耐蚀钢装备的安全性和可靠性提供了有力的技术支撑。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 不锈钢耐蚀钢铸件技术条件：GB/T 2100—1980 [S].北京：中国标准出版社，1980.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 一般用途耐蚀钢铸件：GB/T 2100—2002 [S].北京：中国标准出版社，2002.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 通用耐蚀钢铸件：GB/T 2100—2017 [S].北京：中国标准出版社，2017.
- [4] BS ISO 11972: 2015. Corrosion-resistant cast steels for general applications [S]. Switzerland: 2015.

Interpretation of GB/T 2100—2017 “Corrosion-Resistant Steel Castings for General Application”

CHEN Ya-tao^{1,2}, WANG Ling-shui^{1,2}, ZHENG Fei^{1,2}

(1. CSSC Sunrui (Luoyang) Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471000, Henan, China; 2. Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, Henan, China)

Abstract:

This paper introduces the main revision contents of GB/T 2100—2017 standard, the brand, chemical composition, mechanical properties, heat treatment, welding repair, test methods and acceptance rules of general corrosion resistant steel castings, and the characteristics, typical application cases of the standard. The standard covers 27 kinds of stainless steel castings in three categories: martensite, austenite and duplex (austenite-ferrite), which can meet the requirements of corrosion resistance and mechanical properties of castings in various corrosive working conditions. When selecting materials, it is necessary to combine the characteristics of stainless steel and the service environment, and comprehensively consider the material cost, manufacturing cost and process difficulty degree, so as to optimize the brand of corrosion resistant steel castings with high price-performance ratio, which improve the safety and reliability of equipment.

Key words:

general corrosion resistant steel castings; standard; stainless steel; application